

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique
Université Akli Mohand Oulhadj - Bouira -
Tasdawit Akli Muḥend Ulḥağ - Tubirett -



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة أكلي محمد أولحاج
- البويرة -

Faculté des Sciences et des Sciences Appliquées

كلية العلوم والعلوم التطبيقية

Référence :/MM/ 2023

المرجع :/م/م 2023

Mémoire de Master

Présenté au

Département : Génie Électrique

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Electronique

Spécialité : Electronique des systèmes embarqués

Réalisé par :

BENSIDHOUM IDIR

Et

MESSAOUDI OUSSAMA

Thème

Conception et réalisation d'une serre agricole intelligente

Soutenu le: **02/07/2023**

Devant le Jury composé de :

Mr :	CHELBI SALIM	M.C.A	Univ. Bouira	Président
Mr :	MOUDACHE SAID	M.A.A	Univ. Bouira	Rapporteur
Mr :	REZKI MOHAMED	M.C.A	Univ. Bouira	Examineur

Année Universitaire : 2022-2023

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à Mes chers parents bien-aimés, qui ont fait tant de sacrifices, m'ont soutenu et prié tout au long de mes années d'études

À ma chère sœur et à mes chers frères, qui ont partagé avec moi chaque moment émotionnel lors de la réalisation de ce travail. Leur soutien chaleureux et leurs encouragements tout au long de mon parcours.

À toutes ma famille.

À mes meilleurs amis.

À tous ceux qui ont participé et aidé à la réalisation de ce travail

À mon binôme, ainsi toute la promotion d'électronique des systèmes embarqués de l'année 2022/2023.

Oussama

Dédicace

C'est avec une grande fierté et une vive émotion que je dédie cet humble travail à mes chers parents, qui ont toujours cru en moi et m'ont soutenu inconditionnellement au fil des années. Les mots ne suffiront jamais pour exprimer ma reconnaissance envers tout ce qu'ils m'ont donné. Je leur adresse ma gratitude la plus profonde et tout mon amour.

À mes chères sœurs et ma grand-mère que Dieu les garde et les protège.

À mes amis, avec qui j'ai vécu des moments inoubliables et créé des souvenirs qui resteront à jamais gravés dans ma mémoire et qui m'ont été d'un appui considérable.

À mon binôme, ainsi toute la promotion d'électronique des systèmes embarqués de l'année 2022/2023.

Idir

Remerciements

Nous remercions en premier lieu ALLAH le tout puissant de nous avoir donné la foi et de nous avoir permis d'en arriver là.

Nous tenons à exprimer toute notre gratitude et notre reconnaissance à Monsieur **Saïd Moudache** pour son accompagnement et son soutien tout au long de cette période. Son expertise, ses conseils précieux, son écoute attentive et ses encouragements nous ont permis de progresser et de surmonter les difficultés que nous avons rencontrées.

Nous adressons nos plus vifs remerciements envers les membres du jury qui ont eu la gentillesse d'examiner attentivement notre travail.

Nous tenons à remercier l'ensemble des enseignants du département de génie électrique qui ont contribué à notre formation.

En conclusion, nous souhaitons exprimer nos remerciements les plus sincères à nos familles pour leur soutien inconditionnel et leurs encouragements constants tout au long de notre parcours d'étude.

Résumé

Le but principal de cette étude est de créer et mettre en œuvre une serre agricole intelligente à base d'ESP32, qui peut être contrôlée à distance via wifi grâce à l'application Blynk. Notre prototype intègre divers dispositifs électroniques tels que des capteurs et des actionneurs pour réguler et optimiser les conditions environnementales à l'intérieur de la serre.

L'utilisation de cette serre agricole intelligente permet d'optimiser les ressources et de réduire les pertes, tout en augmentant le rendement et la qualité des cultures. De plus, la possibilité de contrôle à distance via wifi offre une flexibilité et une facilité d'utilisation accrues pour les agriculteurs, leur permettant de gérer efficacement leur serre où qu'ils soient.

Mots clés : Serre agricole intelligente, ESP32, capteurs, actionneurs, Blynk.

Table des matières

Remerciements.....	I
Résumé.....	II
Liste des matières.....	III
Liste des Figures	VII
Liste des tableaux.....	VIII
Liste des Abréviations.....	IX
Introduction Générale	1

Chapitre I : Etude générale sur les serres agricoles

1. Introduction	2
2. Généralités sur les serres agricoles	2
2.1 Définition d'une serre agricole.....	2
2.2 Intérêt de la serre agricole	2
2.3 Structure d'une serre agricole	2
2.4 Les différents types de serres agricoles.....	3
2.4.1 Les serres tunnels	3
2.4.2 Les serres d'horticultures	3
2.5 Classification des serres agricoles.....	4
2.5.1 Serres à faible technologie	4
2.5.2 Serres à moyenne technologie.....	4
2.5.3 Serres de haute technologie.....	4
2.6 Les conditions environnementales d'une serre agricole.....	5
2.6.1 La température	5
2.6.2 Lumière et rayonnement solaire.....	5
2.6.3 Influence de l'humidité	6
2.6.4 Le gaz carbonique CO ₂	6
3. Les serres agricoles intelligentes	6

3.1	Définition d'une serre agricole intelligente.....	6
3.2	Avantages d'une serre agricoles intelligente.....	6
3.3	Les différentes approches existantes pour les serres agricoles intelligentes	7
3.3.1	La motorisation	7
3.3.2	Les extracteurs d'air.....	7
3.3.3	Le système d'irrigation	8
3.3.4	Appareil de recirculation d'air.....	8
3.3.5	Chauffage d'air	9
3.3.6	Ecran de refroidissement.....	9
3.3.7	La technologie GSM	9
3.3.8	Contrôle climatique.....	10
4.	Les capteurs	10
4.1	Définition d'un capteur	11
4.2	Les capteurs utilisés dans une serre agricole intelligente.....	11
4.2.1	Le capteur de gaz carbonique CO2.....	11
4.2.2	Capteur d'humidité du sol.....	11
4.2.3	Le capteur de température et humidité.....	12
4.2.4	Le capteur de lumière.....	13
4.2.5	Le capteur de précipitation.....	13
4.2.6	Le capteur de PH du sol	14
5.	Conclusion.....	14

Chapitre II: Description du matériel et logiciels utilisés

1.	Introduction	15
2.	Schéma synoptique du prototype.....	15
3.	Partie Hardware	15
3.1	Choix de la carte électronique	15
3.2	Historique sur le microcontrôleur ESP32.....	16

3.3	Présentation de la carte ESP32 DEVKITC V4	16
3.4	Caractéristiques de la carte.....	16
3.5	Les capteurs utilisés.....	18
3.5.1	Capteur humidité température DHT22	18
3.5.2	Capteur d'humidité du sol.....	18
3.5.3	Capteur de pluie	19
3.5.4	Débitmètre YF-S201	19
3.5.5	Le capteur DS18B20.....	20
3.5.6	La photorésistance LDR.....	20
3.6	Actionneurs	21
3.6.1	Mini pompe d'eau	21
3.6.2	Humidificateur d'air.....	21
3.6.3	Le servomoteur	22
3.6.4	Le module Peltier.....	23
3.6.5	Extracteur d'air	23
3.6.6	Ecran LCD 16X2 I2C	24
3.6.7	Tube LED.....	25
3.7	Autre composants nécessaires	25
3.7.1	Relai 4 canaux.....	25
3.7.2	Transformateur 12v.....	26
4.	Partie logicielle	26
4.1	Arduino IDE	26
4.2	Fritzing	27
4.3	La plateforme Blynk	27
4.3.1	Différentes utilisations de Blynk.....	27
4.3.2	Utilisations de Blynk.....	28
5.	Conclusion	29

Chapitre III : Conception et mise en œuvre de la serre intelligente

1. Introduction	30
2. Modélisation de la structure de la serre intelligente	30
3. Construction du model de la serre	30
4. Programmation de la carte ESP32 DEVKITC V4.....	31
5. La plateforme Blynk.....	32
5.1 Création du compte	32
5.2 Etapes de création de l’interface	33
6. Programmation de Blynk.....	35
6.1 Connexion ESP32 et l’application	35
6.2 Programmation des broches virtuelles	35
7. Montages et organigrammes de fonctionnement.....	36
7.1 La température et l’humidité	36
7.2 Température extérieure.....	39
7.3 Contrôle de lumière.....	39
7.4 Système de notifications.....	40
7.5 Volume d’eau utilisé pendant l’arrosage.....	41
7.6 Humidité du sol	41
8. Le circuit électronique et le montage final du prototype réalisé	42
9. Tests expérimentales.....	43
9.1 Choix de la plante.....	43
9.2 Autres résultats du test	44
10. Conclusion	45
Conclusion Générale.....	46
Références.....	47
Annexe	50

Liste des figures

Chapitre I : Etude générale sur les serres agricoles

Figure I.1: Serre tunnel.....	3
Figure I.2: Serre chapelle.....	4
Figure I.3: Motorisation.....	7
Figure I.4: Extracteur.....	8
Figure I.5: Appareil de recirculation d'air.....	8
Figure I.6: Caléfacteurs.....	9
Figure I.7: Ecran de refroidissement.....	9
Figure I.8: Module GSM.....	10
Figure I.9: Ecran LCD de contrôle climatique.....	10
Figure I.10: Fonctionnement d'un capteur.....	11
Figure I.11: Capteur de gaz carbonique CO2.....	11
Figure I.12: Capteur de température et humidité.....	13
Figure I.13: Capteur de précipitation.....	14
Figure I.14: Capteur PH du sol.....	14

Chapitre II : Description du matériel et logiciels utilisés

Figure II. 1: Schéma synoptique de la serre intelligente.....	15
Figure II. 2: Composants de la carte ESP32 DEVKITC V4.....	16
Figure II. 3: Les fonctions des broches de l'ESP DEVKITC V4.....	17
Figure II. 4 : Capteur DHT22.....	18
Figure II. 5: Capteur d'humidité du sol.....	18
Figure II. 6: Capteur de pluie.....	19
Figure II. 7: Débitmètre.....	19
Figure II. 8: Capteur de température DS18B20.....	20
Figure II. 9 : Structure d'une photorésistance (a) et photorésistance revêtue de plastique ayant une forme serpentine (b).....	20
Figure II. 10: Mini-pompe d'eau.....	21
Figure II. 11: Humidificateur d'air à ultrason.....	21
Figure II. 12: Servomoteur SG90.....	22
Figure II. 13: Fonctionnement du Servomoteur.....	22
Figure II. 14: Module Peltier TEC1-12715.....	23
Figure II. 15: Fonctionnement du module Peltier.....	23
Figure II. 16: Extracteur d'air.....	24
Figure II. 17: Ecran LCD I2C.....	24
Figure II. 18: Tube LED.....	25
Figure II. 19: Relai 4 canaux.....	25
Figure II. 20: Transfo 12V.....	26
Figure II. 21: interface Arduino IDE.....	26
Figure II. 22: Interface du logiciel Fritzing.....	27
Figure II. 23: Fonctionnement de Blynk.....	28

Chapitre III : Conception et mise en œuvre de la serre intelligente

Figure III. 1: Modélisation de la serre.....	30
Figure III. 2: La structure réalisée.....	31
Figure III. 3: Installation de la carte ESP32.....	31
Figure III. 4: Sélection de la carte ESP32 DEVKITC V4 dans arduino IDE.....	32
Figure III. 5: Inscription dans Blynk.....	32
Figure III. 6: Création du projet.....	33

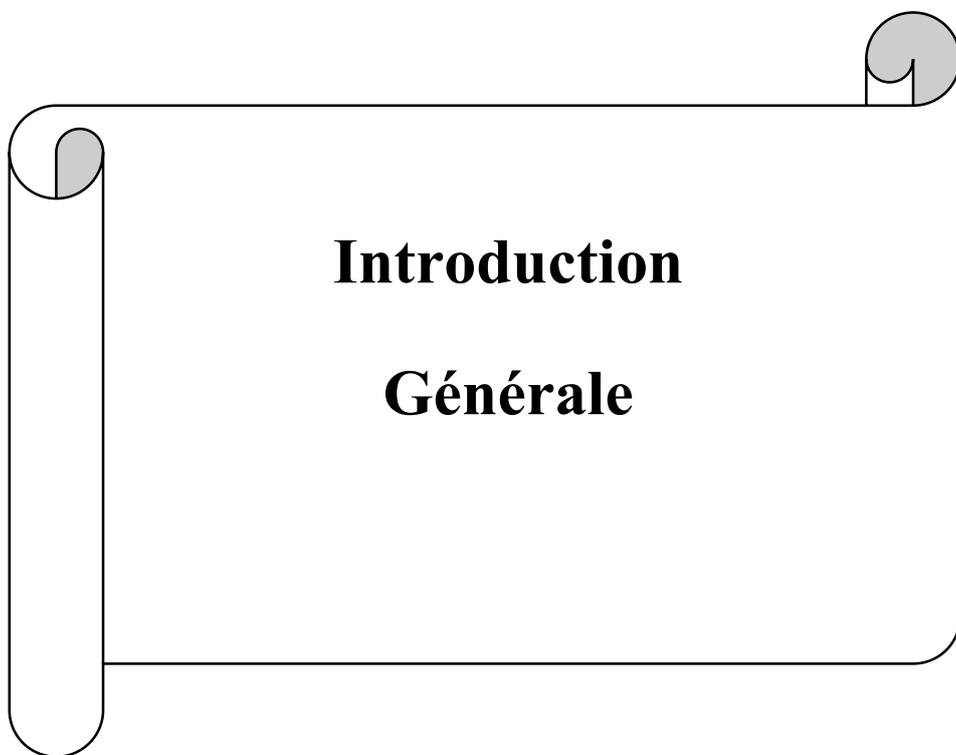
Figure III. 7: Liste des widgets.....	33
Figure III. 8: Création d'une broche virtuelle.....	34
Figure III. 9: création d'une notification	34
Figure III. 10: interface finale de l'application.....	35
Figure III. 11: Organigramme de la température.....	37
Figure III. 12: organigramme de l'humidité.....	38
Figure III. 13: Montage du capteur DHT22	38
Figure III. 14: montage du capteur DS18B20	39
Figure III. 15: Organigramme de fonctionnement de l'LDR	39
Figure III. 16: Montage LDR	40
Figure III. 17: montage du détecteur de pluie	40
Figure III. 18: Montage du débitmètre	41
Figure III. 19: Montage du capteur d'humidité du sol.....	41
Figure III. 20: Circuit fritzing de la serre réalisée	42
Figure III. 21: Notre Serre agricole intelligente	42
Figure III. 22: Avant régulation.....	43
Figure III. 23: Après régulation.....	44
Figure III. 24: (A) avant et (B) après la mesure	45
Figure III. 25: (A) & (B) le test, (C) la notification.....	45

Liste des tableaux

Tableau II.1: Caractéristiques principales de l'ESP32 DEVKIT V4	17
---	----

Liste des Acronymes

ADC: Analogue to Digital Converter
CO₂: Dioxyde de Carbone
DAC: Digital to Analogue Converter
DC : Direct Current
E/S: Entrées / Sorties
EEPROM: Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory
GSM: Global System for Mobiles
Hz: Hertz
I²C: Inter-Integrated Circuit
IDE: Integrated Development Environment
IP 55: Indice de Protection
Kb: Kilobyte
LCD: Liquid Crystal Display
LED: Light Emitting Diode
MHz: Mega Hertz
MLI : Modulation de largeur d'Impulsions
Mm: Millimeters
PH: Power of Hydrogen
PPM: Partie Par Million
PVC: PolyVinyl Chloride
RAM: Random Access Memory
RTC: Real Time Clock
SCL: Serial Clock
SDA: Serial Data
SMS: Short Message Service
USB: Universal Serial Bus
V: Volt



Introduction

Générale

Introduction générale

L'humanité est confrontée à l'heure actuelle à divers problèmes, notamment ceux liés à la satisfaction des besoins alimentaires, qui ont poussé les experts et les chercheurs à trouver des mécanismes appropriés permettant d'améliorer ces cultures vivrières avec une meilleure productivité, à moindre coût et un meilleur rendement. [1]

L'émergence des systèmes embarqués a révolutionné de nombreux domaines, y compris celui de l'agriculture. De nos jours, les cultures sous serre font de plus en plus appel à ces systèmes embarqués. Les technologies avancées utilisées dans les serres agricoles, telles que les capteurs, les systèmes de contrôle des paramètres environnementaux et les logiciels d'analyse et de traitement des données, permettent de surveiller et d'ajuster les conditions environnementales afin d'optimiser la production tout en réduisant la consommation des ressources.

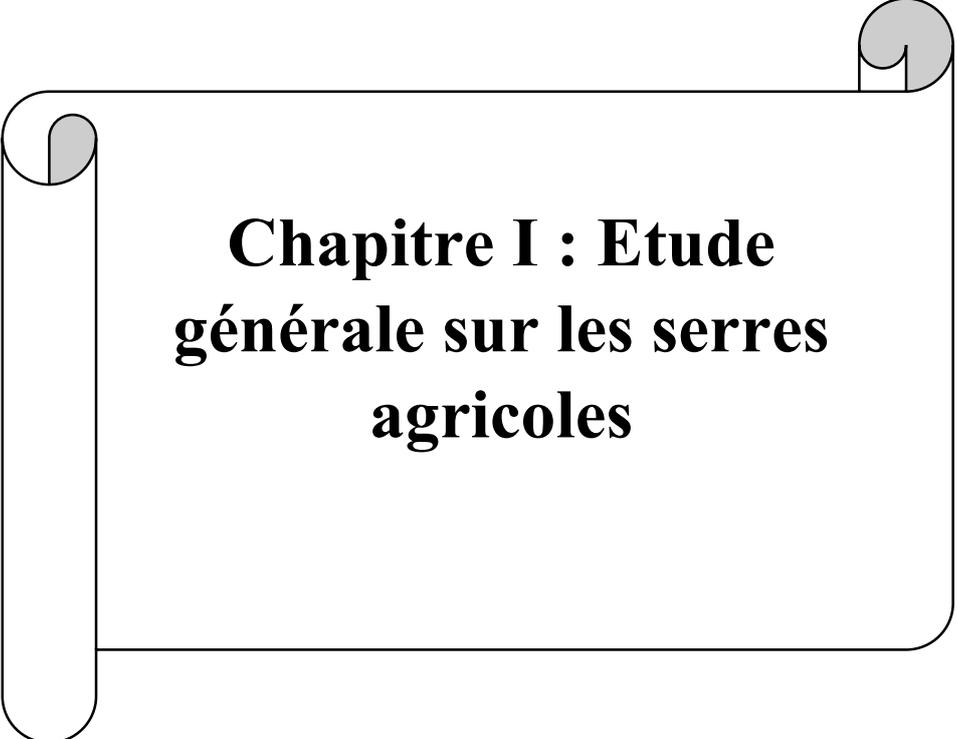
L'utilisation de ces technologies avancées offre de nombreuses opportunités pour améliorer la durabilité et l'efficacité de la production agricole, répondant ainsi aux besoins alimentaires d'une population mondiale en constante croissance.

Dans ce contexte, notre projet de fin d'étude vise à concevoir et réaliser une serre agricole intelligente, contrôlée à distance via Wi-Fi grâce à l'application Blynk. L'objectif de ce prototype de serre est de faciliter le travail de l'agriculteur en lui permettant de surveiller et de contrôler la serre avec un minimum de déplacements.

Ce mémoire sera structuré en trois chapitres :

- Le premier chapitre présentera une étude générale sur les serres agricoles, en abordant leurs différents types, structures et conditions climatiques nécessaires. Nous y discuterons également des serres intelligentes, en mettant l'accent sur les systèmes électroniques utilisés pour surveiller et gérer les conditions environnementales.
- Le deuxième chapitre sera consacré à la description des différents composants électroniques et logiciels utilisés pour atteindre notre objectif.
- Le troisième chapitre détaillera la conception et l'implémentation de notre système, en vue de réaliser des tests expérimentaux et d'en discuter les résultats.

En conclusion, ce mémoire clôturera notre projet en apportant une synthèse générale des résultats et des recommandations éventuelles pour les développements futurs.



**Chapitre I : Etude
générale sur les serres
agricoles**

1. Introduction

Les serres intelligentes représentent une véritable révolution dans le domaine de l'agriculture. Elles créent un microclimat autorégulateur idéal pour la croissance des plantes, en utilisant des capteurs, des actionneurs, ainsi que des systèmes de surveillance et de contrôle pour optimiser les conditions de croissance et automatiser le processus de développement [2].

Dans ce chapitre, nous abordons une étude générale sur les serres, en mettant l'accent sur les facteurs climatiques essentiels à la croissance des plantes. Nous examinons également les composants clés de la gestion et du contrôle des paramètres climatiques.

2. Généralités sur les serres agricoles

2.1 Définition d'une serre agricole

Une serre est une structure généralement close destinée à la production agricole. Elle vise à soustraire aux éléments climatiques les cultures produites pour l'alimentation ou le plaisir de l'homme pour une meilleure gestion des besoins des plantes et pour en accélérer la croissance ou les produire en toute saison. La culture sous serre s'appelle la serriculture. [3]

2.2 Intérêt de la serre agricole

La serre de culture offre la possibilité de s'affranchir des contraintes climatiques extérieures (pluie, vent, froid), elle est conçue pour recréer un environnement donné (microclimat). Elle permet le chauffage de l'air et des racines, le contrôle de l'irrigation et de la fertilisation, l'enrichissement en CO₂ et le contrôle de l'humidité. Elle joue un rôle économique en présentant des produits sur le marché en contre saison.

La serre permet ainsi d'obtenir une production végétale dans des conditions meilleures que celles existant naturellement par conséquent une meilleure qualité, du produit. Pour aboutir à ces résultats, il faut répondre minutieusement aux exigences de la culture pour les différents facteurs intervenant dans sa croissance et son développement, ceci suppose la connaissance des interactions entre ces divers paramètres. [4]

2.3 Structure d'une serre agricole [5]

Le choix du matériau de la structure est en fonction du type de serre choisi, ce qui revient à la question de la place disponible et du budget.

- Structure en aluminium : C'est un matériau très pratique et très utilisé, pour sa solidité et le peu d'entretien qu'il nécessite. Une structure en aluminium de qualité peut durer une centaine d'années.
- Structure en bois : C'est le matériau le plus séduisant car le plus « noble » et le plus esthétique, il faut le choisir imputrescible et s'il est bien entretenu, il pourra durer toute une vie.

- Structure en acier : L'acier présente l'avantage d'être souple et résistant. Une serre en acier pourra avoir la longévité d'une serre en aluminium à condition de prendre garde à la rouille.
- Structure en PVC : Le PVC est relativement bon marché et c'est un des meilleurs isolants, mais il est peu apprécié esthétiquement et sa longévité n'est pas exceptionnelle.

2.4 Les différents types de serres agricoles

Il existe deux types de serre : les serres d'horticulture (pour les cultures ornementales) et les serres tunnels. [6]

2.4.1 Les serres tunnels

La serre tunnel (figure I.1) se compose d'une série d'éléments juxtaposés constitués chacun par une armature en tube d'acier et en profilés assemblés par des boulons. La largeur est de (3 à 9) mètres. Le film plastique se fixe par divers systèmes de clips qui coincent le film contre le profil ou entre deux baguettes tout au long de la serre. La serre tunnel classique est arrondie, mais il existe également des modèles à pieds droits comme pour les serres en verre, Certaines d'entre elles sont d'ailleurs convertibles pour leurs couvertures.

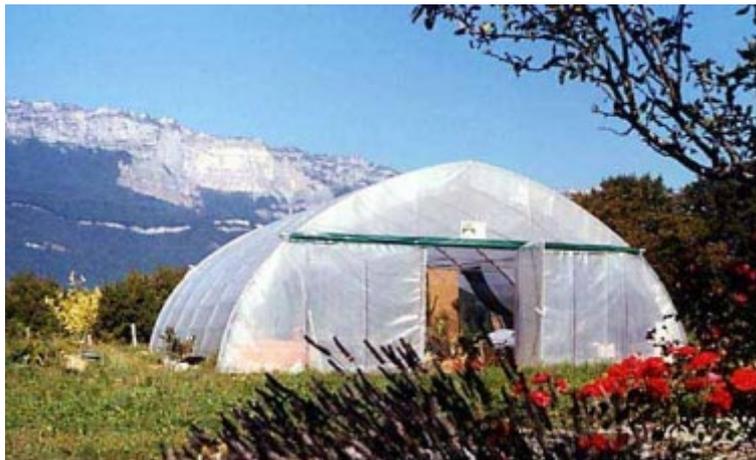


Figure I.1: Serre tunnel.

2.4.2 Les serres d'horticultures

La chapelle (figure I.2) est l'unité de construction de la serre formée par deux parois latérales verticales (ou très légèrement penchées) et un toit à deux pentes, généralement symétriques, La chapelle est caractérisée par sa largeur, les dimensions courantes sont approximativement entre (3, 6, 9,12 et 16 mètres).



Figure I.2: Serre chapelle. [7]

2.5 Classification des serres agricoles

La serre agricole de nos jours est basée sur la technologie. Alors qu'il existe beaucoup de conceptions de serres et aussi beaucoup de paramètres environnementaux à contrôler, nous pouvons considérer les serres sous trois grandes technologies Catégories ; étant faible, moyen et élevé. [9]

2.5.1 Serres à faible technologie

Les serres à faible technologie sont relativement des structures peu coûteuses, faciles à monter avec peu ou pas d'automatisation. Ils sont généralement vêtus d'un simple film en plastique, sont inférieurs à 3 mètres de hauteur totale et n'ont généralement pas de murs verticaux. La « maison-tunnel » traditionnelle est un commun exemple de serre basse technologie offrant un contrôle minimal sur les conditions de croissance. Par conséquent, la lutte contre les ravageurs et les maladies est souvent structuré autour d'un programme de pulvérisation chimique. [9]

2.5.2 Serres à moyenne technologie

Avec une hauteur d'avant-toit ou de gouttière inférieure à 4 mètres et une hauteur totale inférieure à 5,5 mètres, les serres de moyenne technologie ont généralement des murs verticaux et un degré d'automatisation varié avec toit et/ou côté ventilation murale. Elles peuvent être recouvertes soit en film plastique simple ou double peau ou en verre. Les serres de technologie moyenne offrent un compromis entre coût et productivité et offrent une plus grande possibilité d'utiliser des mesures non chimiques efficaces de lutte contre les ravageurs et les maladies. [9]

2.5.3 Serres de haute technologie

Les serres de haute technologie ont un mur de hauteur d'au moins 4 mètres et une hauteur totale jusqu'à 8 mètres. Elles ont une aération du toit et peuvent également avoir des événements latéraux et un échange d'air actif. Elles sont souvent recouvertes d'un double film plastique, feuille de polycarbonate ou de verre. Ces serres de haute technologie offrent une gamme impressionnante de cultures et des caractéristiques de performance environnementale. Avec de contrôles

environnementaux entièrement automatisés et aussi la possibilité d'un examen complet "Integrated Pest Management" (IPM), ces les structures offrent nettement plus de productivité par unité de surface. [9]

2.6 Les conditions environnementales d'une serre agricole

Le déroulement de la croissance et du développement des différents organes d'une plante, d'une culture, obéit étroitement aux conditions climatiques. Pour cela, les serristes considèrent le climat comme un facteur de rendement qu'il faut essayer de chiffrer afin d'avoir des rendements optimums, en assurant des conditions climatiques dont elles ont besoin [5]

Les facteurs climatiques les plus importants dans la serre sont :

- La lumière.
- L'humidité.
- La température.
- Les concentrations des gaz (CO₂).

2.6.1 La température

Chaque espèce requiert une température optimale de croissance qui peut atteindre 18 à 20°C (notamment en cultures maraîchères et pour certaines plantes en pot d'origine exotique).

La température de l'ambiance joue un rôle important pour les fonctions vitales de la plante : la photosynthèse, la transpiration, la circulation de la sève, la multiplication et la différenciation des cellules des organes aériens. (Par exemple, en production de tomate, la température influence fortement le calibre du fruit, la coloration et la forme. La température optimale pour la photosynthèse de la tomate varie entre 22 et 25 °C. En ornement, les différentes espèces ont des températures de croissance optimales très variables. En dessous ou au-dessus de ce seuil de température, la qualité des plantes est plus ou moins dépréciée. [5]

Par conséquent, pour garder la température ambiante à l'intérieur d'une serre il est nécessaire d'installer des systèmes de refroidissement et de chauffage.

2.6.2 Lumière et rayonnement solaire

Le rayonnement (solaire ou artificiel) active la photosynthèse des cultures et permet d'obtenir une bonne qualité des plantes et des fruits produits.

L'utilisation de la lumière artificielle (éclairage photosynthétique) pour une croissance optimale des plantes entraîne une consommation d'énergie électrique.

Pour que l'éclairage artificiel soit efficace, doit fournir entre 50 et 200 Watts électriques par m², ce qui nécessite l'installation de lampes de forte puissance électrique (400 à 600W). L'inconvénient réside donc dans le coût en électricité engendré. [5]

2.6.3 Influence de l'humidité

En période nocturne, les serres étant généralement fermées l'humidité relative de l'air y est élevée. Des considérations se produisent fréquemment au niveau des parois et peuvent tomber sur la végétation créant ainsi des conditions particulièrement favorables au développement des maladies cryptogamiques. En période diurne, l'élévation de la température de l'air peut déterminer un abaissement exagéré de son humidité relative de l'air et provoque un véritable « stress hydrique » au niveau de la végétation, lorsqu'il s'agit d'abaisser le degré d'hygrométrie, l'aération ou la ventilation s'impose. [5]

2.6.4 Le gaz carbonique CO₂

Le gaz carbonique (CO₂) est indispensable au phénomène de la photosynthèse grâce auquel les plantes vertes utilisent l'énergie lumineuse pour transformer le CO₂ en eau et en sucre. Ces sucres servent ensuite à divers mécanismes de croissance contrôlés par le processus de la respiration. La différence entre la photosynthèse et la respiration détermine l'importance de l'accumulation de matière sèche (croissance) dans la plante. L'objectif de tous les serriculteurs est d'accroître la teneur en matière sèche des plantes et d'obtenir un rendement maximum au moindre coût. Le CO₂ accroît la productivité en améliorant la croissance et la vigueur des plants. L'apport de CO₂ peut améliorer la productivité en favorisant notamment la floraison hâtive, en augmentant le rendement en fruits, en réduisant la chute prématurée du bouton chez les roses ou en améliorant la vigueur de la tige et la taille de la fleur. Les serriculteurs devraient considérer le CO₂ comme un élément nutritif. Photosynthèse. Pour la majorité des cultures en serre, le rendement photosynthétique augmente de 50 % lorsque la concentration de CO₂ passe de 340 ppm (concentration de l'air ambiant) à 1000 ppm [8]

3. Les serres agricoles intelligentes

3.1 Définition d'une serre agricole intelligente

La serre agricole intelligente n'est en réalité qu'une serre agricole simple mais dotée de composants électroniques tels que les capteurs et actionneurs et un système de traitement d'informations (ex : ordinateur). A l'intérieur de la serre les capteurs acquièrent les informations du milieu extérieur et seront immédiatement envoyés vers l'ordinateur pour que ce dernier les traite et décide les actions primordiales à entreprendre et ensuite les exécute à l'aide des actionneurs.

3.2 Avantages d'une serre agricole intelligente

- La serre intelligente est un système autonome et peut aussi être contrôlée à distance ce qui facilite le travail de l'agriculteur.

- Contrôle du climat : une serre intelligente peut ajuster automatiquement les conditions climatiques pour optimiser la croissance des cultures, tout en économisant de l'énergie et en améliorant l'efficacité.
- Surveillance en temps réel l'état de santé des plantes, ce qui permet de détecter rapidement les problèmes potentiels et d'y remédier.
- Utilise des techniques telles que la culture hydroponique et la fertilisation contrôlée pour améliorer la qualité et la quantité de la production.

3.3 Les différentes approches existantes pour les serres agricoles intelligentes [10]

3.3.1 La motorisation

La motorisation est utilisée dans toutes les aérations au faitage ainsi que latérales divers systèmes de motorisations, capables d'actionner automatiquement les aérations et d'autres équipements pour contrôler idéalement les variables climatiques internes de la serre. Elles sont munies d'un système d'ouverture par motoréducteur qui transmet le mouvement grâce à l'accouplement de la chaîne à un axe de transmission et à un ensemble pignon-crémaillère tous les 2,5 mètres. Dans le cas des fenêtres enroulables, l'ouverture est obtenue par un système d'enroulement du film plastique sur un tube axe. La figure ci dessous représente un exemple de motorisation. [10]



Figure I.3: Motorisation. [10]

3.3.2 Les extracteurs d'air

Les extracteurs sont utilisés pour renouveler l'air dans la serre, et il est possible de les utiliser en combinaison avec les panneaux cooling pour réduire la température intérieure. Le logement du ventilateur et le venturi sont fabriqués en tôle d'acier galvanisé résistante. La partie centrale et la poulie en forme de V sont fabriquées en fonte d'aluminium. Les jalousies à ouverture automatique fabriquées en acier galvanisé pressé très résistant empêchent la poussière de pénétrer. L'hélice est équilibrée statiquement et dynamiquement pour produire de faibles niveaux de bruit et de vibrations, et est disponible galvanisée, pré-laquée ou en acier inoxydable. Équipé d'un moteur de classe A, caractérisé par une efficacité excellente et une faible consommation d'énergie. Disponible pour fonctionner sur 230 v 1f ou 230/400 3f à 50 ou 60 Hz. [10]

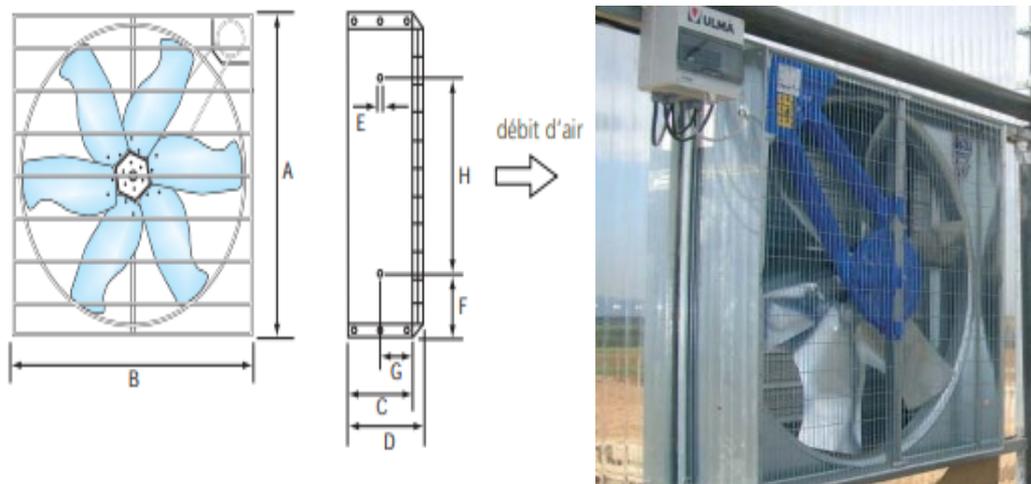


Figure I.4: Extracteur. [10]

3.3.3 Le système d'irrigation

L'irrigation est l'opération consistant à fournir artificiellement de l'eau aux plantes cultivées pour augmenter leurs rendements et leur permettre de pousser normalement dans des conditions de déficit hydrique dû à des précipitations insuffisantes, à un drainage excessif ou à la baisse du niveau des nappes phréatiques, notamment dans les zones arides. L'irrigation a également d'autres usages, comme l'apport de nutriments au sol ou la pulvérisation pour apporter des nutriments aux feuilles (fertilisation foliaire) ; en hydroponie, irrigation et fertilisation sont complètement confondues. Tout système d'irrigation se compose des quatre grands secteurs : Le pompage de l'eau, le traitement de l'eau, distribution de l'eau et/ou des solutions fertilisantes, Entreposage / Récupération de l'eau et/ou des solutions (dans la culture hors sol). [12]

3.3.4 Appareil de recirculation d'air

Les ventilateurs pour la recirculation de l'air ont une influence sur la qualité et l'homogénéité du climat de la serre. La recirculation de l'air permet d'éviter les condensations, les maladies des cultures et améliore leur transpiration. Toutes les parties sont totalement résistantes à la corrosion. Equipés avec des moteurs de grande qualité avec protection (IP 55). [10]

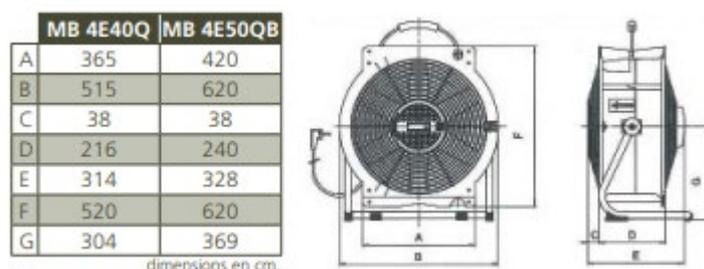


Figure I.5: Appareil de recirculation d'air [10]

3.3.5 Chauffage d'air

Les Caléfacteurs sont conçus pour faire chauffer l'air de la serre et nous permettent de contrôler dans une certaine mesure l'humidité relative. Le logement est fabriqué en acier galvanisé pré-revêtu. La chambre de combustion et l'échangeur de chaleur sont fabriqués en acier inoxydable. Le contrôle du processus de combustion est simple, Il fonctionne selon le principe de combustion indirecte par échangeur de chaleur, avec les gaz de combustion et le débit d'air complètement séparés. Les gaz de combustion sont expulsés de la serre par la cheminée. Il dispose d'un thermostat à double commutateur pour optimiser le niveau de sécurité et éviter un fonctionnement instable du caléfacteur. [10]



Figure I.6: Caléfacteurs. [10]

3.3.6 Ecran de refroidissement

Ils permettent de contrôler la quantité de lumière, réduire la température de la serre et également servir pour accroître l'humidité. L'eau s'écoule à travers l'écran et permet de refroidir et humidifier l'air qui y circule de l'extérieur vers l'intérieur de la serre. [11]



Figure I.7: Ecran de refroidissement [11]

3.3.7 La technologie GSM

La technologie GSM est Un élément de surveillance, de contrôle et de supervision à distance qui permet à l'agriculteur d'avoir l'esprit totalement tranquille lorsqu'il s'absente de l'installation.

D'où le téléphone portable est complètement configurable par l'agriculteur et à partir duquel il est possible de demander des informations, de manipuler l'équipement et de recevoir des avertissements en cas d'incident dans l'installation grâce à de simples messages SMS, ainsi vous permettez de savoir à tout moment dans quel état se trouve votre installation, où que vous vous trouviez [10]



Figure I.8: Module GSM. [10]

3.3.8 Contrôle climatique

Le grand écran LCD avec ses menus détaillés font de cet appareil un outil très simple à manier malgré son grand niveau de sophistication ; c'est l'allié parfait si vous souhaitez tirer la meilleure rentabilité de votre installation [10]



Figure I.9: Ecran LCD de contrôle climatique. [10]

4. Les capteurs

La mesure de diverses grandeurs physiques est essentielle dans de nombreux secteurs tels que l'industrie, la recherche scientifique, les services et les loisirs. Pour réaliser cette mesure, l'élément clé utilisé est le capteur.

4.1 Définition d'un capteur

Un capteur est un dispositif qui recueille des informations à partir d'une grandeur physique et les convertit en une autre grandeur physique, généralement de nature électrique. Cette dernière est ensuite utilisée pour des applications de mesure ou de commande.

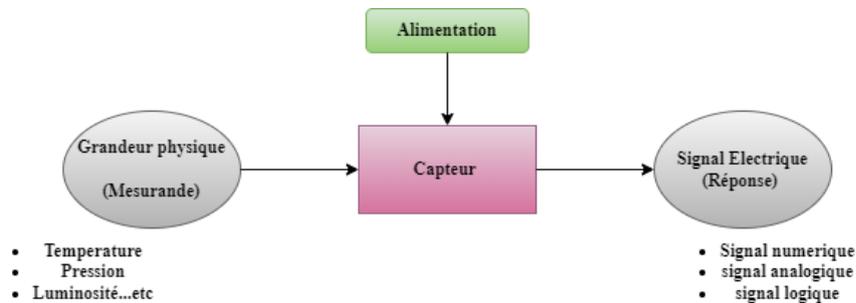


Figure I.10: Fonctionnement d'un capteur.

4.2 Les capteurs utilisés dans une serre agricole intelligente

4.2.1 Le capteur de gaz carbonique CO2

Les capteurs de CO2 permettent de détecter et de commander avec précision le taux de CO2 en ppm utilisable en serre, Ainsi ils permettent d'une part d'obtenir un climat sain à l'intérieur de la serre et d'autre part d'assurer une croissance optimale des plantes.



Figure I.11: Capteur de gaz carbonique CO2 [15]

4.2.2 Capteur d'humidité du sol

Les plantes absorbent les nutriments essentiels du sol par leurs racines. Donc, il est nécessaire de maintenir un niveau suffisant de teneur en eau dans le sol. Cependant, une quantité excessive d'eau peut augmenter la probabilité que les plantes contractent ou souffrent de différentes maladies. Il est donc impératif de maintenir précisément le niveau d'eau requis dans le sol. [13]

C'est là où vient l'utilité qui du capteur d'humidité du sol qui va déterminer de façon essentielle la variation des caractéristiques de différents matériaux ou sols. (Teneur en eau...) [14]

Il existe différentes techniques de mesure de l'humidité d'un sol, nous citons [14] :

➤ La méthode gravimétrique

Cette méthode consiste à sécher (passer dans un four à 105 °C) un échantillon de sol et connaître ensuite par pesée finale (ramenée à la pesée initiale) le poids d'eau contenu par l'échantillon.

➤ La méthode par sonde à neutrons

Cette méthode reste particulièrement efficace mais chère et désormais beaucoup trop réglementée (caractère radioactif du principe de l'appareil) pour être utilisée simplement par un opérateur.

➤ La méthode par mesure de la conductivité électrique

Cette méthode très économique est malheureusement très peu précise, et reste fortement influencée par la nature du sol et la salinité des sols.

➤ La méthode capacimétrique

Méthode électromagnétique (mesure de la permittivité diélectrique) économique, mais au volume d'influence limité (1 à 2 centimètres autour des pointes du capteur) et influencée par le type de sol, la température et la salinité.

➤ La méthode TDR

La méthode TDR (Time Domain Reflectometry) a comme principe la détermination du temps de propagation d'un pulse électromagnétique le long d'une électrode introduite dans le sol. Le temps de propagation de ce pulse dépend étroitement de l'humidité du sol (mesure de permittivité diélectrique).

Son volume d'influence est supérieur à celui des techniques capacitatives. La mesure est par ailleurs faiblement influencée par la température, la salinité et le type de sol.

4.2.3 Le capteur de température et humidité

Les serres utilisent généralement un seul capteur qui combine les deux mesures, il permet de mesurer et contrôler la température et l'humidité de l'air car une humidité élevée favorise les problèmes de moisissures et de ravageurs dans les serres, le froid ou la température élevée entravent sérieusement la croissance et le développement des plantes.

Le capteur de température et d'humidité peut être connecté à un contrôleur externe. Lorsque la lumière directe du soleil rend la température ou l'humidité intérieure trop élevée, ce dernier télécharge la valeur actuelle sur la plate-forme générale, et la plate-forme générale envoie un signal au contrôleur de ventilateur de la serre pour contrôler son aspiration ou son événement de travail [15]



Figure I.12: Capteur de température et humidité [15]

4.2.4 Le capteur de lumière

Les capteurs de lumière les plus couramment utilisés sont les modèles à photorésistance, les photodiodes ou phototransistors et les capteurs de caméra. Le modèle de photorésistance est une sorte de capteur de lumière, composé de matériaux semi-conducteurs, et sa conductance change avec la fréquence de la lumière. Bien que la photorésistance ne soit pas un isolant, son comportement est de ne pas laisser passer le courant. Sa résistance dans l'obscurité est presque infinie. Les photorésistances sont généralement utilisées dans des équipements tels que les jouets, les caméras et les lumières LED. D'autre part, les photodiodes peuvent détecter les rayonnements et les convertir en signaux électriques grâce à leurs capteurs optiques. Une fois converti en signal électrique, ce rayonnement augmente proportionnellement à l'intensité de la lumière. Les photodiodes ou phototransistors sont utilisés pour les fibres optiques. Enfin, le capteur photographique permet la conversion de signaux de rayonnement électromagnétique en signaux électriques analogiques. Comme son nom l'indique, il existe dans l'appareil photo. Son rôle est de convertir la lumière en un signal, puis de la numériser pour obtenir une image numérique. [11]

4.2.5 Le capteur de précipitation

Le pluviomètre est le capteur le plus couramment utilisé. Installé à l'extérieur de la serre pour mesurer les précipitations. Lorsque les précipitations atteignent une valeur prédéfinie, la plateforme de surveillance peut contrôler la fermeture ou la limitation des événements de toit ou du toit escamotable. Ce sont les capteurs les plus appropriés à cet effet car ils permettent une réponse rapide. [15]



Figure I.13: Capteur de précipitation [15]

4.2.6 Le capteur de PH du sol

Si le sol est trop acide ou alcalin, cela affectera la croissance des racines des plantes dans une certaine mesure, ainsi la croissance et le développement optimal des plantes. Le déséquilibre acido-basique du sol peut également réduire la disponibilité des éléments nutritifs dans le sol et affecter la fertilité du sol.

Par conséquent, il est nécessaire pour la croissance des cultures dans le hangar de surveiller le pH du sol via le capteur de pH du sol, de comprendre la qualité du sol, d'appliquer raisonnablement des engrais, d'accélérer l'amélioration du sol et d'améliorer la fertilité. [15]

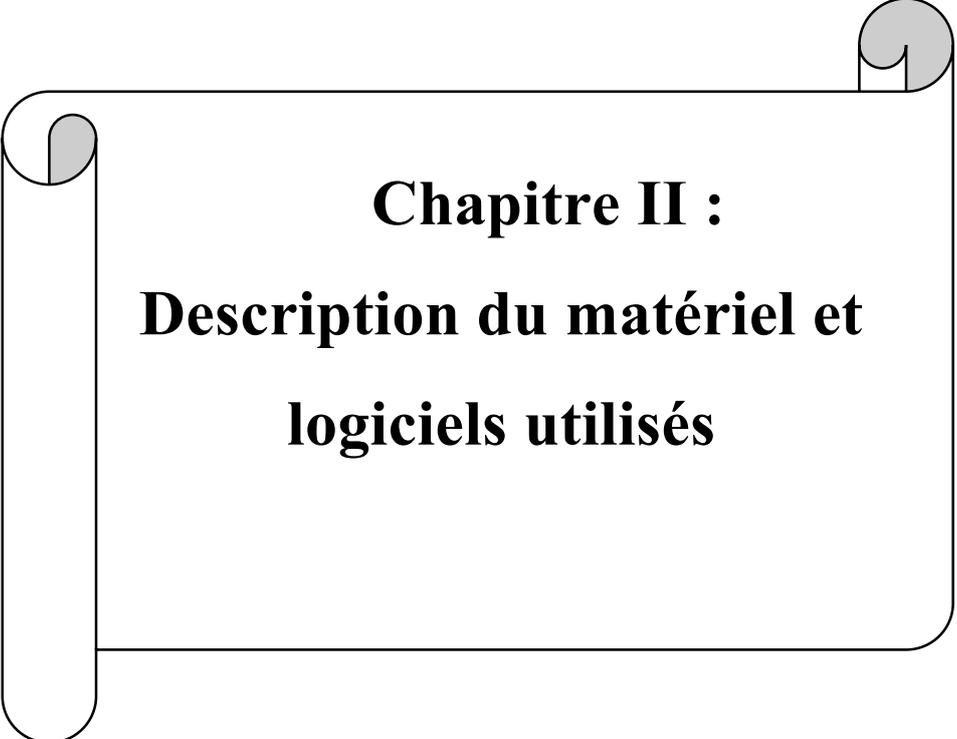


Figure I.14: Capteur PH du sol

5. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons abordé les aspects généraux des serres agricoles, en examinant leurs différents types, structures, ainsi que les paramètres climatiques essentiels à surveiller et contrôler. Par la suite, nous avons présenté la notion de serre agricole intelligente, en mettant en évidence ses avantages, ainsi que les divers composants électroniques qui la composent.

Dans le prochain chapitre, nous fournirons une description approfondie de tout l'équipement matériel et des logiciels utilisés pour la réalisation de notre prototype.



Chapitre II :
Description du matériel et
logiciels utilisés

1. Introduction

Avant d'entamer la conception et la réalisation de notre serre agricole intelligente, il est essentiel de sélectionner soigneusement la carte électronique ainsi que les différents composants nécessaires. Dans ce chapitre, nous décrirons en détail l'ensemble du matériel et des logiciels utilisés pour atteindre nos objectifs.

2. Schéma synoptique du prototype

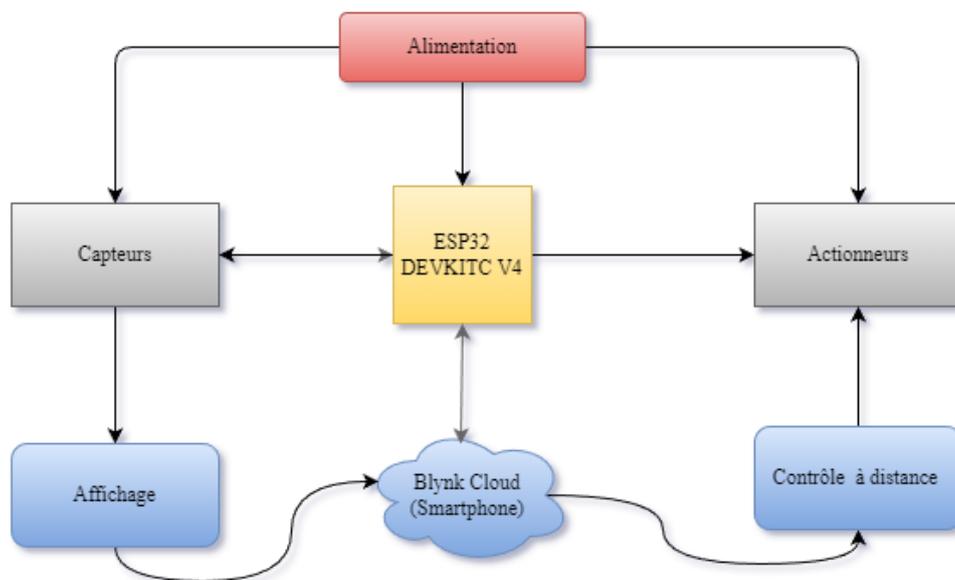


Figure II. 1: Schéma synoptique de la serre intelligente

Le schéma ci-dessus représente les différentes unités du prototype. La carte électronique, les capteurs, actionneurs, alimentation électrique et l'application Blynk (affichage des valeurs des capteurs et commande des actionneurs).

3. Partie Hardware

Dans cette partie nous allons présenter les différents composants électroniques utilisés :

3.1 Choix de la carte électronique

Le choix de la carte électronique est une étape très importante dans notre réalisation, et pour la choisir nous devons par exemple savoir quel est le nombre d'entrées/sorties analogiques/numériques que la carte possède, sa vitesse de traitement de données, ainsi la possibilité de se connecter à internet vu que notre réalisation nécessite cette dernière. C'est pour Cela que nous avons choisi la carte ESP32 de chez Espressif systems.

3.2 Historique sur le microcontrôleur ESP32

En 2016, l'entreprise Espressif a mis au marché un nouveau microcontrôleur plus puissant que l'ESP8266, appelé ESP32. Le nouveau microcontrôleur ESP32 n'a pas seulement un module wifi intégré, mais aussi un module Bluetooth, qui permet au microcontrôleur de se connecter avec des appareils compatibles avec les communications Bluetooth. Le microcontrôleur ESP32 utilise le microprocesseur 32bits Tensilica Xtensa LX6. Ce processeur fonctionne à une fréquence d'horloge de 240 MHz. Il possède une mémoire RAM de 520 kb, EEPROM de 448 kb et aussi une mémoire Flash de 4000 kb (pour la programmation et l'enregistrement de données) et il est similaire au microprocesseur de l'ESP8266, mais en plus il possède deux cœurs, d'avantage plus de mémoire de données, entrées/sorties, une vitesse plus rapide, des convertisseurs CAN/CNA et un bus de données CAN. [16]

3.3 Présentation de la carte ESP32 DEVKITC V4

L'ESP32 DEVKITC V4 est une petite carte de développement basée sur ESP32 taille produite par l'entreprise Espressif. La plupart des broches d'E / S sont réparties sur les en-têtes de broches des deux côtés (gauche et droite) pour un interfaçage simple et facile. La carte est compatible avec la plaquette d'essai ce qui permet aux développeurs de connecter leurs composants avec la carte via des fils de liaison. Elle a des dimensions de 54.4mm x27.9mm. [16][17]

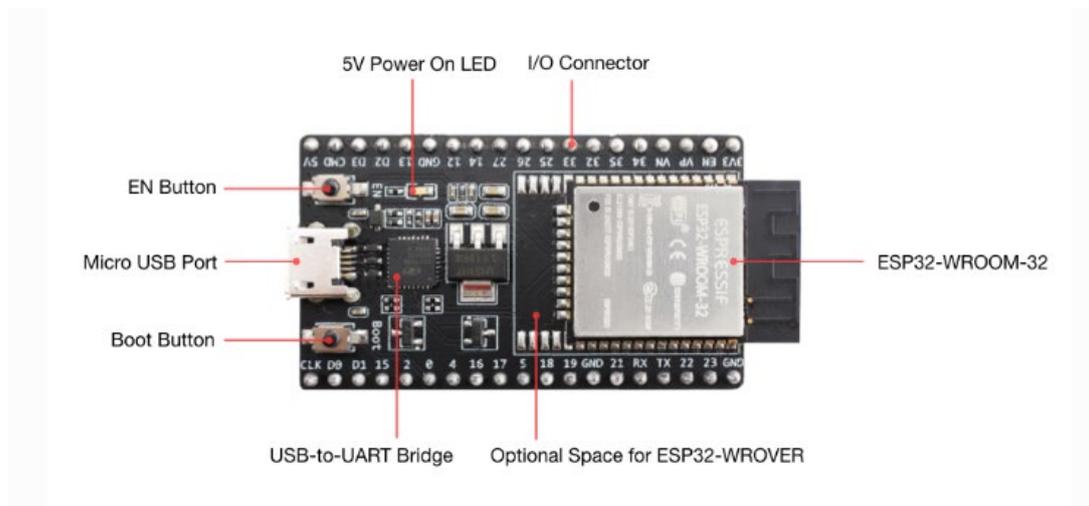


Figure II. 2: Composants de la carte ESP32 DEVKITC V4 [17]

3.4 Caractéristiques de la carte

Composants	Description
ESP32-WROOM-32	module Wi-Fi + Bluetooth
EN	bouton de réinitialisation lorsque l'on appuie dessus, la carte est réinitialisée
Boot	Bouton de téléchargement. Maintenir Boot enfoncé puis appuyer sur EN lance le mode

Chapitre II : Description du matériel et logiciels utilisés

	de téléchargement du programme pour que ce dernier soit téléchargé via le port série.
USB vers UART Bridge	USB-UART unique qui fournit des taux de transfert allant jusqu'à 3 Mbps.
Port Micro USB	Alimentation de la carte ainsi que l'interface de communication entre un ordinateur et le module ESP32-WROOM-32.
LED d'allumage 5v	S'allume lorsque un câble USB ou une alimentation externe 5V est connectée à la carte
Entrées/Sorties	32
Alimentation	-via le port USB (alimentation par défaut) - via les broches 5V/GND -via les broches 3.3V/GND

Tableau II.1 : Caractéristiques principales de l'ESP32 DEVKIT V4 [17]

Les broches de la carte ESP32 DEVKIT V4 ont plusieurs fonctions. La figure (II.3) montre les fonctions de chaque broche, prenons exemple : la broche 26 de la carte est partagée avec les fonctions port entrée/sortie 26, canal RTC 7, canal DAC 2 et canal ADC2_9. [16]

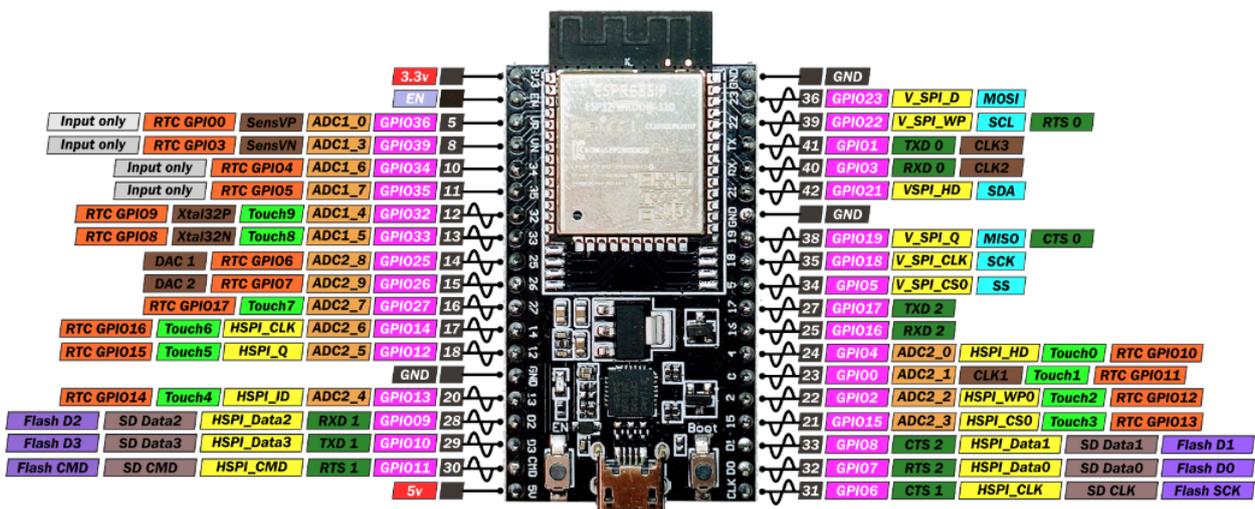


Figure II. 3: Les fonctions des broches de l'ESP DEVKIT V4 [18]

Remarque :

D'après la figure (II.3) il faut noter que les ports GPIO36, 39, 34, 35 ne peuvent être programmées qu'en entrées uniquement. [16]

3.5 Les capteurs utilisés

3.5.1 Capteur humidité température DHT22

Le DHT22 montré dans la figure (II.4) est un capteur qui permet de mesurer à la fois la température et l'humidité de l'air. Ayant une précision satisfaisante, son intervalle de mesure de température est de -40° allant jusqu'à 120° avec une précision de $\pm 0.5^{\circ}$ et pour l'humidité l'intervalle est de 0% à 100% avec 2-5% comme précision de mesure. [19]

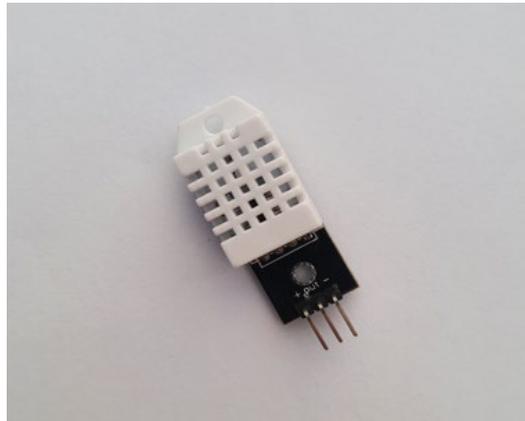


Figure II. 4 : Capteur DHT22

3.5.2 Capteur d'humidité du sol

Le capteur d'humidité du sol est un capteur qui mesure la teneur en eau dans le sol. La mesure de l'humidité du sol est importante pour aider les agriculteurs à gérer leurs systèmes d'irrigation. Il se compose de deux sondes qui servent à mesurer le contenu volumétrique de l'eau. Les deux sondes permettent au courant de passer à travers le sol, puis il obtient la valeur de résistance pour mesurer l'humidité. Quand il y a plus d'eau, le sol conduira plus d'électricité, ce qui signifie qu'il y aura moins de résistance. Par conséquent, le niveau d'humidité sera plus élevé. Un sol sec conduit mal l'électricité, donc quand il y aura moins d'eau, le sol conduira moins d'électricité, ce qui signifie qu'il y aura plus de résistance. Par conséquent, le niveau d'humidité sera plus faible. [20]

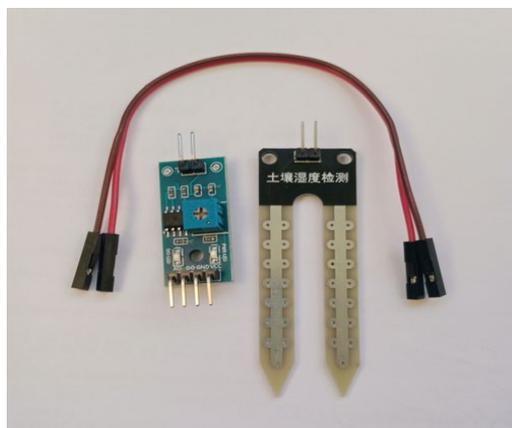


Figure II. 5: Capteur d'humidité du sol

3.5.3 Capteur de pluie

Le capteur de niveau de l'eau illustré dans la figure (II.6) est un excellent moyen de détecter une fuite, un déversement, une inondation, une pluie, etc. Il peut être utilisé pour détecter la présence, le niveau, le volume et/ou l'absence d'eau ainsi peut être utilisé pour rappeler l'arrosage des plantes. Le capteur a un ensemble de traces exposées, qui permettent de créer un signal lorsque l'eau est détectée. [21]

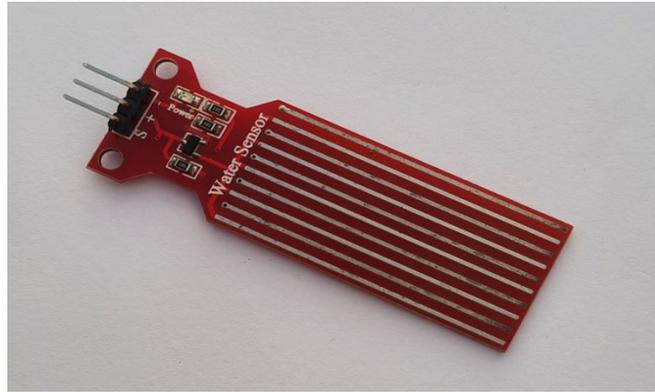


Figure II. 6: Capteur de pluie

3.5.4 Débitmètre YF-S201

Le YF-S201 est un débitmètre électronique qui a un boîtier en plastique et un rotor avec des pales à l'intérieur, l'aimant fixé au rotor et sa rotation, par effet Hall, détermineront le débit ou la consommation qu'il mesure à tout moment. La sortie du capteur sera une onde carrée avec une fréquence proportionnelle au débit qui le traverse. Autrement dit lorsque la fréquence augmente le débit/volume augmente et vice-versa.

$$f(\text{Hz}) = k * Q \left(\frac{\text{l}}{\text{min}} \right) \Rightarrow Q \left(\frac{\text{l}}{\text{min}} \right) = \frac{f(\text{Hz})}{k} \quad (\text{II.1})$$

Le facteur de conversion dit K entre la fréquence (Hz) et le débit (litre / minute) dépend des paramètres que le fabricant a donnés au capteur. [22]



Figure II. 7: Débitmètre

3.5.5 Le capteur DS18B20

Le capteur DS18B20 est un capteur de température numérique conçu par l'entreprise Dallas Semiconductor. Il communique via un bus 1-Wire et possède une résolution numérique allant de 9 à 12 bits programmable intégrant un capteur analogique, convertisseur A/N qui permet de convertir les 12bits de température en mot numérique, avec une plage de mesure de -55°C à $+125^{\circ}\text{C}$. La précision du capteur est de $0,5^{\circ}\text{C}$ entre -10°C et $+85^{\circ}\text{C}$. [23]

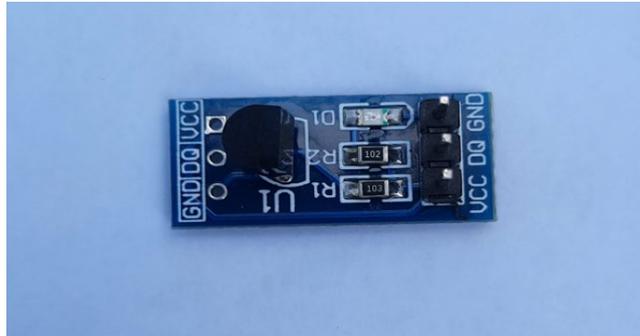


Figure II. 8: Capteur de température DS18B20

3.5.6 La photorésistance LDR

Une photorésistance, tout comme une photodiode, est un dispositif photoélectrique. C'est une résistance dont la résistance est appelée une photorésistance R_p qui dépend de la lumière incidente. Les matériaux courants pour sa fabrication sont le sulfure de cadmium (CdS) et le cadmium sélénure (CdSe) qui sont des semi-conducteurs dont les résistances changent à la lumière entrante dans la surface. Pour son fonctionnement, une photorésistance nécessite une source d'alimentation (signal d'excitation) car contrairement à une photodiode ou un phototransistor, elle ne génère pas un photo-courant - un photo-effet se manifeste par un changement de la résistance électrique. La figure (II.9) montre un diagramme schématique d'une cellule photo-résistive. Une électrode est placée à chaque extrémité du photoconducteur. Dans l'obscurité, la résistance du matériau est élevée. Par conséquent, la tension appliquée V entraîne un petit courant qui est attribué aux effets de la température. Lorsque la lumière tombe sur la surface, le photo-courant i_p circule entre ses électrodes et à travers la batterie. [24]

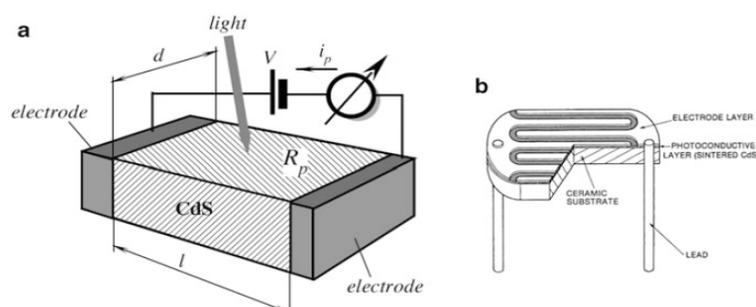


Figure II. 9 : Structure d'une photorésistance (a) et photorésistance revêtue de plastique ayant une forme serpentine (b)

3.6 Actionneurs

3.6.1 Mini pompe d'eau

Pour établir le système d'irrigation de notre serre, il est nécessaire d'avoir une station de pompage d'eau. Pour cela nous avons choisis la mini pompe R385 DC 12V.

Son fonctionnement est simple, car elle contient un moteur aspirateur, une entrée et une sortie de l'eau. Cette mini-pompe doit être placée à l'extérieur de l'eau.

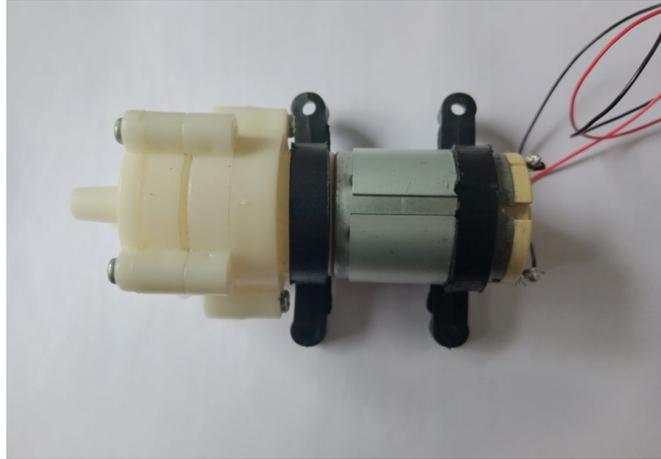


Figure II. 10: Mini-pompe d'eau

3.6.2 Humidificateur d'air

L'humidificateur d'air permet de diminuer l'air sec, son fonctionnement consiste en moyen de disques en céramique qui vibrent rapidement et pulvérisent l'eau liquide en minuscules gouttelettes qui sont délicatement soufflées dans l'air. Il s'agit généralement d'appareils à air froid. [25]

Le model que nous avons choisi est convenable à notre serre qui permettra d'assurer une humidité d'air saine a la croissance de la plante, il n'a besoin que d'une alimentation 12V et un petit réservoir d'eau.



Figure II. 11: Humidificateur d'air à ultrason

3.6.3 Le servomoteur

Le servomoteur est un élément indispensable pour concevoir toute sorte de robots et de mécanismes. Un servomoteur de loisir standard se compose généralement d'un petit moteur électrique, d'un potentiomètre, d'une électronique de commande et d'une boîte de vitesses. La position de l'arbre de sortie est constamment mesurée par le potentiomètre interne et comparée à la position cible définie par le contrôleur. [26]



Figure II. 12: Servomoteur SG90

➤ Principe de fonctionnement

Le signal de commande d'un servomoteur est un signal MLI. Ce signal, illustré à la figure (II.13), est normalisé pour tous les servos utilisés en modélisme.

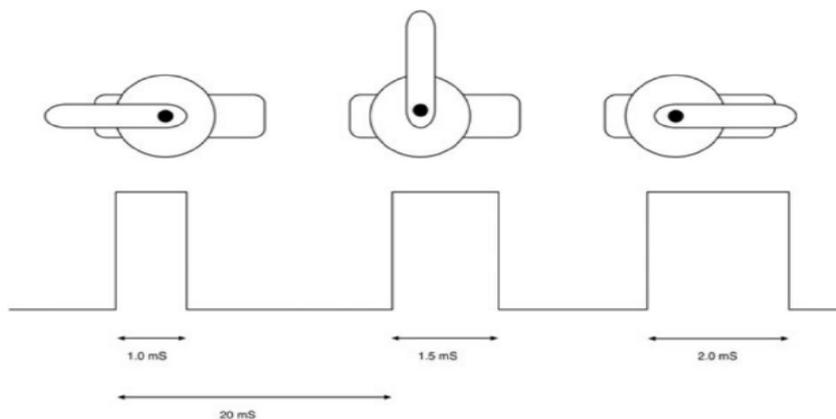


Figure II. 13: Fonctionnement du Servomoteur [27]

Un train d'impulsions de 1,5 milliseconde place le servo en position centrale à 90° . Des impulsions de 1 milliseconde le placent à 0° et des impulsions de 2 millisecondes l'orientent à 180° . En réalité, cette course peut être légèrement inférieure à 180° , sans que les impulsions ne soient plus courtes à une extrémité et plus longues à l'autre. En fait, il n'est pas rare que l'impulsion 0° doit être de 0,5 milliseconde et celle de 180° soit effectivement de 2,5 millisecondes. Le servo s'attend à recevoir une impulsion toutes les 20 millisecondes. [27]

3.6.4 Le module Peltier

Le Peltier est une résistance qui permet de fournir un chauffage ou refroidissement, dans notre projet nous allons l'utiliser comme une résistance chauffante car il peut nous assurer un échauffement allant jusqu'à 68C°, et nous pourrions contrôler la température sous serre. [28]



Figure II. 14: Module Peltier TEC1-12715

➤ Principe de fonctionnement

Le module Peltier est un dispositif thermoélectrique pratique est généralement constitué de matériaux semi-conducteurs de type n et de type p connectés électriquement en série et thermiquement en parallèle. Lorsqu'un courant électrique circule sur le module Les électrons se déplacent soit du niveau d'énergie élevé vers le niveau d'énergie bas, ou le contraire, et donc libéreront de la chaleur ou un refroidissement au niveau des jonctions. [28]

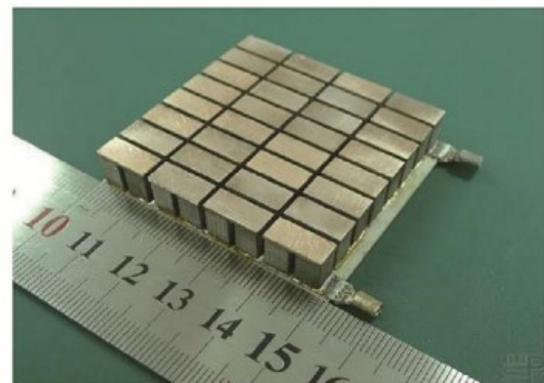
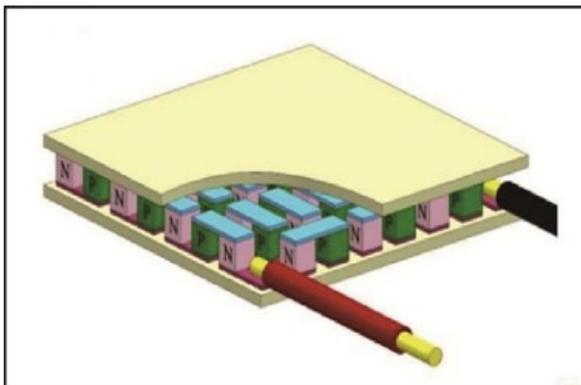


Figure II. 15: Fonctionnement du module Peltier [28]

3.6.5 Extracteur d'air

Le ventilateur permet de créer un vent artificiel pour assurer la circulation de l'air à l'intérieur des serres agricoles et de contrôler certains paramètres climatiques comme l'humidité et la température.

Dans notre réalisation nous avons choisi un ventilateur 5v d'un pc bureau pour refroidir la serre.



Figure II. 16: Extracteur d'air

3.6.6 Ecran LCD 16X2 I2C

L'écran à cristaux liquides (LCD), cet écran de 2 lignes par 16 caractères est fréquemment utilisé dans divers dispositifs d'affichages électroniques. C'est un dispositif passif qui ne génère pas sa propre lumière. Sa transparence varie pour afficher les images, ce qui signifie qu'il a besoin d'un rétroéclairage pour être visible. [29]

L'afficheur LCD utilisé dans notre réalisation se raccorde via un bus i2c ce qui nous permettra de minimiser l'utilisation des câbles.

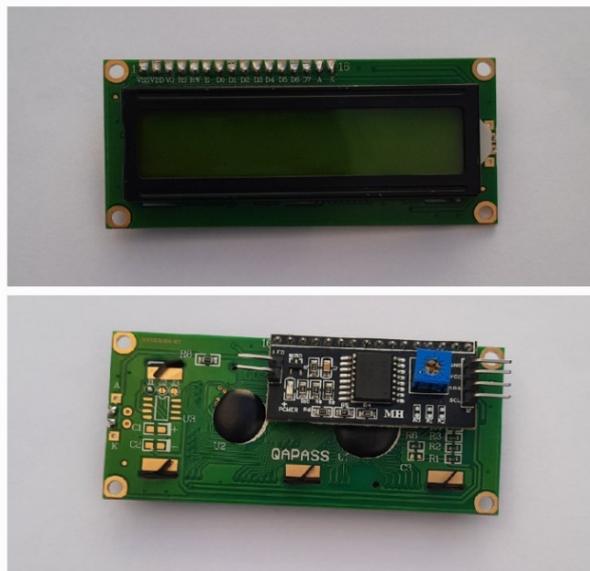


Figure II. 17: Ecran LCD I2C

➤ Présentation du bus I²C

Le bus I2C a été inventé par Philips Semiconductor en 1982 pour connecter des périphériques et des microcontrôleurs sur de courtes distances. Le bus utilise deux lignes bidirectionnelles à collecteurs ouverts (ou open drain) tirées avec des résistances. SDA est la ligne de données série et SCL est la ligne d'horloge série. Bien que le bus soit bidirectionnel, les données ne peuvent voyager que dans une seule direction à tout moment. Le bus utilise le protocole

maitre/esclave et il peut y avoir un ou plusieurs maitres et un ou plusieurs esclaves d'où uniquement le maitre initie la communication et génère les signaux d'horloge. [29]

3.6.7 Tube LED

La figure (II.18) montre un tube LED extrait d'un écran LCD, ce tube va nous servir à générer de la lumière à l'intérieur de la serre.



Figure II. 18: Tube LED

3.7 Autre composants nécessaires

3.7.1 Relai 4 canaux

Un module idéal pour le pilotage de dispositifs externes dont la tension/courant est élevée. Ces platine intègres 4 relais 5V avec opto-coupleurs de protection dont le pilotage s'effectue sur un connecteur mâle au pas de 2,54 mm directement depuis Arduino ou d'autres cartes compatibles. [30]

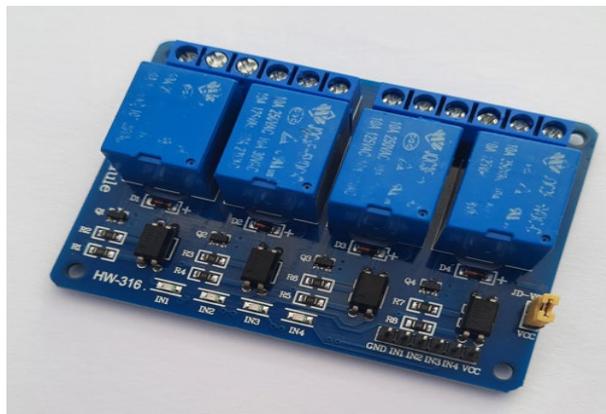


Figure II. 19: Relai 4 canaux

Dans notre réalisation, nous avons rajouté un cinquième relai (1 canal) pour le contrôle de la mini-pompe d'eau.

➤ Principe de fonctionnement

Le relai est constitué d'un électroaimant et d'un contacteur mécanique. Lorsque le courant est suffisamment important sur la bornes d'entrée, le solénoïde se magnétise ce qui force le contacteur à fermer le circuit de puissance. [31]

3.7.2 Transformateur 12v

Pour alimenter les différents actionneurs installés dans notre serre intelligente, nous avons utilisé un transfo 220/12v ; qui est un appareil électrique ayant pour rôle la conversion du courant 22v en courant 12v dont nous avons besoin afin de ne pas endommager les actionneurs.



Figure II. 20: Transfo 12V

4. Partie logicielle

Au cours de cette section, nous allons exposer les divers logiciels qui sont employés :

4.1 Arduino IDE

L'Arduino IDE, est un environnement de développement pour Arduino où les utilisateurs peuvent écrire et tester de différents types de programmes informatiques. L'utilisateur peut écrire des codes dans l'IDE en langages C, C++. Le programme écrit dans l'IDE, lorsqu'il est téléchargé dans le microcontrôleur, détermine quoi et comment le système fonctionne. L'Arduino IDE est livré avec un "analyseur de code intégré" qui étudie la validité du code écrit avant de l'envoyer au microcontrôleur. Après avoir compiler et traduire le code, l'IDE télécharge le programme sur le

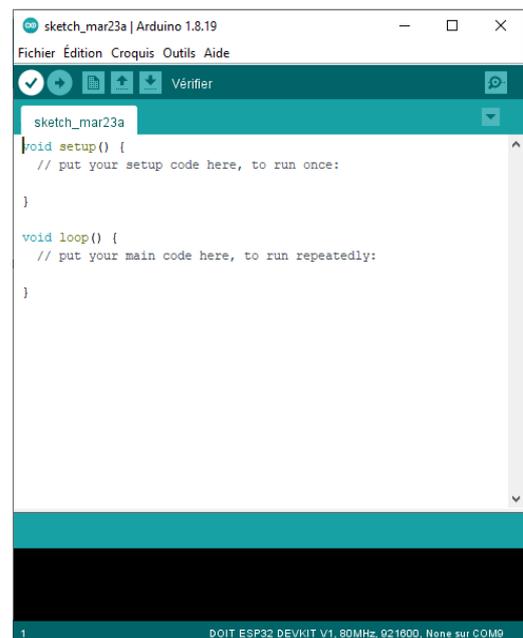


Figure II. 21: interface Arduino IDE

microcontrôleur. Le logiciel IDE comprend l'ensemble des différents programmes prêts à être testés sur l'appareil. Tout comme dans d'autres plates-formes de programmation, il peut également être étendu avec l'utilisation de bibliothèques. La page du logiciel où les codes Arduino sont écrits ressemble à celle illustrée dans la figure (II.21). Elle comporte deux fonctions principales, la fonction « setup () » et la fonction « loop () ». La partie setup est l'endroit où les codes doivent être écrits pour que le programme s'exécute et la partie loop est l'endroit où les codes doivent être écrits pour que le programme s'exécute avec répétition jusqu'à ce que le bouton de mise hors tension ou de

réinitialisation soit enfoncé. Il permet aux utilisateurs de programmer et d'éditer Arduino pour faire tout ce qu'ils veulent faire avec. Selon la fonctionnalité des différentes cartes, l'IDE permet la communication avec les cartes électroniques compatibles via USB. [32]

4.2 Fritzing

Fritzing est un logiciel open source conçu par l'université de Postdam qui rend l'électronique accessible à tout le monde que ça soit aux professionnels ou débutants permet de faire des circuits électroniques simples basés sur des microcontrôleurs, de mettre en page et de fabriquer des circuits imprimés personnalisés. [33]

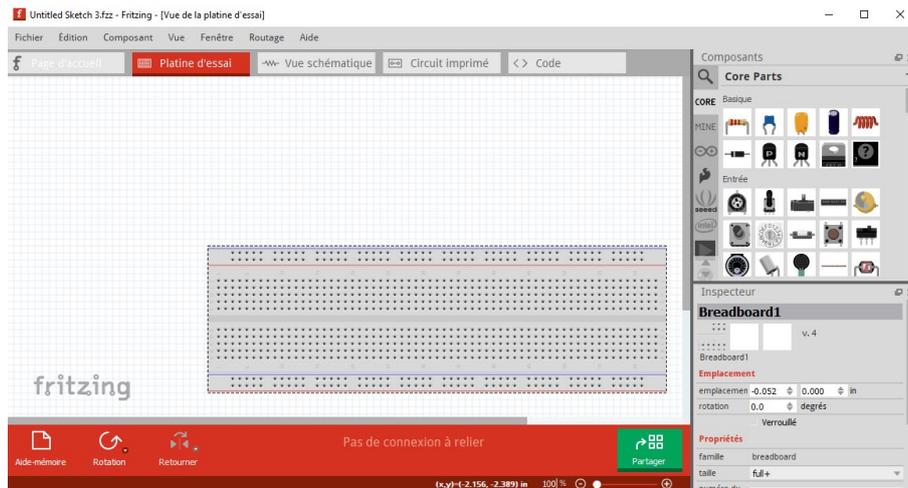


Figure II. 22: Interface du logiciel Fritzing

4.3 La plateforme Blynk [34]

Blynk a été conçu pour l'Internet des Objets. Il peut contrôler un hardware à distance, il peut afficher des données de capteur, il peut stocker des données, les visualiser et faire beaucoup d'autres trucs cools.

Il y a trois composants majeurs dans la plateforme :

- **Application Blynk** : vous permet de créer de fantastiques interfaces pour vos projets en utilisant différents widgets que nous fournissons.
- **Serveur Blynk** : responsable de toutes les communications entre le smartphone et le hardware. Vous pouvez utiliser notre Cloud Blynk ou faire tourner votre Serveur privé Blynk localement. C'est open-source, ça peut facilement gérer des milliers de périphériques et peut même être démarré sur une Raspberry Pi.
- **Bibliothèque Blynk** : pour toutes les plateformes hardware populaires - active la communication avec le serveur et traite toutes les commandes entrantes et sortantes.

4.3.1 Différentes utilisations de Blynk

- API et UI similaire pour tous les hardwares et périphériques supportés
- Connexion au Cloud via : Ethernet, Wi-Fi, Bluetooth et USB

- Collection de widgets faciles à utiliser
- Manipulation des broches directes sans code à écrire
- Facilité d'intégrer et ajouter de nouvelles fonctionnalités en utilisant les broches virtuelles
- Surveillance de l'historique des données via le widget « History Graph »
- Communication Périphérique-à-Périphérique en utilisant le widget « Bridge »
- Envoi d'emails, de tweets, de notifications push, etc...

4.3.2 Utilisations de Blynk

➤ Hardware

Blynk fonctionne à travers Internet. Ce signifie que le hardware que vous choisissez doit être capable de connecter avec internet. Certaines cartes, comme l'Arduino Uno, auront besoin d'un un Shield Ethernet ou Wi-Fi pour communiquer, tandis que d'autres sont déjà capables de communiquer avec internet : comme l'ESP8266, le Raspberry Pi...etc.

➤ Software

L'application Blynk est une bâtisseuse d'interface bien conçue. Elle marche à la fois sur iOS et Android et disponible aussi sur PC.

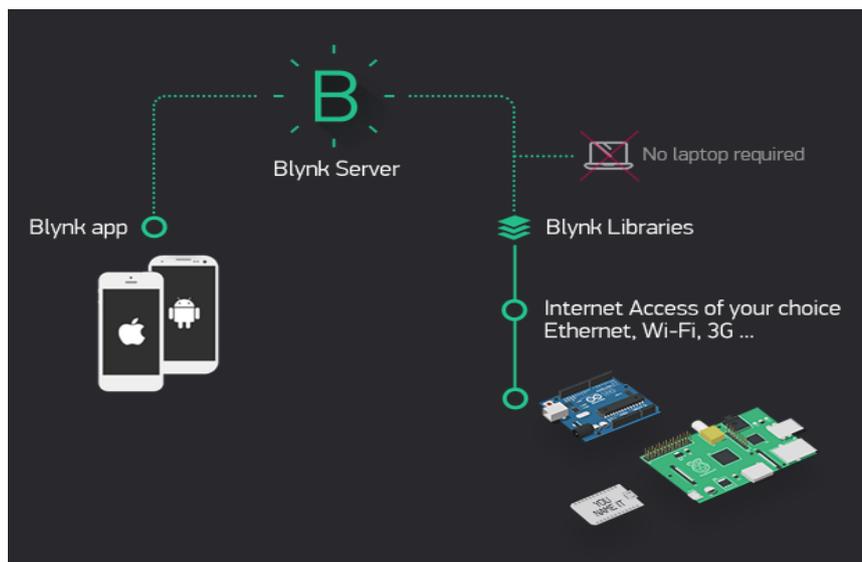


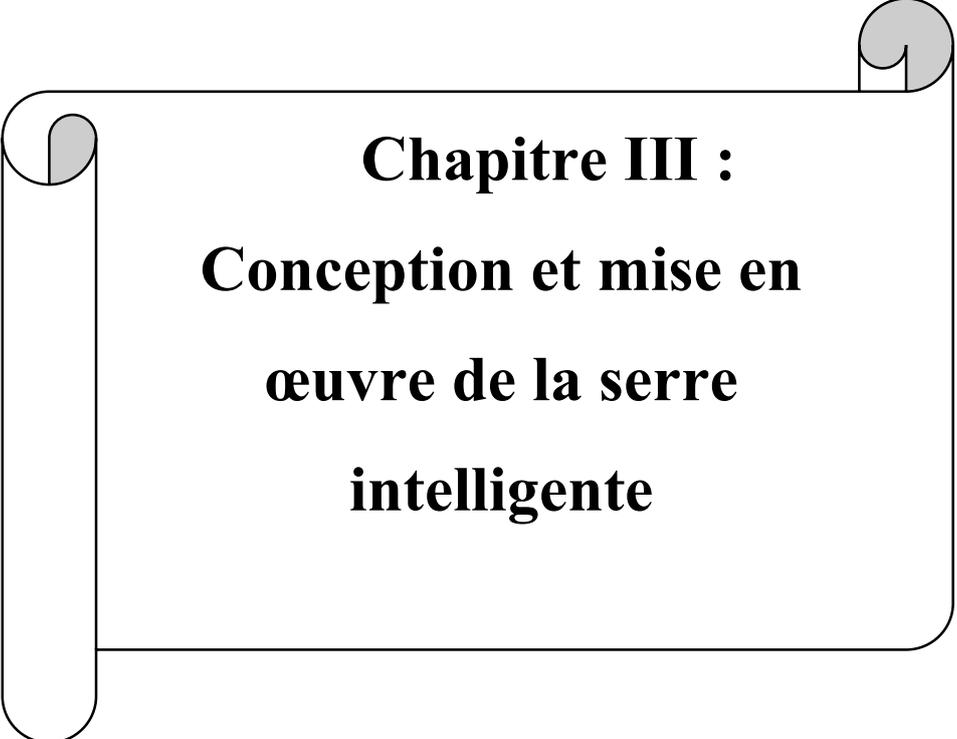
Figure II. 23: Fonctionnement de Blynk

5. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté une introduction générale aux deux blocs essentiels de notre projet, à savoir le matériel et le logiciel.

Dans un premier temps, nous nous sommes concentrés sur la partie matérielle, qui comprend l'unité de traitement, les capteurs et les actionneurs. Ensuite, nous avons abordé la partie logicielle, en mettant l'accent sur l'interface de développement Arduino pour la programmation de la carte ESP32, ainsi que sur l'application Blynk utilisée pour le contrôle de notre système. Nous avons également mentionné l'utilisation de Fritzing pour la simulation.

Dans le chapitre suivant, nous présenterons en détail la conception et les étapes de réalisation de notre prototype, ainsi que les tests réalisés sur notre système.



Chapitre III :
Conception et mise en
œuvre de la serre
intelligente

1. Introduction

Dans le chapitre précédent, nous avons abordé une description générale du cahier des charges de notre projet. Nous entamons maintenant la phase la plus cruciale de ce mémoire, qui est la réalisation de notre serre agricole intelligente.

Dans ce dernier chapitre, nous présenterons en détail les différentes étapes du montage de notre prototype, ainsi que la conception de notre application Blynk. Enfin, nous concluons par la réalisation d'un test expérimental visant à évaluer le succès de notre projet.

2. Modélisation de la structure de la serre intelligente

Pour construire notre serre agricole, nous devons imaginer un model convenable et qui peut assurer le bon fonctionnement du matériel utilisé, et pour que cela soit faite nous avons utilisé le logiciel SketchUp qui est un logiciel de modélisation 3D en ligne le plus simple d'utilisation, accessible pour une large gamme d'applications telles la mécanique, l'architecture, le design intérieur et beaucoup d'autres, SketchUp constitue un choix de premier ordre pour les débutants en modélisation 3D. Il offre une interface graphique interactive avec la plupart des outils informatiques toujours visibles par défaut sur les nombreuses barres d'outils et menus [35] [36]. La figure (III.1) montre le model réalisé :

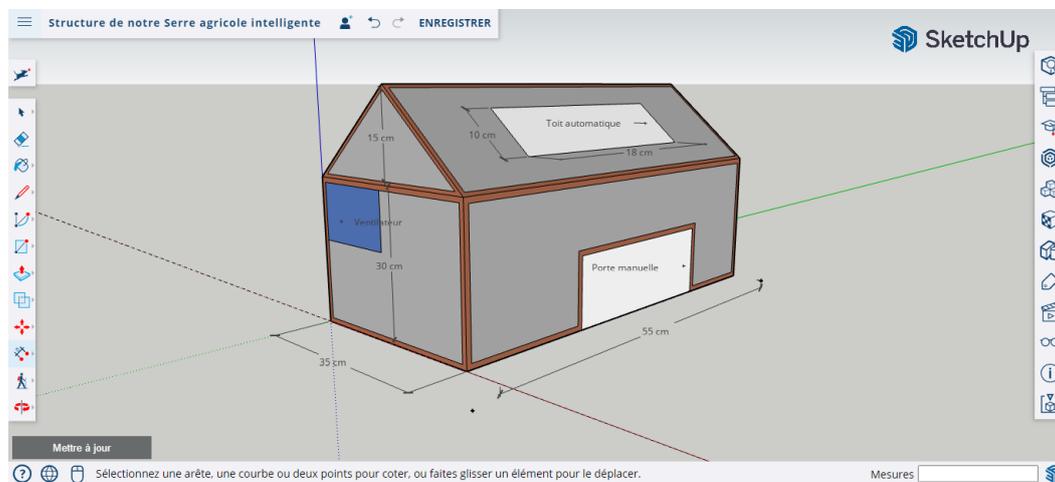


Figure III. 1: Modélisation de la serre

3. Construction du model de la serre

Pour construire le model réalisé sous le logiciel Sketchup, nous avons opté pour une structure en bois. Pour les parois nous avons choisis celles en plexiglass ; car avec le bois ils forment de bons isolants du milieu extérieur. Ce qui va nous permettre de bien contrôler les paramètres climatiques à l'intérieur de la serre, le model construit est montré dans la figure (III.2) :



Figure III. 2: La structure réalisée

4. Programmation de la carte ESP32 DEVKITC V4

Pour commencer la programmation sur la carte ESP32 DEVKITC V4, nous devons d'abord installer la bibliothèque de la série des cartes ESP32 toute en allant vers l'onglet fichier>>préférences. Ensuite il suffit juste de copier le lien suivant https://dl.espressif.com/dl/package_esp32_index.json dans l'emplacement « URL de gestionnaire de cartes supplémentaires » la figure (III.3) montre la procédure :

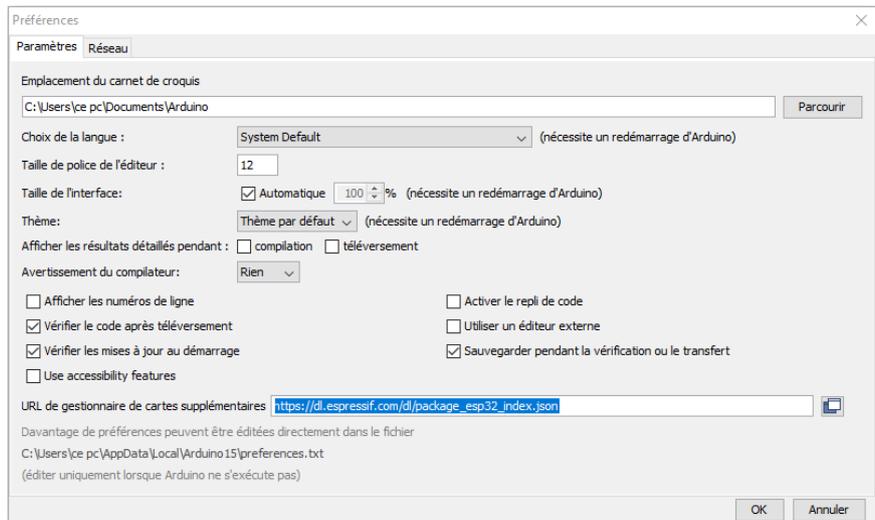


Figure III. 3: Installation de la carte ESP32

Ensuite nous allons vers outils>>type de carte et nous sélectionnons le type de carte compatible qui est « DOIT ESP32 DEVKIT V1 », la figure si dessous montre les étapes :

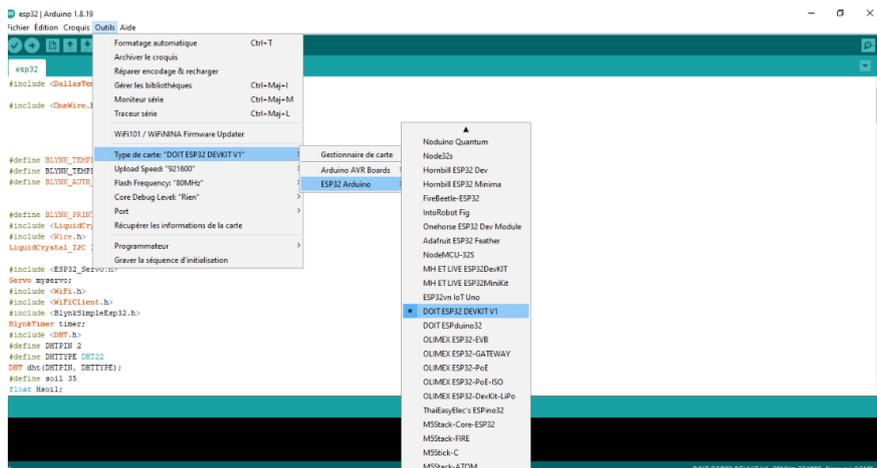


Figure III. 4: Sélection de la carte ESP32 DEVKITC V4 dans arduino IDE

5. La plateforme Blynk

5.1 Création du compte

Avant de créer l'interface de contrôle et du suivie à distance de notre serre, nous devons télécharger l'application Blynk qui est disponible gratuitement sur le magasin Play Store, et ensuite nous créons un compte comme le montre la figure (III.5) :

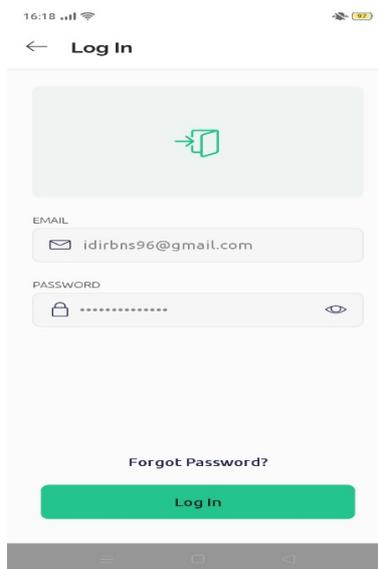


Figure III. 5: Inscription dans Blynk

Après avoir inscrit notre compte, nous allons lancer l'application et nous créons un nouveau projet nommé « serre agricole intelligente », ensuite il faut spécifier le type de carte utilisée qui est dans notre cas l'ESP32, ainsi le type de connexion « wifi ». À la fin nous sauvegardons le projet.

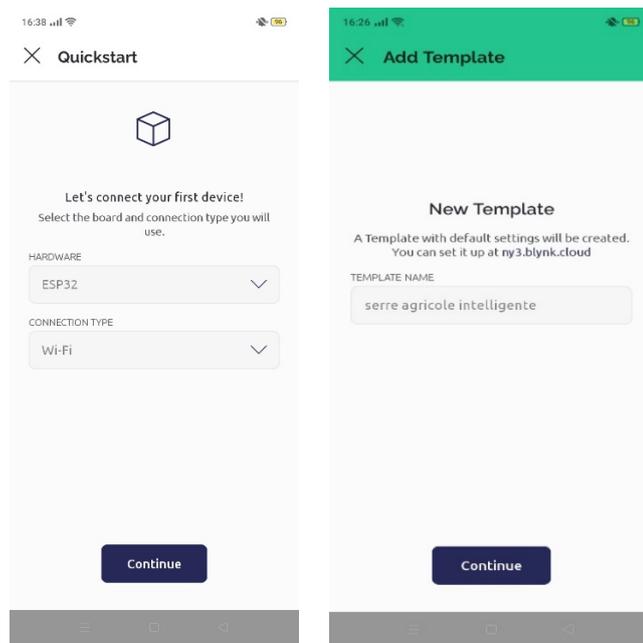


Figure III. 6: Création du projet

5.2 Etapes de création de l'interface

Une fois que la création du compte a été finalisée. Nous passons maintenant à créer l'interface convenable qui pourra suivre et contrôler les paramètres de notre serre.

Afin d'afficher les valeurs acquises par les capteurs Et contrôler les actionneurs utilisés depuis l'application Blynk, nous aurons besoin de quatre gauges et de cinq boutons ON/OFF que nous pouvons sélectionner directement depuis la liste des widgets de Blynk figure (III.7).

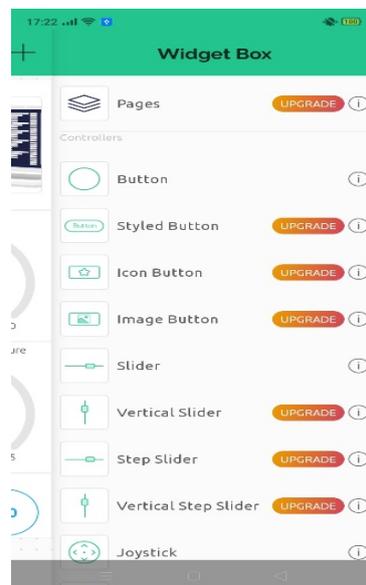


Figure III. 7: Liste des widgets

Maintenant que nous avons créé l'interface de notre application, nous devons associer à chaque gauge/bouton une broche virtuelle (Virtual pin) qui sera un moyen d'échange de données

entre l'application Blynk et la carte ESP32 que nous avons utilisé la figure (III.8) montre les étapes de création d'une broche virtuelle pour la température :

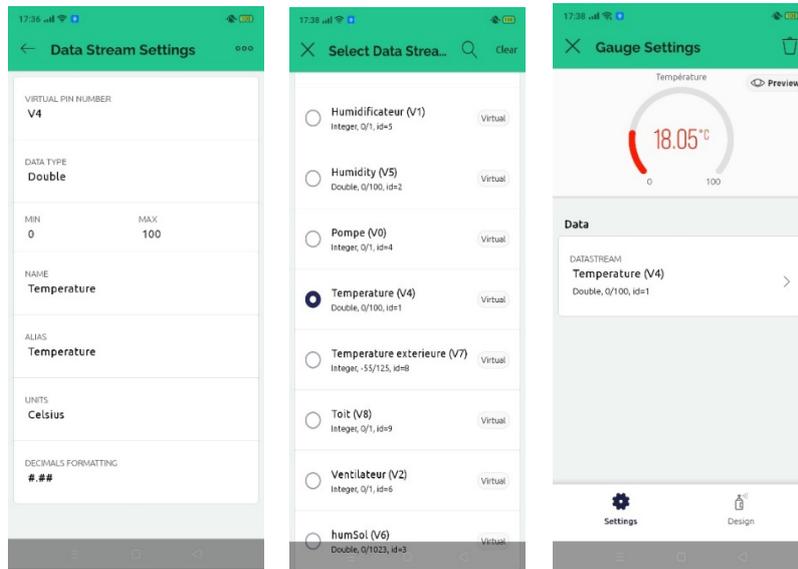


Figure III. 8: Création d'une broche virtuelle

Pour le système de notifications il n'est possible que de l'activer via la version PC de blynk toute en allant vers Templates>>events. Nous creons un evenement nommé la pluie pour recevoir une notification lorsque il commence à pleuvoir.

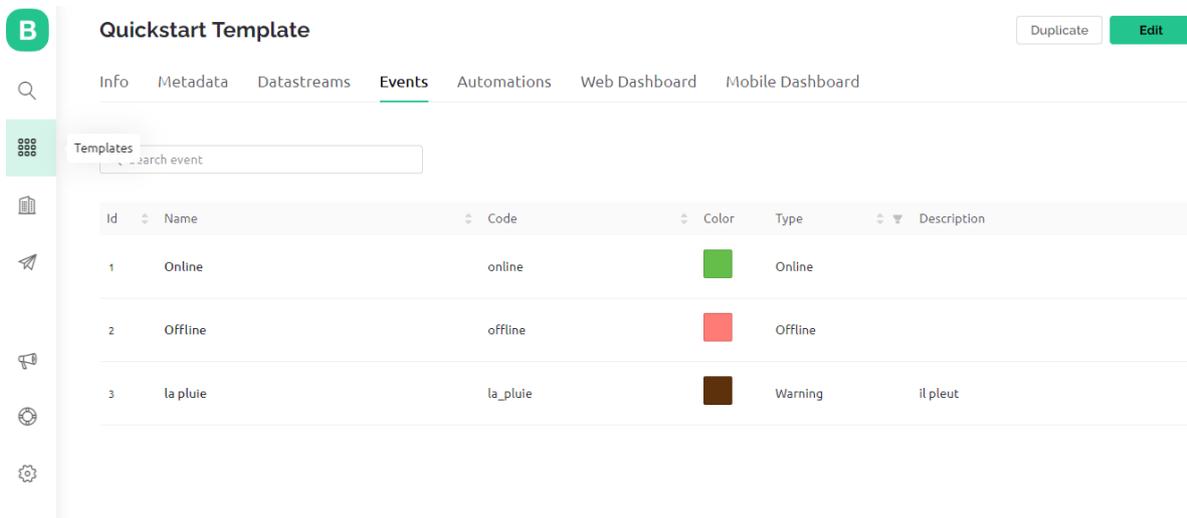


Figure III. 9: création d'une notification

Commentaire :

Nous avons créé une broche virtuelle de type double pour la température car nous voulons afficher une valeur (nous ferons de même pour les autres capteurs), par contre pour les actionneurs il suffit juste de créer une broche de type integer et limiter l'intervalle min/max de 0 à 1 car nous n'avons besoins que d'allumer/éteindre les actionneurs.

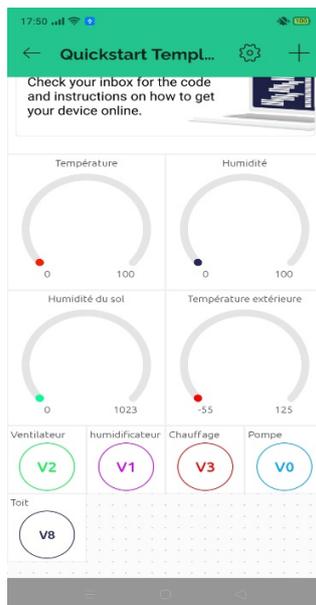


Figure III. 10: interface finale de l'application

6. Programmation de Blynk

6.1 Connexion ESP32 et l'application

Afin d'assurer que la connexion Wi-Fi soit établie entre la carte ESP32 et Blynk nous devons rendre l'appareil Blynk en ligne, pour ce faire il faut définir les détails ci-dessous dans notre programme :

```
#define BLYNK_TEMPLATE_ID "TMPL1xKqesIv"  
#define BLYNK_TEMPLATE_NAME "Quickstart Template"  
#define BLYNK_AUTH_TOKEN "Y8GPSFc9W0pr4P0rQzhCQwnTZxWh_QrA"
```

Par la suite, nous rajoutons les détails du réseau Wi-Fi sur lequel l'ESP32 et l'application Blynk doivent être connectés en utilisant les instructions suivantes :

```
char ssid[] = "*****"; // Nom du réseau Wi-Fi  
char pass[] = "*****"; // Mot de passe du réseau Wi-Fi
```

6.2 Programmation des broches virtuelles

Comme nous l'avons déjà mentionné, les broches virtuelles sont utilisées pour échanger les données entre le matériel utilisé et l'application, pour assurer cela nous devons les installer dans notre programme.

- Pour afficher les valeurs acquises par les capteurs nous allons utiliser la boucle suivante :

```
void CapteurDS18B20 ()
{ds.requestTemperatures();
  Temp = ds.getTempCByIndex(0);
  Blynk.virtualWrite(V7,Temp);}
}
```

Explication

Nous avons créé une boucle pour le capteur DS18B20 et nous lui avons associé la broche virtuelle n°7, pour assurer l'échange de données entre le capteur, l'ESP32 et l'application. Il faut juste refaire la même procédure pour afficher les valeurs des capteurs restants.

- Pour contrôler les actionneurs nous allons utiliser la boucle suivante :

```
BLYNK_WRITE(V0)
{  int value = param.asInt();
  if(value == 1)
  { digitalWrite(18, HIGH); } // Pompe allumée
  if(value == 0)
  { digitalWrite(18, LOW); } //} Pompe éteinte
```

Explication

La broche virtuelle n°0 est associée à la pompe, lorsque le bouton est appuyé il envoie un signal à l'ESP32 pour qu'elle-même envoie un signal au relai pour fermer le circuit et allumer la pompe et vis-versa, ensuite refaire la même boucle pour le reste des actionneurs.

7. Montages et organigrammes de fonctionnement

7.1 La température et l'humidité

Le capteur DHT22 va acquérir les valeurs de température et humidité de l'air à l'intérieur de la serre et envoie ces valeurs vers la carte ESP32, cette dernière va les envoyer vers le Blynk Cloud via Wi-Fi afin de les afficher dans l'application Blynk, les organigrammes ci-dessous expliquent le fonctionnement du contrôle de la température et l'humidité :

a) La température

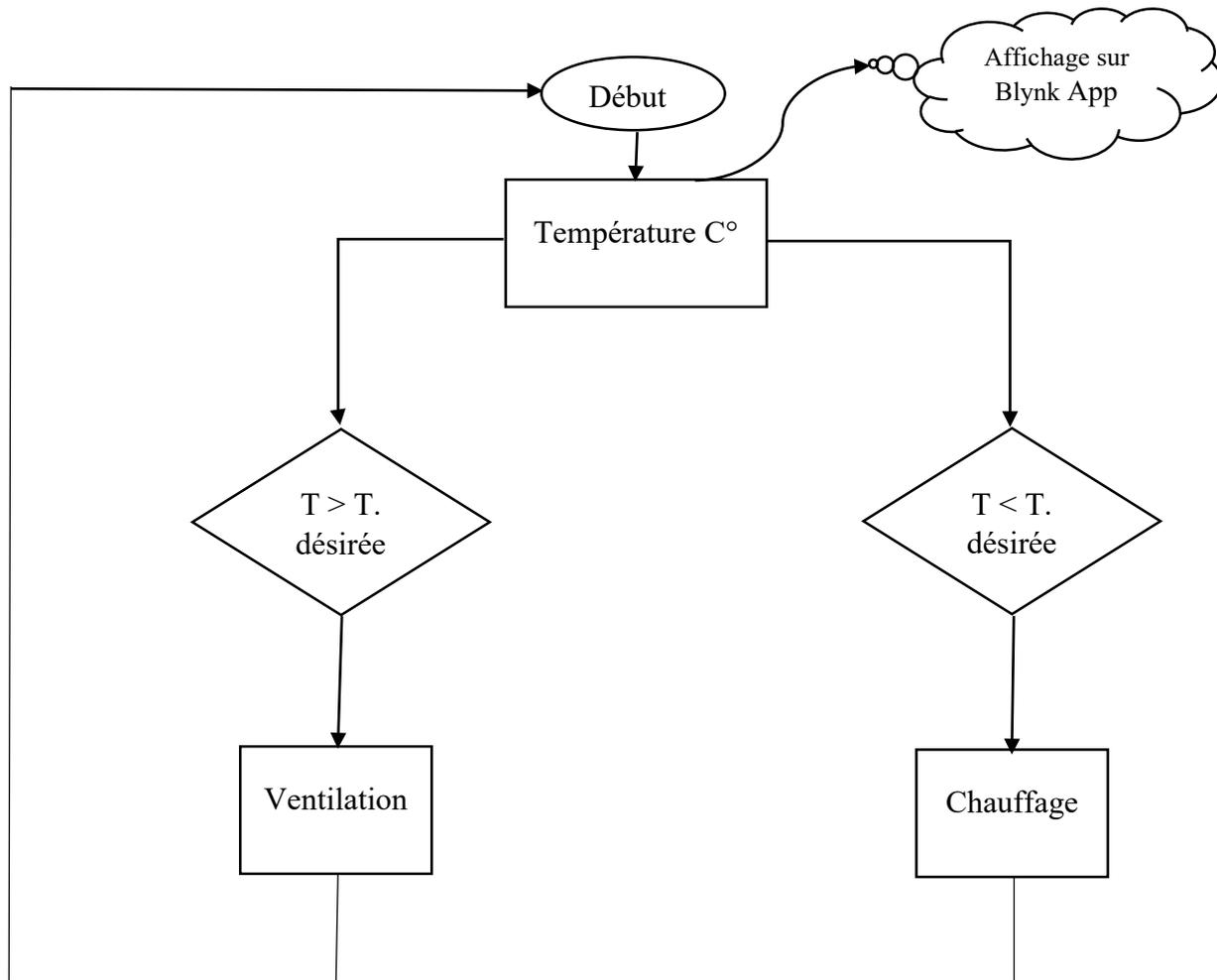


Figure III. 11: Organigramme de la température

La température est l'une des principaux paramètres climatique nécessaire pour la bonne croissance de la plante. Pour que cette dernière soit contrôlée, l'agriculteur depuis son smartphone doit prendre une des actions suivantes :

- Si la température captée est inférieure à la température désirée, l'agriculteur doit allumer le système de chauffage et fermer le toit pour garder la température de la serre.
- Si la température captée est supérieure à la température désirée, l'agriculteur peut effectuer une ventilation artificielle en démarrant le ventilateur.

b) L'humidité

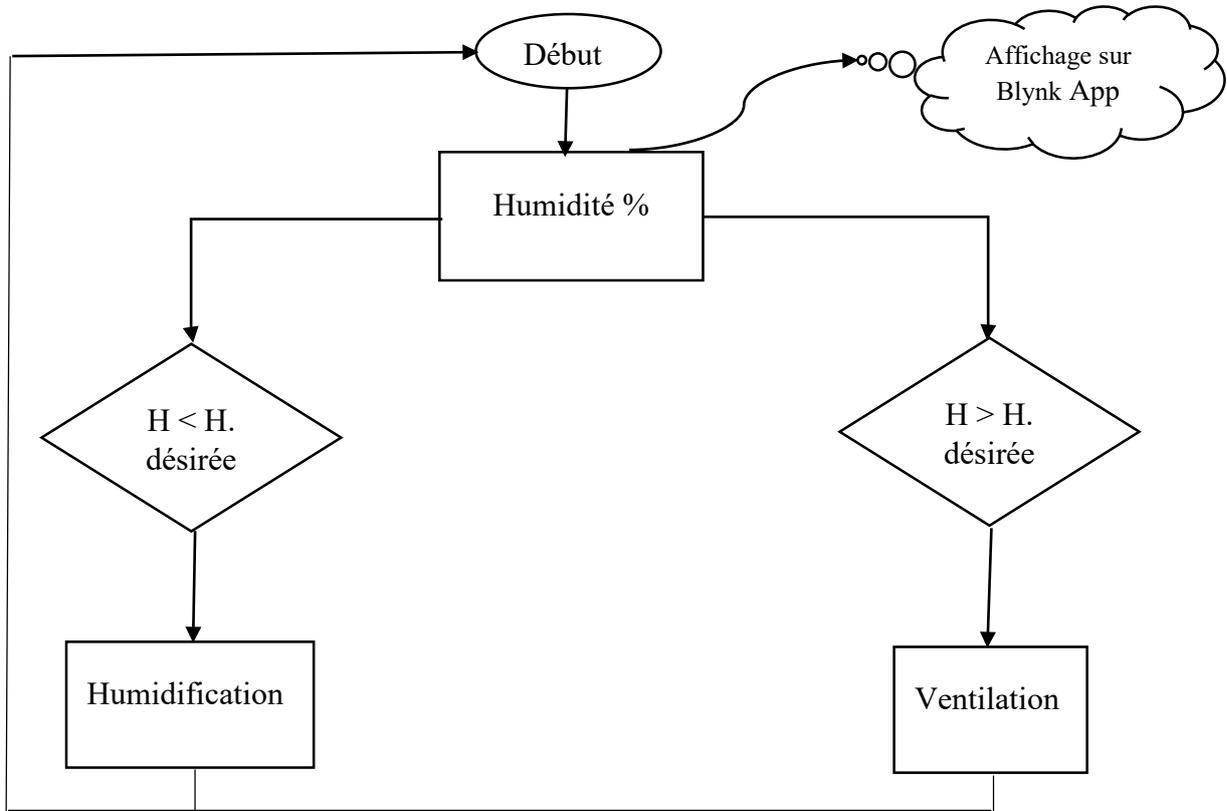


Figure III. 12: organigramme de l'humidité

L'humidité de l'air de la serre est un autre paramètre climatique important pour bonne croissance des plantes. Pour la contrôler, l'agriculteur peut via son smartphone effectuer les actions suivantes :

- Si humidité captée par le dht22 est inférieure à celle désirée, l'agriculteur allume le système de ventilation.
- Si humidité captée est supérieure à celle désirée, l'agriculteur allume le système d'humidification.

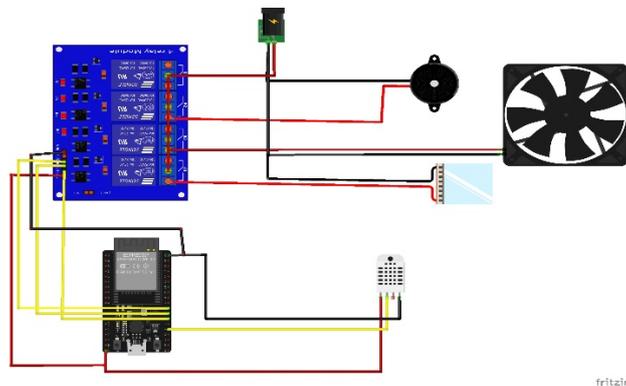


Figure III. 13: Montage du capteur DHT22

7.2 Température extérieure

Le capteur ds18b20 se charge de capter la valeur de la température du milieu extérieur afin de l'afficher dans l'application Blynk, Ensuite par intermédiaire d'un servomoteur l'agriculteur peut ouvrir ou fermer le toit :

- Si la température externe est inférieure à la température intérieure, et que l'agriculteur veut réchauffer la serre, il commande à distance la fermeture du toit.
- Si l'agriculteur veut aérer la serre de façon naturelle et que la température extérieure est fraîche, il peut ouvrir le toit pour refroidir la serre.

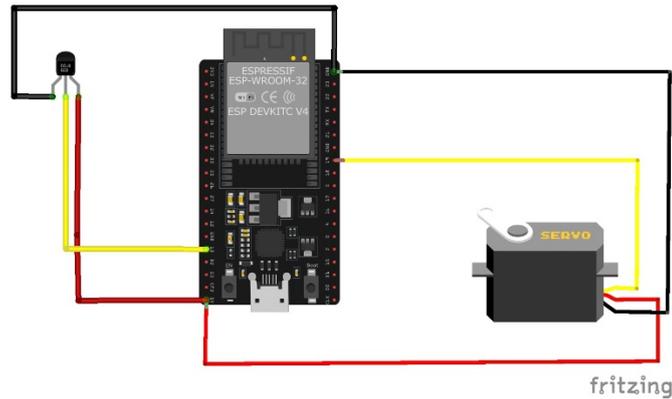


Figure III. 14: montage du capteur DS18B20

7.3 Contrôle de la lumière

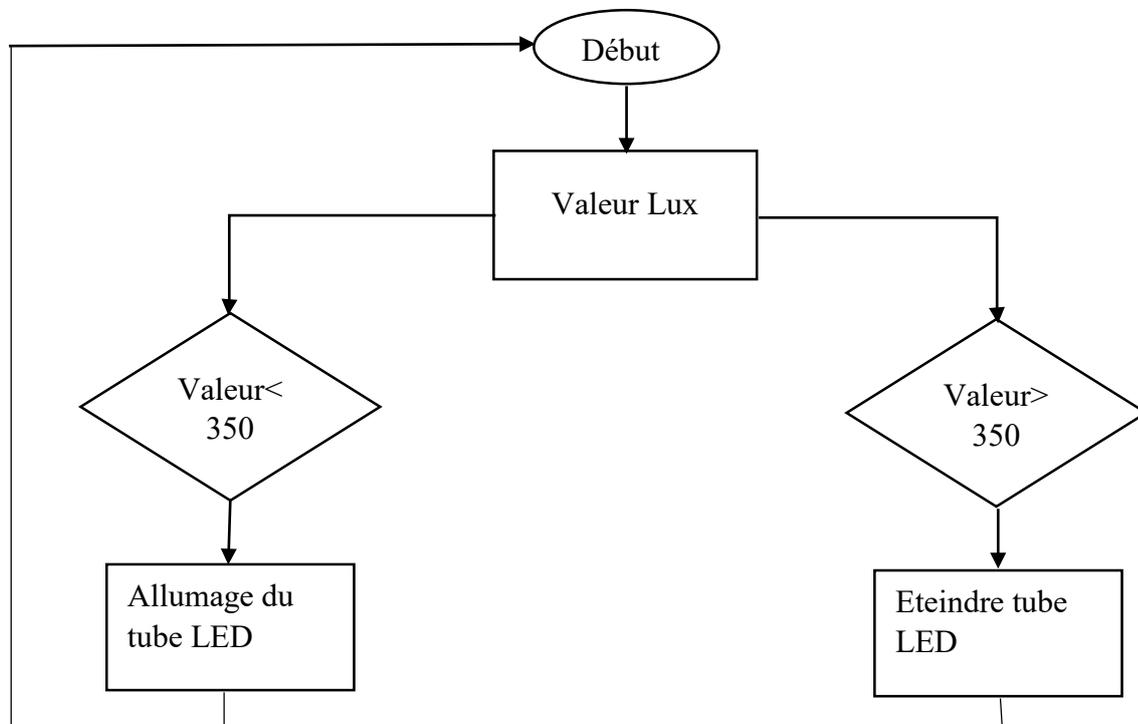


Figure III. 15: Organigramme de fonctionnement de l'LDL

La photosynthèse est un processus chimique nécessaire pour la croissance des plantes, pour accélérer la production agricole de la serre nous avons pensé à créer un système d'éclairage automatique dont le fonctionnement est le suivant :

- Si la photorésistance détecte une valeur inférieure à 350 Lux (c'est une valeur prédéfinie dans notre programme), le système d'éclairage s'allume automatiquement.
- Si la photorésistance détecte une valeur supérieure à 350 Lux, le système d'éclairage s'éteint.

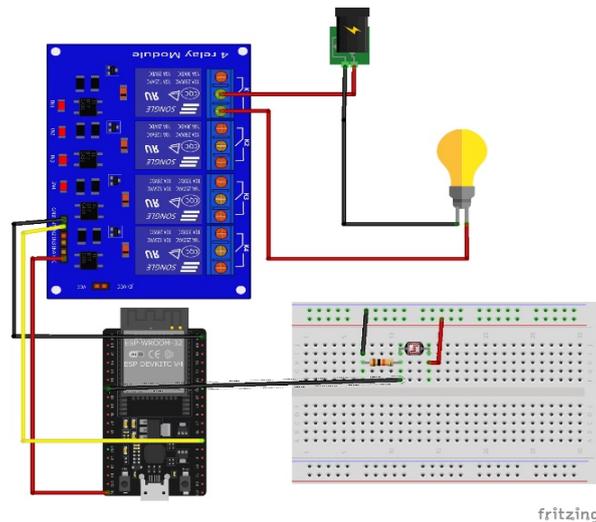


Figure III. 16: Montage LDR

7.4 Système de notifications

Dans notre réalisation, le capteur de niveau de l'eau est utilisé comme un détecteur de pluie ; son rôle consiste à détecter la présence de la pluie. Lorsqu'il commence à pleuvoir le capteur envoie un signal à l'esp32 qui à son tour envoie l'information vers l'application Blynk sous forme d'une notification portant le message « il pleut ». Dans le cas où les plantes ont besoin d'arrosage, l'agriculteur peut ouvrir le toit afin d'effectuer un arrosage naturel.

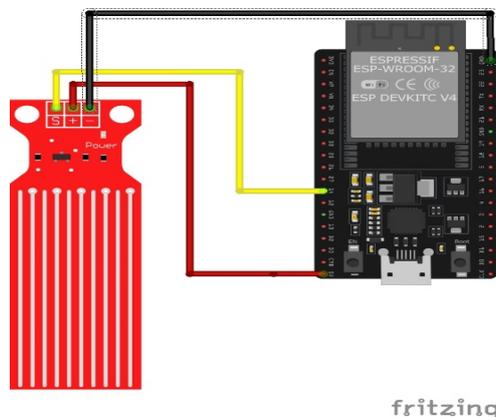


Figure III. 17: montage du détecteur de pluie

7.5 Volume d'eau utilisé pendant l'arrosage

Nous pouvons dire que le fonctionnement du débitmètre est le plus simple dans notre réalisation, car ça consiste à calculer le volume de l'eau (en ml) passé depuis la mini-pompe lors de l'arrosage des plantes. La valeur du volume sera éventuellement affichée dans un écran LCD.

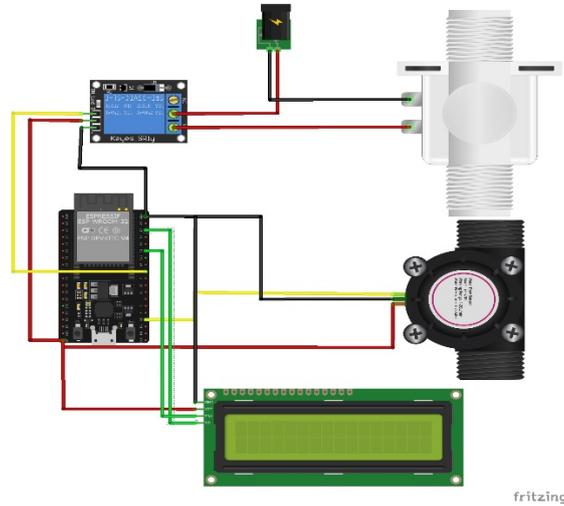


Figure III. 18: Montage du débitmètre

7.6 Humidité du sol

Afin de réussir la culture sous serre, nous devons avoir un bon système d'irrigation, pour cela nous avons utilisé un capteur d'humidité du sol qui a pour but nous informer l'état du sol (sec ou humide).

D'après le test effectué sur le capteur d'humidité du sol, il nous a donné une valeur égale à 818.4 à l'état sec et 218.4 à l'état humide. Donc nous proposons un intervalle de [300,500] comme indicateur de bon arrosage de la plante. Si l'agriculteur trouve une valeur supérieure à 500 il peut allumer la pompe jusqu'à ce qu'il arrive à la valeur minimale de l'intervalle (300).

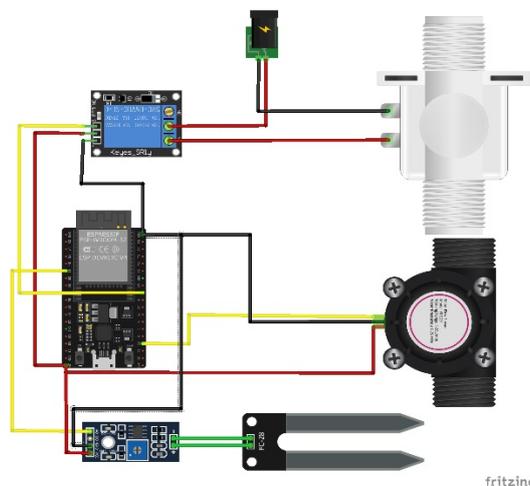


Figure III. 19: Montage du capteur d'humidité du sol

8. Le circuit électronique et le montage final du prototype réalisé

- Le circuit électronique :

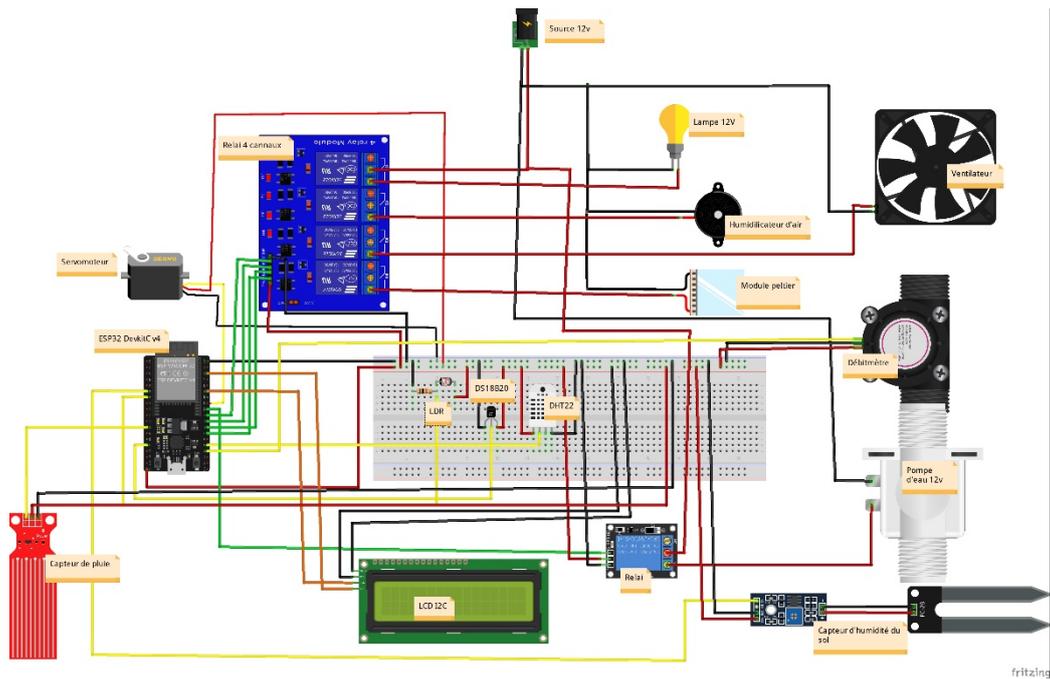


Figure III. 20: Circuit fritzing de la serre réalisée

- Le montage des différents capteurs & actionneurs :



Figure III. 21: Notre Serre agricole intelligente

9. Tests expérimentales

9.1 Choix de la plante

La tomate fait partie de la catégorie des légumes-fruits riche en eau, peu énergétique, mais bien pourvue en vitamines et minéraux. Cultivées de mi-février à mi-mars à une température allant de 18°C à 25°C. Avec une fréquence d'arrosage tous les 5 à 6 jours avec une quantité d'eau de 2 à 3 litres par pied de tomate. [37]

En général, l'humidité relative de l'air dans les serres est située aux alentours de 40%-75%. Pour réussir notre test nous allons essayer de maintenir l'humidité relative de l'air de la serre entre 60% et 70%.

La figure ci dessous représente l'état des paramètres climatiques à l'intérieur de la serre avant la régulation :

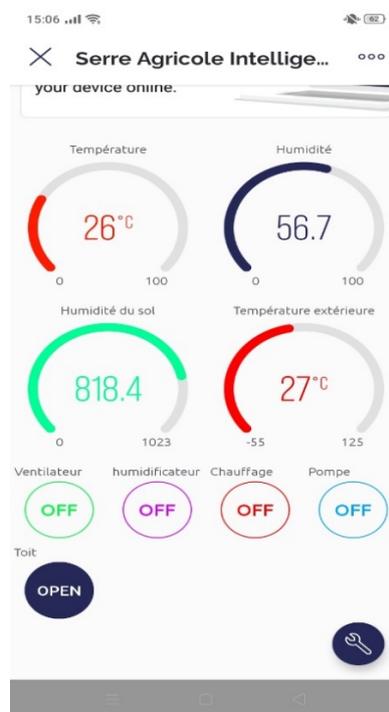


Figure III. 22: Avant régulation

- **Remarque :**

D'après la figure (III.22), nous remarquons que les différents paramètres climatiques de la serre ne sont pas convenables à la croissance de notre plante. A l'aide de notre système de contrôle à distance nous allons essayer de créer un environnement favorable à la bonne et saine croissance de plante.

La figure (III.23) montre l'état des paramètres climatiques après régulation :



Figure III. 23: Après régulation

- **Explication :**

Comme nous l'avons mentionné auparavant, la bonne croissance de la tomate nécessite une humidité de l'air entre 60%-70% ainsi une température ambiante allant de 18°C à 25°C.

Grace à notre système de contrôle à distance nous avons pu maintenir une température de 20.3°C ainsi 68% comme pourcentage d'humidité de l'air, que nous pouvons considérer comme de bonne valeurs pour la bonne croissance de notre plante.

Quant à l'humidité du sol, comme vous pouvez le constater le sol est arrosé mais nous n'avons pas pu respecter l'intervalle que nous avons posé comme indicateur de bonne irrigation (300-500). Ce non-respect est dû à l'instabilité du capteur d'humidité du sol qui ne nous a pas offert des résultats stables concernant la teneur en eau de notre sol.

Un autre problème rencontré, c'est lorsque nous allumons le ventilateur pour baisser la température il entraine une sorte de déshumidification, donc pour que nous puissions augmenter l'humidité de l'air de la serre il fallait attendre que la température baisse ensuite nous aurons la possibilité d'allumer notre humidificateur.

9.2 Autres résultats du test

Nous montrons ci-dessous les résultats de mesure du débitmètre, ainsi la notification :

- **Résultat de mesure du débitmètre**

Lors du démarrage de la pompe le débitmètre a pu mesurer le volume de l'eau utilisé pour l'arrosage de la plante, le résultat est montré dans la figure (III.24) :



Figure III. 24: (A) avant et (B) après la mesure

- **Réception de la notification**

Lorsque nous avons mis une goutte d'eau sur la surface du capteur, ce dernier a détecté sa présence donc il a envoyé un signal à l'Esp32 qui à son tour déclenche le système de notifications.

La figure (III.25), montre la notification reçue sur l'application Blynk :

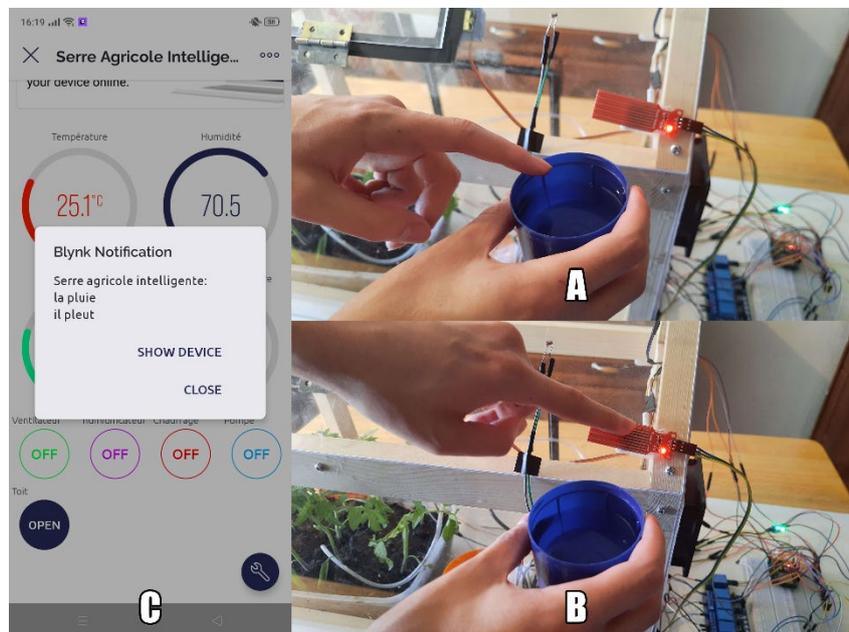
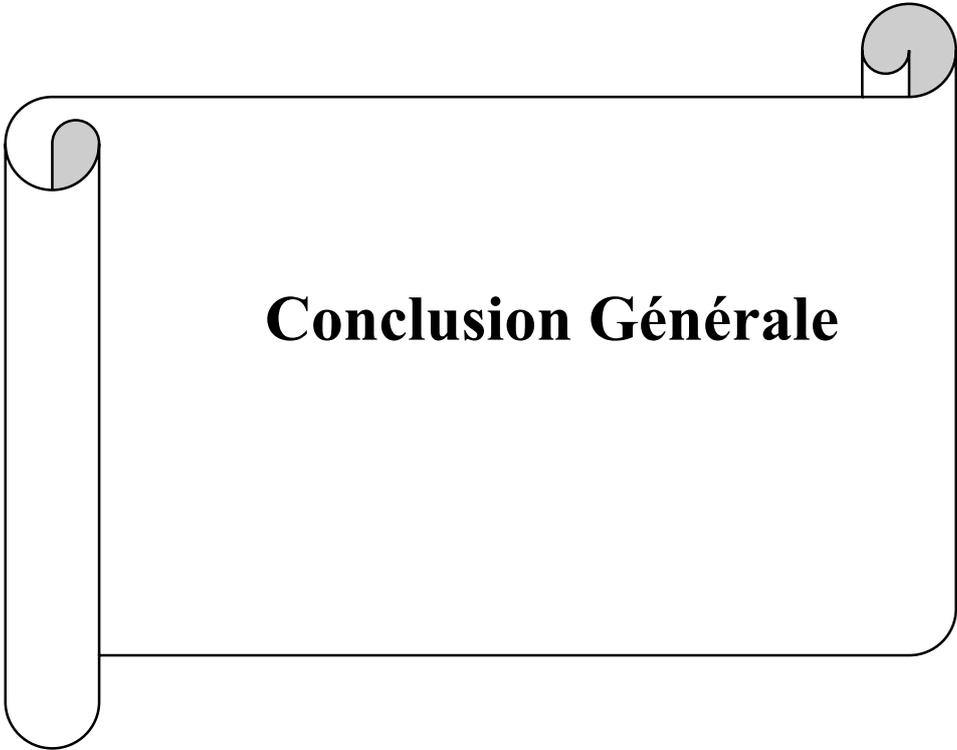


Figure III. 25: (A) & (B) le test, (C) la notification

10. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté toutes les étapes de la réalisation et de la conception de notre prototype, du processus de modélisation 3D au montage réel. Nous avons également expliqué en détail les différentes étapes de la création de l'application Blynk. De plus, nous avons décrit le principe de fonctionnement du contrôle des paramètres climatiques dans notre serre.

Enfin, nous avons procédé à un test expérimental de la serre et interprété les résultats obtenus.



Conclusion Générale

Conclusion Générale

En conclusion, notre projet de fin d'étude a abouti à la réalisation d'une serre agricole intelligente, contrôlée à distance via Wi-Fi. Grâce à notre application Blynk, les agriculteurs peuvent désormais surveiller et ajuster les paramètres climatiques essentiels à la croissance des plantes, où qu'ils se trouvent, en utilisant simplement leur Smartphones ou leur ordinateurs. Notre mémoire s'est articulé en trois parties, où nous avons exploré le domaine de l'agriculture et des serres agricoles, les composants électroniques utilisés dans notre prototype, ainsi que les étapes d'implémentation et le montage de la serre.

Au cours de ce projet, nous avons été confrontés à divers défis, notamment la qualité et la disponibilité limitée des matériaux. Néanmoins, cette expérience nous a permis d'appliquer nos connaissances théoriques, tout en nous initiant aux applications mobiles et à l'internet des objets (IoT).

Pour les perspectives futures, nous proposons plusieurs idées d'amélioration. Tout d'abord, nous suggérons d'enrichir le système de notifications en ajoutant des alertes pour d'autres conditions climatiques telles que la présence de CO₂. De plus, l'installation de panneaux photovoltaïques sur le toit de la serre permettrait de rendre le système plus autonome en termes d'alimentation électrique. Nous envisageons également de développer une application Androïde indépendante avec un système d'inscription pour une utilisation plus conviviale. En outre, nous proposons l'ajout de capteurs supplémentaires pour surveiller d'autres paramètres, ainsi qu'un système de pulvérisation automatique pour lutter contre les maladies et les ravageurs. Enfin, l'intégration d'un système d'alarme connecté à un module GSM, capable de contacter directement les services de protection civile en cas de détection d'incendie, serait une autre amélioration envisageable.

En résumé, nous espérons que ce projet pourra être concrétisé sur le terrain et servir de base pour des recherches futures dans le domaine de l'agriculture intelligente. Nous sommes convaincus que les améliorations proposées contribueront à optimiser la productivité agricole et à favoriser un avenir plus durable et technologiquement avancé.

Références bibliographiques

- [1] M. Zouai et O. Badji, « Automatisation et gestion à distance d'un système agricole intelligent », Mémoire de master, Université Larbi Tébessi, Tébessa, 2022.
- [2] https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Smart_greenhouse ; Consulté le : 21/02/2023
- [3] <http://www.techno-science.net/glossaire-definition/Serre.html> ; Consulté le : 13/02/2023.
- [4] Y. Bouteraa, "Automatisation d'une serre agricole". Mémoire de Magistère en Science Agronomiques, Ecole nationale supérieure d'agronomie - El harrach, Alger, 2012.
- [5] I. Serroui, "Automatisation et surveillance d'une serre (Greenhouse) par Internet des objets (Internet of Things) ". Mémoire de Master, Electronique des Systèmes embarqués, Université de Biskra, 2019.
- [6] K. MESMOUDI, "Etude Expérimentale et Numérique de la Température et de l'Humidité de l'Air d'un Abri Serre Installé dans les Haut Plateaux d'Algérie Région des Aurès". These de Doctorat, energetique, Université Hadj Lakhdar, Batna, 2010.
- [7] H. Guedmim, "Conception et réalisation d'une serre agricole connectée". Mémoire de master, Informatique, Université Mouloud Mammerie, Tizi Ouzou, 2020
- [8] <https://www.ontario.ca/fr/page/apport-supplementaire-de-gaz-carbonique-dans-les-serres> ; consulté le 13/02/2023
- [9] Classification des serres : <https://www.greenlifeindustry.com.au/static/uploads/files/ngia-np-2005-01-february-wficlnllfcmw.pdf>; Consulté le : 21/02/2023
- [10] Technologies de serres : https://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos_y_documentos/1381/Serres-multichapelle-ULMA-Agricola.pdf ; Consulté le : 21/02/2023
- [11] C. OULARBI et G. SADOUNE, "Etude et conception d'une serre agricole intelligente (Smart GreenHouse) ". Mémoire de master, Electronique des Systèmes Embarqués, Université Akli Mohand Oulhadj, Bouira, 2019
- [12] S. KADI et S. SASI, "Conception et réalisation d'une serre intelligente". Mémoire de master, Electronique des Systèmes Embarqués, Université Akli Mohand Oulhadj, Bouira, 2021
- [13] A.Bhujel, J.Basaj, F.Khan et H.kim, »Sensor Systems for Greenhouse Microclimate Monitoring and Control: a Review », Journal of Biosystems Engineering, **Vol. 45 (N°4)**, 2020.

Références bibliographiques

- [14] <https://www.sdec-france.com/mesure-humidite-volumique-des-sols-theorie.html> ; Consulté le : 23/02/2023
- [15] Les capteurs dans les serres intelligentes : <https://www.renkeer.com/sensors-for-greenhouse-remote-monitoring-systems/#:~:text=There%20are%20usually%20two%20types,plane%20of%20the%20receiving%20earth> ; Consulté le : 23/02/2023
- [16] I.Dogan, « The Complete ESP32 Projects Guide: 59 Experiments with arduino IDE and python », 1^e Edition, Elektor, p-398, 2019.
- [17] Site officiel ESPressif Systems : <https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32/hw-reference/esp32/get-started-devkitc.html> ; Consulté le : 19/03/2023
- [18] Image de la carte ESP32 DevkitC V4 disponible sur ce lien : <https://www.mischianti.org/wp-content/uploads/2021/07/ESP32-DEV-KIT-DevKitC-v4-pinout-mischianti.png> ; Consulté le : 19/03/2023
- [19] DHT22 : <https://howtomechatronics.com/tutorials/arduino/dht11-dht22-sensors-temperature-and-humidity-tutorial-using-arduino/> ; Consulté le : 18/02/2023
- [20] Jose Reena K, « IoT Based Polyhouse Farming with Controlled Environment and Monitoring », *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, **Vol. 11(N°12)**, pp.220-225. 2022.
- [21] Tutorials Point, " Arduino: Tutorials Point Simply Easy Learning ", 1^e édition, Tutorials Point, India, p-229, 2016.
- [22] https://www.hwlibre.com/fr/caudalimetro/#Que_es_un_caudalimetro ; Consulté le 19/03/2023
- [23] Le datasheet du capteur de temperature Dallas ds18b20 sur: <https://html.alldatasheet.com/html-pdf/58557/DALLAS/DS18B20/181/1/DS18B20.html> datasheet DS18B20 ; consulté le 06/05/2023
- [24] J.Fraden, « Handbook of modern sensors: Physics, Designs, and Applications», 5^e Edition, Springer, p-765, 2016.
- [25] <https://wezr.co/a-quoi-sert-un-humidificateur/> ; Consulté le 17/03/2023
- [26] <https://www.volta.ma/comment-controler-les-servomoteurs-avec-arduino/arduino/> ; Consulté le 17/03/2023

- [27] S. MONK, « Mouvement, Lumière et Son avec Arduino et Raspberry PI : Avec 30 projets ludiques », 1^e Edition, Eyrolles, Paris, p-349, 2016.
- [28] L. Chen, R. Liu ET X. Shi, « Thermoelectric Materials and Devices», 1^e Edition, Elsevier, China, p-282, 2020.
- [29] I.Dogan, «Arm-Based Microcontroller Projects Using MBED», 1^e Edition, Newnes, p-904, 2019.
- [30] <https://www.lextronic.fr/module-relais-5v-a-4-canaux-40435.html> ; Consulté le : 18/02/2023.
- [31] Principe de fonctionnement relai : <https://www.aranacorp.com/> ; Consulté le 18/02/2023
- [32] Kamweru Paul Kuria, Owino Ochieng Robinson, Mutinda Mutava Gabriel, « Monitoring Temperature and Humidity using Arduino Nano and Module-DHT11 Sensor with Real Time DS3231 Data Logger and LCD Display », *International Journal Of Engineering Research & Technology (IJERT)*. Vol. 09 (N°12), pp 416-422. 2020.
- [33] <https://fritzing.org>
- [34] <https://booteille.github.io/blynk-docs-fr/> ; Consulté le : 17/03/2023
- [35] <https://www.sketchup.com/fr>
- [36] <https://www.sculpteo.com/fr/glossaire/sketchup-definition-fr/> ; consulté le 23/03/2023
- [37] <https://www.fermedesaintemarthe.com/reussir-la-culture-des-tomates-p-6491> ; Consulté le : 06/05/2023

Annexe I : états ON/OFF des différents actionneurs

- Le servomoteur (toit)



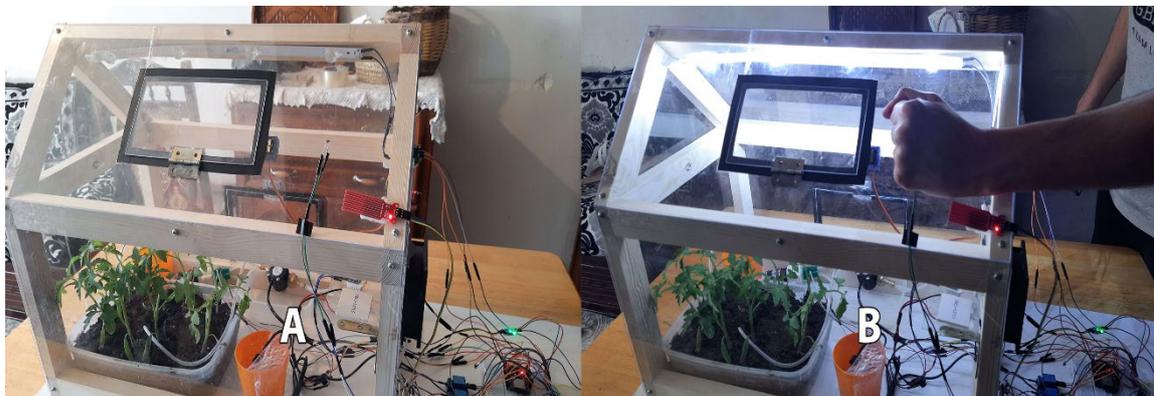
« A » Toit ouvert & « B » toit fermé.

- L'humidificateur d'air



« A » humidificateur éteint & « B » allumé.

- Le tube LED



« A » tube LED éteint & « B » allumé.

- **La mini-pompe d'eau**



« A » pompe éteinte & « B » allumée

- **Le ventilateur**



« A » ventilateur éteint & « B » allumé.

Annexe II : Estimation du prix total des composants utilisés dans ce projet

Le tableau ci-dessous est une étude financière que nous avons effectuée pour évaluer le coût total de notre projet en prenant en compte la fabrication de la structure, ainsi les différents composants électroniques utilisés :

Composant	Prix (DA)
ESP32 DevkitC V4	2000
DHT22	1000
DS18B20	350
Capteur de pluie	450
Servomoteur SG90	700
Capteur d'humidité du sol	500
Débitmètre	1400
LDR	20
LCD I2C	1200
Mini-pompe d'eau 12V	1500
Ventilateur	400
Module Peltier 12715	1100

Annexes

Tube LED	800
Humidificateur d'air	1200
Transfo 12V	1000
Feuille de plexiglass	1200
Modèle de serre en bois	4500
Relai 1 canal	350
Câbles de connexion	800
Plaquettes d'essai	(700x2) 1400
Adhésifs, chatterton, colle...etc.	1000
Total	22.870

Prix des materiaux utilisés

ملخص

الهدف الرئيسي من هذه الدراسة هو إنشاء وتنفيذ دفيئة زراعية ذكية تعتمد على ESP32 يمكن التحكم فيها عن بُعد عبر شبكة Wi-Fi باستخدام تطبيق Blynk. يدمج نموذجنا الأولي العديد من الأجهزة الإلكترونية مثل أجهزة الاستشعار والمشغلات لتنظيم وتحسين الظروف البيئية داخل الدفيئة. يساعد استخدام هذه الدفيئة الزراعية الذكية على تحسين الموارد وتقليل الخسائر، مع زيادة إنتاجية المحاصيل وجودتها. بالإضافة إلى ذلك، توفر إمكانية التحكم عن بعد عبر شبكة Wi-Fi مزيدًا من المرونة وسهولة الاستخدام للمزارعين، مما يسمح لهم بإدارة الدفيئة الخاصة بهم بكفاءة أينما كانوا.

الكلمات المفتاحية: الدفيئة الزراعية الذكية، ESP32، المستشعرات، المشغلات، بليנק.

Résumé

Le but principal de cette étude est de créer et mettre en œuvre une serre agricole intelligente à base d'ESP32, qui peut être contrôlée à distance via Wi-Fi grâce à l'application Blynk. Notre prototype intègre divers dispositifs électroniques tels que des capteurs et des actionneurs pour réguler et optimiser les conditions environnementales à l'intérieur de la serre.

L'utilisation de cette serre agricole intelligente permet d'optimiser les ressources et de réduire les pertes, tout en augmentant le rendement et la qualité des cultures. De plus, la possibilité de contrôle à distance via Wi-Fi offre une flexibilité et une facilité d'utilisation accrues pour les agriculteurs, leur permettant de gérer efficacement leur serre où qu'ils soient.

Mots clés : Serre agricole intelligente, ESP32, Capteurs, Actionneurs, Blynk.

Abstract

The main objective of this study is to create and implement a smart agricultural greenhouse based on ESP32, which can be remotely controlled via Wi-Fi using the Blynk application. Our prototype integrates various electronic devices such as sensors and actuators to regulate and optimize the environmental conditions inside the greenhouse.

The use of this smart agricultural greenhouse allows for resource optimization and reduction of losses, while increasing crop yield and quality. Furthermore, the ability to control it remotely via Wi-Fi provides increased flexibility and ease of use for farmers, allowing them to efficiently manage their greenhouse from anywhere.

Keywords: Smart greenhouse, ESP32, Sensors, Actuators, Blynk