

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université 8 Mai 1945 – Guelma
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Electrotechnique et Automatique

Réf :2023 /2024



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme de MASTER Académique**

Domaine : Sciences et Technologie

Filière : Automatique

Spécialité : Automatique et Informatique industrielle

Par : MANSOURI Fekhrelislam et MELAIKIA Azzeddine

Thème

Réalisation et Supervision d'une serre agricole automatisée

Soutenu publiquement, le 08/juillet/2024. Devant le jury composé de :

M. Moussaoui Abdelkrim	Professeur	Univ. Guelma	Président/Examineur principal
Mme. Kechida Sihem	Professeure	Univ Guelma	Encadreur
M. Griouz Badreddine	MCB	Univ. Guelma	Examineur

Année Universitaire : 2023/2024

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Remerciement

Tout d'abord, nous tenons à remercier ALLAH de nous avoir guidés et pour nous avoir donné la force et la volonté pour atteindre notre objectif.

Nous remercions nos très chers parents pour leurs soutiens et leurs patiences.

Nous tenons à exprimer notre profonde reconnaissance envers notre encadrant, Pr KECHIDA Sihem, pour ses conseils précieux tout au long de l'élaboration de ce projet.

Nous adressons nos respectueux remerciements à tous les membres du jury pour avoir accepté d'évaluer ce travail modeste et pour l'intérêt qu'ils lui ont porté. Nous souhaitons également exprimer notre reconnaissance envers l'incubateur de l'université et le Laboratoire d'Automatique et Informatique de Guelma (LAIG) pour leur précieuse aide et leur soutien.

Enfin, nous tenons à remercier chaleureusement tous ceux qui, de près ou de loin, nous ont apporté leur aide tout au long de la réalisation de ce projet de fin d'études.

Merci à tous

Dédicace

Pour chaque début, il y a une fin, et ce qui est beau dans n'importe quel objectif est de réussir et d'atteindre ses buts.

Nous dédions cet humble travail, fruit de nombreuses années d'efforts, à ceux qui méritent notre plus grande gratitude, notre reconnaissance et notre profond amour. À ceux qui nous ont toujours apporté soutien et bonheur dans la vie.

À nos parents, qui nous ont encouragés tout au long de nos études, À nos chers frères et sœurs, À toute notre famille, À tous nos proches, Et à tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin à réaliser ce travail.

ملخص

تستكشف هذه الأطروحة تصميم وبناء والإشراف على دفيئة زراعية صغيرة آلية، وهو حل مبتكر لتحسين الزراعة في الجزائر. يتألف عملنا من تطوير نظام قادر على التحكم تلقائيًا في المعلمات البيئية الضرورية لنمو النبات، مع السماح بالمراقبة والتحكم عن بعد. من أجل الإدارة الفعالة عن بعد، قمنا بإعداد نظام أساسي للمراقبة باستخدام قاعدة بيانات Firebase في الوقت الفعلي وتطبيق الهاتف المحمول الذي أنشأته Blynk. تتيح لك هذه المنصة تصور بيانات المستشعر وتلقي التنبيهات في حالة حدوث تغييرات مهمة والتحكم في المحركات عن بعد. يمثل هذا المشروع خطوة مهمة إلى الأمام نحو زراعة أكثر ذكاءً واستدامة في الجزائر، ويمهد الطريق لأبحاث مستقبلية لتحسين كفاءة وأداء الدفيئة المصغرة.

Résumé

Ce mémoire explore la conception, la réalisation et la supervision d'une mini-serre agricole automatisée, une solution innovante pour améliorer l'agriculture en Algérie. Notre travail a consisté à développer un système capable de contrôler automatiquement les paramètres environnementaux essentiels à la croissance des plantes, tout en permettant une surveillance continue et une gestion à distance.

Pour une gestion efficace à distance, nous avons mis en place une plateforme de supervision utilisant la base de données en temps réel de Firebase et l'application mobile réalisé par Blynk. Cette plateforme permet de visualiser les données des capteurs, de recevoir des alertes en cas de changements critiques et de contrôler les actionneurs à distance.

Ce projet représente une avancée significative vers une agriculture plus intelligente et durable en Algérie, et ouvre la voie à des recherches futures pour améliorer l'efficacité et la performance de la mini-serre.

Abstract

This dissertation explores the design, construction and supervision of an automated agricultural mini-greenhouse, an innovative solution to improve agriculture in Algeria. Our work consisted of developing a system capable of automatically controlling environmental parameters essential for plant growth, while allowing remote monitoring and management.

For effective remote management, we have set up a monitoring platform using Firebase's real-time database and the mobile application created by Blynk. This platform allows you to visualize sensor data, receive alerts in the event of critical changes and control actuators remotely.

This project represents a significant step forward towards smarter and sustainable agriculture in Algeria, and paves the way for future research to improve the efficiency and performance of the mini-greenhouse.

Sommaire

Sommaire

Remerciement.....	i
Dédicace.....	ii
ملخص.....	iii
Résumé	iii
Abstract.....	iv
Sommaire.....	v
Liste des figures.....	vii
Liste des Tableaux	ix
Introduction générale	1
Chapitre I	
I.1 Introduction	3
I.2 Généralité sur les serres agricoles	3
I.2.1 Définition et l'intérêt de la serre	3
I.2.2 Construction de la serre d'agrément	4
I.2.3 Choix de la serre et de sa couverture	4
I.2.4 L'emplacement des serres	5
I.2.5 Les différents types de serre.....	5
☐ Verre de fibres.....	5
☐ Polycarbonate	5
I.2.6 Classification des serres.....	7
I.3 Les serres agricoles en Algérie	10
I.3.1 Types des serres en Algérie	10
I.3.2 Types de culture	11
I.3.3 Les fournisseurs en Algérie	11
I.4 Le contrôle des serres agricoles.....	12
I.4.1 Les facteurs environnementaux et impact sur les plantes.....	12
I.5 Conclusion	14
Chapitre II	
II.1 Introduction	17
II.2 Etat de l'art.....	17
II.3 Historique de la supervision	18

II.4	Généralité sur la supervision	18
II.5	Architecture générale de la Supervision	19
II.5.1	Surveillance environnementale	19
II.5.2	Gestion de l'Irrigation	20
II.5.3	Systèmes d'Alerte et notifications	21
II.5.4	Génération des rapports automatique	22
II.5.5	Interface Utilisateur / Interface Homme-Machine	22
II.6	Technologie utilisée dans la serre automatisée.....	25
II.6.1	Microcontrôleur.....	25
II.6.2	Capteurs	30
II.6.3	Actionneurs	33
II.6.4	Bases de Données	37
II.6.5	Logiciels et environnement de programmation.....	39
II.7	Techniques d'identification des maladies des plantes.....	40
II.8	L'autonomie énergétique dans les serres agricoles	42
II.8.1	Comment les panneaux solaires produisent de l'électricité ?.....	43
II.8.2	Les serres photovoltaïques	43
II.9	Conclusion	47

Chapitre III

III.1	Introduction	50
III.2	Conception et Modélisation	50
III.3	Présentation des modèles 3D	50
III.4	Sélection des Matériaux	52
III.4.1	Critères de sélection des matériaux.....	52
III.4.2	Description des matériaux choisis pour la structure et l'isolation	53
III.5	Construction de la mini serre	53
III.5.1	Construction de la base, les parois et les couvertures.....	53
III.5.2	Système de refroidissement (cooling system)	54
III.5.3	Système d'ombrage	54
III.5.4	Toit ouvrable	55
III.6	Partie Électrique	55
III.6.1	Tests et résultats des capteurs	55
III.6.2	Résultats des simulations sur le moniteur série de l'Arduino IDE	58
III.6.3	Visualisation des informations sur l'écran LCD	58
III.6.4	Les actionneurs et pré actionneur	58

III.6.5	Montage électrique final	60
III.7	Fonctionnement de système	61
III.7.1	Température.....	61
III.7.2	Humidité.....	62
III.7.3	Humidité de sol.....	62
III.7.4	Niveau d'eau dans le réservoir	63
III.7.5	L'éclairage.....	64
III.7.6	Niveau de CO2	64
III.8	Supervision à distance	65
III.8.1	Fairebase	65
III.8.2	Application mobile	68
III.8.3	Blynk.....	68
III.9	Conclusion	72
	Conclusion générale	73
IV	Annexe A.....	74
V	Annexe B.....	83
VI	Annexe C : Etude faisabilité économique du projet	92

Liste des figures

Figure	Titres	Page
Chapitre I		
Figure I. 1.	Exemple d'une serre agricole.	4
Figure I. 2.	Différents types de serre	7
Figure I. 3.	Les serres à faible technologie (serre tunnel).	8
Figure I. 4.	Les serres de moyenne technologie.	9
Figure I. 5.	Exemple de serres de haute technologie.	9
Figure I. 6.	Serre multi-chapelles à wilaya de Taref.	10
Chapitre II		
Figure II. 1.	Schéma fonctionnel de contrôle de température et humidité.	20
Figure II. 2.	Schéma fonctionnel de contrôle de lumière.	20
Figure II. 3.	Schéma fonctionnel de contrôle de CO2.	20
Figure II. 4.	Schéma fonctionnel de système d'irrigation.	21
Figure II. 5.	Visualisation de données en temps réel.	24
Figure II. 6.	Arduino UNO.	26

Figure II. 8. a) Node MCU ESP8266/32. b) ESP32-C3 RISC-V.	27
Figure II. 9. Schéma broches d'un ESP32.	28
Figure II. 10. Raspberry Pi.	29
Figure II. 11 a) Capteur de température et d'humidité b). DHT22Capteur d'humidité du sol.	31
Figure II. 12. Capteur ultrason HC- SR04.	31
Figure II. 13. Fonctionnement du capteur ultrason.	32
Figure II. 14. Module capteur d'intensité lumineuse LDR.	32
Figure II. 15. Photorésistance LDR.	33
Figure II. 16. Capteur de CO2 SEN0159.	33
Figure II. 18. a) Pompe à eau [28] b) Ventilateur miniature [22].	34
Figure II. 19. Ecran LCD 16x4 avec I2C module.	35
Figure II. 20. Buzzer (Petit alarme).	36
Figure II. 21. Servo moteur MG90S.	36
Figure II. 22. Variation du signal de commande	37
Figure II. 23. Une base de données clients-serveurs.	37
Figure II. 24. Base de données centralisé.	38
Figure II. 25. Base de données distribuées.	38
Figure II. 27. Interface utilisateur de l'Arduino IDE.	40
Figure II. 28. Détection des changements sur les plantes par la technique d'imagerie hyper-spectrale	41
Figure II. 30. Détection des changements sur les plantes par la technique d'analyse d'image	41
Figure II. 31. Exemple d'une base de données des maladies des plantes	42
Figure II. 37. Production d'électricité par les panneaux solaire et consommation.	43

Chapitre III

Figure III. 1. Conception frontale du modèle 3D de mini serre.	51
Figure III. 2. Conception arrière du modèle 3D de mini serre.	51
Figure III. 3. Conception de la boîte de contrôle et commande.	52
Figure III. 4. Construction de base de mini serre.	53
Figure III. 5. Fonctionnement de système de refroidissement.	54
Figure III. 6. Montage et fonctionnement de système d'ombrage.	54
Figure III. 7. Fonctionnement de toit.	55
Figure III. 8. Emplacement et montage électrique du capteur DHT22.	55
Figure III. 9. Emplacement et montage électrique du capteur DHT22.	56
Figure III. 10. Emplacement et montage électrique du capteur d'humidité de sol.	56
Figure III. 11. Emplacement et montage électrique du capteur de distance ultrason.	57
Figure III. 12. Emplacement et montage électrique du capteur de luminosité.	57
Figure III. 13. Capture résultats des simulations sur le moniteur série de l'Arduino IDE.	58
Figure III. 14. L'affichage des informations sur l'écran LCD.	58
Figure III. 15. Emplacement et montage électrique des ventilateurs.	59
Figure III. 16. Montage électrique de la pompe d'irrigation.	59
Figure III. 17. Emplacement et montage électrique de moteur.	60
Figure III. 18. Montage électrique final de système.	61
Figure III. 19. Process de contrôle température.	62
Figure III. 20. Process de contrôle d'humidité.	62

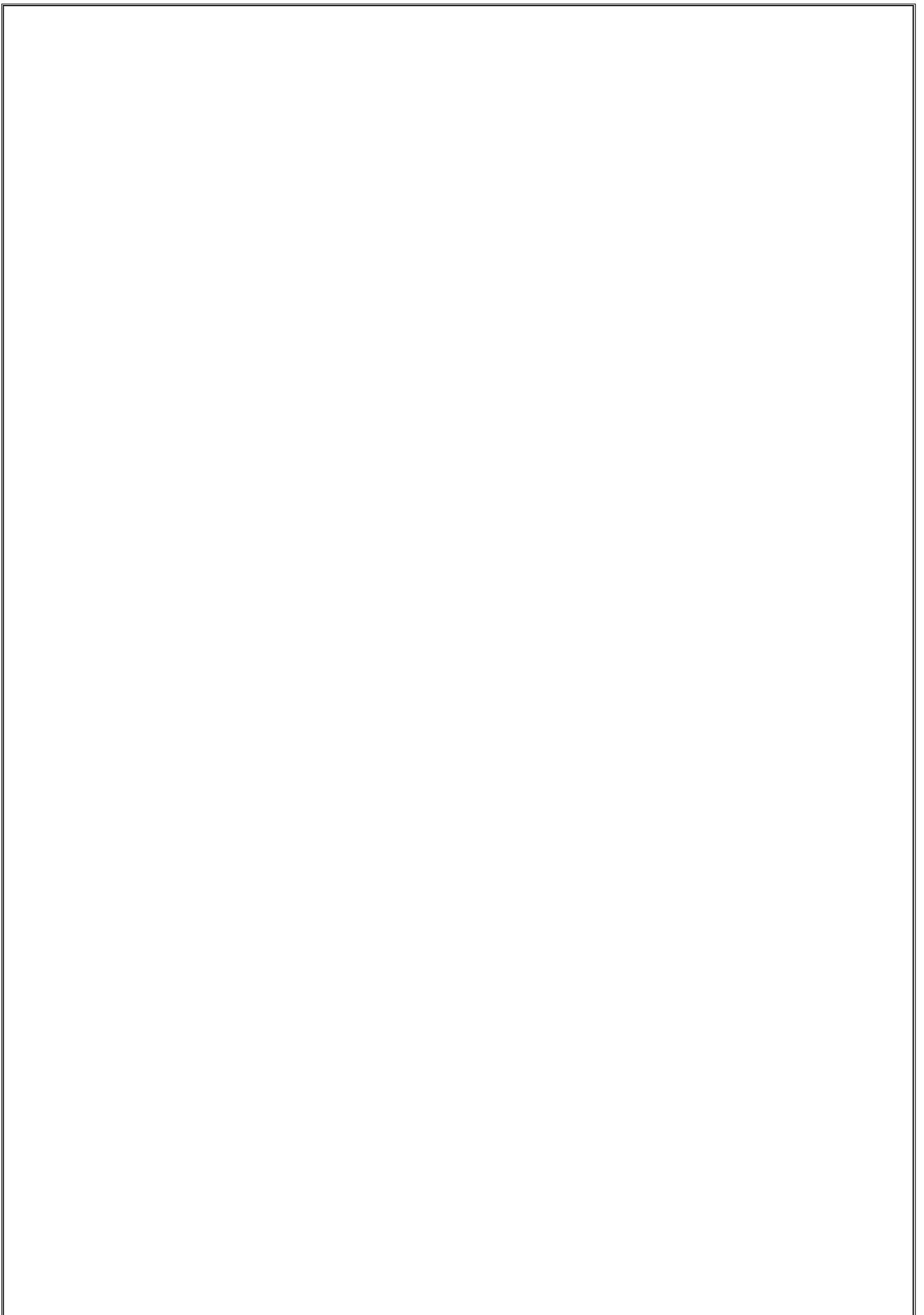
Figure III. 21. Process de contrôle d'humidité de sol.	63
Figure III. 22. Process de contrôle niveau d'eau dans le réservoir.	63
Figure III. 23. Process de contrôle d'éclairage.	64
Figure III. 24. Commande de nappe d'ombrage.	64
Figure III. 25. Process de contrôle de niveau de CO2.	65
Figure III. 26. Logo de plateforme Firebase.	65
Figure III. 27. Connexion entre système électrique, Firebase, et l'application mobile.	66
Figure III. 28. Affichage des données en temps réel sur Firebase.	67
Figure III. 29. Interface Real time Database de Firebase.	68
Figure III. 30. Logo du plateforme Blynk.	68
Figure III. 31. Supervision de la serre via le site web.	70
Figure III. 32. Supervision de la serre via l'application mobile.	71
Figure III. 1. Graphe de variation de la température	71

Liste des Tableaux

Tableau	Titres	Page
---------	--------	------

Chapitre II

Tableau II. 1. Spécification technique de l'Arduino [27].	26
Tableau II. 2. Différences techniques entre un ESP8266, un ESP32, et un ESP32-C3.	27



Introduction générale

Dans le contexte mondial actuel, où les défis agricoles deviennent de plus en plus complexes, l'innovation technologique ont un rôle crucial dans l'amélioration des pratiques agricoles. Les serres agricoles automatisées représentent une avancée significative, permettant de contrôler et d'optimiser les conditions environnementales pour maximiser les rendements des cultures tout en minimisant l'impact environnemental.

Ce mémoire, intitulé « Réalisation et Supervision d'une serre agricole automatisée », explore les différentes facettes de la conception, de la réalisation et de la supervision d'une serre agricole automatique. Notre projet vise à intégrer des technologies avancées telles que les capteurs, les actionneurs, les systèmes de contrôle, et les plateformes de supervision à distance pour créer une solution complète et autonome.

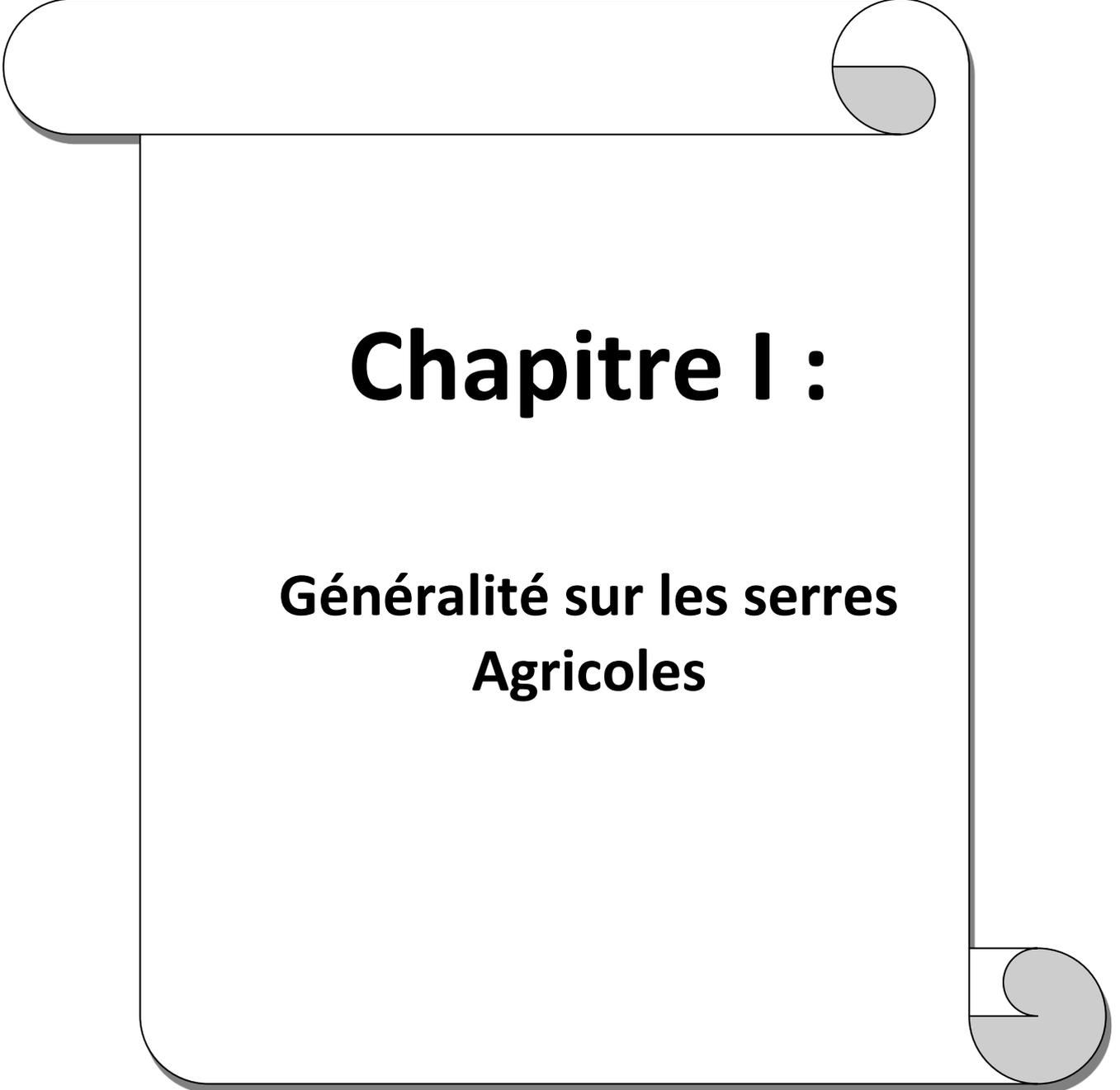
La **première partie** de ce mémoire présente une généralité sur les serres agricoles, y compris leur définition, leur intérêt, les différents types de serres ainsi que les types de serres utilisés en Algérie. Nous explorons également les facteurs environnementaux influençant la croissance des plantes, tels que la température, l'humidité, l'humidité de sol la lumière, et le dioxyde de carbone.

La **deuxième partie** se concentre sur la partie électrique ; les capteurs, actionneurs, et contrôleurs utilisés, et l'intégration des systèmes de contrôle. Nous discuterons également de la supervision à distance de la serre via une application mobile et aussi la connexion avec une base de données Cloud, permettant une gestion efficace et en temps réel des conditions de la serre.

Enfin, dans la **dernière partie**, nous abordons la présentation des modèles 3D et les critères de sélection des matériaux utilisés et les aspects de la construction de la serre, la partie électrique, et le fonctionnement du système **Ensuite, nous discutons** les aspects de supervision et de contrôle à distance. Nous utilisons la plateforme Firebase pour gérer et superviser la serre, offrant des fonctionnalités de stockage en temps réel des données des capteurs, de notification instantanée et de gestion sécurisée des utilisateurs. L'application

mobile développée avec Blynk permet de surveiller et de contrôler les conditions de la serre à distance, assurant une gestion efficace et réactive.

Ce mémoire s'inscrit dans la dynamique de modernisation de l'agriculture en Algérie et vise à fournir des solutions concrètes pour répondre aux besoins des agriculteurs tout en favorisant une agriculture durable et technologiquement avancée.



Chapitre I :

Généralité sur les serres Agricoles

I.1 Introduction

Les serres agricoles ont un rôle crucial dans la production alimentaire mondiale, en offrant un environnement contrôlé qui favorise la croissance des plantes en dehors des saisons traditionnelles de croissance. Ces structures offrent de nombreux avantages, notamment une augmentation des rendements, une meilleure qualité des cultures et une utilisation plus efficace des ressources telles que l'eau et les nutriments.

Ce chapitre présente un aperçu général sur les serres agricoles, en mettant l'accent sur leur définition, leur construction, leur classification, ainsi que sur les différents types de serres utilisées dans notre région. De plus, il aborde en détail le contrôle environnemental des serres, en se concentrant sur les facteurs tels que la température, l'humidité, la lumière, les niveaux de CO₂ et O₂, l'irrigation, ainsi que la ventilation [11].

I.2 Généralité sur les serres agricoles

Les serres agricoles sont des structures spécialement conçues pour créer un environnement contrôlé favorable à la croissance des plantes.

I.2.1 Définition et l'intérêt de la serre

Une serre est une structure plus ou moins fermée destinée à protéger une culture des conditions climatiques difficiles, ou qui les améliore. Les serres peuvent être de structures et de dimensions très diverses :

- Elles ont toutes une caractéristique commune : des parois et/ou une couverture transparente qui laissent passer la lumière nécessaire aux plantes.
- Une serre permet de mieux gérer le climat, la température, la lumière, l'eau et les apports d'engrais et de produits phytosanitaires [1].

Grâce à la possibilité de contrôler les conditions climatiques de la culture et de favoriser la production à toutes les saisons, l'agriculture intelligente vise principalement à augmenter la productivité et les revenus agricoles [1].

Un exemple d'une serre agricole est représenté dans la figure suivante.



Figure I. 1.Exemple d'une serre agricole.

I.2.2 Construction de la serre d'agrément

Les serres d'agrément existent dans une variété de formes et de matériaux et leur choix doit être fait en fonction de l'utilité que l'agriculteur en aura.

Les matériaux fréquemment utilisés pour l'armature de la serre sont :

- Les structures en aluminium.
- Les structures en acier.
- Les structures en bois.
- Les structures en plastique.

Les matériaux fréquemment utilisés pour les panneaux de la serre sont [3] :

- Le verre horticole,
- Le verre trempé,
- Le polycarbonate alvéolaire,
- Le polycarbonate transparent.

I.2.3 Choix de la serre et de sa couverture

Les principaux critères de choix d'une serre et de sa couverture sont les suivants [4] :

- La transmission du rayonnement utile à la photosynthèse (elle détermine le potentiel de production).
- La solidité et la durabilité (attention aux zones comportant des risques climatiques).

- La fonctionnalité et la facilité de maintenance (elle joue un rôle dans les coûts de main d'œuvre).
- Les économies d'énergie (quand il faut chauffer).
- Le prix.

I.2.4 L'emplacement des serres

Il ne suffit pas d'ériger une serre pour y créer automatiquement une oasis de verdure ou de fleurs. Il faut bien choisir son emplacement. Qu'elle soit préfabriquée ou construite sur place, la serre est idéalement installée sur un site très ensoleillé. Évidemment, la proximité des arbres et autres sources d'ombrage (bâtiments, etc.) est à éviter. Un emplacement bien drainé est essentiel ; la serre sera ainsi plus stable et bien au sec. Aussi, en prévision de l'hiver, le site choisi ne doit pas être propice aux fortes accumulations de neige qui occasionneraient une surcharge le long des murs de la serre. À tout le moins, la neige doit pouvoir être déblayée facilement [9].

I.2.5 Les différents types de serre

Le type de serre est classé en fonction du matériau de revêtement, du contrôle environnemental, de la forme, de la structure et du coût [1]. On distingue

- Serres basées sur les matériaux de revêtement :
- Chaque recouvrement présente des avantages et des inconvénients. Il est crucial de prendre en considération le coût, la durabilité, le poids, la facilité de réparation ou de remplacement, la transmission de la lumière et la circulation de l'énergie lors de la sélection d'un matériau de revêtement pour une serre agricole. Les plus utilisées sont
- Polyéthylène (PE)
- Verre de fibres
- Polycarbonate
- Serres basées sur le coût : on trouve
 - Faible coût : Serre tunnel
 - Coût moyen : Serre en polycarbonate
 - Coût élevé : Serre de haute technologie.

- Serres basées sur la forme et la structure :

Elle se distingue selon la forme et la structure (figure I.2). Pour plus de détails, peut se référer aux travaux de [11] :



a). Envergure uniforme.



b). Appentis.



c) Serre gable.



d). Arc gothique.



e). Portée unique



f). Quonset.



g). Double-Span ou multi-span



h) Serre enterrée ou souterraine

Figure I. 2. Différents types de serre

- Serres basées sur le contrôle environnemental

Les conditions environnementales sont contrôlées de différente manière :

- Serres à ventilation naturelle : Ces serres utilisent des ouvertures, des lucarnes ou des portes pour permettre à l'air extérieur de circuler à l'intérieur de la serre. La ventilation naturelle peut être contrôlée manuellement ou automatiquement en fonction des conditions météorologiques.
- Serres refroidies par évaporation : Ces serres utilisent un système d'évaporation pour abaisser la température à l'intérieur de la serre. L'eau est généralement pulvérisée ou évaporée à l'aide de ventilateurs pour refroidir l'air ambiant.
- Serres de haute technologie : Ces serres utilisent des systèmes de contrôle environnemental avancés, tels que des capteurs de température et d'humidité, des systèmes d'ombrage automatique, des systèmes de chauffage et de refroidissement sophistiqués, ainsi que des systèmes d'irrigation automatisés. Ces serres sont souvent utilisées pour la culture de plantes à haute valeur ajoutée ou dans des conditions climatiques extrêmes.

I.2.6 Classification des serres

Les serres sont un investissement basé sur la technologie. Plus le niveau de technologie utilisé est élevé, plus le potentiel de conditions de croissance étroitement contrôlées est élevé [1].

- Serres à faible technologie

Les serres à faible technologie sont des structures simples et économiques conçues pour fournir un environnement contrôlé pour la culture des plantes. Elles sont généralement utilisées pour prolonger la saison de croissance, protéger les cultures des intempéries et créer des conditions favorables à la croissance des plantes. Ces serres, mesurant moins de 3 mètres de hauteur, sont caractérisées par leur simplicité de construction et leur utilisation de matériaux peu coûteux, ce qui les rend accessibles aux petits agriculteurs et aux agriculteurs des régions en développement.

En Algérie, les serres à faible technologie sont largement utilisées, en particulier dans les zones rurales, pour diverses cultures telles que les légumes, les fruits et les plantes. Ces serres sont souvent construites avec des matériaux locaux tels que du bois, du métal et du plastique, et sont conçues pour résister aux conditions climatiques locales, y compris aux fortes températures et aux vents forts .



Figure I. 3. Les serres à faible technologie (serre tunnel).

- Serres à technologie moyenne

Les serres de niveau moyen sont généralement caractérisées par des murs verticaux mesurant plus de 2 mètres mais moins de 4 mètres de haut avec une hauteur totale généralement inférieure à 5,5 mètres. Ils peuvent avoir une ventilation sur le toit ou les parois latérales ou les deux. Les serres de niveau moyen sont généralement recouvertes d'un film plastique simple ou double peau ou de verre et utilisent divers degrés d'automatisation (Figure I. 4). Ces serres offrent un compromis entre coût et productivité et représentent une base économique et environnementale raisonnable pour l'industrie.



Figure I. 4. Les serres de moyenne technologie.

- Serres de haute technologie

Les serres de haut niveau offrent des performances de récolte supérieure, elles ont une hauteur de mur d'au moins 4 mètres, le sommet du toit pouvant atteindre 8 mètres au-dessus du sol. Ces structures offrent des performances culturales et environnementales supérieures. Les structures de haute technologie auront une ventilation sur le toit et peuvent également avoir des événements sur les parois latérales. Le revêtement peut être un film plastique (simple ou double), une feuille de polycarbonate ou du verre. Les contrôles environnementaux sont presque toujours automatisés. Ces structures offrent d'énormes possibilités de durabilité économique et environnementale. L'utilisation de pesticides peut être considérablement réduite. Les structures de haute technologie offrent une vue généralement impressionnante et, à l'échelle internationale, participent de plus en plus aux opportunités de l'agro-industrie (Figure I. 5) [1].



Figure I. 5.Exemple de serres de haute technologie.

I.3 Les serres agricoles en Algérie

Les serres agricoles en Algérie ont un rôle essentiel dans le développement de l'agriculture du pays. Ils offrent un environnement contrôlé dans lequel une variété de produits agricoles peut être cultivée même dans des conditions climatiques difficiles. Ces structures contribuent ainsi à accroître la production alimentaire, à améliorer la qualité des produits et à diversifier l'économie agricole algérienne.

I.3.1 Types des serres en Algérie

Les serres en plastique sont spécialement conçues pour les climats tempérés en raison de leur faible coût et de leur durée de vie limitée à quelques saisons pour la couverture.

Les plus répandues sont les serres tunnels et les serres multi-chapelles [14].

Les serres tunnel, couramment vues en Algérie, se distinguent par leur simplicité de construction et leur faible coût ; ils sont donc plus susceptibles d'être choisis comme choix idéal pour les petits agriculteurs. Ils contribuent à protéger les cultures saisonnières des intempéries et des ravageurs tout en permettant un contrôle aisé de l'environnement interne en termes de température, d'humidité et de ventilation.

En Algérie, les serres multi-chapelles sont des structures appréciées pour leur capacité à offrir une grande surface de production, ce qui est très pratique pour les travaux agricoles de moyenne et grande taille. Ces serres sont construites à partir de matériaux robustes – acier et verre – qui les rendent résistantes aux intempéries, offrant ainsi une longue durée de vie et une protection des cultures sur le long terme. La résistance d'une telle structure assurerait ainsi une protection optimale de la culture sur toute sa durée de vie.



Figure I. 6. Serre multi-chapelles à wilaya de Taref.

Ces dernières années, avec l'avancée des technologies, le domaine de l'agriculture en Algérie a connu une innovation majeure grâce à l'introduction des serres automatisées, aussi appelées serres intelligentes. Leur apparition découle de la nécessité croissante de maximiser la production agricole tout en minimisant les ressources utilisées et l'impact environnemental. Ces serres intègrent des technologies avancées telles que des capteurs, des systèmes de contrôle climatique, des solutions d'irrigation de précision et des systèmes de gestion automatisée des nutriments. Ce type de serre est également utilisé comme serre expérimentale dans le domaine de la recherche scientifique pour des essais et des tests en biologie et en agronomie. Ces technologies contribuent non seulement à augmenter les rendements, mais aussi à réduire les coûts de production et à promouvoir des pratiques agricoles durables. L'adoption croissante des serres automatisées témoigne de l'importance de l'innovation technologique dans la réponse aux défis alimentaires mondiaux et à la nécessité de protéger notre environnement.

1.3.2 Types de culture

Les cultures sous-serre occupent une superficie totale annuelle de 14.000 ha, soit près de 320.000 serres-tunnels de 400 m². Une serre peut être utilisée deux fois par an (2 cultures). La tomate est la première culture pratiquée sous serres avec 4500 ha suivie par le piment et poivron avec 4200 ha. Les cucurbitacées (courgette, concombre) occupent 2000 ha. Ces cultures emploient beaucoup de main d'œuvre, car toutes les opérations culturales se font manuellement. La productivité des serres est variable selon les cultures, la saison et les régions, mais elle est beaucoup plus élevée que celle des cultures de plein champ (mêmes espèces). Ces cultures assurent l'approvisionnement du marché en légumes frais toute l'année et dégagent même un surplus pour l'exportation (janvier-février-mars) [12].

1.3.3 Les fournisseurs en Algérie

Il existe plusieurs fournisseurs en Algérie dans la fabrication et l'installation des serres multi chapelle [13]. Nous mentionnons sans toutefois s'y limiter:

- Modern Agriculture Company de Rouiba
- Groupe Tahraoui, SARL de Biskra
- P.F.A, SARL de Ouled Moussa, etc.

I.4 Le contrôle des serres agricoles

Le contrôle des serres agricoles est un aspect important de l'agriculture moderne. Il s'agit d'assurer des conditions optimales de croissance pour les plantes, en contrôlant des paramètres tels que la température, l'humidité, l'éclairage et la ventilation. Cela peut se faire à l'aide de capteurs et de systèmes automatisés qui ajustent ces paramètres en fonction des besoins des plantes. Ce contrôle permet d'optimiser la production agricole et de réduire les pertes de récolte.

I.4.1 Les facteurs environnementaux et impact sur les plantes

Il existe plusieurs facteurs environnementaux qu'on doit contrôler dans les serres agricoles.

- Contrôle de la température

Un bon contrôle de la température est le facteur le plus important pour assurer une bonne croissance des plantes. En fait, la température est l'un des paramètres les plus importants dans la gestion du climat et aussi le plus difficile à gérer. La température optimale diffère d'une culture à l'autre, et selon le stade de croissance de la culture, elle affecte plusieurs phénomènes bioénergétiques (respiration, photosynthèse, etc.). Tout écart important de température par rapport à la température typique de la plante entraînera une croissance plus lente et moins bonne, c'est pourquoi, dans certains cas, nous notons l'importance de ce paramètre dans les systèmes de gestion des serres agricoles [2].

- Contrôle d'Humidité

L'humidité est la présence d'eau ou de vapeur d'eau dans l'air ambiant, elle influe sur la croissance de la plante et sur le développement des maladies. En pratique quand on parle de la mesure de l'humidité, on fait allusion au taux d'humidité exprimé en % ce qui représente l'humidité relative. L'humidité de l'air et la température présentent une grande relation. En effet la capacité de l'air à retenir la vapeur d'eau double chaque fois que la température augmente d'une dizaine de degrés. Maintenir un niveau d'humidité et de température optimal dans une serre permet d'avoir un bon rendement de croissance. Le contrôle de tous ces paramètres se fait via de nombreux dispositifs des plus simples au plus complexes tels que : les ventilateurs extracteurs, les chauffages, vapeur d'eau [8].

- Contrôle de la lumière

Une régulation précise de la lumière dans les serres agricoles est cruciale pour optimiser la croissance des plantes. Cela affecte la photosynthèse, le métabolisme et le développement des cultures. Un éclairage soigneusement ajusté peut contrôler les cycles de vie, optimiser la biomasse, accélérer la floraison et améliorer la qualité de la récolte. Des systèmes d'éclairage artificiel modernes complètent la lumière naturelle, garantissant une croissance continue quelles que soient les conditions météorologiques. Une gestion précise de la lumière dans les serres agricoles automatisées maximise la productivité, améliore la qualité des récoltes et favorise une utilisation efficace des ressources énergétiques pour une agriculture durable [36].

- Contrôle des niveaux de CO₂ et O₂

Dans les serres automatisées, une gestion précise des niveaux de dioxyde de carbone (CO₂) et d'oxygène (O₂) est essentielle pour favoriser une croissance optimale des plantes. Les systèmes automatisés ajustent ces niveaux en temps réel, rendant la photosynthèse plus efficace, accélérant la croissance et augmentant les rendements. En surveillant et en ajustant ces paramètres, les producteurs peuvent optimiser la productivité tout en utilisant efficacement les ressources, contribuant ainsi à maximiser la santé et les rendements des cultures.

- Irrigation

C'est une technique utilisée dans les serres agricoles pour fournir de l'eau de manière contrôlée aux cultures, en fonction de leurs besoins spécifiques en eau et des conditions environnementales à l'intérieur de la serre. L'irrigation en serre vise à maintenir un niveau optimal d'humidité dans le sol pour favoriser la croissance des plantes, tout en minimisant le gaspillage d'eau et en évitant les problèmes liés à un excès ou à une insuffisance d'humidité.

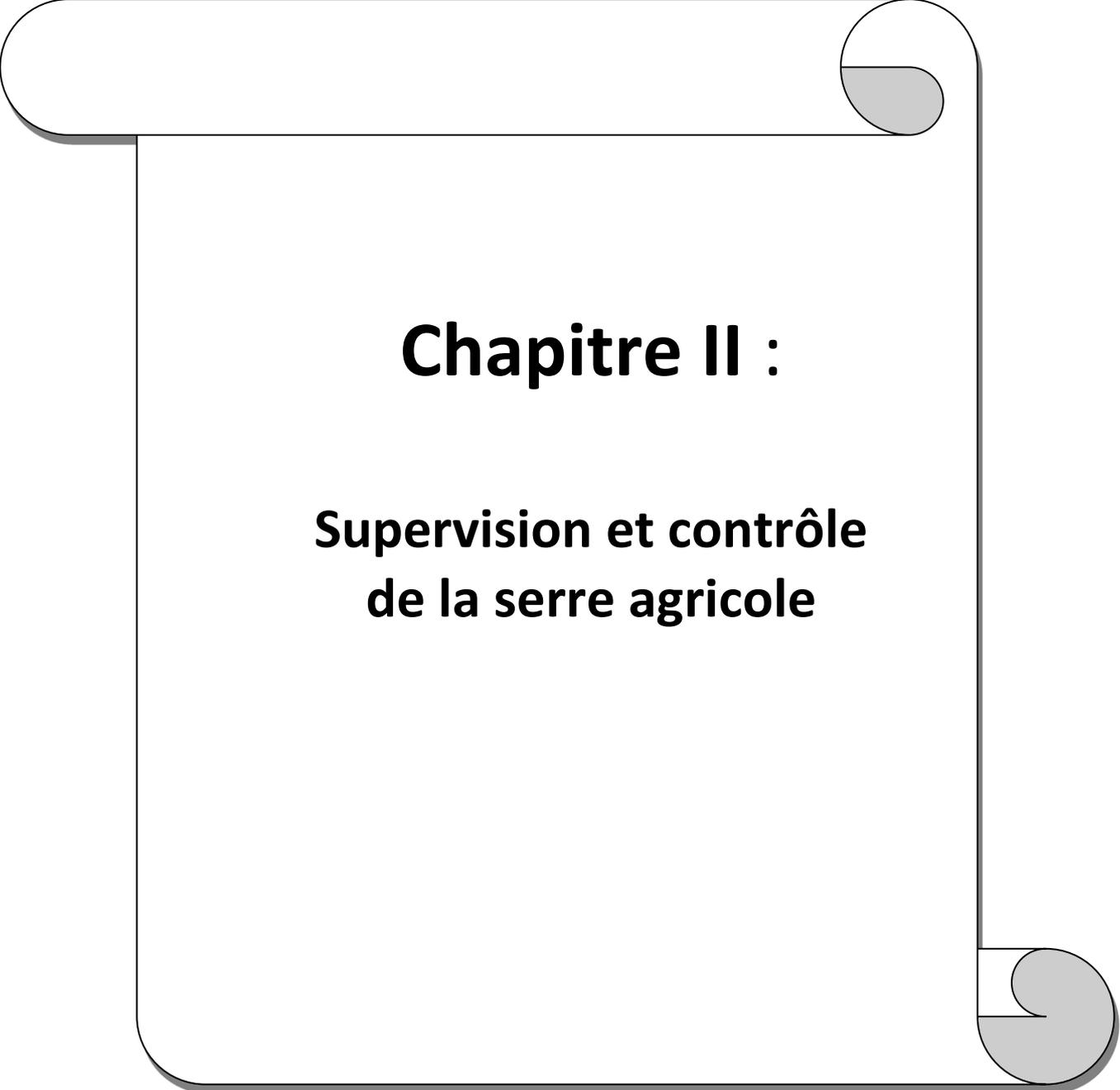
- Ventilation

La ventilation des serres agricoles a un rôle essentiel en affectant directement la photosynthèse et la respiration des plantes. Il favorise la circulation de l'air, régule la concentration de dioxyde de carbone (CO₂) pour stimuler la photosynthèse et aide à maintenir des conditions optimales de température et d'humidité. Une ventilation bien

contrôlée réduit le risque de stress thermique et d'accumulation excessive d'humidité, maintenant ainsi des niveaux de respiration appropriés pour les plantes.

I.5 Conclusion

Ce chapitre présente les fondamentaux des serres agricoles, incluant leur définition, leur construction et leur classification. Nous avons examiné les différents types de serres, leur utilisation en Algérie, ainsi que l'impact des facteurs environnementaux sur la croissance des plantes. Ces connaissances de base sont essentielles pour la création et la gestion de notre mini serre agricole automatisée, qui sera développée dans les chapitres suivants.



Chapitre II :

Supervision et contrôle de la serre agricole

II.1 Introduction

L'essor des technologies agricoles automatisées a révolutionné le secteur de l'agriculture, offrant des opportunités sans précédent pour accroître l'efficacité, la durabilité et la productivité. Au cœur de cette transformation, la serre agricole automatisée émerge comme un écosystème technologique intégré, permettant un contrôle précis des paramètres environnementaux et une gestion intelligente des cultures.

Ce chapitre se penche sur un aspect essentiel de ce paysage technologique en évolution rapide : la supervision de la serre agricole automatisée. La surveillance, compris comme le suivi continu et la gestion proactive des conditions à l'intérieur de la serre, devient une composante cruciale pour garantir le bien-être des plantes, optimiser les rendements et répondre aux défis climatiques changeants.

II.2 Etat de l'art

Une serre offre un environnement contrôlé essentiel à la croissance optimale des cultures, améliorant ainsi les rendements et la qualité des récoltes. Elle permet de réguler des paramètres comme la température de l'air intérieur, la température du sol, l'humidité relative, l'intensité lumineuse et la concentration en dioxyde de carbone. Dans la littérature, les recherches se divisent principalement en deux catégories : la modélisation mathématique et la simulation du climat des serres, axées sur la caractérisation quantitative des interactions entre les conditions météorologiques extérieures, le climat intérieur, la structure de la serre, les systèmes de contrôle climatique et les cultures cultivées [29] et la prédiction du comportement thermique [30]. Cependant, la conception et la mise en œuvre des serres agricoles automatisées ont suscité un vif intérêt et ont attiré une attention considérable. Dans [6, 1 et 31], les travaux se concentrent sur la conception d'un système de télégestion pour la surveillance à distance des serres. Les auteurs de [32, 33-34] ont développé un prototype de serre automatisée basé sur Arduino pour le contrôle de certains paramètres climatiques. L'utilisation de sources d'énergie renouvelable est explorée

dans [35 et 7], visant à rendre les serres autonomes en énergie grâce à l'installation de panneaux solaires adjacents.

Cependant, tous ces projets se limitent à des serres conventionnelles dans leur conception et leur construction (toit fermé, sans fenêtrage, etc.), en se concentrant sur la régulation des paramètres climatiques internes ou externes de la serre.

II.3 Historique de la supervision

L'histoire de la supervision industrielle débute avec la révolution industrielle du 18^{ème} siècle, où les machines étaient surveillées manuellement. Les années 1960-1970 ont marqué l'introduction des premiers systèmes de supervision informatisés, connus sous le nom de SCADA. Durant les années 1980-1990, les avancées technologiques ont permis l'émergence de systèmes plus puissants. Avec l'avènement d'Internet et des technologies web dans les années 2000, la supervision à distance a ouvert de nouvelles perspectives. Aujourd'hui, la supervision industrielle est un élément indispensable de l'industrie moderne, améliorant la productivité, la sécurité et la qualité des produits. Les tendances futures, telles que l'intelligence artificielle et l'Internet des objets (IoT), promettent de transformer la supervision en automatisant l'analyse des données et en connectant davantage d'équipements et de capteurs.

L'histoire de la supervision dans le domaine des serres agricoles est marquée par des innovations technologiques allant des structures rudimentaires de l'époque romaine à des systèmes sophistiqués et automatisés utilisant les dernières technologies. Cette évolution a permis d'optimiser les conditions de croissance, d'améliorer les rendements et de rendre la production agricole plus durable et efficace.

II.4 Généralité sur la supervision

La supervision, au cœur de la gestion des systèmes complexes, est un processus dynamique qui assure une surveillance continue des paramètres clés, favorisant des performances optimales en temps réel. Son Objectif majeur est de maximiser l'efficacité, réduire les coûts et prévenir les défaillances.

Les composants, des capteurs, des algorithmes d'analyse, s'intègrent pour créer un système intégré. L'interaction avec l'automatisation crée une synergie, permettant une gestion réactive et adaptative des systèmes, soutenant une prise de décision éclairée et une optimisation continue.

II.5 Architecture générale de la Supervision

L'architecture de la supervision, dans le contexte des serres agricoles automatisées, repose sur une structure technique complexe conçue pour collecter, traiter et visualiser des données cruciales en temps réel. Plusieurs composants interconnectés forment cette architecture, contribuant à la prise de décision proactive et à l'optimisation des conditions environnementales.

Il combine des capteurs, des réseaux de communication, des systèmes d'acquisition de données, des serveurs/Cloud, des algorithmes d'analyse, des interfaces utilisateur et des systèmes de contrôle automatisé pour créer un écosystème technologique intégré, assurant une gestion précise et réactive des serres agricoles automatisées.

II.5.1 Surveillance environnementale

Elle regroupe le contrôle des différents facteurs environnementaux.

- Contrôle de Température et humidité

Le contrôle de la température et l'humidité dans les serres agricoles automatisées est réalisé à l'aide de capteurs de température et humidité pour surveiller les conditions. Ces capteurs transmettent des données au contrôleur, qui analyse les informations et prend des décisions. Si la température ou bien l'humidité dépasse ou descend en dessous d'un seuil défini, le contrôleur active des actionneurs, tels que des systèmes de chauffage ou de ventilation et système d'humidification, pour réguler ses variables et maintenir des conditions optimales pour la croissance des plantes.

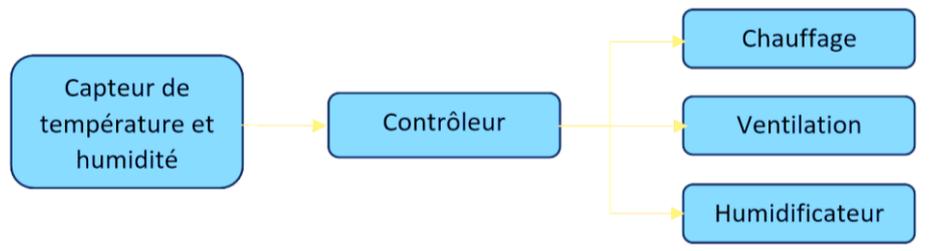


Figure II. 1. Schéma fonctionnel de contrôle de température et humidité.

- Contrôle de la lumière

Le contrôle de la lumière dans une serre automatisée se fait par le biais de capteurs de luminosité. Ces capteurs transmettent les données à un contrôleur, qui analyse les informations pour garantir que l'éclairage répond aux besoins spécifiques des plantes. Si nécessaire, le contrôleur active des actionneurs tels que des dispositifs d'éclairage artificiel ou des stores automatiques pour ajuster l'intensité lumineuse, favorisant ainsi la photosynthèse et la croissance optimale des plantes.



Figure II. 2. Schéma fonctionnel de contrôle de lumière.

- Contrôle des niveaux de CO₂ et O₂

Le contrôle des niveaux de CO₂ et O₂ dans une serre automatisée implique l'utilisation de capteurs spécialisés qui surveillent en continu ces gaz. Les données sont transmises à un contrôleur qui après l'analyse active des actionneurs tels que des systèmes de ventilation pour ajuster les concentrations de CO₂ et O₂.

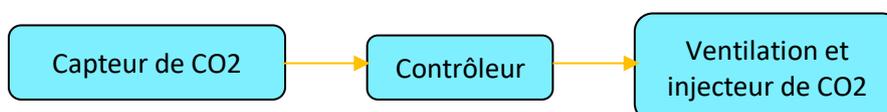


Figure II. 3. Schéma fonctionnel de contrôle de CO₂.

II.5.2 Gestion de l'Irrigation

La gestion de l'irrigation se relie avec deux parties principales ; le contrôle d'humidité du sol et la commande de système d'irrigation automatique.

- Contrôle d'humidité du sol

Le contrôle de l'humidité du sol dans les serres automatisées repose sur l'utilisation de capteurs spécialisés qui surveillent en permanence les niveaux d'humidité du sol. Ces capteurs transmettent des données à un contrôleur qui, après analyse, prend des mesures correctives si les niveaux d'humidité sont en dehors d'une plage idéale prédéfinie. Les mesures correctives impliquent souvent l'activation d'actionneurs, tels que des systèmes d'irrigation automatiques.

Les valeurs optimales d'humidité du sol varient en fonction du type de culture, mais se situent généralement entre 60% et 80%. Ces valeurs fournissent aux plantes suffisamment d'eau, favorisent une absorption efficace des nutriments et minimisent le risque de stress hydrique. Il convient toutefois de noter que ces chiffres peuvent varier en fonction du stade de croissance de la plante et des caractéristiques spécifiques de chaque culture.

- Systèmes d'irrigation automatique

Le fonctionnement d'un système d'irrigation automatisé dans une serre agricole repose sur des capteurs qui mesurent l'humidité du sol. Ces capteurs transmettent les données à un contrôleur central qui analyse les niveaux d'humidité. Si le sol est trop sec, le contrôleur active des actionneurs, généralement des vannes électriques, pour déclencher l'irrigation.

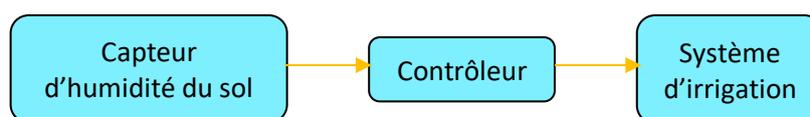


Figure II. 4. Schéma fonctionnel de système d'irrigation.

II.5.3 Systèmes d'Alerte et notifications

Les systèmes d'alarme intelligents améliorent la surveillance des serres automatisées en prévoyant les conditions anormales et en réagissant rapidement. Des solutions intégrées utilisant des capteurs de température, d'humidité, de lumière et de CO₂ assurent une surveillance complète. Si des changements sont détectés, le système déclenche une notification immédiate par message texte, e-mail ou alerte visuelle, permettant aux producteurs de prendre des mesures correctives avant d'affecter la santé

des plantes. L'intégration de données météorologiques en temps réel permet de prédire les changements climatiques externes, et le système peut activer des protocoles d'urgence, tels que l'arrêt automatique de l'irrigation en cas de dysfonctionnement, contribuant ainsi à protéger les ressources.

II.5.4 Génération des rapports automatique

La génération de rapports réguliers sur les conditions des serres est essentielle pour l'agriculture automatisée. Cette approche permet une compréhension continue des conditions de serre en collectant fréquemment des données sur les niveaux de température, d'humidité, de lumière et de dioxyde de carbone. Les rapports générés à intervalles définis permettent une évaluation précise des tendances, des changements saisonniers et des performances des cultures. L'automatisation de ce processus permet aux décideurs agricoles de prendre des décisions éclairées, de prévoir les ajustements nécessaires et d'optimiser les conditions pour favoriser une croissance saine des plantes, contribuant ainsi à accroître l'efficacité opérationnelle et la conservation des ressources.

Nous pouvons stocker les informations sur des bases des données et envoyer ses rapports par des messages, email, affichage sur l'interface homme-machine, etc.

II.5.5 Interface Utilisateur / Interface Homme-Machine

- Définitions :
- Les interfaces homme-machine, en anglais human machine interface (HMI), sont essentielles pour faciliter la communication entre les opérateurs humains et les systèmes automatisés de gestion des serres. L'interface permet aux utilisateurs tels que les agriculteurs ou les gestionnaires de serres d'interagir efficacement avec plusieurs paramètres environnementaux et équipements automatisés.
- Les périphériques d'entrée tels que les écrans tactiles, les claviers et les interfaces mobiles permettent aux utilisateurs d'envoyer des commandes, de surveiller les conditions de la serre et d'ajuster les paramètres en temps réel. Par exemple, les opérateurs peuvent ajuster le volume d'irrigation, la température, la lumière et d'autres variables importantes pour optimiser les conditions de croissance des plantes.

- Ergonomie et Accessibilité

L'ergonomie et l'accessibilité dans les serres agricoles, sont importantes pour assurer une interaction efficace entre les utilisateurs et les systèmes automatisés.

En suivant les conseils ci-dessous, nous pouvons améliorer significativement l'ergonomie et l'accessibilité des HMIs dans les serres agricoles, facilitant ainsi leur utilisation quotidienne et contribuant à une gestion efficace des cultures :

- **Étude des utilisateurs** : Comprendre les besoins et les compétences des utilisateurs potentiels en concevant des interfaces qui permettent une utilisation confortable pour tous, y compris ceux ayant des limitations physiques ou sensorielles.
- **Conception intuitive** : Opter pour une interface simple et facile à comprendre et à utiliser. Utilisez des icônes et des menus clairs et évitez les interfaces surchargées.
- **Adaptabilité aux dispositifs** : Assurez-vous que l'interface fonctionne bien sur divers appareils.
- **Contrastes et lisibilité** : Choisir des couleurs et des polices pour une meilleure visibilité.
- **Disposition logique des informations** : Organisez les informations de manière hiérarchique et logique, en plaçant les données les plus importantes et les commandes les plus fréquemment utilisées à portée de main.
- **Feedback visuel et auditif** : Fournir des retours visuels et auditifs clairs lors de l'interaction avec l'interface. Intégrer des indications claires sur le succès ou l'échec d'une action.
- **Navigation facile** : Simplifier la navigation et créer des raccourcis logiques.
- **Support multi langues** : Permettre l'utilisation de plusieurs langues pour une compréhension universelle.
- **Test utilisateur** : Effectuer des tests réguliers et ajuster en fonction des retours d'utilisateurs.
- **Documentation et formation** : Offrir une documentation claire et concise sur l'utilisation de l'interface et assurez-vous que les opérateurs sont formés à son utilisation efficace.

- **Surveillance et maintenance** : Intégrer des fonctionnalités de surveillance de l'état de l'interface pour détecter les erreurs ou les dysfonctionnements potentiels, et assurer que la maintenance est facile et rapide.
- Visualisation des données

Pour mettre en œuvre la visualisation de données, il est important :

- D'établir une connexion entre les capteurs, les microcontrôleurs et les automates programmables industriels (API) pour collecter les données de la serre.
- De stocker ces données dans une base de données compatible, permettant une gestion et une analyse centralisées.
- D'utiliser des protocoles de communication Modbus TCP/IP ou OPC UA pour faciliter la communication entre les automates et les systèmes de supervision (HMI).
- De configurer un HMI, tel que celui intégré dans les automates programmables ou en utilisant des solutions logicielles telles que Node-RED, Grafana, ou d'autres outils adaptés à nos besoins.



Figure II. 5. Visualisation de données en temps réel.

II.6 Technologie utilisée dans la serre automatisée

Il existe de nombreuses technologies utilisées pour la surveillance et le contrôle des serres agricole.

II.6.1 Microcontrôleur

Un microcontrôleur (μc , uc, ou encore MCU en Anglais) est un circuit intégré compact conçu pour gérer des opérations spécifiques dans un système intégré. Il comprend le processeur, la mémoire et les périphériques d'entrée et de sortie situés sur une seule carte ou puce. Ces circuits sont utilisés dans les véhicules, les robots, les machines industrielles, les équipements médicaux, les émetteurs-récepteurs radios mobiles, les distributeurs automatiques et même les appareils électroménagers. Trois modèles sont particulièrement appréciés des entreprises : STM32, Uno, et PIC.

- Types de microcontrôleur

Dans le contexte des serres agricoles, le choix du type de microcontrôleurs pour les systèmes embarqués est crucial pour assurer le bon fonctionnement des dispositifs de contrôle et de gestion. Le type de microcontrôleurs choisi doit répondre aux exigences spécifiques des systèmes de contrôle et de gestion des serres agricoles, en tenant compte à la fois des performances requises, de la consommation d'énergie, de la connectivité, de la robustesse et de la sécurité.

On distingue :

Arduino : Construite autour de l'ATmega328, cette carte à MCU contient tout ce qui est nécessaire au fonctionnement du microcontrôleur. Elle possède 14 broches d'entrée et de sortie numériques (certaines en MLI et PWM), 6 entrées analogiques, un oscillateur à quartz de 16 MHz, un connecteur USB et une embase ICSP. La carte Uno s'utilise simplement via la liaison à un ordinateur. Elle s'alimente également à l'aide d'un bloc secteur externe, ou avec des piles [15].



Figure II. 6. Arduino UNO.

Tableau II. 1. Spécification technique de l'Arduino [27].

Microcontrôleur	<u>ATmega328P</u>
Tension de fonctionnement	5V
Tension d'entrée (recommandée)	7-12V
Tension d'entrée (limite)	6-20V
Broches d'E/S numériques	14 (dont 6 fournissent une sortie PWM)
Broches d'E/S numériques PWM	6
Broches d'entrée analogique	6
Courant CC per I/O broches	20 mA
Courant CC pour 3.3V broche	50 mA
Mémoire flash	32 Ko (ATmega328P) dont 0,5 Ko utilisé par le bootloader
SRAM	2 KB (ATmega328P)
EEPROM	1 KB (ATmega328P)
Vitesse de l'horloge	16 MHz
LED_BUILTIN	13
Longueur	68.6 mm
Largeur	53.4 mm
Poids	25 g

ESP8266/ESP32/ESP32-C3 : L'ESP32 est un microcontrôleur SoC (system on chip) puissant construit par Espressif. Du côté du système, l'ESP32 est une famille de systèmes sur puce (SoC) à faible coût et à faible consommation dotés de capacités Wi-Fi et Bluetooth bi-modes. En son cœur se trouve un microprocesseur TensilicaXtensa LX6 double ou monocœur, cadencé jusqu'à 240 MHz. L'ESP32 est hautement intégré avec des commutateurs d'antenne intégrés, des baluns RF, des amplificateurs de puissance, des amplificateurs de réception à faible bruit, des filtres et des modules de gestion de l'alimentation. Conçu pour les appareils mobiles, les appareils électroniques portables et les applications IoT, l'ESP32 présente des fonctionnalités d'économie d'énergie et de consommation ultra-faible, notamment une synchronisation d'horloge à haute résolution, une alimentation multimode et une mise à l'échelle dynamique de la puissance.



Figure II. 7. a) Node MCU ESP8266/32. b) ESP32-C3 RISC-V.

Le tableau II.2 récapitule les principales différences techniques entre un ESP8266, un ESP32, et un ESP32-C3 [16] :

Tableau II. 2. Différences techniques entre un ESP8266, un ESP32, et un ESP32-C3.

	ESP8266	ESP32	ESP32-C3
MCU	XtensaSingle-core 32-bit	Xtensa Dual-Core 32-bit	RISC-V 32-bits Single-Core
Wi-Fi	HT20 (802.11 b/g/n)	HT40 (802.11 b/g/n)	802.11.b b/g/n 2.4GHz
Bluetooth	Non	Oui (4.2 et BLE)	BLE 5.0
Fréquence	80Mhz	160 a 240 Mhz	160 Mhz
SRAM	64kB	520kB + 10 pour RTC	400kB

DRAM/ROM	96kB -	328kB -	- 384kB
Flash	4mB	4mB – 16 mB	4mB
GPIO	17	36	22
Analog GPIO	1	18	2

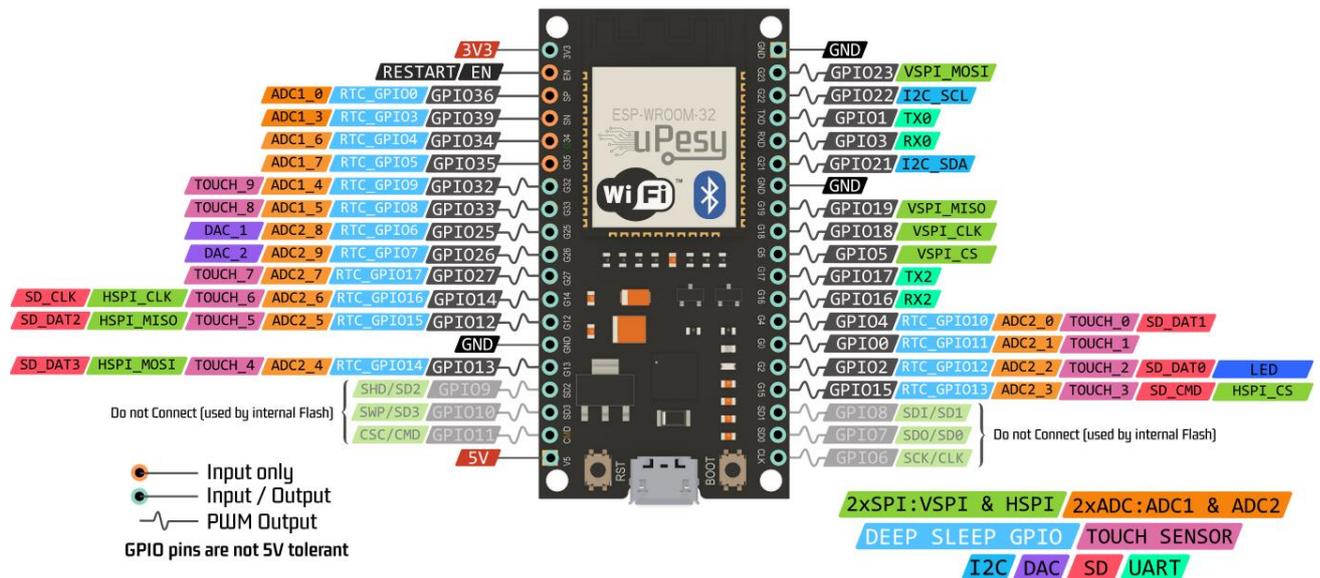


Figure II. 8. Schéma broches d'un ESP32.

Raspberry Pi : Le Raspberry PI appelé encore un nano-ordinateur. De la taille d'une carte de crédit, il est équipé du strict nécessaire :

- Un microprocessor ARM
- De la mémoire RAM
- Une carte video
- Une carte Ethernet
- Le Wi-fi

- Le Bluetooth



Figure II. 9. Raspberry Pi.

L'objectif principal du créateur du Raspberry Pi, Eben Upton, était de créer un outil très accessible pour permettre à tous les étudiants d'apprendre plus efficacement le développement et la programmation informatique. Il possède les spécifications techniques suivantes [17] :

- Processeur Quad Core 1,2 GHz Broadcom BCM2837 64 bits
- 1 Go de RAM
- LAN sans fil BCM43438 et Bluetooth Low Energy (BLE) intégrés
- Ethernet 100 bases
- GPIO étendu à 40 broches
- 4 ports USB2
- Sortie stéréo 4 pôles et port vidéo composite
- HDMI pleine taille
- Port caméra CSI pour connecter une caméra Raspberry Pi
- Port d'affichage DSI pour connecter un écran tactile Raspberry Pi
- Port Micro SD pour charger votre système d'exploitation et stocker des données
- Source d'alimentation Micro USB commutée améliorée jusqu'à 2,5 A.

II.6.2 Capteurs

Les capteurs ont rôle majeur dans la supervision et le contrôle de la plupart des systèmes automatiques, et dans les serres agricoles, les capteurs suivants peuvent être assemblés.

- Capteur de température et humidité DHT22

DHT22 est un capteur numérique de température et d'humidité. Il utilise un capteur d'humidité capacitif et une thermistance pour mesurer l'air ambiant et envoie un signal numérique à la broche de données. C'est très simple à utiliser. Les lectures du capteur peuvent durer jusqu'à 2 secondes.

Il suffit de connecter la première broche à gauche à l'alimentation de 3 à 5 V, la deuxième broche doit être branchée à la carte Arduino. La troisième broche est montée à la masse GND [18] (Figure II.11 a).

Les principales caractéristiques de DHT22 [18] :

- Puissance et E / S de 3 à 5 V.
- 2.5 mA max courant d'utilisation pendant la conversion (lors de la demande de données).
- Bon pour 0-100% de lectures d'humidité avec 2-5% de précision.
- Bon pour les lectures de température de -40 à 80 ° ± Précision ± 0,5 ° C.
- Pas plus de 0,5 Hz de fréquence d'échantillonnage (une fois toutes les 2 secondes).
- Taille du corps 27 mm × 59 mm × 13.5 mm (1.05 "× 2.32" × 0.53 ").
- Poids : 2,4 g.
- Capteur d'humidité du sol

Ce 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 (1 en présence d'eau et 0 sinon) et un mode analogique qui est plus précis. Les applications de ce capteur regroupent les systèmes d'arrosage automatique (Figure II.11 b).

Il possède les caractéristiques suivantes :

- Tension de fonctionnement : 3,3v - 5v

- Petite Taille - 1,6cm x 3cm
- Mode double sortie
- Sensibilité réglable avec potentiomètre intégré au tableau de bord Indicateur de puissance (LED rouge) et indicateur de sortie numérique (LED verte)
- (Driver : 2,2g 31mm x 14mm x 7mm) (sonde : 3g 60mm x 20mm x 2mm) (file : 1,1g)

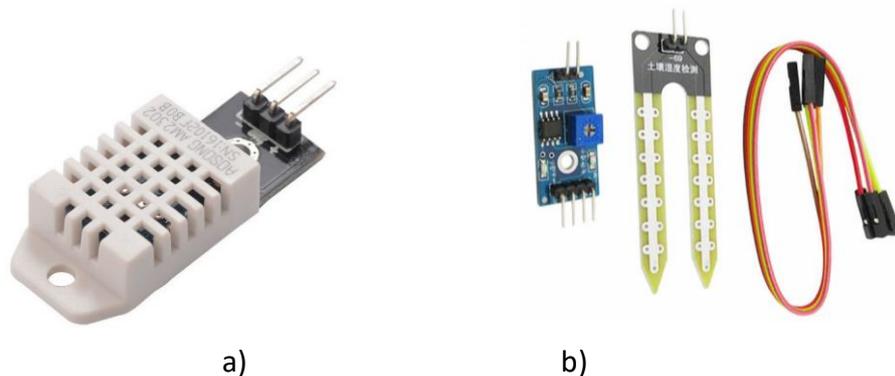


Figure II. 10 a) Capteur de température et d'humidité b). DHT22Capteur d'humidité du sol.

- Capteur de distance ultrason

Un capteur ultrasonique est un dispositif qui utilise des ondes sonores à haute fréquence, inaudibles par l'homme, pour mesurer la distance entre le capteur et un objet. Son fonctionnement repose sur deux principes fondamentaux : l'émission d'ondes ultrasonores et la réception de leurs échos.



Figure II. 11. Capteur ultrason HC- SR04.

Il possède deux fonctions :

- **Émission d'ondes ultrasonores** : Le capteur émet des impulsions sonores courtes à une fréquence généralement comprise entre 20 kHz et 10 MHz. Ces ondes se propagent dans l'air à la vitesse du son (environ 340 m/s).
- **Réception des échos** : Lorsque les ondes ultrasonores rencontrent un objet, elles sont réfléchies et reviennent vers le capteur sous forme d'échos. Le capteur calcule ensuite la distance entre lui et l'objet en mesurant le temps écoulé entre l'émission de l'impulsion et la réception de l'écho.

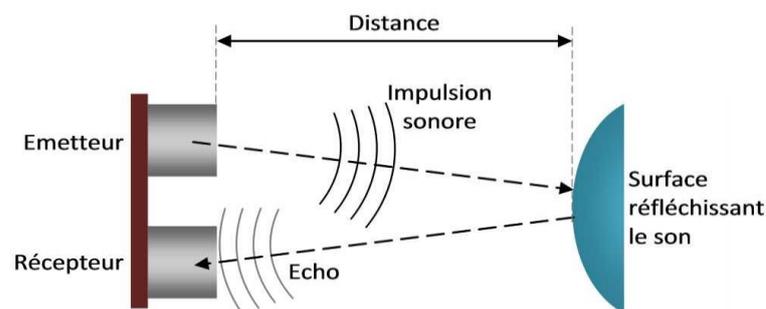


Figure II. 12. Fonctionnement du capteur ultrason.

- Capteur d'intensité lumineuse

Un capteur de lumière, également appelé capteur d'intensité lumineuse (LDR) (Light Dependent Resistor) ou cellule photoconductrice, est un détecteur qui permet de transformer la lumière en un courant électrique. Il s'agit d'un capteur passif et non pas un instrument de mesure. C'est une interface entre le processus de la lumière et une information sur cette intensité lumineuse. Ce composant électronique possède une résistance qui dépend du flux lumineux. L'intensité lumineuse est exprimée en lux [19].

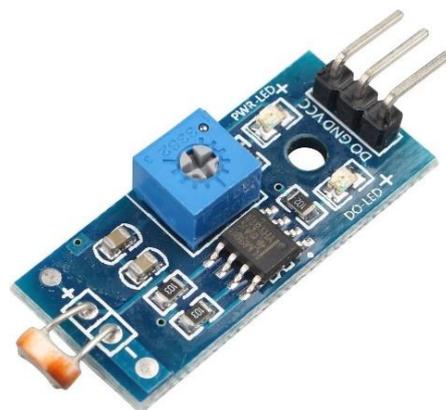


Figure II. 13. Module capteur d'intensité lumineuse LDR.

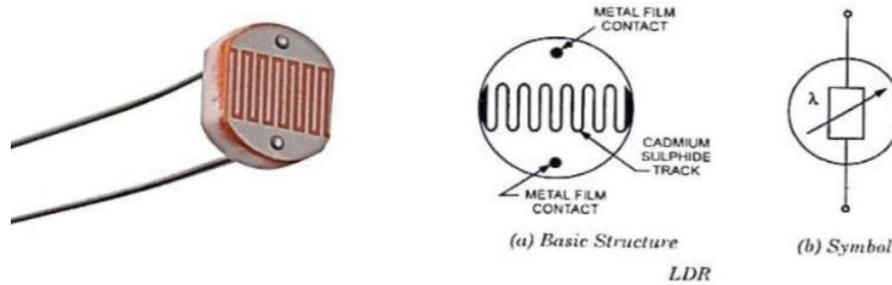


Figure II. 14. Photorésistance LDR.

- Capteur de CO2

Module basé sur le capteur de gaz MG-811 permettant de détecter la présence de CO2. Un booster 6V permet de mettre le capteur à température permettant une mesure précise.

Haute sensibilité et temps de réponse rapide. Le module possède une sortie analogique et une sortie digitale ON/OFF (seuil réglable par potentiomètre). Ce module se raccorde sur une entrée analogique d'une carte compatible Arduino, ESP, ou directement sur le Shield expansion E/S via le cordon inclus[20].



Figure II. 15. Capteur de CO2 SEN0159.

II.6.3 Actionneurs

Les actionneurs ont un rôle principal dans la supervision et le contrôle de la plupart des systèmes automatiques, et dans les serres agricoles, les actionneurs suivants peuvent être assemblés

- Pompe à eau

C'est une pompe à courant continu dont la tension est de 3 v, avec DC3 - utilisation 6 v alimentation [21] (figure II.18 a).



Figure II. 16. a) Pompe à eau [28] b) Ventilateur miniature [22].

- Ventilation

Elle est assurée par un ventilateur miniature 5V parfait pour modélisme et robotique (figure II.18 b). Elle possède les caractéristiques techniques suivantes :

- Dimensions: 25 x 25 x 7mm
 - Tension nominal: 5V
 - Poids: 6g
- Ecran LCD

Ce module d'affichage a un format d'affichage de caractères de 16×4, ce qui signifie qu'il peut afficher 16 colonnes et 4 lignes, soit un total de 64 caractères. Bien qu'il ne soit pas adapté à une utilisation en plein soleil, il est doté d'un rétroéclairage vert vif pour une visibilité claire dans diverses conditions d'éclairage. Avec un écran tactile en option, ce module d'affichage LCD dispose d'une interface 6800 parallèle 4 bits ou 6800 parallèles 8 bits et utilise la technologie d'affichage STN-LCD Blue [23].

Ses Caractéristiques sont les suivantes :

- Dimension du contour 87,0(L)x60,0(H)x12,5(T)mm
- Zone visuelle : 61,70 × 25,20 mm
- Zone active : 56,20 × 20,80 mm
- Taille des caractères : 2,95 × 4,75 mm

- Taille du point (pixel) : 0,55 × 0,55 mm
- Pas de point : 0,60 × 0,60 mm
- Direction de visionnage : 6h00
- Couleur du rétroéclairage : vert
- Courant de rétroéclairage (type) : 45 mA
- Alimentation (type) : 5,0 V
- Courant d'alimentation pour LCM (Max) : 1800uA
- Température de fonctionnement : -20 °C ~ 70 °C
- Température de stockage : -30 °C ~ 80 °C



Figure II. 17. Ecran LCD 16x4 avec I2C module.

- Alarmes

Le buzzer piézoélectrique ou bipeur émet un bip sonore pour attirer l'attention de tous.



Figure II. 18. Buzzer (Petit alarme).

- Servo moteur

Le servomoteur (souvent abrégé en « servo », provenant du latin “servus” qui signifie « esclave ») est un moteur capable de maintenir une opposition à un effort statique et dont la position est vérifiée en continu et corrigée en fonction de la mesure. C'est donc un système asservi.

Un servomoteur est un système motorisé capable d'atteindre des positions prédéterminées, puis de les maintenir.

De manière semblable aux moteurs à courant continu, les servomoteurs disposent d'un axe de rotation qui est en revanche entravé par un système de bridage.

Le signal de commande pour un servomoteur varie de 0 à 180°.



Figure II. 19. Servo moteur MG90S.

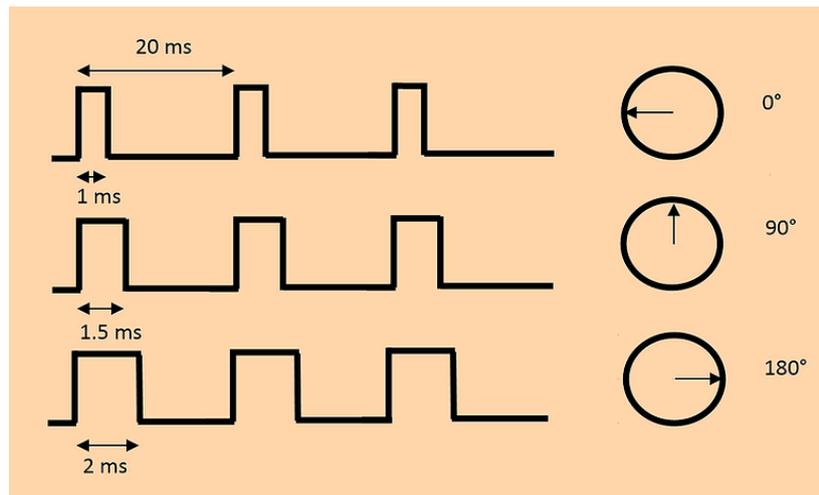


Figure II. 20. Variation du signal de commande

II.6.4 Bases de Données

La notion de base de données est complexe, et plusieurs définitions coexistent. On peut la définir comme une entité permettant de stocker des données de manière structurée, minimisant la redondance. Ces données sont destinées à être utilisées par divers utilisateurs. En d'autres termes, une base de données constitue un ensemble organisé de données, facilitant leur utilisation par des programmes liés à des applications distinctes et permettant une évolution indépendante des données et des programmes [24].

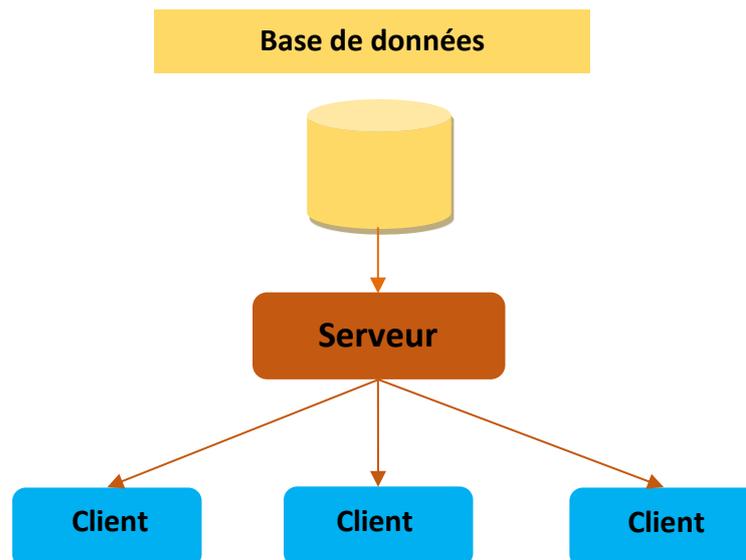


Figure II. 21. Une base de données clients-serveurs.

- Les types de base de données

On distingue deux types :

- a) Bases de données centralisées : Une base de données centralisée est gérée par un seul système de gestion de base de données (SGBD). Ses divers traitements sont confiés à une seule et même unité de traitement (Figure II.24).
- b) Bases de données distribuées : Le deuxième type peut avoir différents matériels informatiques (hardware), systèmes d'exploitation, SGBD, et différents schémas de base de données [24] (Figure II. 25).

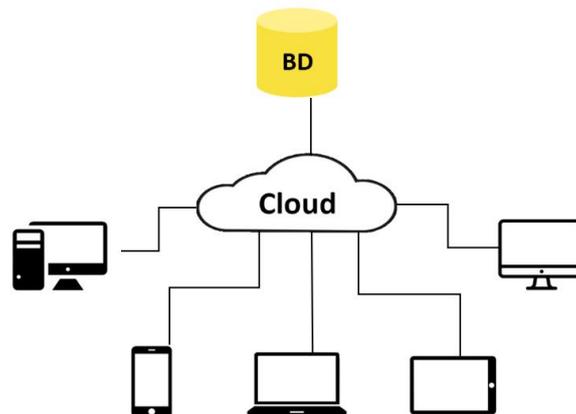


Figure II. 22. Base de données centralisé.

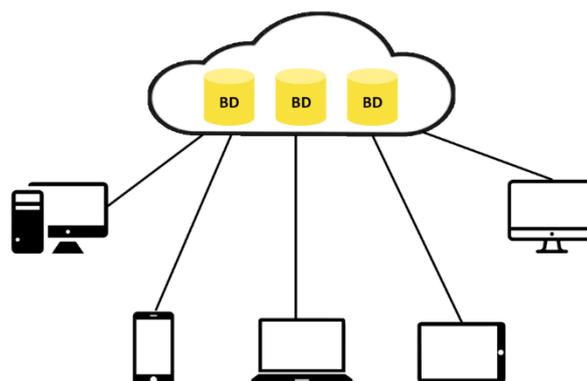


Figure II. 23. Base de données distribuées.

- MySQL

MySQL(Structured Query Language) est un système de gestion de bases de données relationnelles (SGBDR). Il est distribué sous une double licence GPL et propriétaire.

Il fait partie des logiciels de gestion de base de données les plus utilisés au monde, autant par le grand public (applications web principalement) que par des professionnels, en concurrence avec Oracle, PostgreSQL et Microsoft SQL Server [25].

- Firebase

Firebase est une plateforme de développement d'applications proposée par Google. Elle propose une gamme complète de services Cloud destinés à simplifier la création d'applications web et mobiles. L'un des services clés de Firebase est sa base de données en temps réel, qui permet de stocker et de synchroniser des données de manière instantanée et structurée.

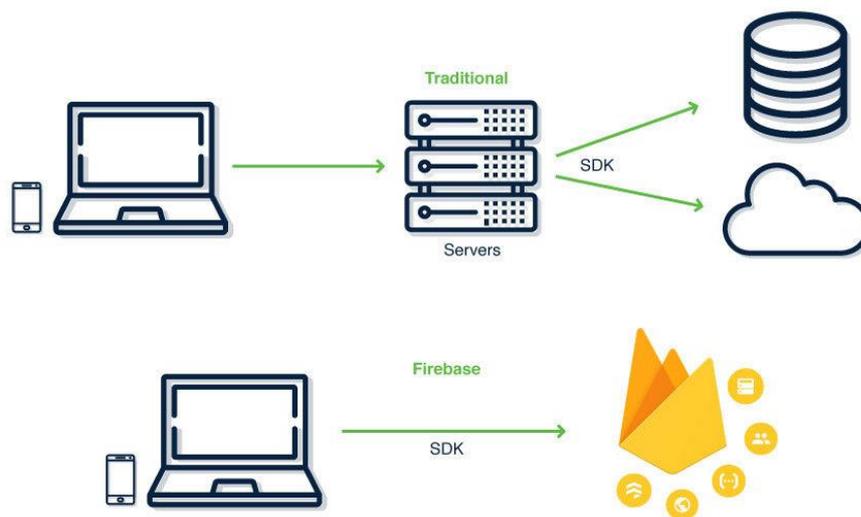


Figure II. 26. Différence entre base de données traditionnel et Firebase.

II.6.5 Logiciels et environnement de programmation

- Arduino IDE

L'environnement de développement intégré Arduino - ou logiciel Arduino (IDE) - contient un éditeur de texte pour écrire du code, une zone de message, une console de texte, une barre d'outils avec des boutons pour les fonctions courantes et une série de menus. Il se connecte au matériel Arduino ou ESP32 pour télécharger des programmes et communiquer avec eux.

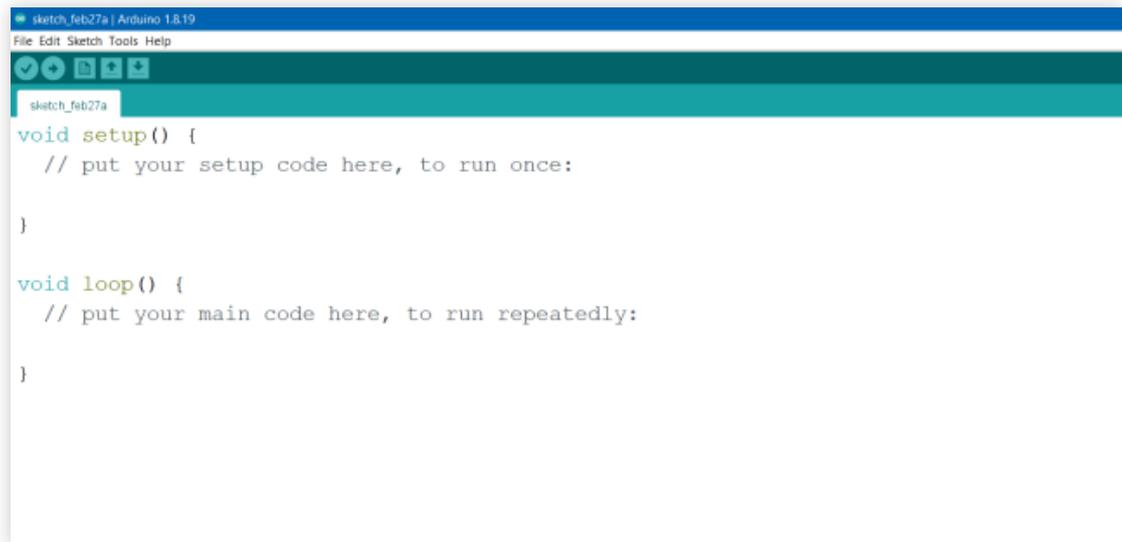


Figure II. 24. Interface utilisateur de l'Arduino IDE.

II.7 Techniques d'identification des maladies des plantes

L'identification des maladies des plantes peut être réalisée à l'aide de plusieurs techniques, telle que l'observation visuelle, consultation d'experts, diagnostic basé sur des caractéristiques biologiques, analyse microbiologique, techniques d'imagerie avancées, ...

En général, une combinaison de ces techniques est souvent nécessaire pour identifier avec précision les maladies des plantes, surtout lorsque plusieurs agents pathogènes peuvent causer des symptômes similaires.

Pour détecter les maladies dans les serres agricoles, plusieurs logiciels et technologies avancées sont développés. Parmi lesquelles :

- Imagerie hyper-spectrale : Cette technologie utilise des capteurs hyper spectraux pour détecter les changements subtils dans la couleur des plantes, ce qui peut indiquer la présence de maladies. Cette méthode permet une surveillance continue et non invasive des cultures, offrant ainsi la possibilité de détecter les maladies dès leur apparition.

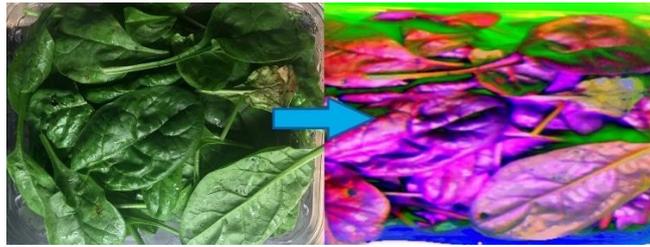


Figure II. 25. Détection des changements sur les plantes par la technique d'imagerie hyperspectrale

- Imagerie thermique : L'imagerie thermique est une autre technologie utilisée dans les serres agricoles pour détecter les maladies des plantes, ainsi que pour surveiller leur santé et leur développement. Les caméras thermiques peuvent détecter les variations de température des plantes, ce qui peut être un indicateur de stress causé par des maladies ou des ravageurs.

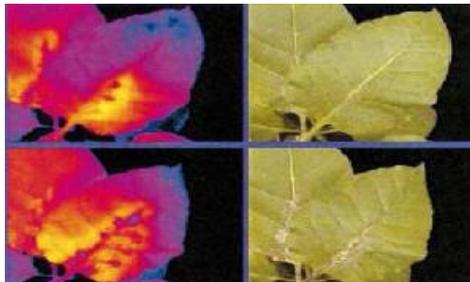


Figure II. 29. Détection des changements sur les plantes par la technique d'imagerie thermique

- Capteurs biologiques : Certains capteurs sont conçus pour détecter la présence de composés biologiques spécifiques produits par les plantes en réponse à une infection.
- Analyse d'image : Des logiciels d'analyse d'image peuvent être utilisés pour examiner des images de plantes et identifier visuellement les symptômes de maladies.

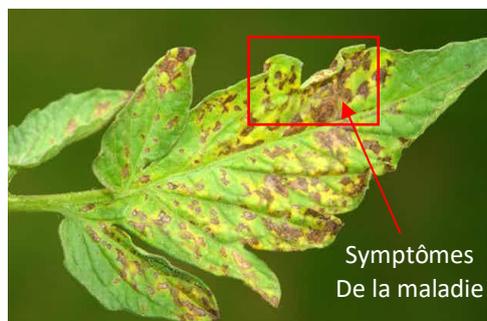


Figure II. 260. Détection des changements sur les plantes par la technique d'analyse d'image

- Systèmes experts : Ces systèmes utilisent des bases de données de symptômes de maladies et de ravageurs pour diagnostiquer les problèmes à partir de données d'observation et de mesure.



Figure II. 27. Exemple d'une base de données des maladies des plantes

Ces technologies permettent aux agriculteurs de détecter rapidement les maladies dans leurs cultures, ce qui leur permet de prendre des mesures préventives ou curatives plus rapidement, réduisant ainsi les pertes de récolte et la nécessité d'utiliser des produits chimiques agricoles.

II.8 L'autonomie énergétique dans les serres agricoles

L'un des défis auxquels sont confrontées les serres agricoles est le manque de sources d'énergie ou le recours aux sources d'énergie traditionnelles, ce qui entraîne des difficultés et des coûts élevés. Cependant, l'intégration de systèmes autosuffisants en énergie et d'autres technologies d'efficacité énergétique tels que les panneaux solaires offrent une solution innovante et durable pour surmonter ces défis liés à l'approvisionnement en énergie, permettant aux serres de fonctionner de manière plus écologique et économique, contribuant ainsi à une agriculture plus durable et rentable.

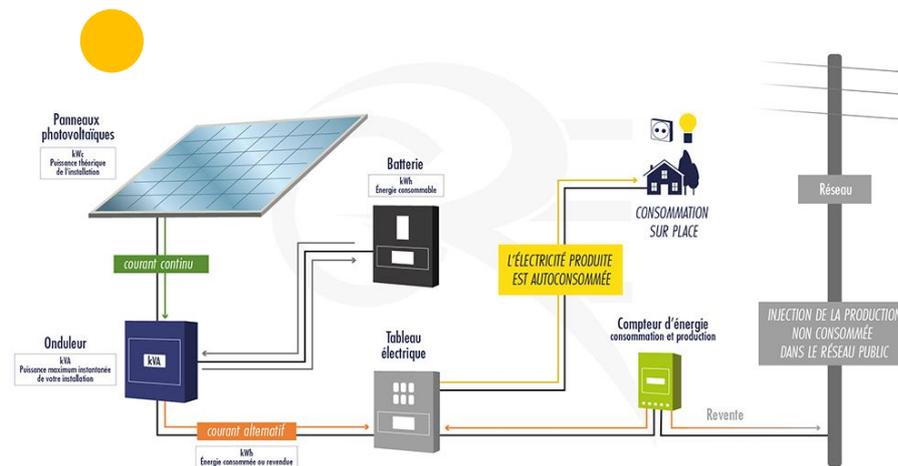


Figure II. 28. Production d'électricité par les panneaux solaire et consommation.

II.8.1 Comment les panneaux solaires produisent de l'électricité ?

1. La lumière du soleil vient frapper les cellules photovoltaïques des panneaux,
2. Les photons transmettent leur énergie aux électrons contenus dans les cellules,
3. Les électrons sont libérés et circulent librement en produisant un courant électrique continu,
4. L'onduleur convertit le courant continu en alternatif,
5. Chargement des batteries,
6. Electricité utilisable.

II.8.2 Les serres photovoltaïques

Ces serres permettent de combiner la production agricole à celle d'énergies verte : c'est le principe de l'agrivoltaïsme.

- Le principe de l'agrivoltaïsme

L'agrivoltaïsme harmonise la production agricole avec celle d'énergie solaire sur une même surface de terrain en installant des panneaux photovoltaïques au-dessus des cultures. Cette intégration crée une synergie entre l'agriculture et les sources d'énergie renouvelable, optimisant l'utilisation des terres agricoles tout en offrant un ombrage partiel bénéfique pour les cultures sensibles à la chaleur. De plus, elle protège les cultures contre les intempéries telles que la grêle, les variations climatiques extrêmes et les ravageurs. Ainsi,

l'agrivoltaïsme contribue à renforcer la sécurité alimentaire tout en jouant un rôle crucial dans la lutte contre le changement climatique [5].

- La serre solaire

Les serres photovoltaïques, encore appelée serres solaires, ont une forme spécifique d'agrivoltaïsme où des panneaux solaires sont intégrés dans la structure des serres agricoles. Cette combinaison permet de tirer parti de l'espace limité des terres agricoles en produisant à la fois des cultures et de l'énergie solaire.

Les serres photovoltaïques fonctionnent comme toutes les installations solaires :

- Les panneaux photovoltaïques installés sur le toit ou intégrés dans les vitres des serres capturent l'énergie solaire pour la convertir en électricité. Cette électricité peut être utilisée pour alimenter les besoins énergétiques de la serre elle-même ou être injectée dans le réseau électrique local.
- L'utilisation d'une batterie permet de stocker l'électricité produite pour couvrir les périodes où la production solaire est faible. Cependant, l'installation d'une batterie n'est pas obligatoire et dépend des choix de l'agriculteur. Celui-ci peut opter pour une autoconsommation totale de l'énergie solaire produite, une autoconsommation partielle combinée à la revente de l'excédent d'électricité, ou uniquement pour la revente de toute l'électricité produite.

Les serres photovoltaïques offrent de nombreux avantages significatifs pour les agriculteurs :

- Production d'énergie renouvelable : les agriculteurs peuvent produire de l'électricité à partir de sources renouvelables et réduire ainsi leur dépendance aux énergies fossiles.
- Réduction des coûts énergétiques : En produisant leur propre électricité à partir du soleil, les agriculteurs peuvent réduire leurs coûts énergétiques, notamment ceux liés au chauffage, à l'éclairage et aux équipements de la serre.
- Diversification des revenus : En vendant l'excédent d'électricité produite à partir des panneaux solaires, les agriculteurs peuvent diversifier leurs sources de revenus et améliorer leur rentabilité globale.

Bien que les serres photovoltaïques représentent une innovation bénéfique pour les agriculteurs en leur offrant une solution rentable, durable et écologique pour la production agricole tout en contribuant à la transition vers une économie plus verte et plus résiliente, elles peuvent également être sujettes à certains inconvénients. Cependant, ces défis peuvent être atténués par une optimisation de l'exploitation de l'installation solaire et une gestion efficace des conditions climatiques à l'intérieur de la serre. Parmi les inconvénients :

- Pour optimiser la lumière nécessaire à la croissance des plantes, il est essentiel d'utiliser des solutions techniques adaptées. Les panneaux solaires semi-transparents sont particulièrement efficaces dans ce contexte. Ces panneaux sont conçus avec des cellules photovoltaïques qui laissent passer une partie des rayons lumineux à travers eux.
- L'utilisation de serres solaires pour la culture peut poser un défi crucial en ce qui concerne la pollinisation des plantes. Quelques solutions et approches que les agriculteurs peuvent envisager pour assurer une pollinisation efficace à l'intérieur des serres :
 - ✓ Certaines espèces d'insectes pollinisateurs peuvent être introduites intentionnellement dans les serres,
 - ✓ Certaines technologies innovantes sont en développement pour améliorer la pollinisation dans les serres, telles que l'utilisation de drones ou de robots pollinisateurs.
- Dimensionnement du système photovoltaïque

Le dimensionnement d'un système photovoltaïque pour une serre solaire nécessite une analyse approfondie des besoins énergétiques, de l'irradiation solaire locale et des spécificités de la serre elle-même. Cela permet de concevoir un système efficace et durable qui contribue à la fois à l'autonomie énergétique et à la productivité agricole. Les étapes principales pour dimensionner un tel système sont :

1. **Évaluation des besoins énergétiques** : Il est crucial de déterminer la quantité d'énergie requise pour alimenter tous les équipements électriques de la serre, tels que l'éclairage, la ventilation, le système de contrôle climatique, les pompes

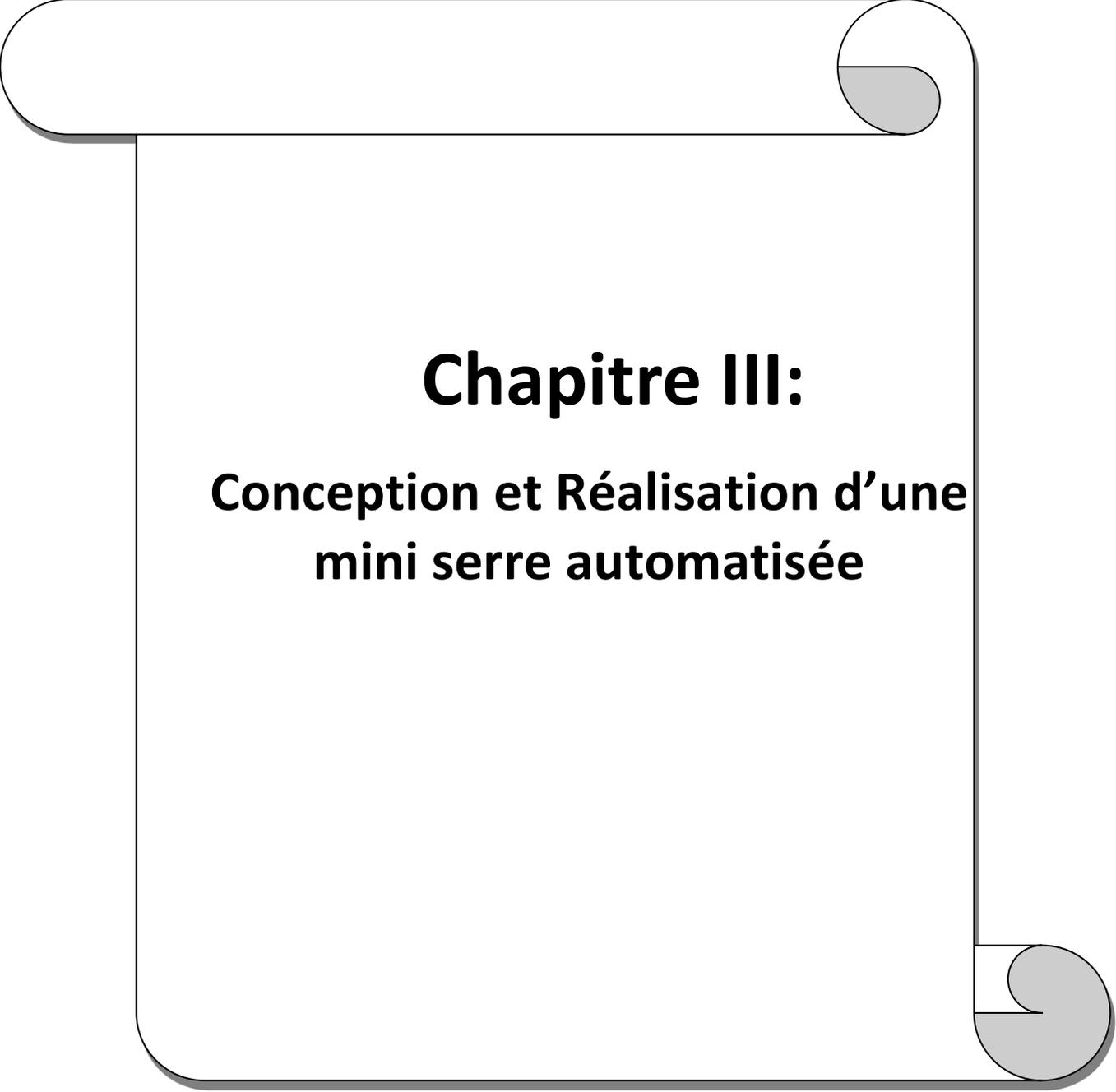
d'irrigation, etc. Cela peut être estimé en fonction de la puissance de chaque équipement et de leur utilisation quotidienne.

2. **Analyse de la disponibilité solaire** : La région où se trouve la serre détermine la quantité d'énergie solaire disponible. Des données historiques sur l'irradiation solaire (kWh/m²/jour) peuvent être utilisées pour estimer la production d'énergie photovoltaïque potentielle. Cette information est essentielle pour déterminer la taille des panneaux solaires nécessaires.
3. **Dimensionnement des panneaux solaires** : En fonction des besoins énergétiques calculés et de l'irradiation solaire disponible, on peut calculer la taille nécessaire du système photovoltaïque. Cela inclut le nombre de panneaux solaires et leur capacité (en kilowatts-crête, kWc). Les panneaux semi-transparents peuvent être utilisés pour maximiser la lumière disponible tout en produisant de l'énergie solaire.
4. **Batteries de stockage (le cas échéant)** : Si la serre a besoin d'une alimentation électrique continue, même pendant les périodes sans soleil, un système de stockage d'énergie à batterie peut être nécessaire. Le dimensionnement des batteries dépend de la capacité requise (en kWh) et de la durée d'autonomie souhaitée.
5. **Onduleur et composants de conversion d'énergie** Il est important de choisir un onduleur adapté à la capacité des panneaux solaires.
6. **Configuration et intégration** : L'installation des panneaux solaires semi-transparents doit être soigneusement planifiée pour maximiser leur efficacité tout en respectant les exigences de structure de la serre. Cela peut impliquer des ajustements dans la disposition des panneaux pour optimiser à la fois la production d'énergie et la lumière disponible pour les plantes.
7. **Surveillance et maintenance** : Un système de surveillance permet de suivre la production d'énergie et de détecter d'éventuels problèmes. Un plan de maintenance régulière assure la durabilité et l'efficacité à long terme du système photovoltaïque.

II.9 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons dressé un panorama des travaux réalisés dans le domaine des serres agricoles, suivi d'un bref historique de la supervision. Nous avons ensuite détaillé l'architecture de la supervision ainsi que les technologies avancées utilisées dans ce domaine, qui feront l'objet d'une étude approfondie dans le chapitre III.

Enfin, nous avons abordé les techniques de diagnostic des maladies et l'autonomie énergétique dans le contexte des serres automatisées.



Chapitre III:

Conception et Réalisation d'une mini serre automatisée

III.1 Introduction

Ce chapitre présente la conception, la modélisation et la construction d'une mini-serre agricole automatisée. L'objectif est de créer un environnement optimal pour la croissance des plantes, en contrôlant automatiquement les paramètres environnementaux grâce à des capteurs et des actionneurs.

La modélisation 3D de la structure est d'abord présentée, suivie de la sélection des matériaux et de la description de la construction de la serre. Le système électrique, comprenant les capteurs et le système de contrôle basé sur une carte ESP32, est ensuite détaillé.

L'accent est mis sur l'intégration de la serre à un système de supervision à distance utilisant les plateformes Firebase, Blynk, en plus de développer une application spéciale permettant un contrôle et une surveillance continue efficaces depuis n'importe quel endroit.

III.2 Conception et Modélisation

La modélisation 3D permet de visualiser et de simuler la structure de la serre avant sa construction réelle, ce qui réduit les erreurs et optimise le design. Le modèle 3D de la structure de base a été conçu en tenant compte des dimensions réelles et des matériaux disponibles. Les murs et le toit ont été modélisés pour assurer une bonne isolation thermique.

III.3 Présentation des modèles 3D

Pour assurer la planification et le bon travail de la mini serre agricole, nous avons utilisé le logiciel Tinkercad. Ce dernier est une plateforme web gratuit permettant de créer des modèles 3D, des circuits électroniques, et de programmer des microcontrôleurs de manière simple et accessible, souvent utilisé pour l'apprentissage et le prototypage rapide.

Nous visons à atteindre un prototype 3D initial adapté à nos exigences en utilisant le logiciel Tinkercad. Le prototype obtenu est illustré par les figures III.1, III.2 et III.3:

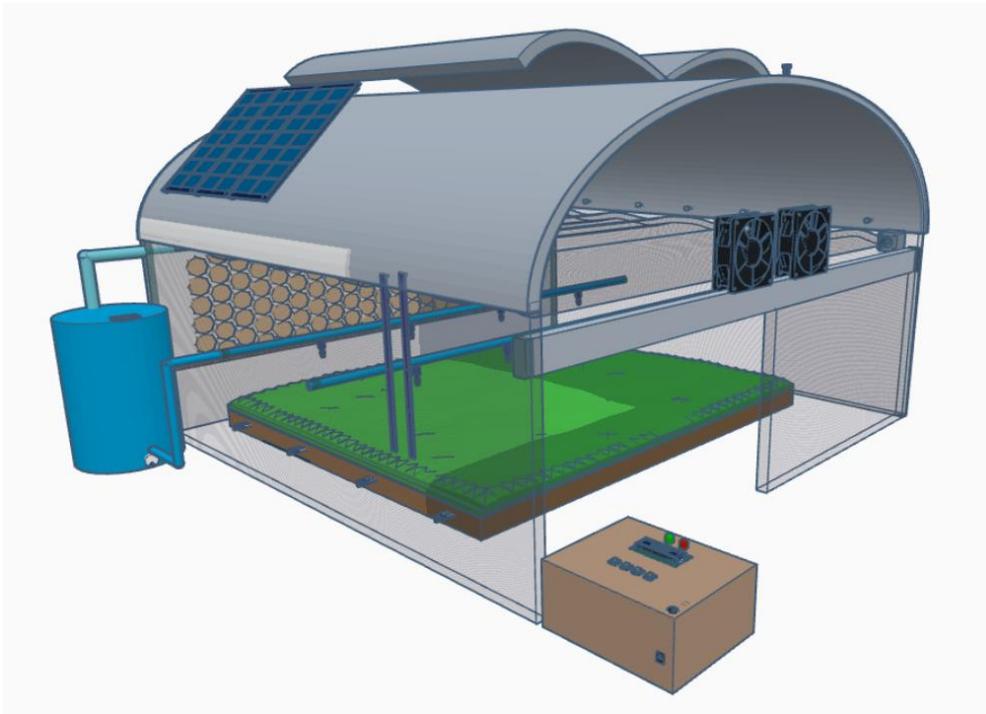


Figure III. 2. Conception frontale du modèle 3D de mini serre.

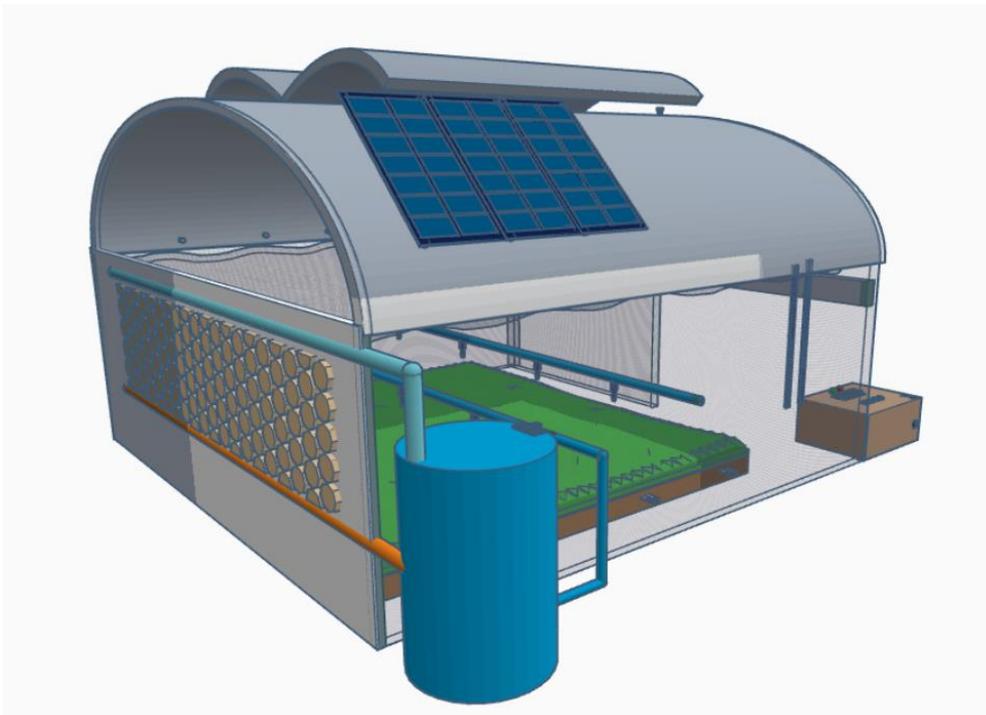


Figure III. 3. Conception arrière du modèle 3D de mini serre.

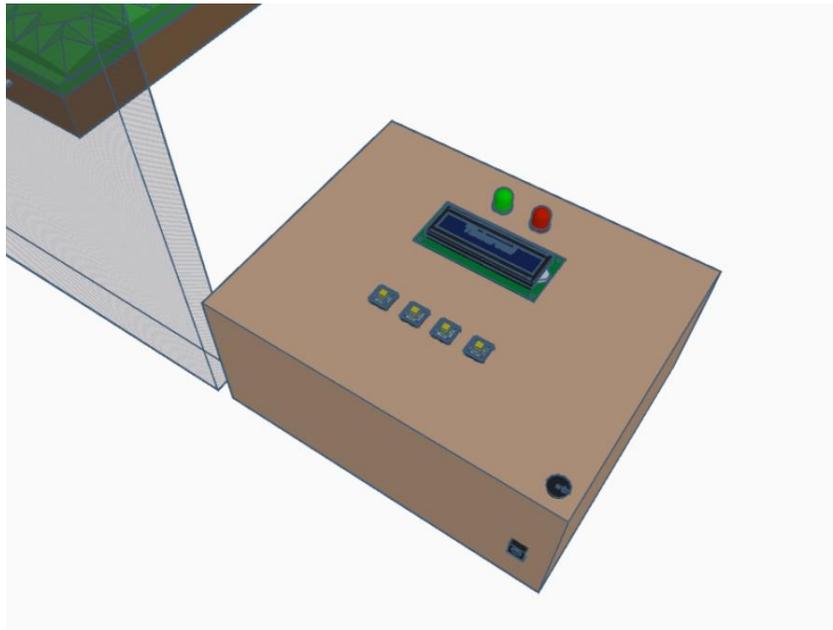


Figure III. 4. Conception de la boîte de contrôle et commande.

III.4 Sélection des Matériaux

III.4.1 Critères de sélection des matériaux

- **Transmission de la lumière** : Essentielle pour la photosynthèse des plantes, le matériau doit permettre une haute transmission de la lumière naturelle.
- **Durabilité et Résistance aux Intempéries** : Le matériau doit être durable et résistant aux conditions météorologiques variées pour assurer une longue durée de vie.
- **Isolation Thermique** : Le matériau doit offrir une bonne isolation thermique pour maintenir des températures constantes à l'intérieur de la serre.
- **Poids et Maniabilité** : Le matériau doit être suffisamment léger pour être facilement manipulé et installé, tout en étant robuste.
- **Coût** : Le matériau doit être abordable et respecter le budget du projet tout en offrant une bonne qualité.
- **Disponibilité** : Le matériau doit être facilement disponible sur le marché pour éviter des retards dans la construction.
- **Facilité d'Entretien** : Le matériau doit être facile à nettoyer et à entretenir pour assurer une longue durée de vie et un bon fonctionnement.

III.4.2 Description des matériaux choisis pour la structure et l'isolation

Pour notre mini serre agricole automatisée, nous avons choisi :

- Verre pour les parois en raison de sa haute transmission de la lumière, de sa durabilité, et de son isolation thermique, et on peut également choisir du plastique renforcé transparent.
- Bois pour la base pour sa maniabilité, sa robustesse, et son coût abordable.
- Plastique Souple pour la couverture en raison de sa légèreté, de sa flexibilité, et de son coût économique.

Ces matériaux ont été sélectionnés en fonction de leurs propriétés spécifiques pour garantir une construction robuste, durable, et efficace de la serre, tout en maintenant un environnement optimal pour la croissance des plantes.

III.5 Construction de la mini serre

III.5.1 Construction de la base, les parois et les couvertures

- Pour la base, nous avons placé une planche de bois de 80cm X 43cm et y avons ajouté des pièces de bois, qui ont été fixées à l'aide de vis aux bords de la planche pour stabiliser les murs.
- Concernant les murs, nous avons utilisé deux pièces mesurent 37 cm de longueur par 56 cm de largeur en verre.
- Concernant la couverture, nous avons besoin un plastique souple transparent soutenu par des supports fils galvanisés.

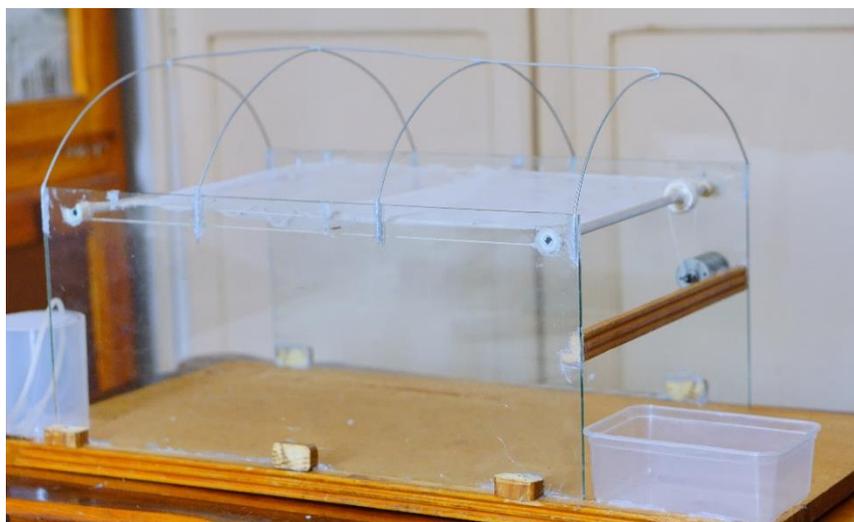


Figure III. 5. Construction de base de mini serre.

III.5.2 Système de refroidissement (cooling system)

Ce système a été conçu et fabriqué en utilisant du polystyrène pour le cadre extérieur. Une cellule de refroidissement en carton renforcé, profilée pour optimiser l'écoulement de l'eau, a été intégrée. Le système fonctionne en boucle fermée, permettant à l'eau de circuler efficacement à travers le carton, de descendre le long du cadre, puis de retourner dans le réservoir via un tube dirigé.

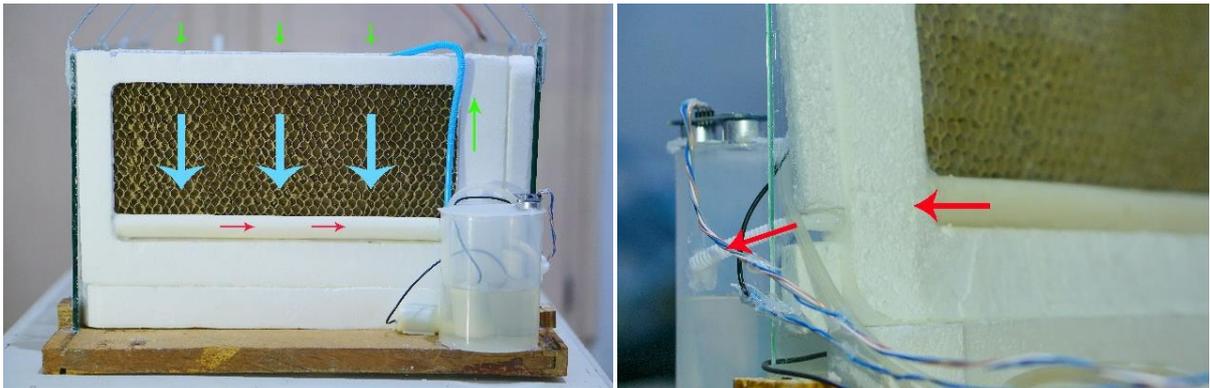


Figure III. 6. Fonctionnement de système de refroidissement.

III.5.3 Système d'ombrage

Le système d'ombrage dans les serres agricoles est conçu pour réguler la quantité de lumière solaire entrant dans la serre. Dans notre conception, nous avons utilisé un tissu transparent pour simuler un véritable système d'ombrage, fixé avec des ficelles reliées à des poulies. Ces poulies sont connectées à une tige cylindrique en aluminium, qui est actionnée par un moteur responsable de l'ouverture et de la fermeture du système à travers de deux pignons.



Figure III. 7. Montage et fonctionnement de système d'ombrage.

III.5.4 Toit ouvrable

Nous avons conçu le toit de manière à pouvoir être ouvert et fermé automatiquement.

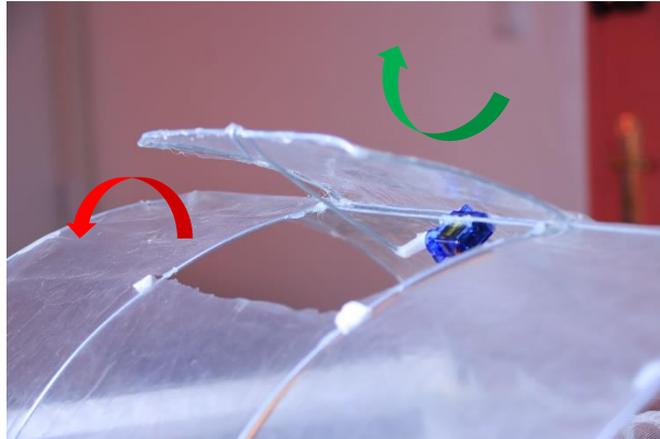


Figure III. 8. Fonctionnement de toit.

III.6 Partie Électrique

III.6.1 Tests et résultats des capteurs

- Capteur de DHT22

Le capteur de DHT22 possède trois pins :

- VCC → il a besoin de 3.3V/ 5V de l'ESP32
- GND
- DATA du DHT22 → Il est connecté à la broche GPIO 33

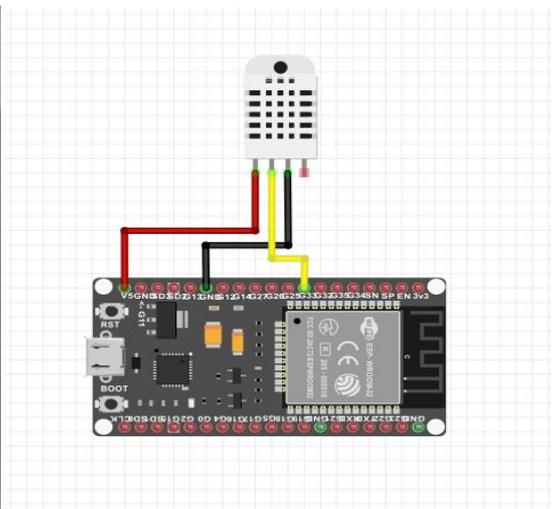
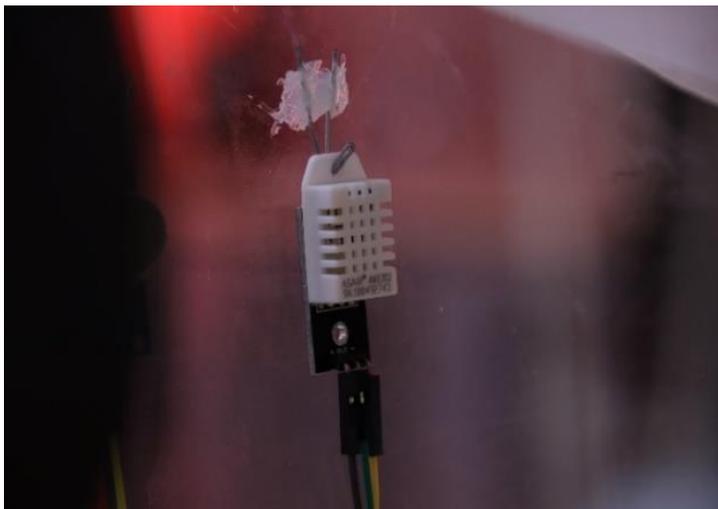


Figure III. 9. Emplacement et montage électrique du capteur DHT22.

- Capteur de CO2
- Il possède trois pins :

- VCC → il a besoin de 5V de l'ESP32
- GND
- AO → Il est connecté à la broche GPIO 35 (entrée analogique)

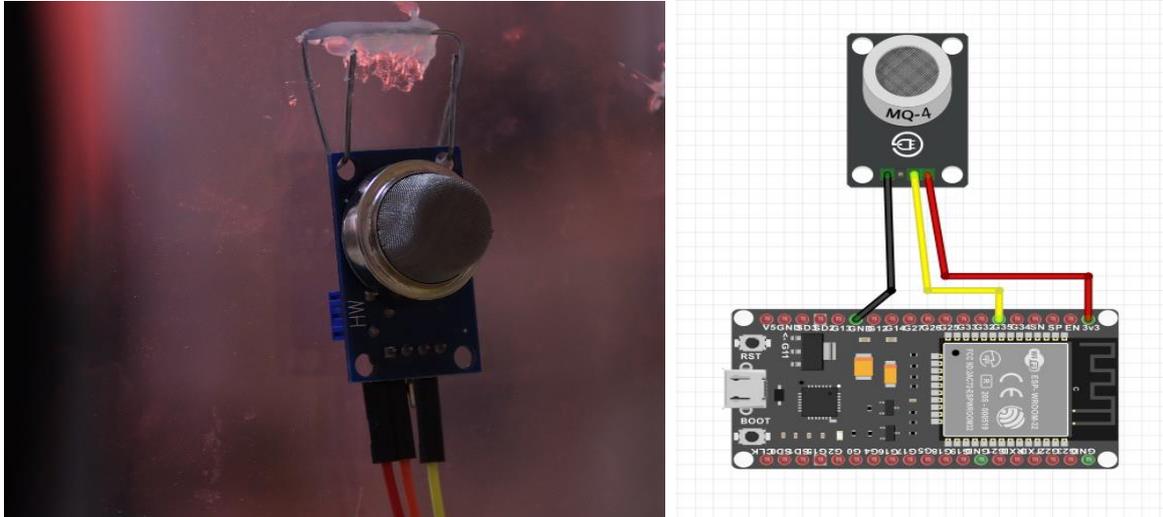


Figure III. 10. Emplacement et montage électrique du capteur DHT22.

- Le Capteur d'Humidité du Sol
- C'est un capteur (Capacitif) possède quatre pins :
- VCC → il a besoin de 3.3V
 - GND
 - DO → Pin numérique (si utilisé) AO → Pin analogique GPIO 3



Figure III. 11. Emplacement et montage électrique du capteur d'humidité de sol.

- Capteur de Niveau d'Eau

Capteur (Ultrasonique HC-SR04) possède quatre pins :

- VCC → il a besoin de 5V de l'ESP32
- GND
- TRIG → Il est connecté à la broche GPIO 5
- ECHO → Il est connecté à la broche GPIO 17

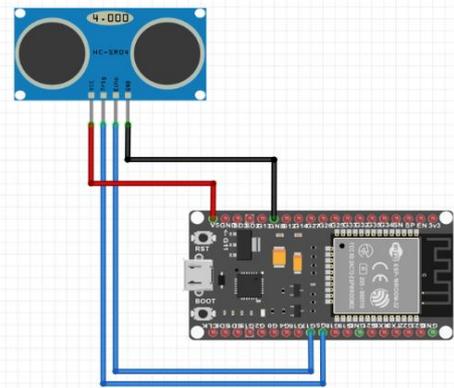


Figure III. 12. Emplacement et montage électrique du capteur de distance ultrason.

- Capteur de luminosité

Il possède :

- VCC → il a besoin de 3.3V de l'ESP32
- GND
- AO → Il est connecté à la broche GPIO 32 (entrée analogique)

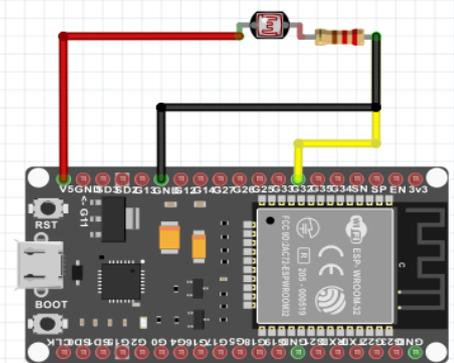
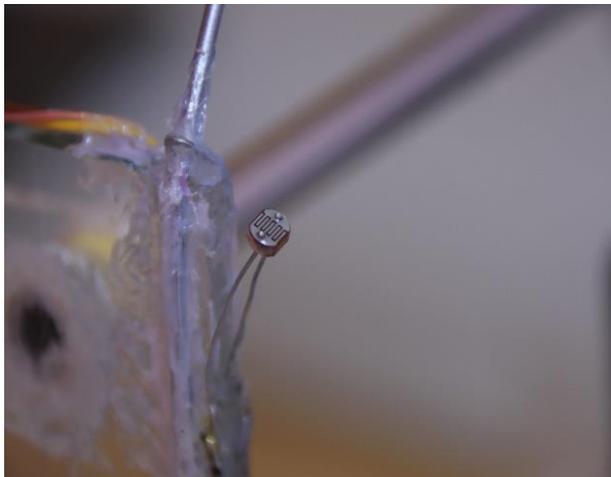


Figure III. 13. Emplacement et montage électrique du capteur de luminosité.

III.6.2 Résultats des simulations sur le moniteur série de l'Arduino IDE

```
Humidité: 42 %, Temperature: 24.50 °  
Etat de gaz : 18  
Niveau d'eau :0.33 %  
Humidité de sol: 65.00%  
Luminosité :423
```

Figure III. 14. Capture résultats des simulations sur le moniteur série de l'Arduino IDE.

III.6.3 Visualisation des informations sur l'écran LCD



Figure III. 15. L'affichage des informations sur l'écran LCD.

III.6.4 Les actionneurs et pré actionneur

- Ventilateurs

Le ventilateur a été connecté sur le pin OUT3 et OUT4 de driver L298N.



Figure III. 16. Emplacement et montage électrique des ventilateurs.

Driver : Le Pin IN3 → GPIO26 et IN4 → GPIO27 et le Pin EN(Enable) → GPIO25 de l'ESP32

- Pompe à Eau

ESP32 GPIO Pin : D2 (GPIO 4) et D3 (GPIO 0)

Relais : Le broche IN de relais est connecté à (GPIO 02). Le relais est alimenté par 5V de l'ESP32 sur le Pin VCC, et le broche GND connecté au GND de l'ESP32. L'autre côté de relais ; une branche connectée avec la pompe et l'autre branche connecté au GND de l'alimentation

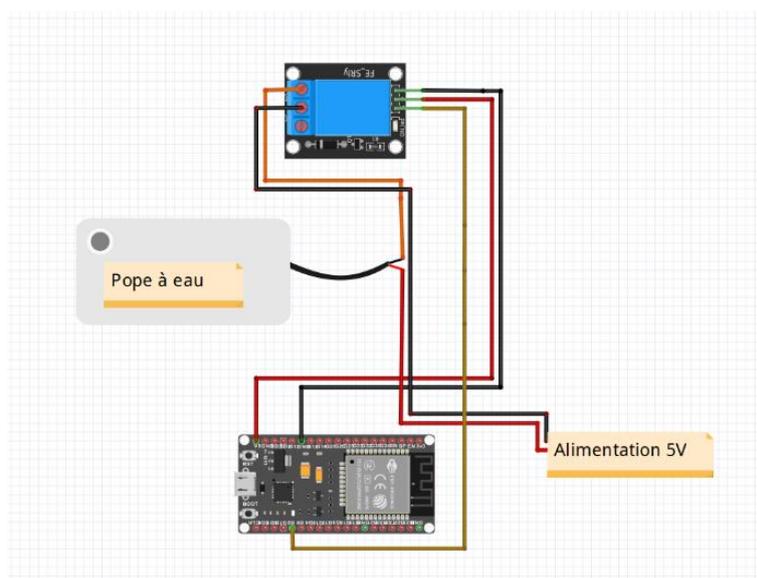


Figure III. 17. Montage électrique de la pompe d'irrigation.

5V externe, le reste branche de la pompe a été connecté au VCC (+5V)

- Moteur à courant continue

Le moteur a été connecté sur OUT1 et OUT2 de driver L298N.

Driver : Le Pin IN3 → GPIO26 et IN4 → GPIO27 et le Pin EN(Enable) → GPIO25 de l'ESP32

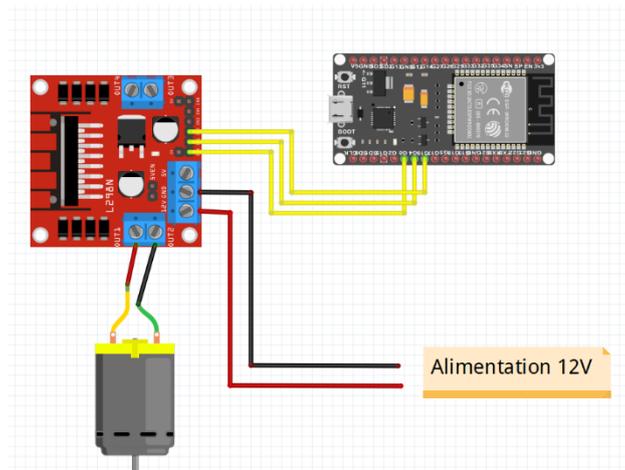


Figure III. 18. Emplacement et montage électrique de moteur.

III.6.5 Montage électrique final

Avant de concrétiser notre prototype, nous utilisons un logiciel de simulation. Celui-ci nous permet de développer et tester rapidement le montage des circuits électroniques avant leur montage physique, ce qui peut significativement économiser du temps et des ressources (Figure III. 19).

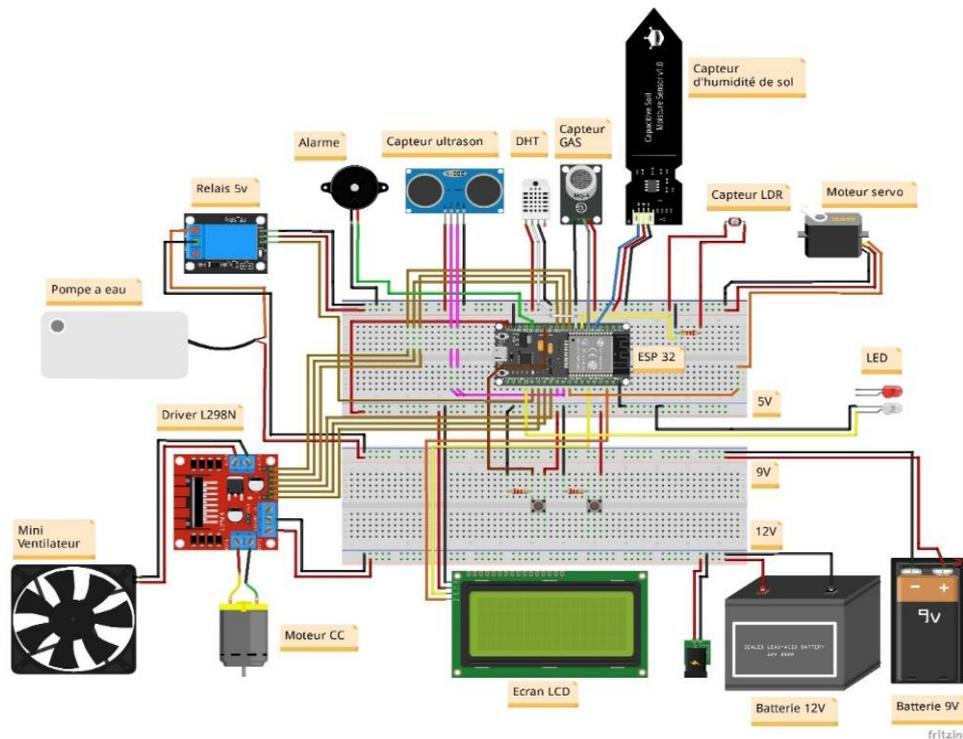


Figure III. 20. Montage électrique final de système.

III.7 Fonctionnement de système

Le fonctionnement du système dépend de l'emplacement de la serre, de type de culture, et aussi des changements environnementaux internes de la serre agricole automatisée, et voici les détails des variations fonctionnement :

Selon le type de culture, l'emplacement de la serre, et les changements environnementaux internes, on peut établir un cahier de charge pour le fonctionnement du système global de la serre automatisée.

III.7.1 Température

La température intérieure de la serre est mesurée par le capteur DHT22. Si la température dépasse 26°C, le système active les ventilateurs et ouvre automatiquement le toit pour refroidir l'espace. Si elle tombe en dessous de 22°C, des dispositifs de chauffage peuvent être activés s'il existe.

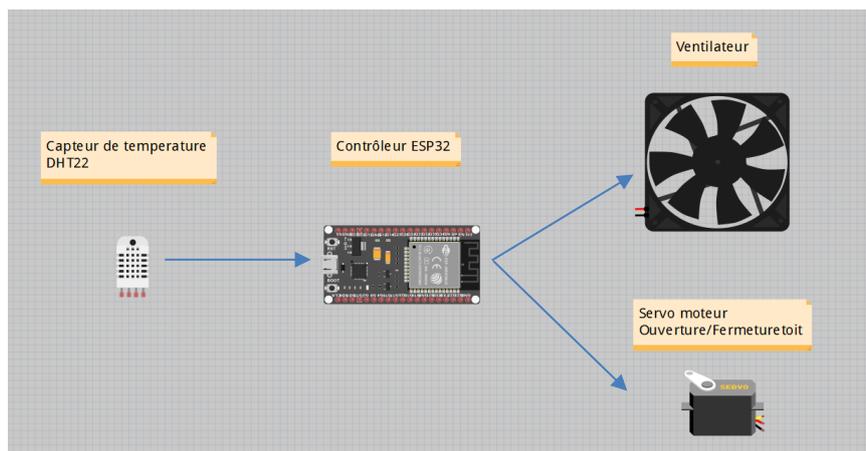


Figure III. 19. Process de contrôle de température.

III.7.2 Humidité

La surveillance de l'humidité de l'air interne est mesurée par le même capteur DHT22. Si elle est inférieure à 40%, le système peut activer un humidificateur ou des systèmes de ventilation pour maintenir des niveaux optimaux.

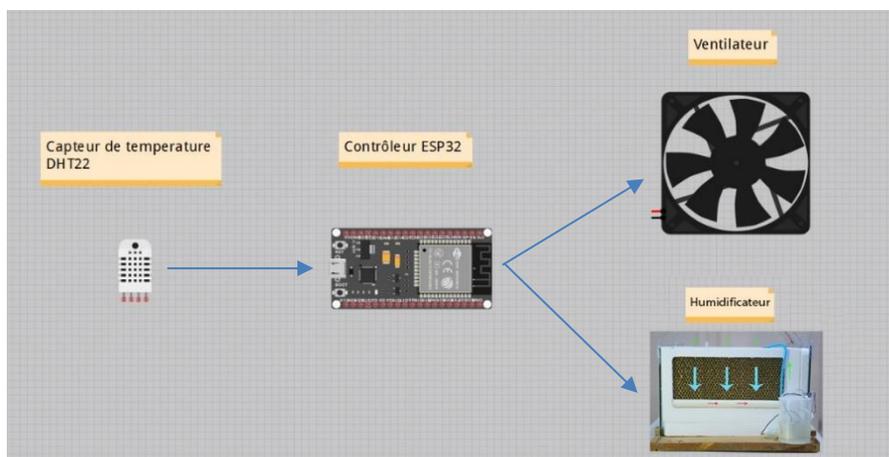


Figure III. 20. Process de contrôle d'humidité.

III.7.3 Humidité de sol

L'humidité du sol est mesurée par un capteur placé dans le sol, Si le niveau est inférieur à 20%, le système déclenche la pompe d'irrigation pour arroser les plantes jusqu'à ce que l'humidité du sol soit supérieure à 60%.

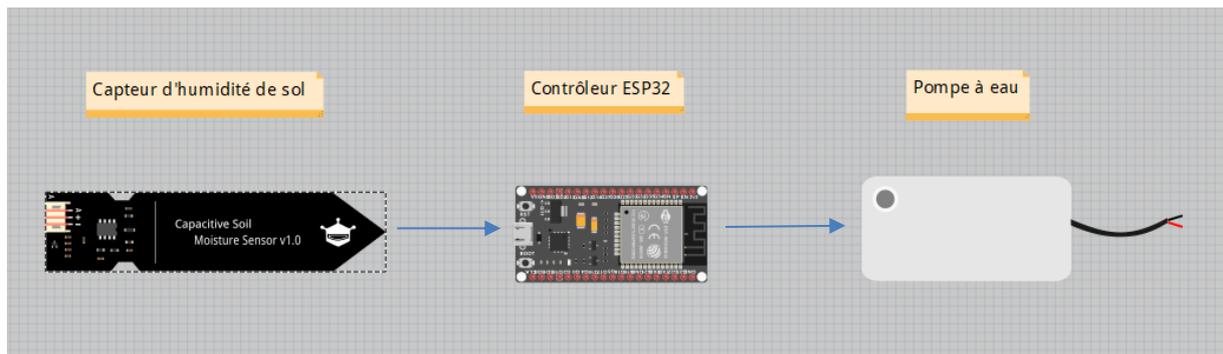


Figure III. 21. Process de contrôle d'humidité de sol.

III.7.4 Niveau d'eau dans le réservoir

Le niveau d'eau est mesuré par le capteur de distance à ultrasons, le niveau d'eau en temps réel sera affiché sur l'écran LCD ou dans l'application mobile. Si le niveau est trop bas ou trop élevé, une notification sera envoyée immédiatement.

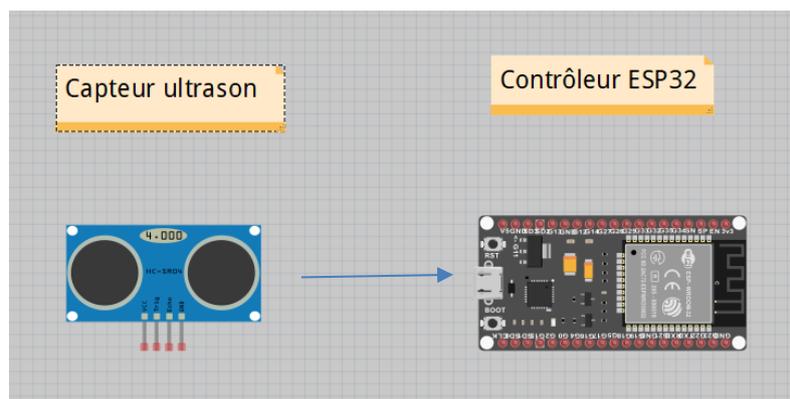


Figure III. 22. Process de contrôle niveau d'eau dans le réservoir.

III.7.5 L'éclairage

Le capteur de luminosité LDR détecte l'intensité de la luminosité. Si le niveau de lumière est insuffisant, le système allume des LED pour compenser le manque de lumière

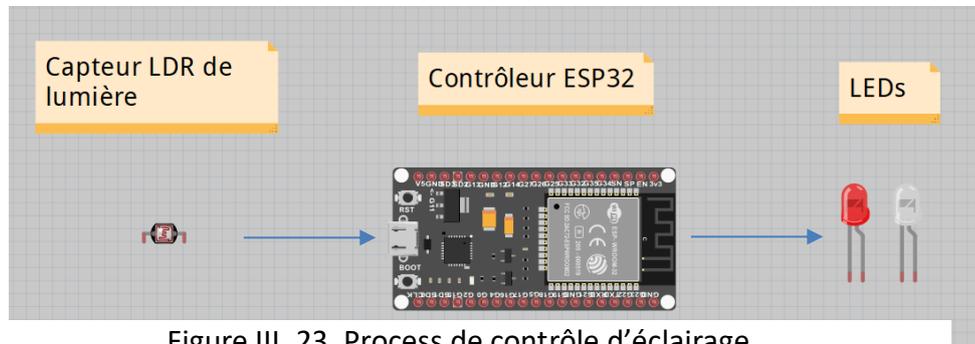


Figure III. 23. Process de contrôle d'éclairage.

naturelle.

Nous pouvons également contrôler la feuille d'ombrage en fonction de l'intensité de la lumière capturée, ou par deux boutons poussoir ; une pour l'ouverture et l'autre de

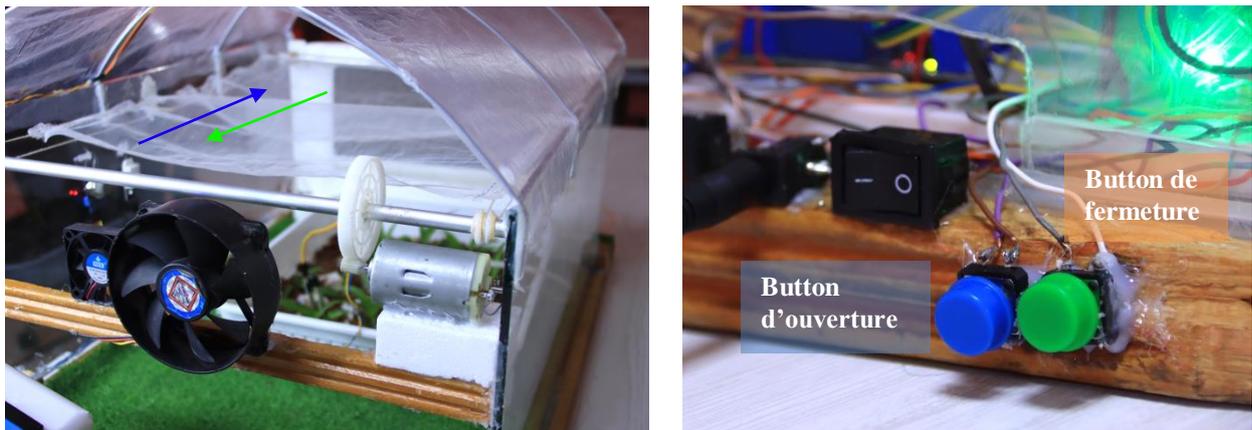


Figure III. 24. Commande de nappe d'ombrage.

fermeture.

III.7.6 Niveau de CO2

La mesure de la concentration de dioxyde de carbone est assurée par le capteur MQ-2, MQ-4, Si les niveaux de CO2 sont trop bas ou trop hauts, l'alarme sera déclenchée et le système activera des dispositifs de ventilation pour régler l'apport en CO2.

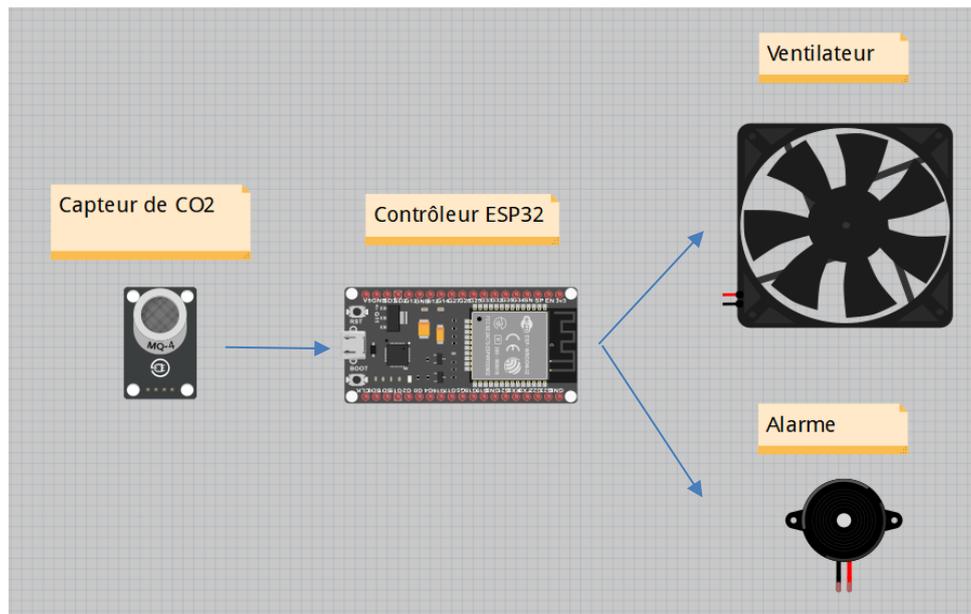


Figure III. 25. Process de contrôle de niveau de CO2.

III.8 Supervision à distance

III.8.1 Faibase

Pour gérer et superviser notre mini serre agricole automatisée, nous avons choisi d'utiliser Firebase comme plateforme de contrôle et de supervision à distance. Voici les principales raisons de ce choix :

- **Facile à intégrer**

Firebase facilite l'intégration avec une variété de technologies et de langages de programmation, y compris le microcontrôleur ESP32 que nous utilisons. Cela nous permet de connecter facilement des capteurs et des actionneurs à la plateforme.



Figure III. 24. Logo de plateforme Firebase.

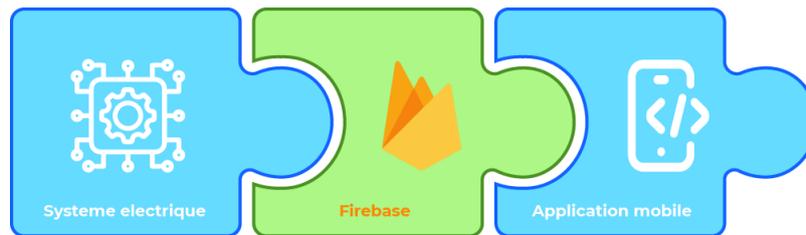


Figure III. 257. Connexion entre système électrique, Firebase, et l'application mobile.

- **Base de données en temps réel**

La base de données en temps réel de Firebase stocke et synchronise instantanément les données des capteurs. Cela garantit que nous disposons de mises à jour continues et en temps réel sur les conditions de serre, ce qui est essentiel pour une prise de décision rapide et efficace.



- **Fonctions de sécurité**

Firebase fournit des fonctionnalités de sécurité solides, notamment des politiques d'authentification des utilisateurs et de sécurité des bases de données. Cela garantit que seul le personnel autorisé peut accéder et contrôler les données de la serre.



- **Notification en temps réel**

À l'aide des fonctions Firebase Cloud et des notifications push, nous pouvons configurer des alertes instantanées pour des conditions spécifiques (par exemple, température trop élevée, humidité trop faible). Cela permet une intervention rapide en cas de besoin.



- **Scalabilité**

Firebase est une solution évolutive, ce qui signifie que notre système peut évoluer sans changements majeurs. Que nous ayons une ou plusieurs serres, Firebase gère la charge sans aucun problème.



- Les fonctionnalités de Firebase

Stockage et récupération des données des capteurs en temps réel :

- Température, humidité, luminosité, niveau d'eau, etc.
- Sécurité les images et vidéos des caméras de serre.

- Les données en temps réel sont affichées dans l'application.



```
https://smartgreenhouse-87830-default-rtdb.firebaseio.com/
└─ controlesupervision
  └─ Aeration: "0"
  └─ GAZ : 18
  └─ Humidité de sol : 50
  └─ Niveau d Eau : 24.83
  └─ Pompe: "0"
  └─ temp: 25
  └─ valeurHum : 0
```

Figure III. 26. Affichage des données en temps réel sur Firebase.

- Données historiques pour l'analyse et la détection d'anomalies.

Gestion des utilisateurs et accès aux applications :

- Un système d'authentification sécurisé protège les données.
- Différentes méthodes d'authentification (email/mot de passe, réseaux sociaux).
- Contrôlez l'accès aux fonctionnalités de l'application.

Envoyez des alertes en temps réel :

- Températures élevées, niveaux d'eau bas/haut, pannes de courant.
- Personnalisez les notifications en fonction des préférences de l'utilisateur.
- Notifications d'événements importants (arrosage automatique, entretien).

Exécutez du code côté serveur en réponse aux événements :

- Modifications des valeurs des capteurs, opérations de l'utilisateur.
- Automatisation de tâches complexes (envoi d'emails, mise à jour de bases de données externes, contrôle d'actionneurs).

- Réduisez la charge de travail sur les appareils mobiles et améliorez les performances des applications.

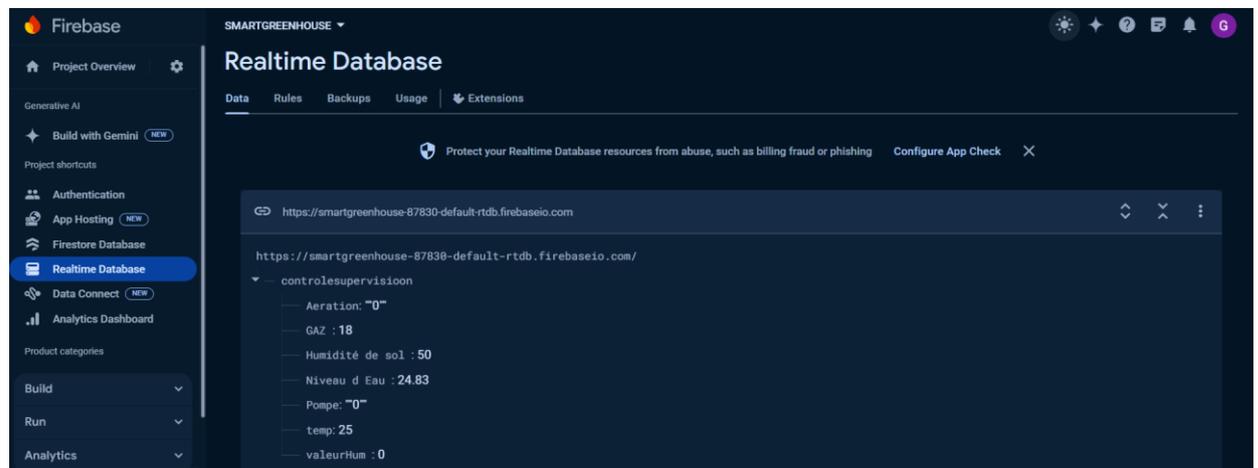


Figure III. 29. Interface Real time Database de Firebase.

III.8.2 Application mobile

L'application mobile a un rôle essentiel dans la supervision de notre mini serre automatisée. Elle fournit une interface utilisateur mobile intuitive et facile d'accès qui permet aux utilisateurs de surveiller et de contrôler les conditions des serres à distance. Grâce à l'application mobile, nous pouvons visualiser les données des capteurs en temps réel, recevoir des notifications instantanées des changements critiques et ajuster les paramètres de la serre depuis n'importe quel endroit.

III.8.3 Blynk

Blynk est une plate-forme web conçue pour créer rapidement des interfaces permettant de gérer et de contrôler les appareils connectés à Internet (IoT). Il permet aux utilisateurs de développer des applications mobiles pour surveiller et contrôler leurs projets IoT depuis un smartphone, tablette, ou PC sans avoir besoin de connaissances approfondies



Figure III. 27. Logo de la plateforme Blynk.

en programmation.

- Fonctionnalités de Blynk

1. Création d'une interface graphique personnalisée

- **Widgets intuitifs** : Blynk permet aux utilisateurs de créer des interfaces graphiques personnalisées en utilisant une variété de widgets tels que des boutons, des curseurs, des gauges, des graphiques, des interrupteurs, et bien plus.
- **Personnalisation complète** : Les utilisateurs peuvent personnaliser la disposition, la taille, et l'apparence des widgets pour répondre à leurs besoins spécifiques. Cela inclut la modification des couleurs, des étiquettes et des icônes.
- **Tableaux de bord dynamiques** : Les tableaux de bord peuvent être modifiés en temps réel pour s'adapter à l'évolution des besoins et des configurations du système IoT.

2. Contrôlez l'actionneur via des boutons et des curseurs

- **Commandes interactives** : les utilisateurs peuvent ajouter des boutons et des curseurs pour contrôler directement les actionneurs connectés tels que les moteurs, les relais, les lumières et d'autres appareils.
- **Réponse en temps réel** : les actions effectuées via les applications Blynk sont immédiatement reflétées sur les appareils IoT, permettant des interactions en temps réel.
- **Scripts et automatisation** : les utilisateurs peuvent programmer des scénarios et des automatisations pour déclencher des actions spécifiques en fonction de conditions prédéfinies ou de calendriers planifiés.

3. Recevoir des notifications d'alerte

- **Notifications push** : Blynk permet d'envoyer des notifications push directement sur le smartphone de l'utilisateur lorsque certains événements se produisent, comme des températures dépassant des seuils critiques ou des pannes du système.

- **Alertes personnalisées** : les utilisateurs peuvent définir des règles et des seuils spécifiques pour recevoir des alertes personnalisées. Ils peuvent par exemple recevoir des notifications lorsque les niveaux d'humidité deviennent trop bas ou lorsque des capteurs détectent des anomalies.
- **Journalisation des événements** : toutes les alertes et notifications peuvent être enregistrées et consultées ultérieurement à des fins d'analyse et de dépannage.
- Notre application créer par Blynk

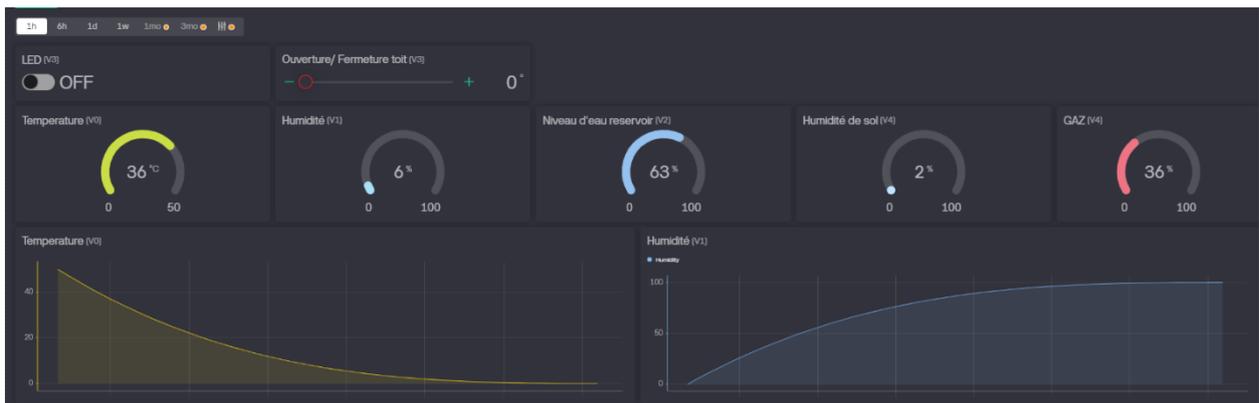


Figure III. 28. Supervision de la serre via le site web.

- Dashboard de Contrôle via l'application

Via l'application, on peut contrôler l'humidité, la température, l'humidité de sol, le CO2, et aussi le niveau d'eau dans le réservoir.

On peut aussi commander des actionneurs tel que l'ouverture et fermeture du toit, l'irrigation, le système de refroidissement (cooling system), et l'éclairage interne de la serre.

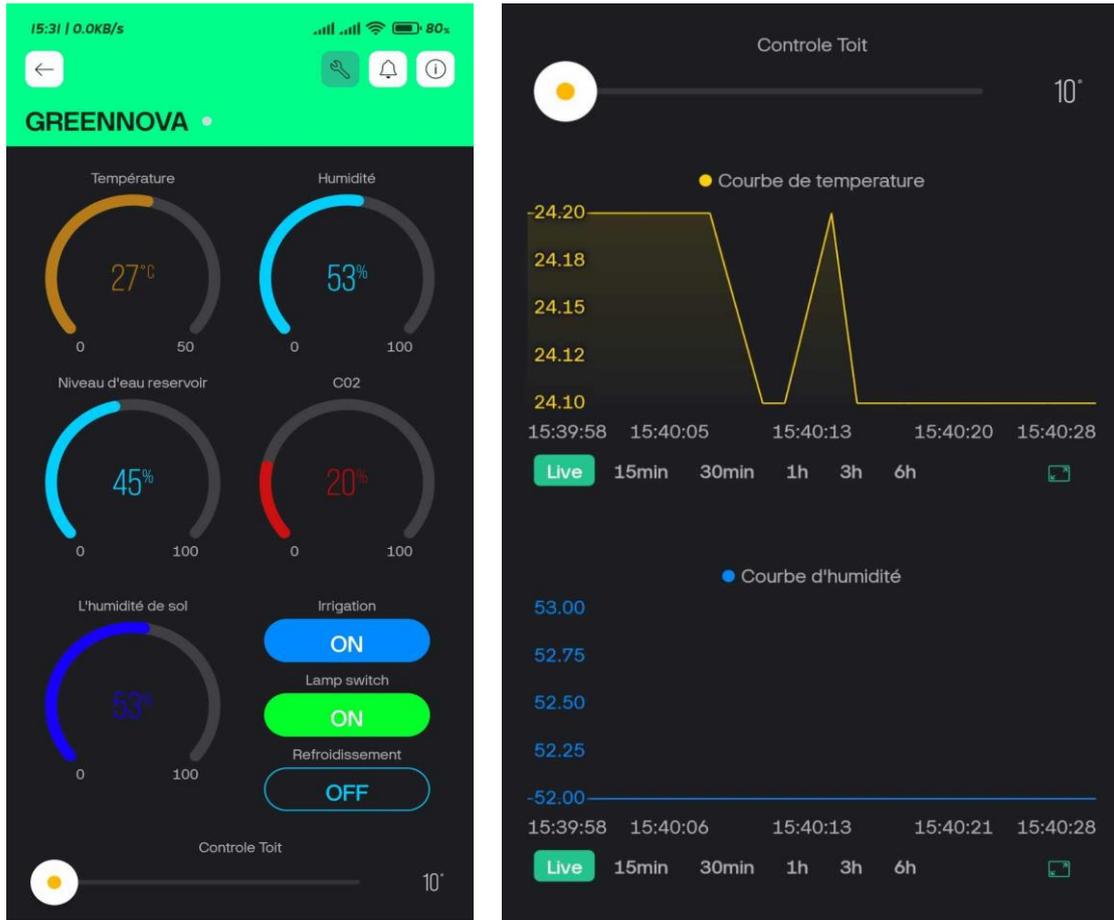


Figure III. 29. Supervision de la serre via l'application mobile.

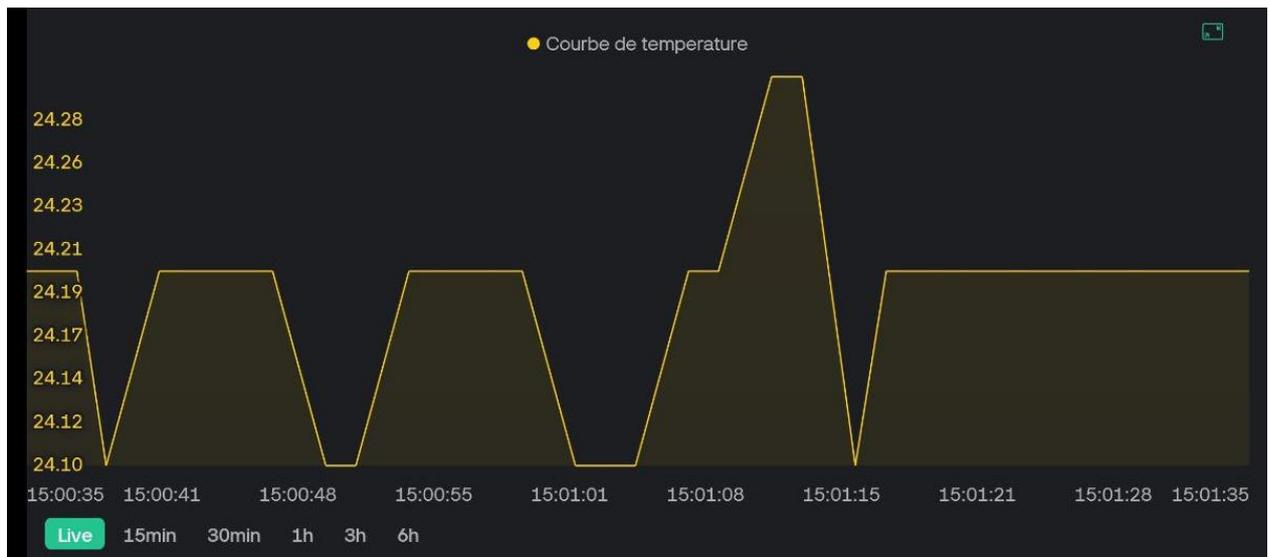


Figure III. 30. Graphe de variation de la température.

III.9 Conclusion

Ce chapitre a présenté la conception et la construction d'une mini-serre agricole automatisée, un système innovant permettant de contrôler automatiquement les paramètres environnementaux essentiels à la croissance des plantes. L'utilisation de la modélisation 3D, la sélection de matériaux robustes et durables, et l'intégration d'un système de contrôle basé sur une carte ESP32 ont permis de créer un environnement optimal pour la culture. L'intégration de la serre à une plateforme de supervision à distance, utilisant Firebase et Blynk, assure un suivi continu des conditions environnementales et permet une gestion efficace de la production agricole. Cette réalisation représente un pas important vers une agriculture plus intelligente et durable, contribuant à améliorer la productivité, à réduire les pertes et à garantir une production agricole plus efficace et plus respectueuse de l'environnement.

Conclusion générale

Ce mémoire a démontré la faisabilité et la pertinence de la conception et de la réalisation d'une mini-serre agricole automatisée, une solution innovante pour l'agriculture moderne en Algérie. L'intégration des technologies avancées, telles que les capteurs, les actionneurs, les systèmes de contrôle et les plateformes de supervision à distance, a permis de créer un environnement optimal pour la croissance des plantes tout en offrant un contrôle précis et une gestion efficace de la production.

L'architecture de supervision à distance, basée sur la base de données de la plateforme Firebase et l'application mobile réalisée avec Blynk, s'est révélée être un outil puissant pour la surveillance en temps réel des conditions de la serre et la prise de décision. L'application mobile a facilité l'interaction avec le système et a permis une gestion proactive des paramètres environnementaux.

La conception et la construction de la mini-serre ont illustré la possibilité d'appliquer des principes d'ingénierie et des technologies abordables pour créer un environnement de culture contrôlé. Ce travail a mis en évidence le potentiel de l'agriculture de précision pour améliorer la productivité agricole, réduire les coûts de production, et optimiser l'utilisation des ressources. L'intégration de l'agriculture de précision dans les systèmes agricoles en Algérie représente une opportunité majeure pour le développement durable de ce secteur.

Perspectives futures : Pour aller plus loin dans l'amélioration de notre système, nous envisageons d'intégrer une caméra pour détecter les maladies des plantes, fonctionnant avec une intelligence artificielle pour identifier et traiter les problèmes de manière proactive. De plus, nous prévoyons d'installer des panneaux solaires pour rendre la serre plus autonome en énergie, une solution particulièrement bénéfique pour les zones isolées sans accès fiable à l'électricité. Ces ajouts permettront non seulement de renforcer l'efficacité de la serre, mais aussi de contribuer à un modèle agricole plus durable et résilient.

Annexe A

Programme

```
#define BLYNK_TEMPLATE_ID "TMPL2aVtVXZAz"
#define BLYNK_TEMPLATE_NAME "Serre agricole 1"
#define BLYNK_AUTH_TOKEN_1 "tP__ZnYKcd6TlotDSDP8b4m7r2Y7rgYw"

#define BLYNK_TEMPLATE_ID "TMPL2p3AJdLxA"
#define BLYNK_TEMPLATE_NAME "GREENNOVA"
#define BLYNK_AUTH_TOKEN "D-ln_NLs1UDVJ7K5t-B1MVEJMxeDYOe2"

#include <NewPing.h> // Include NewPing library for ultrasonic sensor
#include <BlynkSimpleEsp32.h>

#include <Deneyap_Servo.h>
#include <hd44780.h>

//Libraries
#include "DHT.h"
//I2C LCD:
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>

LiquidCrystal_I2C lcd(0x3F,16,4); // set the LCD address to 0x27 for a 16 chars and 2 line
display,Pls check your lcd.
//Constants
#define DHTPIN 33 //2 // what pin we're connected to
#define DHTTYPE DHT22 // DHT 22
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE); //// Initialize DHT sensor for normal 16mhz Arduino
//#include "Servo.h"
Servo myServo;

// Define custom I2C pins
#define I2C_SDA 19
#define I2C_SCL 23

char auth[] = BLYNK_AUTH_TOKEN;
char ssid[] = "Redmi Note 10";
char pass[] = "fakhrifakhri";

BlynkTimer timer;

//
//dht variable
```

```

int humid; //Stores humidity value
float temp; //Stores temperature value
int tempmax=26;
                //ultrasonic var
int trigPin = 5; //10
int echoPin = 17; //11
NewPing sonar(trigPin, echoPin, 12); // NewPing setup for the ultrasonic sensor, 200 =
maximum distance (cm)
float distance;
int travelTime;
float NivEau;
                // humidité de sol variable
int readpin= 34; //A0
int readvalue;
float humids;
int humidmin=10;
                //capteur de gaz var
int gassensor=35; //A2
int Gaspercent;
int gazmax=40;
                //capteur luminausité var
int lumPin=32; //
int lumVlue;
                //buzzer var
int buzzer=13;
                //Moteur Buttons var
const int pushbuttongreen = 12;
const int pushbuttonblue = 14;
int buttongreen;
int buttonblue;
                //Moteur var
int servoPin =18;
                //Moteur var
int ena = 0;
int in1 = 4;
int in2 = 16;
                //ventilateur var
int enb = 25;
int in3 = 26;
int in4 = 27;
                //pompe var
int pompe=15; //8
                //led var
int led=2;

```

```

void setup()
{
    // Blynk part
    Blynk.begin(auth, ssid, pass);
    timer.setInterval(2000L, sendDHTData); // Send DHT data every 2 seconds

    Wire.begin(I2C_SDA, I2C_SCL);

    lcd.init(); //initialize the lcd
    lcd.backlight(); //open the backlight
    lcd.clear();

    Serial.begin(115200);
    Serial.println("Test de la serre agricole automatisé ");

    //Moteur initialisation
    pinMode(ena, OUTPUT);
    pinMode(in1, OUTPUT);
    pinMode(in2, OUTPUT);

    //ventilateur initialisation
    pinMode(enb, OUTPUT);
    pinMode(in3, OUTPUT);
    pinMode(in4, OUTPUT);

    digitalWrite(in3,LOW);
    digitalWrite(in4,LOW);
    analogWrite(enb,0);
    delay(3000);

    //Buttons initialisation
    pinMode(pushbuttongreen, INPUT);
    pinMode(pushbuttonblue, INPUT);

    dht.begin();

    //Buzzer initialisation
    pinMode(buzzer,OUTPUT);
    {tone(buzzer,700,500);}delay(500);

    //Gas initialisation
    pinMode(gassensor,INPUT);

    //pompe init
    pinMode(pompe,OUTPUT);
    digitalWrite(pompe,LOW);

```

```

        //Capteur ultrasonic
pinMode(trigPin, OUTPUT);
pinMode(echoPin, INPUT);

        //capteur luminausité
pinMode (lumPin,INPUT);

        //LED
pinMode(led,OUTPUT);
digitalWrite(led,LOW);

        //servo initialisation
myServo.attach(servoPin);
}
//-----Blynk Function-----
BLYNK_WRITE(V7) {
int buttonState = param.asInt();
if (buttonState == 1) {
digitalWrite(led, HIGH);
Serial.println("LEDs is ON...");
} else {
digitalWrite(led, LOW);
Serial.println("LEDs is OFF!!");
}
}
BLYNK_WRITE(V3) // Slider Widget for Servo 1 on V0
{
int pos1 = param.asInt(); // Get value from slider
myServo.write(pos1); // Set servo 1 position
Blynk.virtualWrite(V3, pos1);
if(pos1>10){
lcd.setCursor(10, 1);
lcd.print("Toit ouvert");
Serial.println("Toit ouvert");
}else{
lcd.setCursor(10, 1);
lcd.print("Toit ferme");
Serial.println("Toit fermé");
}
}
}
void sendDHTData() {
float t = dht.readTemperature();
float h = dht.readHumidity();

if (isnan(h) || isnan(t)) {

```

```

Serial.println("Failed to read from DHT sensor!");
return;
}

Blynk.virtualWrite(V0, temp);
Blynk.virtualWrite(V1, humid);

int Distance = sonar.ping_cm();
int inverseDistance= 11-Distance;
int NivEau= (inverseDistance*100)/11;

Blynk.virtualWrite(V2, NivEau); // Assuming you use V2 for displaying water level on the
app

Blynk.virtualWrite(V4, Gaspercent);

Blynk.virtualWrite(V34, humids);
Blynk.virtualWrite(V9, lumVlue);
}

void loop()
{
  Blynk.run();
  timer.run();

  // check if the pushbutton is pressed. If it is, the buttonState is HIGH:
  // read the state of the pushbutton value:
  buttongreen = digitalRead(pushbuttongreen);
  buttonblue = digitalRead(pushbuttonblue);
  //OpenBTvalue = digitalRead(OpenButton);
  //CloseBTvalue = digitalRead(CloseButton);
  //Sécurité de moteur
  if ((buttonblue == HIGH) && (buttongreen == HIGH)){
  // turn motors off:
  digitalWrite(in1,LOW);
  digitalWrite(in2,LOW);
  //analogWrite(ena, 0);
  {tone(buzzer,500,600);}delay(200);}
  //Moteur
  else {if (buttonblue == HIGH) {
  // turn motor right on:
  delay(10);
  digitalWrite(in1,HIGH);
  digitalWrite(in2,LOW);
  analogWrite(ena, 200);}
  else if (buttongreen == HIGH) {
  // turn motor left on:

```

```

    delay(10);
    digitalWrite(in1,LOW);
    digitalWrite(in2,HIGH);
    analogWrite(ena, 200);}
else {
// turn motor off:
    digitalWrite(in1,LOW);
    digitalWrite(in2,LOW);
    //analogWrite(ena, 0);
}}

//Read data and store it to variables h (humidity) and t (temperature)
// Reading temperature or humidity takes about 250 milliseconds!
humid = dht.readHumidity();
temp = dht.readTemperature();
//Print temp and humidity values to serial monitor
if (isnan(humid) || isnan(temp)) {
Serial.println("Failed to read from DHT sensor!");
return;
}
Serial.print("Humidité: ");
Serial.print(humid);
Serial.print(" %, Temperature: ");
Serial.print(temp);
Serial.println(" ° ");
// set the cursor to (0,0):
// print from 0 to 9:

```

```

//Capteur de gas

```

```

gassensor = analogRead(35);
Gaspercent=map(gassensor, 0, 4096, 0, 100);
Serial.print("Niveau de CO2 : ");
Serial.println(Gaspercent);
if(Gaspercent >= gazmax){
    {tone(buzzer,500,700);}delay(100);
    //openServo();
}
/*if(Gaspercent < gazmax){
    myServo.write(0);
}*/

```

```

//Capteur de niveau d'eau

```

```

digitalWrite(trigPin, LOW);
delayMicroseconds(10);
digitalWrite(trigPin, HIGH);
delayMicroseconds(10);

```

```
digitalWrite(trigPin, LOW);
travelTime = pulseIn(echoPin, HIGH); //Get Travel Time
distance = 11-(travelTime*0.034/2); //Calculate Distance in cm
NivEau= (distance*100)/11;
Serial.print("Niveau d'eau :");
Serial.print(-NivEau);
Serial.println(" % ");
```

```
//capteur humidité de sol
```

```
readvalue = analogRead(readpin);
//Serial.println(readvalue);
humids=map(readvalue, 4096, 0, 0, 210);
Serial.print("Humidité de sol: ");
if (humids>=100){
  Serial.print(100);
  Serial.println("%");
}
else{Serial.print(humids);
  Serial.println("%");}
```

```
//capteur lunimausité LDR
```

```
lumVlue=analogRead(lumPin);
Serial.print("Luminosité :");
Serial.println(lumVlue);
Serial.println("_____");
if(lumVlue<=700){
  digitalWrite(led,HIGH);
}else{digitalWrite(led,LOW);}
```

```
//ventilateur
```

```
if(temp>26) {
  digitalWrite(in3,HIGH);
  digitalWrite(in4,LOW);
  analogWrite(enb,255);
  //openServo();
}else{
  digitalWrite(in3,LOW);
  digitalWrite(in4,LOW);
  analogWrite(enb,0);
  //closeServo();
}
```

```
//pompe
```

```

if(humids<=humidmin){
  digitalWrite(pompe,LOW);
}else{digitalWrite(pompe,HIGH);}

          // Affichage temp et humidité sur LCD
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("Tem: ");
lcd.print(temp);
lcd.print("C ");
lcd.setCursor(12, 0);
lcd.print("Hum:");
lcd.print(humid);
lcd.print("% ");
if (isnan(humid)) {
  lcd.setCursor(12, 0);
  lcd.print("Hum: Nan");
return;
}
          // Affichage etat de gaz LCD
lcd.setCursor(1, 1);
lcd.print("CO2:");
lcd.print(Gaspercent);
lcd.print("% ");
lcd.setCursor(8, 1);
lcd.print("|");

          //Affichage niveau d'eau sur LCD
lcd.setCursor(0, 2);
lcd.print("Niv d eau: ");
lcd.print(NivEau);
lcd.print(" % ");

          //affichage humidité de sol
lcd.setCursor(0, 3);
lcd.print("Sol humid: ");
if (humids>=100){
  lcd.print(100);
  lcd.println("% ");
}
else{
  lcd.print(humids);
  lcd.print(" %");}

delay(1000); //Delay 1 sec.
}

void openServo(){

```

```
myServo.write(50);
Serial.println("Toit ouvert");
lcd.setCursor(10, 1);
lcd.print("Toit ouvert");
}
void closeServo(){
myServo.write(0);
Serial.println("Toit fermé");
lcd.setCursor(10, 1);
lcd.print("Toit ferme");
}
```

Annexe B

Présentation de la technologie existante pour la réalisation d'une grande serre

1 Automate Programmable

Le choix d'un bon PLC pour une serre agricole dépend de nombreux facteurs spécifiques à vos besoins opérationnels.

Parmi les automates, nous pouvons utiliser :

1.1 Siemens SIMATIC S7-1200

- **Entrées/Sorties** : Modulaires avec diverses options I/O.
- **Communication** : Supporte Profibus, Profinet, Modbus...
- **Programmation** : Utilise TIA Portal pour une programmation intuitive.



1.2 Allen-Bradley MicroLogix 1400 :

- **Entrées/Sorties** : Intégré et extensible.
- **Communication** : Ethernet/IP, Modbus.
- **Programmation** : Utilise RSLogix 500 pour la programmation.



1.3 Schneider Electric M241 :

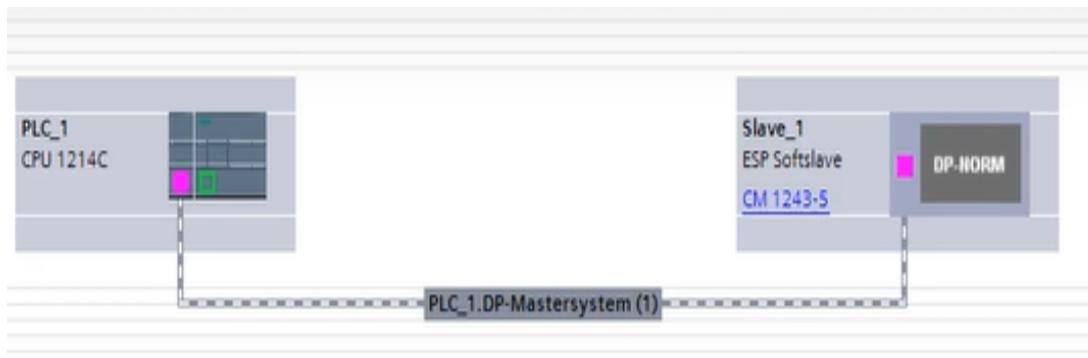
- **Entrées/Sorties** : Modulaires avec diverses options I/O.
- **Communication** : Supporte Ethernet, Modbus, CANopen.
- **Programmation** : Utilise SoMachine pour la programmation.



2 La communication d'automate s7-1214c avec le ESP-32

La liaison entre l'ESP32 et l'automate S7-1200 se fait via un réseau Ethernet en utilisant le protocole Modbus TCP. L'automate S7-1200, agissant comme maître Modbus, traite les données des capteurs de la serre (température, humidité, etc.) et prend des décisions basées sur des règles pré-programmées ; il effectue aussi les commandes des actionneurs (ventilation, irrigation, etc.). L'ESP32 agissant comme un esclave Modbus, qui récupère les données traitées par le S7-1200, incluant les valeurs des capteurs et l'état des

actionneurs. Ces données sont ensuite transmises à une application mobile via un réseau Wi-Fi, offrant ainsi une interface visuelle pour suivre les conditions de la serre en temps réel, Il transmet également les commandes que nous envoyons depuis l'application vers l'automate.



3 Capteurs Industriels pour Grandes Serres

Le choix du capteur le plus approprié dépend des besoins spécifiques de votre serre et des données environnementales que vous souhaitez mesurer :

3.1 Capteurs de Température et humidité :

3.1.1 DS18B20

Le capteur DS18B20 est un capteur numérique de température à un seul fil qui utilise le protocole OneWire pour la communication. Il offre une plage de mesure de température de -55°C à +125°C avec une précision de $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$.



3.1.2 Vaisala HMP60

Le Vaisala HMP60 est un capteur d'humidité et de température conçu pour des applications industrielles et agricoles. Il utilise une technologie capacitive avancée pour



mesurer l'humidité relative de l'air.

3.2 Capteur de luminosité Apogee SQ-110

Le capteur de luminosité Apogee SQ-110 est un capteur de précision conçu pour mesurer le rayonnement photosynthétiquement actif (PAR) qui est crucial pour la croissance des plantes. Il est doté d'une sortie analogique qui peut être facilement intégré à des systèmes d'automatisation.



3.3 Capteur de CO2 Sonde de Dioxyde de Carbone GMP252 :

La sonde GMP252 est conçue pour des applications exigeantes, y compris les environnements agricoles, et elle offre une mesure précise et fiable des niveaux de CO2.



3.4 Capteur de niveau d'eau à pression hydrostatique

Un capteur de niveau d'eau hydrostatique est un appareil qui utilise la pression exercée par une colonne de liquide pour mesurer la hauteur ou le niveau d'un liquide dans



un réservoir ou un récipient. Cette pression est proportionnelle à la hauteur du liquide au-dessus du capteur.

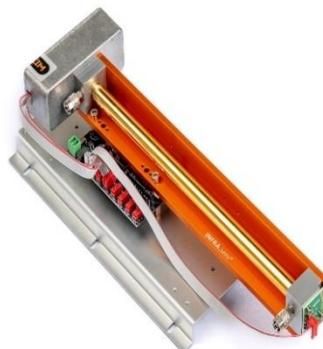
3.5 Capteur d'humidité de sol VH400

Le VH400 est un capteur d'humidité de sol capacitif développé par Vegetronix. Il est conçu pour mesurer le contenu volumétrique en eau (VWC) du sol de manière précise et fiable, ce qui en fait un excellent choix pour les applications en agriculture, horticulture, et gestion de l'eau.



3.6 Capteur de gaz infrarouge non dispersif (NDIR)

Un capteur infrarouge non dispersif (NDIR) est un capteur qui utilise les propriétés d'absorption de la lumière infrarouge pour détecter la concentration de gaz spécifiques dans l'environnement.



4 Les actionneurs

4.1 Pompe à jet d'eau

La pompe à jet d'eau est un actionneur essentiel dans le système d'irrigation des serres agricoles.

Les pompes à jet eau sont utilisées dans les applications nécessitant une pression d'eau élevée, telles que l'irrigation par aspersion.



4.2 Pompes submersibles

Les pompes submersibles sont conçues pour être immergées dans l'eau, ce qui les rend particulièrement efficaces pour pomper des liquides provenant de puits ou de réservoirs. Ces pompes sont couramment utilisées dans les systèmes d'irrigation des serres pour fournir de l'eau aux plantes de manière régulière et contrôlée. Ils peuvent être alimentés par l'électricité, fournissant une énergie fiable et continue, ou par des panneaux solaires.



4.3 Extracteur hélicoïde

Les ventilateurs extracteurs hélicoïdes sont des dispositifs de ventilation conçus pour extraire l'air d'un espace en utilisant des pales hélicoïdales, similaires à celles d'une hélice. Ils sont souvent utilisés dans des environnements industriels, agricoles et commerciaux pour assurer une bonne circulation de l'air, évacuer l'air chaud, l'humidité et les gaz indésirables. Les ventilateurs extracteurs hélicoïdes sont particulièrement efficaces pour des applications nécessitant un débit d'air élevé à des pressions relativement faibles.



4.4 Générateur d'air chaud à gaz naturel GA :

Un générateur d'air chaud à gaz naturel est un appareil de chauffage qui utilise le gaz naturel comme source de combustible pour produire de l'air chaud. Il fonctionne en brûlant



le gaz naturel pour chauffer un échangeur de chaleur, à travers lequel l'air ambiant est

ensuite forcé par un ventilateur. L'air chaud est ensuite distribué dans l'espace à chauffer. Ces générateurs sont couramment utilisés dans des applications industrielles, commerciales et agricoles, y compris les serres, pour maintenir une température optimale et favoriser la croissance des plantes.

4.5 Électrovanne Hunter PGV-101G-B

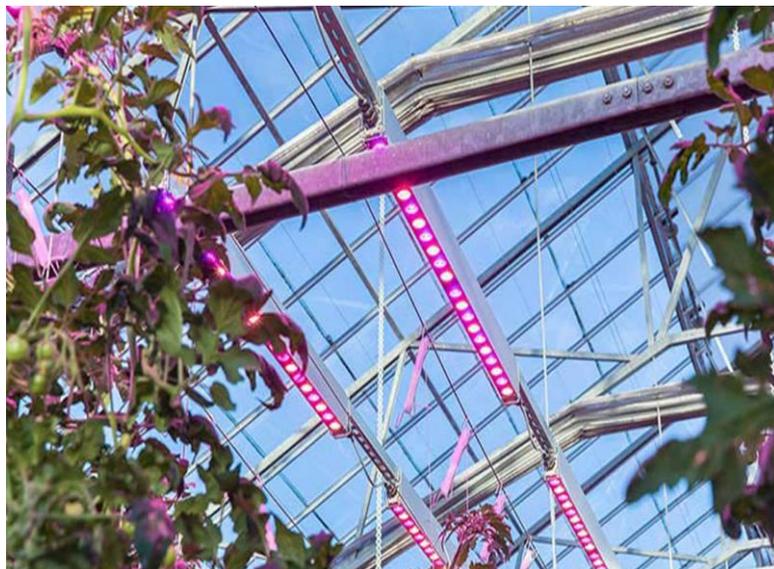
L'électrovanne Hunter PGV-101G-B est une électrovanne à action directe, conçue pour des



applications d'irrigation résidentielle et commerciale. Elle est robuste, fiable et compatible avec de nombreux systèmes d'automatisation.

4.6 Philips Green Power LED Toplighting

Le luminaire Philips GreenPower LED toplighting est spécialement conçu pour l'éclairage des cultures en serre. Il offre une lumière spectrale adaptée à la photosynthèse des plantes, ce qui peut améliorer la croissance et la qualité des cultures.



Annexe C : Etude faisabilité économique du projet

I- Présentation de projet

1- Idée du projet (Solution)

Au cœur de l'Algérie, il y avait un agriculteur nommé Ahmed, qui faisait face à des défis quotidiens dans son agriculture. Les conditions météorologiques fluctuent de manière imprévisible et les plantes ont besoin de soins constants pour surveiller la température, l'humidité, les niveaux de dioxyde de carbone et l'humidité du sol. Ahmed a passé de longues heures à essayer de contrôler ces variables, mais il a eu du mal à maintenir un environnement optimal pour la croissance des plantes, ce qui a réduit sa productivité et augmenté ses coûts.

C'est là que se situe le rôle du projet « GREENNOVA, serre agricole intelligente », une solution innovante et intégrée qui pourrait changer la vie d'Ahmed et de nombreux autres agriculteurs en Algérie.

L'idée a évolué vers une serre intelligente conçue pour aider les agriculteurs à surveiller les variables environnementales et climatiques qui affectent la croissance des plantes, telles que la température, l'humidité, les niveaux de dioxyde de carbone et l'humidité du sol.

La serre sera équipée de systèmes de contrôle automatique pour la ventilation, le refroidissement et l'irrigation, qui fonctionnent de manière intelligente et automatique, en plus d'un système de contrôle à distance qui permettra à l'agriculteur de surveiller et d'ajuster les conditions à l'intérieur de la maison via Internet.

Grâce à ce projet, la qualité des récoltes sera améliorée et la productivité globale augmentera, ce qui renforcera l'économie locale et améliorera le niveau de vie des agriculteurs.



2- Valeurs proposées



La modernité :

Fournir une solution agricole avancée qui combine la technologie moderne avec l'agriculture traditionnelle, permettant aux agriculteurs de surveiller et de contrôler de manière globale l'environnement de croissance des plantes.

Répondez à des besoins entièrement nouveaux :

Fournir un système intelligent qui aide les agriculteurs à améliorer la qualité et la productivité des cultures de manière innovante et simple.

La performance :

Assurer les hautes performances de la maison agricole intelligente grâce à l'utilisation des dernières technologies de capteurs et de contrôleurs, qui garantissent un environnement optimal pour les plantes et améliorent leur productivité.

Adaptation :

La serre est conçue pour s'adapter aux différents besoins et exigences des agriculteurs, notamment le type de culture et les conditions climatiques locales.

Précision et rapidité d'exécution des tâches :

Aider les agriculteurs à gérer et à surveiller plus efficacement leurs opérations agricoles, ce qui réduit le temps et les efforts nécessaires et augmente la précision des opérations agricoles.

La conception :

La serre est conçue pour être visuellement attrayante et facile à installer, tout en gardant à l'esprit l'aspect pratique et l'apparence.

Le prix :

Fournir le produit à un prix compétitif adapté aux budgets des différents agriculteurs, tout en garantissant que la valeur ajoutée souhaitée en investissant dans la maison agricole intelligente est atteinte.

Facilité d'accès :

Fournir de multiples canaux de vente faciles d'accès, notamment des boutiques en ligne et des distributeurs locaux, pour faciliter l'accès des agriculteurs aux maisons agricoles intelligentes.

Réduire les types de risques :

Fournir un système agricole qui réduit les risques liés aux facteurs environnementaux et météorologiques, garantissant une plus grande stabilité et qualité des cultures.

Réduire les coûts :

Concevoir un système qui économise efficacement des ressources telles que l'eau et l'énergie, réduisant ainsi les coûts opérationnels pour les agriculteurs à long terme.

Convenance :

Fournir un système compatible avec différents modes de vie et processus agricoles, le rendant facile à adopter et à utiliser par un large éventail d'agriculteurs.

Facilité d'utilisation :

La conception de l'interface utilisateur est simple et facile à comprendre, garantissant que les agriculteurs de tous horizons techniques peuvent utiliser le système efficacement sans avoir besoin d'une formation approfondie.

3- Objectifs d'affaires

Nous présentons de manière spécialisée les objectifs commerciaux du projet GREENNOVA ainsi que la part de marché cible à court, moyen et long terme.

Objectifs commerciaux :

Augmentation de la productivité agricole : Améliorer la qualité et la quantité des récoltes produites dans les fermes intelligentes.

Réalisations de la durabilité environnementale : Réduire la consommation des ressources naturelles et améliorer l'efficacité de leur utilisation.

Augmentation de la rentabilité : Générer un retour financier tangible en augmentant la production et en réduisant les coûts.

Renforcement de la compétitivité : Offrir des solutions agricoles innovantes qui contribuent à renforcer la position des agriculteurs sur le marché.

Part de marché :

À court terme : Le projet cible les agriculteurs souhaitant améliorer leur productivité et les conditions de culture en général, représentant environ 20 % du marché agricole en Algérie.

À moyen terme : L'entreprise vise à élargir sa portée et à couvrir davantage d'agriculteurs, ce qui porterait sa part de marché à 40 % dans les cinq prochaines années.

À long terme : L'entreprise ambitionne de devenir le leader dans le domaine de l'agriculture intelligente en Algérie, pouvant atteindre une part de marché supérieure à 60 %.

Ces objectifs représentent les directives stratégiques de l'entreprise pour la croissance et l'expansion dans le secteur de l'agriculture intelligente en Algérie de manière spécialisée et efficace.

4- Calendrier pour la réalisation du projet GREENNOVA

Mois	Tâche	Details	Résultat principal
1 - 4	Préparation du lieu de travail et papiers nécessaires	<ul style="list-style-type: none"> - Sélection de l'emplacement approprié - Installation des infrastructures de base (électricité, eau, Internet) - Préparation des papiers nécessaires 	Le site de travail ainsi que l'ensemble des documents juridiques sont intégralement préparés et en règle.
5	Acquisition des équipements.	<ul style="list-style-type: none"> - Identification des fournisseurs. - Achat des équipements et outils essentiels (capteurs, unités de contrôle, matériaux de construction) 	Équipements et outils disponibles sur site
6	Faire un test du système et assurance de la qualité	<ul style="list-style-type: none"> - Test de tous les systèmes pour garantir leur bon fonctionnement - Ajustements nécessaires basés sur les résultats des tests. 	Systèmes testés et fonctionnant efficacement
7	Initier la commercialisation Et la production	Le lancement de la production, la commercialisation et l'introduction sur le marché des premiers modèles	Le début de la production, de la vente et de la fourniture de nos services
8	Formation des agriculteurs et préparation à l'exploitation	<ul style="list-style-type: none"> - Développement de programmes de formation complets - Organisation de cours de formation pour les agriculteurs sur l'utilisation du système 	Agriculteurs formés et prêts à utiliser la serre intelligente

2- Les aspects innovants

1- Nature des innovations

En considérant les détails du projet "la serre agricole intelligente", on peut dire que l'innovation s'inscrit dans plusieurs catégories d'innovation, mais la classification la plus

précise dépend du contexte et de la nature de l'innovation. Dans le cas de ce projet, il peut être considéré comme une **innovation technologique** et une **innovation de marché**.

Innovations Technologiques :

Cette innovation se concentre sur l'utilisation de technologies avancées telles que :

- **Des capteurs intelligents** pour surveiller les conditions environnementales.
- **Des systèmes de contrôle automatisés** pour gérer l'irrigation, la ventilation et la température.
- **Des applications mobiles** pour le contrôle à distance et la gestion des données.

Innovations de Marché :

Cette innovation vise à répondre à de nouveaux besoins sur le marché et à améliorer la productivité agricole, rendant la nouvelle technologie accessible aux agriculteurs :

- **Amélioration de la productivité des cultures** et de la qualité.
- **Fourniture de solutions innovantes** aux agriculteurs pour accroître leur compétitivité sur le marché.

De plus, il peut également être considéré comme **une innovation incrémentale** :

- **Il améliore** progressivement les technologies et les pratiques agricoles actuelles.
- **Il renforce** l'efficacité et la durabilité de la production agricole sans changer radicalement les méthodes utilisées.

Conclusion :

Cette innovation peut être principalement classée comme :

- **Innovation Technologique**
- **Innovation de Marché**
- **Innovation Incrémentale**

Ce mélange reflète la nature multifacette du projet et son impact sur la technologie et le marché agricole.

2- Domaines d'innovation

Dans le cadre du projet « GREENNOVA », les domaines d'innovation peuvent être mieux compris comme étant des propositions de nouveaux services ou produits sur le marché agricole. Voici une expansion plus détaillée de cette idée :

- **Services Intelligents de Gestion Agricole** : Fournir des conseils personnalisés basés sur des données en temps réel pour optimiser l'irrigation, la fertilisation et la protection des cultures, améliorant ainsi la gestion globale de l'exploitation agricole.

- **Systèmes d'Agriculture de Précision** : Offrir des solutions avancées permettant aux agriculteurs de surveiller et de contrôler avec précision les conditions environnementales et les besoins des cultures, augmentant ainsi l'efficacité et la qualité de la production.
- **Plateformes de Gestion de Données Agricoles** : Développer des outils informatiques pour collecter, analyser et visualiser les données agricoles, fournissant aux agriculteurs des informations précieuses pour prendre des décisions stratégiques et améliorer leur rentabilité.
- **Solutions d'Automatisation Agricole** : Concevoir des systèmes automatisés pour gérer les serres, réduisant ainsi la main-d'œuvre nécessaire et améliorant l'efficacité opérationnelle, tout en assurant des conditions optimales pour la croissance des cultures.

III-Analyse stratégique

1 Marché potentiel

1. Petits et moyens agriculteurs :

- **Nombre** : Selon les estimations de la FAO(Agriculture and Food Organisation) , l'Algérie compte environ 1,5 million d'exploitations agricoles familiales, dont 90% sont des petites exploitations de moins de 2 hectares.
- **Besoins** : Accès à des technologies abordables et faciles à utiliser pour améliorer la gestion de l'eau, l'irrigation, la fertilisation et la lutte contre les parasites.
- **Potentiel** : Une augmentation significative de la productivité et des revenus des petits agriculteurs pourrait avoir un impact positif majeur sur la sécurité alimentaire et le développement rural en Algérie.



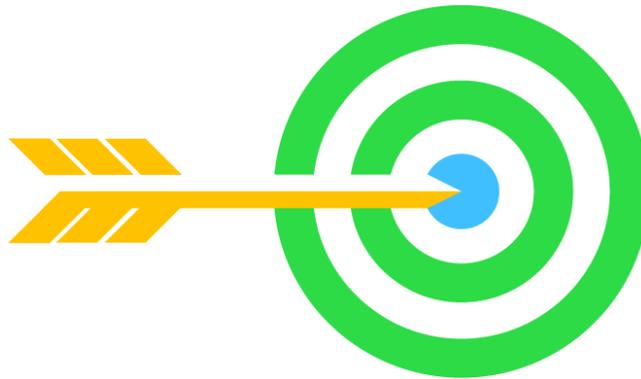
2. Grandes et petites institutions agricoles :

- **Nombre** : On estime qu'il y a environ 500 grandes exploitations agricoles et 2 000 petites et moyennes entreprises agricoles en Algérie.
- **Besoins** : Technologies de pointe pour l'automatisation, la surveillance et l'optimisation des processus agricoles, ainsi que des solutions de gestion des données et d'analyse.
- **Potentiel** : Une amélioration de l'efficacité et de la rentabilité des grandes et petites institutions agricoles pourrait contribuer à la modernisation du secteur agricole algérien et à le rendre plus compétitif sur les marchés internationaux.

3. Autres segments de marché potentiels :

- **Coopératives agricoles** : Les coopératives peuvent jouer un rôle important dans la diffusion des technologies de "Serre agricole intelligente" auprès de leurs membres.
- **Institutions de recherche et de formation agricoles** : Ces institutions peuvent contribuer au développement et à la validation de technologies adaptées aux conditions locales.
- **Gouvernement** : Le gouvernement algérien peut soutenir le projet en fournissant des incitations financières et en créant un environnement réglementaire favorable.

4. Marché cible



1. Institutions agricoles

Justifications du ciblage :

- **Rôle crucial dans le secteur agricole Algérien** : Les institutions agricoles, qu'elles soient grandes ou petites, contribuent de manière significative à la production agricole du pays.
- **Capacité d'investissement technologique** : Ces institutions disposent de ressources financières et techniques plus importantes que les agriculteurs individuels, leur permettant d'acquérir des technologies plus avancées.
- **Besoins en solutions innovantes** : Face aux défis croissants tels que la pénurie d'eau, le changement climatique et l'augmentation des coûts de production, ces institutions recherchent des solutions innovantes pour optimiser leur efficacité et leur rentabilité.

2. Agriculteurs individuels :

Justifications du ciblage :

- **Rôle essentiel dans la sécurité alimentaire** : Les agriculteurs individuels constituent la majorité des producteurs agricoles en Algérie et jouent un rôle crucial dans la sécurité alimentaire du pays.
- **Besoin d'accès aux technologies modernes** : De nombreux agriculteurs individuels manquent de ressources financières et techniques suffisantes pour accéder aux technologies modernes.

-
- **Potentiel d'amélioration des conditions de vie** : Le projet "Maison agricole intelligente" peut aider les agriculteurs individuels à améliorer leur productivité, à augmenter leurs revenus et à améliorer leurs conditions de vie.

2- Mesurer l'intensité de la concurrence

Concurrents directs

- **Entreprises d'installation de serres intelligentes** : Les parts de marché exactes sont difficiles à déterminer, mais les grandes entreprises mondiales peuvent contrôler 30 à 50 % du marché algérien, tandis que les entreprises locales peuvent en contrôler 10 à 20 %.
- **Fournisseurs de serres traditionnelles** : Ces entreprises peuvent contrôler 30 à 40 % du marché, en particulier pour les agriculteurs aux budgets limités.
- **Prestataires de services agricoles traditionnels** : Ces entreprises peuvent contrôler 20 à 30 % du marché, en particulier pour les agriculteurs qui n'ont aucune expérience dans l'utilisation des technologies modernes.
- Des agriculteurs qui construisent leurs propres serres

3- Stratégie de marketing

1. Détermination du public cible

- **Agriculteurs** : La principale catégorie cible, en se concentrant sur les agriculteurs aux budgets moyens et élevés qui cherchent à améliorer l'efficacité et la rentabilité de leurs exploitations.
- **Entreprises agricoles** : Entreprises qui cherchent à augmenter la productivité et à améliorer la qualité des produits.
- **Gouvernement** : Agences gouvernementales concernées par le soutien agricole et le développement de technologies modernes.

2. Définition du message marketing

- **Améliorer la productivité et la rentabilité grâce à des solutions intelligentes et efficaces pour les serres plastiques.**
- **Fournir des solutions personnalisées répondant aux besoins des agriculteurs et des entreprises agricoles.**
- **Contribuer au développement du secteur agricole algérien et à la sécurité alimentaire.**

3. Identification des canaux marketing

-
- **Salons agricoles** : Participation à des salons agricoles locaux et internationaux pour présenter les produits et communiquer avec les clients potentiels.
 - **Publicité** : Utilisation de divers médias tels que les journaux, les magazines, la radio et la télévision pour diffuser le message marketing au public cible.
 - **Marketing digital** : Création d'un site web et de pages sur les réseaux sociaux pour promouvoir les produits et fournir des informations et un support aux clients.
 - **Marketing direct** : Communication directe avec les agriculteurs et les entreprises agricoles via des visites sur le terrain ou des démonstrations.
 - **Partenariats** : Collaboration avec des fournisseurs, des sociétés de financement et des services agricoles pour élargir l'accès aux clients.

4. Développement d'un mix marketing

A. Produit :

- Se concentrer sur la qualité et la fiabilité des solutions "Serre Plastique Intelligente Automatique".
- Offrir des fonctionnalités et des fonctions qui répondent aux besoins des agriculteurs et des entreprises agricoles.
- Fournir des services après-vente et une assistance technique pour aider à l'installation et à la maintenance des systèmes de serre.

B. Prix :

- Déterminer des prix compétitifs en tenant compte de la valeur du produit et des besoins du marché.
- Proposer des offres et des réductions spéciales pour attirer plus de clients.
- Offrir des options de financement pour rendre le produit plus accessible.

C. Promotion :

- Mettre en œuvre des campagnes marketing efficaces visant à accroître la notoriété du produit et ses avantages.
- Utiliser un contenu marketing attrayant qui explique le fonctionnement de la "Serre Plastique Intelligente Automatique" et ses avantages pour les agriculteurs et les entreprises agricoles.
- Partager des succès stories de clients existants pour prouver l'efficacité du produit.

D. Distribution :

- Établir un réseau de distribution solide couvrant l'ensemble de l'Algérie.
- Collaborer avec des fournisseurs fiables pour fournir des produits et des services aux clients.
- Offrir des options d'achat flexibles telles que l'achat en ligne ou via des agents locaux.

5. Mesure de l'efficacité de la stratégie marketing

-
- Suivre les indicateurs de performance clés tels que les ventes de produits, la notoriété de la marque et la satisfaction client.
 - Effectuer des analyses régulières pour évaluer l'efficacité des campagnes marketing.
 - Ajuster la stratégie marketing en permanence en fonction des données et des commentaires.

 - Allouer un budget approprié pour couvrir toutes les activités marketing.
 - Prioriser et allouer efficacement les ressources pour maximiser le retour sur investissement.
 - Réviser le budget marketing régulièrement et l'ajuster si nécessaire.

IV-Plan de production et d'organisation

1. Processus de production

A. Conception et ingénierie

- **Phase de planification** : Définir les exigences des clients et les spécifications techniques de la serre plastique intelligente.
- **Phase de conception** : Créer des conceptions techniques 3D de la serre plastique et des composants intelligents.
- **Phase d'ingénierie** : Définir les composants du système intelligent et concevoir les interfaces de programmation d'applications (API) pour connecter tous les composants.

B. Fabrication et assemblage

- **Phase d'approvisionnement** : Acheter les matières premières et les composants auprès de fournisseurs fiables.
- **Phase de fabrication** : Fabriquer les composants de la structure métallique de la serre plastique conformément aux spécifications définies.
- **Phase d'assemblage** : Assembler les composants de la structure métallique, installer les composants intelligents et connecter tous les systèmes.

C. Test et validation des données

- **Phase de test** : Tester tous les composants intelligents et les systèmes de contrôle pour s'assurer qu'ils fonctionnent correctement.
- **Phase de validation des données** : Étalonner les capteurs et configurer les systèmes de contrôle pour répondre aux besoins des clients.

2. Gestion de la qualité

- **Système de gestion de la qualité** : Mettre en œuvre un système de gestion de la qualité ISO 9001 pour garantir la qualité des produits et services.

-
- **Inspection et contrôle** : Effectuer des inspections et des contrôles périodiques à toutes les étapes de la production pour garantir le respect des spécifications.
 - **Amélioration continue** : Examiner et mettre à jour les processus de production en permanence pour améliorer la qualité et l'efficacité.

3. Gestion de la chaîne d'approvisionnement

- **Sélection des fournisseurs** : Choisir des fournisseurs fiables qui répondent aux critères de qualité, de coût et de livraison.
- **Gestion des stocks** : Maintenir des niveaux de stock appropriés de matières premières et de composants pour répondre à la demande.
- **Suivi et contrôle** : Suivre le mouvement des matières premières et des composants tout au long de la chaîne d'approvisionnement pour garantir l'efficacité et la transparence.

4. Gestion des opérations

- **Planification de la production** : Planifier et organiser les opérations de production pour répondre aux commandes en temps opportun et avec une haute qualité.
- **Ordonnancement de la production** : Planifier les tâches de production et allouer les ressources de manière efficace pour améliorer l'efficacité.
- **Surveillance et contrôle** : Surveiller les opérations de production, identifier les problèmes potentiels et prendre des mesures correctives.

5. Gestion des ressources humaines

- **Recrutement et formation** : Recruter des employés qualifiés et compétents et les former à l'utilisation de techniques de production modernes.
- **Motivation et rémunération** : Offrir des salaires et des avantages sociaux compétitifs pour motiver les employés à travailler efficacement.
- **Développement professionnel** : Offrir des opportunités de développement professionnel aux employés pour améliorer leurs compétences et leurs connaissances.

2-Offre

Serre

Structure métallique (acier galvanisé): Fournisseur: Sider Algérie (Alger, Algérie) - Ils offrent une large gamme de profilés en acier galvanisé, avec une expertise dans la fourniture de matériaux pour les structures de serres.

Couverture : Polycarbonate alvéolaire : Fournisseur : Polycarbonate Algérie (Alger, Algérie) - Ils proposent des panneaux de polycarbonate alvéolaire de haute qualité, résistants et transparents, idéaux pour les serres.

Systeme d'irrigation

Goutte-à-goutte avec programmation automatique : Fournisseur : Hydroponiques Algérie (Alger, Algérie) - Ils sont spécialisés dans les systèmes d'irrigation automatisés, offrant des solutions adaptées aux besoins des serres intelligentes.

Systeme de ventilation

Ventilateurs axiaux et extracteurs : Fournisseur : Climatisation Algérie (Alger, Algérie) - Ils offrent une large gamme de ventilateurs, adaptés à la ventilation de serres et à la gestion de la température et de l'humidité.

Systeme de chauffage/refroidissement

Chauffage au gaz ou système de climatisation réversible : Fournisseur : Carrier Algérie (Ils sont un fournisseur reconnu de solutions de chauffage et de climatisation, offrant des systèmes adaptés aux serres intelligentes.

Equipement de surveillance

Capteurs de température, d'humidité, de CO2 : Fournisseur : SensoTech Algérie (Alger, Algérie) - Ils offrent une gamme complète de capteurs de haute précision pour la surveillance des paramètres environnementaux dans les serres.

Fournisseurs

- Nous choisissons de travailler avec des fournisseurs algériens pour soutenir l'économie locale et minimiser les coûts de transport.
- Nous choisissons des fournisseurs reconnus pour la qualité de leurs produits et services, leur expertise dans le domaine de l'agriculture et des technologies agricoles, et leur capacité à répondre aux exigences de GREENNOVA.

3-La main d'œuvre

1. Rôle Technique

- **Ingénieurs en Agronomie/Horticulture** : Ce rôle serait en charge de la conception des serres, de la sélection des cultures et de l'optimisation des conditions de croissance.
- **Ingénieurs en Génie Mécanique/Électrique** : Ce rôle serait en charge de la conception et de la mise en place des systèmes de contrôle automatique (ventilation, irrigation, chauffage/refroidissement), ainsi que de l'intégration des systèmes de surveillance.

-
- **Techniciens en Installation et Maintenance** : Ce rôle serait en charge de l'installation et de la maintenance des serres intelligentes chez les clients.
 - **Spécialistes en Automatisation et Contrôle** : Ce rôle serait en charge du développement et de la mise en œuvre des logiciels de contrôle et de surveillance à distance.
 - **Spécialiste en Capteurs et Instrumentation** : Ce rôle serait en charge de la sélection, de l'intégration et du test des capteurs utilisés pour la surveillance des conditions de croissance des plantes.

2. Rôle Commercial et Marketing

- **Responsable Commercial** : Ce rôle serait en charge du développement et de la mise en œuvre de la stratégie commerciale, de la prospection de clients et de la gestion des relations clients.
- **Chef de Produit** : Ce rôle serait en charge de la gestion du cycle de vie du produit, de la définition des caractéristiques des serres, du positionnement du produit sur le marché et de la stratégie marketing.
- **Spécialiste en Marketing et Communication** : Ce rôle serait en charge de la promotion des serres GREENNOVA, de la création de contenu marketing et de la gestion des réseaux sociaux.

3. Rôle Support et Administration

- **Administrateur Système** : Ce rôle serait en charge de la gestion des systèmes informatiques, du réseau et des infrastructures de GREENNOVA.
- **Responsable Logistique** : Ce rôle serait en charge de la gestion des stocks, de l'approvisionnement des matériaux et de la coordination de la livraison des serres.
- **Assistant de Gestion** : Ce rôle serait en charge des tâches administratives et de la gestion des relations avec les fournisseurs.

En plus de ces rôles principaux, GREENNOVA pourrait également créer des opportunités pour des :

- **Stages en Ingénierie/Agronomie/Informatique** : Pour les étudiants souhaitant acquérir une expérience pratique dans le domaine des technologies agricoles.
- **Freelances** : Pour des experts dans des domaines spécifiques tels que la conception de sites web, la création de contenu marketing, etc.

Les besoins en personnel de GREENNOVA évolueront en fonction de la croissance de l'entreprise et de l'expansion de sa production et de ses ventes.

V- Stratégie financière

1-Coûts et charges

Rubrique	Coût (DZD)	Remarques
Coûts initiaux (investissements)		
- Matériaux de construction	700,000	Plastique résistant aux UV et structures métalliques
- Systèmes d'irrigation et de refroidissement	250,000	Systèmes d'irrigation et de refroidissement
- Capteurs et systèmes de contrôle	200,000	Capteurs d'humidité, de température et de CO2
Total	1,150,000	
Coûts opérationnels (courants)		
- Coûts énergétiques	60,000 par mois	Électricité pour le refroidissement, l'éclairage et la ventilation
- Coûts de l'eau	20,000 par mois	Eau pour l'irrigation et le refroidissement
- Coûts de maintenance	40,000 par mois	Maintenance des systèmes et des équipements
Total mensuel	120,000	
Coûts administratifs		
- Salaires des ouvriers et techniciens	150,000 par mois	Ouvriers et techniciens
- Salaires de l'administration et du personnel administratif	70,000 par mois	Administration et personnel administratif
- Location de bureau	30,000 par mois	Bureau administratif
Total mensuel	260,000	
Coûts marketing		
- Campagnes marketing en ligne	50,000 par mois	Médias
- Promotion et participation aux salons	30,000 par mois	Salons agricoles
Total mensuel	80,000	

VI- Business model Canvas

Partenaires clés <ul style="list-style-type: none"> -Fournisseurs de matériaux de construction pour les serres -Fournisseurs de technologies de capteurs et de contrôle -Marchés locaux et nationaux pour la distribution des produits 	Activités clés <ul style="list-style-type: none"> -Développement et installation des serres agricoles automatisées et intelligentes. - Surveiller et ajuster le système et les conditions aux besoins. 	Valeur proposée <ul style="list-style-type: none"> - Cultures de haute qualité toute l'année. -Surveillance et contrôle intelligents de l'environnement des serres. -Optimisation de l'utilisation des ressources (eau, énergie). 	Relation avec la Clientèle <ul style="list-style-type: none"> -Support technique et formation pour les agriculteurs - Service client - Mises à jour régulières sur les conditions de croissance et les performances des cultures 	Segments de Clientèle <ul style="list-style-type: none"> - Agriculteurs souhaitant améliorer leur productivité - Petits et moyens entreprise agricole - Agriculteurs propriétaires de serres traditionnelles
	Ressources clés <ul style="list-style-type: none"> Serres équipées de systèmes de surveillance et de contrôle Technologies de capteurs et de contrôle Personnel qualifié pour la gestion des cultures et du système 		Canaux <ul style="list-style-type: none"> -Vente directe aux agriculteurs. -Vente aux marchés locaux et nationaux -Plateformes en ligne pour la vente directe aux consommateurs 	
Structure de coûts <ul style="list-style-type: none"> - Coûts initiaux pour la construction des serres et l'installation des systèmes - Coûts opérationnels pour l'énergie, l'eau et la maintenance - Coûts de marketing et de vente - Salaires du personnel et frais administratifs 		Source de revenue <ul style="list-style-type: none"> -Vente des produits agricoles -Abonnements au service de surveillance et de contrôle -Ventes de technologies agricoles supplémentaires (capteurs, logiciels) - Maintenance 		

Références Bibliographiques

- [1] DJEGHAIBEL Asmaa et MAARADJI Sofiane. Automatisation intelligente d'une serre basée sur un système d'internet des objets en utilisant Arduino. Mémoire en master Automatique et Informatique Industrielle. Université de Tiaret 2019 /2020.
- [2] R. Salazar, A. Rojano, I. Lopez, Novembre 2010, "A Model for the Combine Description of the Temperature and Relative Humidity Regime in the Greenhouse," Ninth Mexican International Conference on Artificial Intelligence.
- [3] <https://www.ma-serre-de-jardin.com/content/34-les-differents-types-de-materiaux-pour-une-serre-dagrement>
- [4] BENLEMBAREK Salah Eddine. Étude de l'automatisation d'une serre agricole en utilisant l'API Schneider M340. Mémoire en Master Automatique et Informatique Industrielle. Université Mohamed Khider de Biskra 2019 /2020.
- [5] <https://www.sirenergies.com/article/serre-photovoltaique/>
- [6] ZOUAI Mohamed et BADJI Oussama. Automatisation et gestion à distance d'un système agricole intelligent. Mémoire en Master Automatique et systèmes. Université de Larbi Tébessi– Tébessa 2021/2022.
- [7] BOUGHEDAUI Nour el Houda. Réalisation d'une serre chapelle alimentée par panneaux photovoltaïques et contrôlée par une carte à base d'Arduino. Mémoire en Master énergies renouvelables. Université de Saad DAHLAB, BLIDA 1 2019 /2020.
- [8] Catalogue de la Société ULMA-Agricola, 2008, "Serres-multi chapelle".
- [9] <https://www.agrireseau.net/legumesdeserre/blogue/96236/la-construction-d-une-serre?a=1ction-d-une-serre?a=1>
- [10] <https://www.cour-et-jardin.fr/blog/post/25-les-differents-types-de-serre-de-jardin>
- [11] <https://www.agrifarming.in/greenhouse-farming-information>
- [12] <https://agrichem.dz/culture/35/les-cultures-sous-serres/>
- [13] <https://dz.kompass.com/a/installation-de-serres/7116038/>
- [14] ABDELAZIZ Sid Ahmed El Amine et BENKHEDIDJA Youcef. Évaluation des effets du film plastique thermique sur le développement et la productivité du poivron et de la fraise dans la Mitidja centrale. Mémoire en Master Biotechnologie Végétale. Université de BLIDA 1 septembre 2017.
- [15] <https://www.journaldunet.fr/web-tech/dictionnaire-de-l-iot/1440684-microcontroleur-definition-et-composants/>
- [16] <https://chanterie37.fr/fablab37110/doku.php?id=start:arduino:esp32>
- [17] <https://www.raspberrypi-france.fr/guide/quest-ce-que-raspberry-pi/>
- [18] BENDJEDDOU Amar. Gestion d'une serre agricole dans les modes locaux et à distance. Mémoire en Master Automatique et Informatique Industrielle. UNIVERSITE BADJI MOKHTAR – ANNABA 2020/2021.
- [19] <https://www.eeca.eu/meilleur-capteur-de-lumiere/>
- [20] <https://www.gotronic.fr/art-capteur-de-co2-sen0159-22969.htm>
- [21] <https://www.cddiscount.com/bricolage/electricite/mini-moteur-pompe-eau-dc-3-6v-pour-diy-module-pomp/f-1661416-auc8301497563415.html>
- [22] <https://www.robot-maker.com/shop/accessoires-robotiques/444-ventilateur-5v-444.html>
- [23] <https://besomi.com/product/lcd-display-16x4-green-backlight-for-arduino/>

-
- [24] MOULAI MOSTEFA Hanane et ALLAOUI Manel. Conception et développement d'une base de données et d'une IHM pour la supervision d'un réseau de capteurs sans fils implanté dans une serre agricole. Mémoire en Master Electronique Des Systèmes Embarqués. UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA 2019 /2020.
- [25] Wikipedia
- [26] <https://www.artyseo.fr/type-panneau-solaire/>
- [27] <https://store.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3>
- [28] <https://www.cdiscount.com/bricolage/electricite/mini-moteur-pompe-eau-dc-3-6v-pour-diy-module-pomp/f-1661416-auc8301497563415.html>
- [29] David Katzin, Eldert J. van Henten et Simon van Mourik . Process-based greenhouse climate models: Genealogy, current status, and future directions. Agricultural Systems, 198, 2022.
- [30] ADDAOUD Abdelmadjid et ARIALLAH Billal. Prédiction et contrôle de la température intérieure d'une serre agricole. Master Énergies Renouvelables en Electrotechnique. Université de Ghardaïa.2022.
- [31] Fraga Iskander et Aggoun Mohamed Chems Eddine. Etude et conception d'une serre agricole autonome. Mémoire de Master en Automatique et systèmes, université de Annaba, 2022.
- [32] BEN SAIDJ Zahia. Gestion d'une serre agricole à base d'ARDUINO. Master En Electronique. Université de Ghardaïa.2018.
- [33] LACHACHE Aroua et LOUGLAITHI Moussa. Réalisation d'une serre agricole intelligente. Master En Electronique. Université de Msila.2023.
- [34] Zineeddine BELOUIZA. Implémentation d'un système de surveillance d'une serre agricole. Mémoire de Master en électronique, université de Annaba, 2021.
- [35] Nourhene SIALA, Évaluation de l'utilisation de l'énergie photovoltaïque directe pour le chauffage et l'éclairage des serres agricoles. Mémoire Présenté À L'école De Technologie Supérieure. Université Du Québec. 2022.
- [36] <https://www.tiloom.com/fr/role-du-facteur-lumiere-dans-la-croissance-des-plantes>