

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne démocratique et populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
جامعة سعد دحلب البليدة
Université SAAD DAHLAB de BLIDA



كلية التكنولوجيا
Faculté de Technologie
قسم الألية والإلكتروني
Département d'Automatique et Électrotechnique

Mémoire

En vue de L'obtention du Diplôme de Master professionnel en
Spécialité : Automatique appliquée.

Thème

Conception et réalisation d'une serre agricole
intelligente à base d'API S7-1200

Soutenu publiquement le : 13 Juin 2024

Présenté par :

- Mlle. BEN ACHOUR Roua
- Mr. BOULAHIA Abdelatif

Devant le Jury :

Mr. BENNILA N.

U.Blida 01

Président

Mme. KHEMICI L.

U.Blida 01

Examinatrice

Mr. BENDJEDID

Partenaire

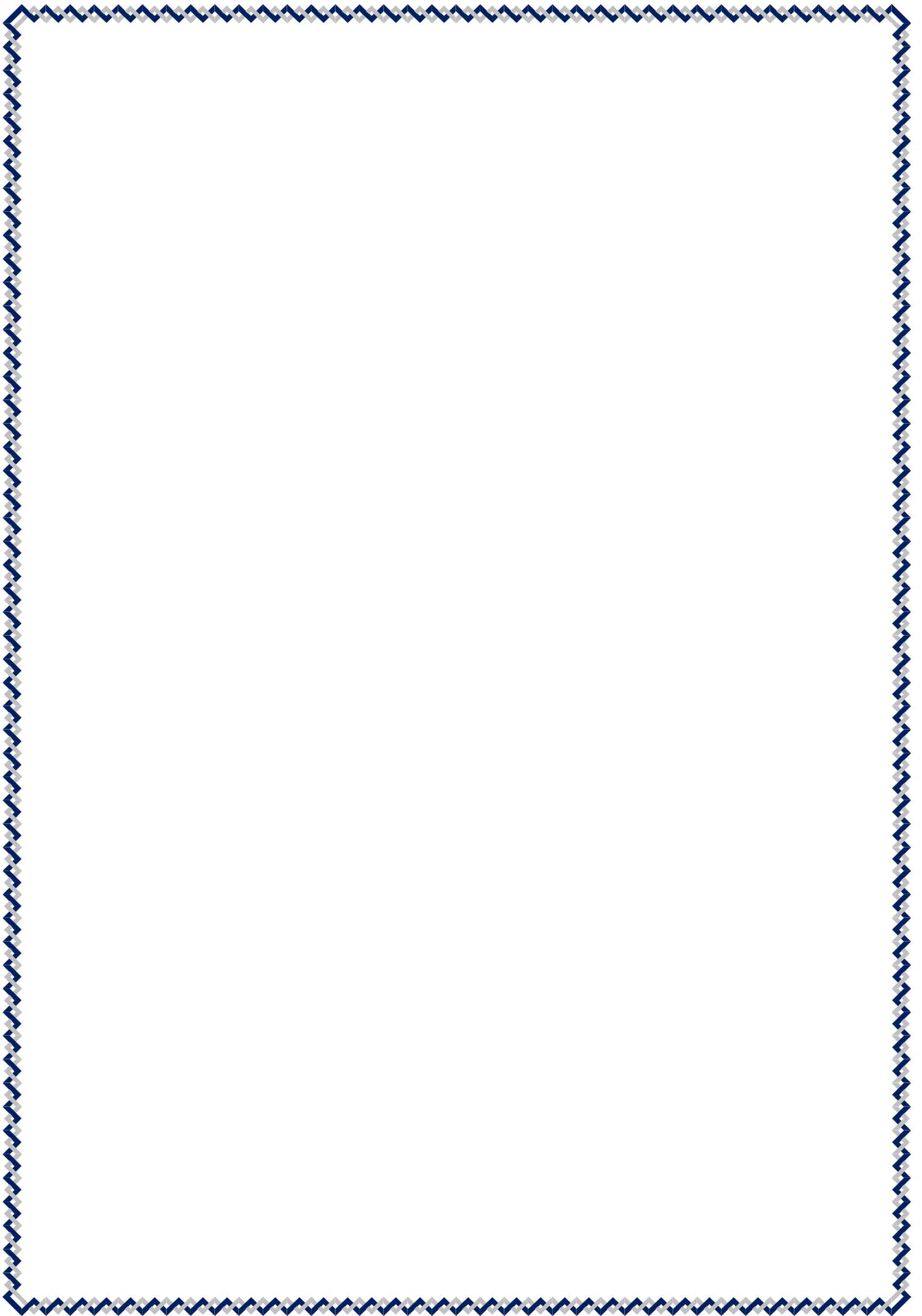
Promoteur

Mme. BRAHIMI

U.Blida 01

Co-promotrice

2023/2024



Remerciements

Nous remercions Dieu le Tout-Puissant de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire.

*Nous tenons à exprimer notre gratitude à toutes les personnes ayant contribué à la réalisation de ce travail. Nos remerciements vont particulièrement à notre promoteur, **Mr. BENJIDID E**, qui, malgré ses innombrables occupations, nous a consacré énormément de temps et nous a transmis une grande partie de son savoir avec beaucoup de patience et de rigueur.*

*Nous remercions également notre co-promotrice, **Mme BRAHIMI N.**, chef de département à l'université Blida 1, pour ses conseils judicieux qui ont enrichi notre réflexion.*

*Nos sincères remerciements vont à **Mr. Yahia** pour son aide précieuse tout au long de notre projet.*

*Nous adressons également nos vifs remerciements à **Mr. BENNILA N.**, professeur à l'université Blida 1, pour son aide, ses conseils, et pour l'honneur de présider le jury de soutenance de ce mémoire ; ainsi qu'à **Mme KHEMICI L.**, adjointe chef de département à l'université Blida 1, pour ses précieux conseils et pour avoir accepté d'examiner ce mémoire.*

*Enfin, nous remercions **Mr. Fas L.**, responsable de la spécialité Automatique appliquée et **Mr. BENCHABANE**, professeur à l'université Blida 1 pour leurs gentillesse infinies, leurs aides, et leurs conseils.*

Dédicace

*À mon père **Mohamed**, qui a toujours été mon idole, mon pilier et mon Inspiration, que Dieu te préserve pour nous. Merci pour tes sacrifices, faits pour me voir réussir.*

*À ma mère **Nada**, la lumière de ma vie, ma source d'efforts et mon pilier moral et ma source inépuisable de joie et de bonheur. Ton amour et ton soutien inconditionnels m'ont donné la force d'avancer.*

*À mon cher petit frère **Iyed**, à qui je souhaite un avenir radieux et plein de réussite. Mes tantes **Faten** et **Noula** et **Wahiba** qui ont été un soutien constant et une source d'encouragement pour moi.*

*À mon âme sœur **Oumayma**, je te souhaite une vie merveilleuse, heureuse et pleine de bonnes promesses.*

Mes pensées vont également à ceux qui ne sont plus parmi nous. À mes chers disparus, je dédie cette réussite en souvenir de leur amour, de leur sagesse et de leur lumière qui brillent toujours en moi. Vous vivez à travers chacun de mes succès et de mes accomplissements.

*À ceux qui n'ont jamais cessé de m'encourager, et me conseiller À mes cousines **Aya** et **Rawaa** À toute ma famille « **Ben Achour** » ainsi qu'à mes amis **Fatima**, **Oussama**, **Zineb**, **Lina**, **Walid** et **Aymen**.*

*À mon binôme **Abdelatif**.*

À mes camarades de promotion exceptionnelle d'Automatique appliquée, merci pour cette aventure partagée et pour votre soutien constant.

****ROUA****

Dédicace

*À mon exemple éternel, mon soutien moral et ma source de joie et de bonheur, Celle qui s'est toujours sacrifiée pour me voir réussir À la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de mon cœur, ma vie et mon bonheur ; maman **Atika**, que dieu te protège,*

À mes chères frères et sœurs vous êtes les piliers de ma vie ma source de force votre amour indéfectible ma accompagné tout au long mon parcours

À tous mes oncles et tantes, cousins et cousines

*A mes chers amis **Ahmed Iheb** et **Mohamed** votre amitié a été un véritable havre de paix et vos fous rires ont illumine mes journées et m'ont permis de surmonter les moments difficiles*

*À toute ma famille « **BOULAHIA ET HAROUN** » ainsi à mes amis **Fatima, Zineb, Walid, Aymen** et **Oussama** et A mon binôme **Roua**.*

À mes camarades de promotion exceptionnelle d'Automatique appliquée, merci pour cette aventure partagée et pour votre soutien constant.

**** ABDELATIF ****

Résumé

Ce mémoire aborde l'automatisation des serres dans le contexte de l'agriculture moderne. Il explore les différentes facettes de ces serres, mettant l'accent sur la conception d'un système de contrôle et de surveillance des paramètres environnementaux. Grâce à l'utilisation de capteurs, d'automate programmable industrielle et les actionneurs. Les serres intelligentes permettent d'améliorer la production alimentaire en assurant des conditions de croissance optimales pour les plantes. La gestion automatisée des serres offre aux agriculteurs un moyen efficace de contrôler et de gérer les paramètres climatiques, favorisant ainsi une croissance saine des cultures et une utilisation plus efficace des ressources. Pour cela, nous avons développé un système de contrôle automatisé qui régule la température, l'humidité de l'air et du sol, la luminosité et la qualité de l'air à l'intérieur de la serre.

Abstract

This study explores the automation of greenhouses in the context of modern agriculture. It explores the various facets of these greenhouses, focusing on the design of a control and monitoring system for environmental parameters. Through the use of sensors, programmable logic controllers, and actuators. smart greenhouses make it possible to improve food production by ensuring optimal growing conditions for plants. Automated greenhouse management offers farmers an efficient way to control and manage climate parameters, consequently promoting healthy crop growth and more efficient use of resources. To this end, we have developed an automated control system that regulates temperature, air and soil humidity, light, and air quality inside the greenhouse

ملخص

هذا البحث يتناول تطوير البيوت الزراعية بالسيطرة الذاتية في سياق الزراعة الحديثة. يكشف البحث عن جوانب مختلفة في هذه البيوت، مع التركيز على تصميم نظام للمراقبة والتحكم في المعايير البيئية. من خلال استخدام الحساسات والمتحكمات القابلة للبرمجة والمشغلات، تمكن البيوت الزراعية الذكية من تحسين إنتاج الطعام من خلال ضمان ظروف نمو مثالية للنباتات. إدارة البيوت الزراعية بشكل آلي توفر للمزارعين وسيلة فعالة للتحكم وإدارة المعايير المناخية، مما يعزز نمو النباتات بشكل صحي واستخدام أكثر كفاءة للموارد. لتحقيق هذا الهدف، قمنا بتطوير نظام تحكم آلي يضبط درجة الحرارة ورطوبة الهواء والتربة، وكذلك الإضاءة وجودة الهواء داخل البيت الزراعي.

Liste des figures

Figure 1 : Schéma d'une serre agricole.....	3
Figure 2 : Serres tunnels.....	4
Figure 3 : Serres plastiques Multi chapelles.....	4
Figure 4 : Serres verres.....	4
Figure 5 : Serres fermées en verre.....	4
Figure 6 : Schéma d'une serre intelligente.....	7
Figure 7 : Les paramètres climatiques dans une serre.....	8
Figure 8 : Exemple de chauffage par air (chauffage électrique à ventilateur).....	11
Figure 9 : Le chauffage par eau.....	11
Figure 10 : Ventilation de la serre.....	12
Figure 11 : Refroidissement par ventilateur avec matelas d'évaporation.....	12
Figure 12 : Production de tomate basée sur éclairage par LED.....	13
Figure13 : Exemple d'ombrière.....	14
Figure 14 : Brumisation Pour Serre Agricole.....	14
Figure 15 : L'irrigation goutte à goutte.....	15
Figure 16 : L'irrigation par micro-aspersion.....	15
Figure 17 : Principe de fonctionnement d'ozone.....	17
Figure 18 : Un système automatisé.....	20
Figure 19 : Automate programmable industriel.....	22
Figure 20 : Structure interne d'un API	23
Figure 21 : Automate s7-1200.....	24
Figure 22 : Modules d'extensions.....	26
Figure 23 : Principe de fonctionnement d'un capteur.....	26
Figure 24 : Classification des capteurs selon la nature du signal de sortie.....	27
Figure 25 : Un capteur TOR.....	27
Figure 26 : Un capteur analogique	28
Figure 27 : Un capteur numérique.....	28
Figure 28 : La différence entre un capteur actif et un capteur passif	29
Figure 29 : Capteur DHT22.....	30
Figure 30 : Arduino nano.....	31
Figure 31 : WATERMARK S200.....	33
Figure 32 : Portable Meter.....	33

Figure 33 : LM393 Photoresistor.....	34
Figure 34 : MQ135.....	35
Figure 35 : Suppression de Dioxyde de Carbone dans une Serre.....	36
Figure 36 : Une pompe électrique.....	37
Figure 37 : Ventilateur 24V DC.....	38
Figure 38 : LED.....	38
Figure 39 : Activtek induct 500.....	39
Figure 40 : Un humidificateur.....	40
Figure 41 : Module relais à 4 canaux.....	41
Figure 42 : LM2596.....	42
Figure 43 : Un Hub	42
Figure 44 : Un porte-fusible.....	43
Figure 45 : Symbole d'un porte-fusible.....	43
Figure 46 : le disjoncteur.....	44
Figure 47 : symbole du disjoncteur.....	44
Figure 48 : support de relai de miniature.....	44
Figure 49 : relai miniature.....	44
Figure 50 : Symbole de relai miniature.....	44
Figure 51 un répartiteur jeu de barre.....	45
Figure 52 :Vue générale de TIA portal.....	45
Figure 53 : Langage SCL.....	46
Figure 54 : Langage GRAFCET.....	47
Figure 55 : Langage LADDER.....	47
Figure 56 : IDE Arduino.	48
Figure 57 : EPLAN.....	49
Figure 58 : Vue en coupe d'un capteur Watermark.....	51
Figure 59 : Vue éclatée d'un capteur Watermark.....	51
Figure 60 : la courbe caractéristique de capteur.....	52
Figure 61 : Etendu de mesure.....	53
Figure 62 : Graphe de non linéarité.....	54
Figure : 63 : Graphe de la linéarisation.....	55
Figure 64 : schéma de circuit.....	58
Figure 65 : Simulation en utilisant le programme ISIS Proteus 8.....	58
Figure 66 : Programme MATLAB pour calculer la courbe de linéarisation.....	59

Figure 67 : Valeur réelle de capteur avec ARDUINO UNO.....	59
Figure 68 : Système globale.....	62
Figure 69 : Dimensions de la serre	63
Figure 70 La serre avant câblage	63
Figure 71 La serre après câblage	63
Figure 72 : résultat finale	64
Figure 73 : l'installation des 2 sondes de watermark	64
Figure 74 : capteur DHT22, LM393 et MQ-135.....	64
Figure 75 : La pompe électrique	65
Figure 76 : ventilateur et LED.....	65
Figure 77 : L'humidificateur	65
Figure 78 : activek induct 500.....	65
Figure 79 : L'armoire avant câblage	66
Figure 80 : L'armoire après câblage	66
Figure 81 : Système automatisé de la partie 1.....	68
Figure 82 : Système de fonctionnement	69
Figure 83 : Logigramme générale du processus.....	70
Figure 84 : Logigramme de luminosité.....	71
Figure 85 : Logigramme de ventilation	72
Figure 86 : Logigramme d'humidification d'air	73
Figure 87 : Logigramme de l'extraction d'air	74
Figure 88 : Logigramme d'irrigation	75
Figure 89 : Home (l'interface principale)	78
Figure 90 : l'interface DHT22	79
Figure 91 : l'interface watermark	79
Figure 92 : l'interface paramètres	79
Figure 93 : l'information.....	80

Liste des tableaux

Tableau 1 : Les différents types de serres ainsi que leurs avantages et inconvénients.....	5
Tableau 2 : Les utilisations et les propriétés distinctives des divers matériaux	6
Tableau 3 : Les températures optimales pour la croissance de certaines cultures	10
Tableau 4 : La température et l'humidité idéale pour la croissance de la tomate.....	18
Tableau 5 : La transmission lumineuse idéale pour la croissance de la tomate selon le type de plastique.....	19
Tableau 6 : Les caractéristiques techniques de CPU 1214C.....	24
Tableau 7 : Caractéristiques techniques du DHT22.....	31
Tableau 8 : Caractéristiques techniques de l'ARDUINO nano.....	32
Tableau 9 : Caractéristiques techniques de LM393 Photoresistor	34
Tableau 10 : Caractéristiques techniques de MQ135.....	35
Tableau 11 : Caractéristiques de la pompe électrique.....	37
Tableau 12 : Caractéristiques de ventilateur.....	38
Tableau 13 : Caractéristiques de Activtek induct 500.....	39
Tableau 14 : Caractéristiques techniques d'un humidificateur.....	40
Tableau 15 : Caractéristiques du LM2596.....	42
Tableau 16 : Sensibilité	54
Tableau 17 : L'erreur.....	56
Tableau 18 : Bilan Général du Projet de Serre Intelligente.....	76

Liste des abréviations

- A** : ampère
- AC** : alternative courante
- AWG**: American wire gauge
- API** : Automate programmable industriel.
- CO₂**: Oxyde de carbone.
- COV** : composés organiques volatils
- CPU** : unité centrale de traitement.
- cm** : centimètre
- DC** : direct courant
- EEPROM** : Mémoire morte et effaçable électriquement.
- E/S** : entrée/sortie.
- F1** : Sélectionneur porte fusible
- FBD**: function block diagram
- HMI** : Interface homme machine
- Hz** : hertz
- IDE**: integrated development environment
- K** : potassium.
- Kpa**: Kilopascal
- Kb** : Kilobyte
- kg** : kilo gramme
- KM1** : relai
- LCD** : affichage à cristaux liquides.
- LDR** : light dépendent résistor.
- LED** : diode électroluminescente (Light Emitting Diode)
- LD**: LADDER diagram
- mA** : micro-ampère
- mm** : millimètre
- mmin**: porté minimal
- mmax**: porté maximal
- MCO** : méthode de moindre carre ordinaire
- N₂** : l'azote.
- NH₃**: ammoniac

-**N_xO_y** : Oxyde d'azote

-**O₂** : Oxygène.

-**O₃** : Ozone.

-**O** : Atome d'oxygène.

-**P** : phosphore

-**PPM** : parties par million

-**PVC** : polychlorure de vinyle.

-**PROM** : mémoire morte programmable une seule fois.

-**PC** : partie commande.

-**PO** : Partie opérative.

-**Profinet** : Process fiel network.

-**PWM** : Pulse width modulation.

-**RH** : taux d'humidité relative

-**ROM** : Mémoire morte.

-**RAM** : Mémoire vive.

-**S** : signal

-**STL**: statement list

-**SCL**: structured control chart

-**SFC**: sequential development environment

-**ST**: structured text

-**TOR** : tout ou rien.

-**TIA PORTAL**: totally integrated automation portal

-**UV** : Ultraviolet.

-**USB** : universal serial bus

-**VCC** : tension d'alimentation positif

-**V** : volt

-**w** : puissante

-**°C** : degré Celsius.

-**μ**: micro

Table des matières

Remerciements

Dédicaces

Résumé

Abstract

ملخص

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Table des matières

Introduction generale.....1

Chapitre I : Généralités sur les serres

I.1. Introduction.....2

I.2. L’agriculture en Algérie2

I.3. Les serres agricoles.....2

I.3.1. Définition.....2

I.3.2. Les avantages et les inconvénients des serres agricoles.....3

I.3.3. Types de serres.....4

I.3.4. Structure et matériaux pour la serre5

I.3.5. Serre agricole intelligente.....7

I.4. Les paramètres climatiques dans une serre.....7

I.4.1. La lumière.....8

I.4.2. Le gaz carbonique CO₂.....8

I.4.3. L’humidité.....9

I.4.4. La température.....9

I.5. Techniques de modulation climatique en serre.....10

I.5.1. Le chauffage.....10

I.5.2. Le refroidissement et la ventilation.....11

I.5.3. Le contrôle de la lumière.....12

I.5.4. L’ombrage.....13

I.5.5. Réduire /augmenter l’humidité.....14

I.5.6. Systèmes d’irrigation.....15

I.5.7. Générateur d’Ozone.....15

1.5.8. Gestion de fertilisation.....	17
I.5.9. Anticalcaire magnétique.....	18
I.6. Généralités sur la tomate maraichère.....	18
I.7. Conclusion.....	19

Chapitre II : Partie matériels

II.1. Introduction.....	20
II.2. Un système automatisé.....	20
II.2.1. La Partie Commande.....	21
II.2.2. La Partie Opérative.....	21
II.3. Définition de l'automate.....	21
II.3.1. Structure d'un API.....	22
II.3.2. Automate siemens S7-1200.....	23
II.4. Les capteurs.....	26
II.4.1. Classification des capteurs.....	27
II.4.2. DHT22.....	30
II.4.2.1. Arduino.....	31
II.4.3. WATERMARK.....	32
II.4.4. LM393 Photoresistor.....	33
II.4.5. MQ135.....	35
II.5. Les actionneurs.....	36
II.5.1. Pompe électrique.....	36
II.5.2. Ventilateur.....	37
II.5.3.LED.....	38
II.5.4. Activtek induct 500.....	39
II.5.5. Humidificateur.....	40
II.6. Module relais 4 canaux.....	41
II.7. Module Convertisseur abaisseur DC-DC(LM2596)	42
II.8. Hub.....	42
II.9. Appareils de protection.....	43
II.9.1. Sectionneur porte-fusible	43
II.9.2. Le disjoncteur	43
II.10. Relais d'interface (Relais de miniature)	44
II.11. Un répartiteur jeu de barre	44
II.12. Partie Soft.....	45

II.12.1. TIA PORTAL (Totally Integrated Automation portal)	45
II.12.2. Arduino IDE	48
II.13. EPLAN.....	48
II.13. Conclusion.....	49
Chapitre III : Conditionnement d'un capteur de tension d'humidité de sol « Watermark »	
III.1. Introduction.....	50
III.2. Description du capteur.....	50
III.3. La courbe caractéristique de capteur.....	52
III.4. Caractéristiques métrologiques du capteur.....	52
III.4.1. Etendu de mesure.....	52
III.4.2. Sensibilité.....	52
III.4.3. Linéarité.....	52
III.4.4. Fidélité.....	55
III.4.5. Justesse.....	56
III.4.6. Précision.....	56
III.4.7. Le temps	56
III.4.8. La vitesse.....	56
III.4.9. Fiabilité.....	57
III.5. Réalisation	57
III.5.1. L'étude de circuit de conditionnement.....	57
III.5.2. Le circuit de conditionnement du capteur.....	57
III.6. Application pour la réalisation.....	60
III.7. Conclusion.....	60
Chapitre IV : Réalisation de la serre agricole intelligente	
IV.1. Introduction générale.....	61
IV.2. Problématique	61
IV.3. Objectif/ Solution.....	61
IV.4. Automatisation via les automates	62
IV.5. Réalisation	63
IV.5.1. Dimensions de la serre.....	63
IV.5.2. Montage de la serre.....	63
IV.5.3. Montage des CAP/ACT/Armoire.....	63
IV.6. Système de fonctionnement	66
IV.7. Les logigrammes	69

IV.7.1. Logigramme générale	69
IV.7.2. Logigramme de Luminosité	70
IV.7.3. Logigramme de température « Ventilation »	71
IV.7.4. Logigramme de l'humidité de l'air « Humidification ».....	72
IV.7.5. Logigramme de purification d'air	73
IV.7.6. Logigramme d'irrigation	74
IV.8. Bilan technico-commerciale	76
IV.9. Interface homme machine	78
IV.11. Conclusion.....	81
Conclusion générale.....	82
Références bibliographiques	
Annexes	

A decorative border with a repeating geometric pattern of small squares and triangles in shades of blue and grey, framing the entire page.

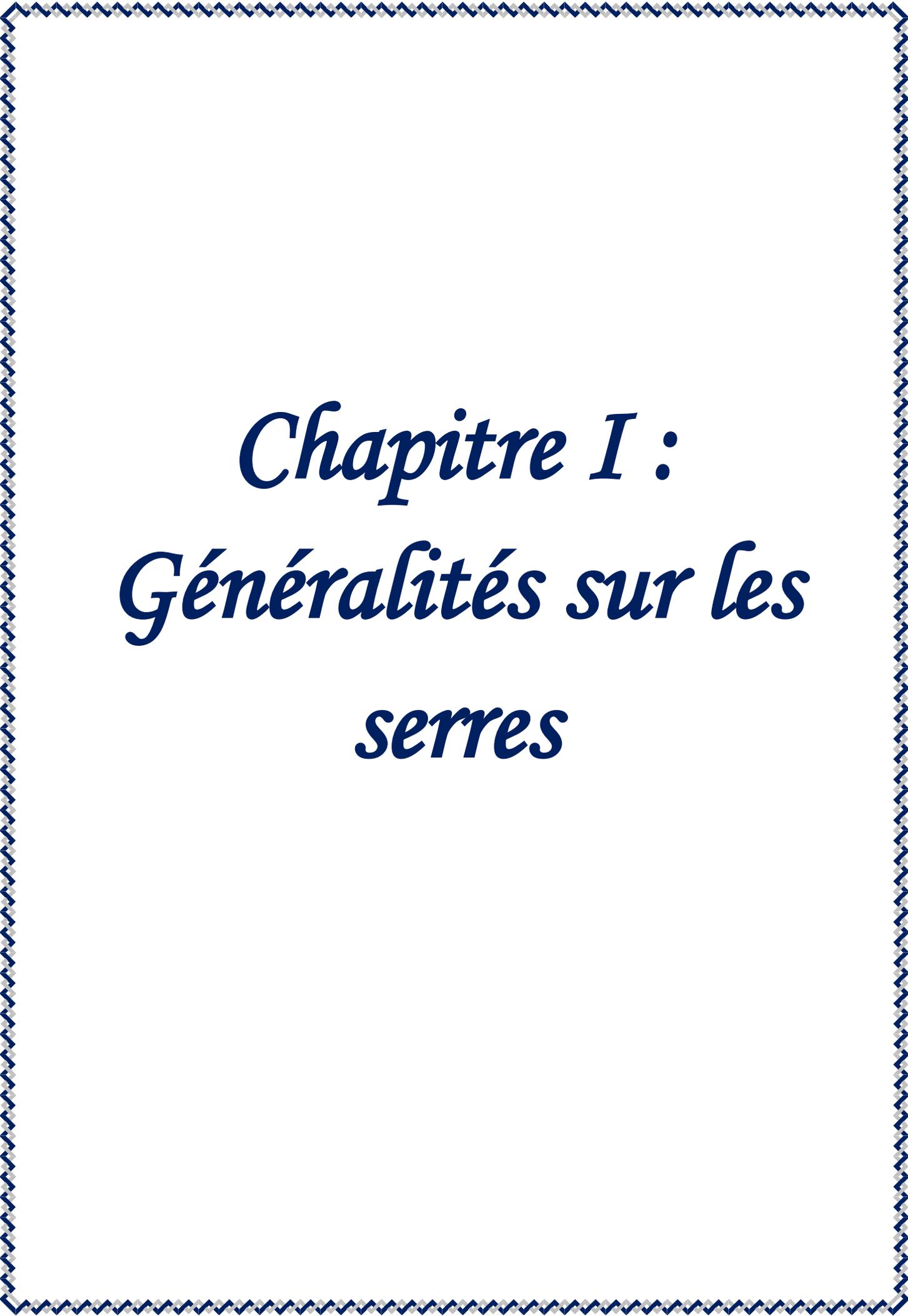
Introduction générale

L'agriculture d'aujourd'hui doit faire face à plusieurs enjeux, notamment un monde de plus en plus chaud, dû aux dérèglements climatiques, l'épuisement des ressources fossiles, les enjeux environnementaux et sanitaires, qui imposent un besoin immédiat d'adaptation et un changement de modèle pour tendre vers plus de durabilité. La culture sous serre permet de lutter contre ces différents obstacles en offrant une diversité des cultures, la prolongation des saisons, la protection des plantes contre les maladies et un meilleur rendement. Pour répondre à un marché de plus en plus concurrentiel, les systèmes de production sous serre deviennent considérablement sophistiqués. C'est pourquoi il est essentiel de maîtriser les conditions de production en contrôlant les paramètres climatiques qui correspondent aux besoins visés et d'améliorer la rentabilité en faisant croître les cultures dans des environnements optimaux.

Dans ce contexte, ce projet de fin d'études vise à créer un système d'automatisation pour une serre agricole. Le but principal est de fournir un équipement simple et facile à utiliser pour aider les agriculteurs à contrôler intelligemment leur serre et à suivre et automatiser les processus sans effort significatif.

Pour atteindre ces objectifs, il est crucial de mettre en œuvre un système de contrôle utilisant des capteurs pour acquérir des données et contrôler automatiquement les paramètres de l'environnement. Dans notre cas, nous utilisons un API Siemens S7-1200 pour contrôler la serre via une HMI. L'automatisation de la serre agricole vise à améliorer la productivité, à économiser les ressources énergétiques, à simplifier la vie des agriculteurs et à améliorer le rendement.

Ce mémoire se divise en quatre chapitres, couvrant les aspects généraux des serres agricoles, l'étude des matériels (capteurs, actionneurs et API), le conditionnement d'un capteur de tension d'humidité de sol et la réalisation de ce projet.

A decorative border with a repeating geometric pattern of small squares and lines, framing the entire page.

Chapitre I : *Généralités sur les* *serres*

I.1. Introduction

Les serres intelligentes sont une révolution dans l'agriculture traditionnelle. Elles utilisent des capteurs, des actionneurs et des systèmes de surveillance et de contrôle pour créer un microclimat autorégulé favorable à la croissance des plantes. Les serres intelligentes permettent de contrôler précisément la température, l'humidité et la luminosité, prolongeant ainsi les saisons de culture et assurant une production continue toute l'année.

Ce chapitre est consacré à la présentation et à la description générale des différentes serres agricoles, de leurs structures et des différents paramètres climatiques nécessaires à la croissance des plantes.

I.2. L'agriculture en Algérie

L'Algérie, avec sa topographie diversifiée et ses niveaux bioclimatiques allant du Sahara à l'humide, permet aux agriculteurs de cultiver une variété de produits tout au long de l'année pour la satisfaction des consommateurs. Le secteur agricole et agroalimentaire constitue une priorité pour les autorités algériennes afin de réduire la dépendance aux importations alimentaires et de diversifier l'économie, axée sur les hydrocarbures. [1]

Depuis plusieurs décennies, des programmes de développement agricole et rural ont été mis en œuvre, notamment dans la région du Sahara, grâce à la création de grands aménagements d'irrigation, mais ceux-ci restent dépendants des équipements importés. La stratégie économique actuelle vise désormais promouvoir l'utilisation des ressources nationales pour réduire les coûts des importations. [2]

I.3. Les serres agricoles

I.3.1. Définition

Les serres agricoles offrent un environnement contrôlé, émulant un microclimat spécifique, ce qui permet de contourner les contraintes climatiques extérieures telles que le froid, le vent, l'eau et les maladies. Elles sont conçues pour chauffer l'air et les racines des plantes tout en contrôlant l'irrigation, la fertilisation, l'enrichissement en CO₂ et l'humidité.



Figure 1 : Schéma d'une serre agricole

Cette approche offre un avantage économique en permettant la production et la mise sur le marché de produits hors saison. Les serres jouent ainsi un rôle crucial en améliorant les conditions de croissance des cultures, assurant une meilleure qualité des produits et répondant aux exigences culturelles spécifiques à chaque plante. [3]

I.3.2. Les avantages et les inconvénients des serres agricoles

Les serres agricoles offrent plusieurs avantages clés, notamment

- La capacité d'assurer une récolte précoce ou tardive, ce qui permet d'optimiser la disponibilité des produits sur le marché.
- En contrôlant les conditions climatiques, les rendements sont également plus élevés et plus constants tout au long de l'année, ce qui se traduit par des rendements plus élevés et une meilleure qualité de récolte.
- De plus, les serres contribuent à réduire la consommation de fongicides et de pesticides, contribuant ainsi à des pratiques agricoles plus durables.

Bien que les serres présentent des avantages indéniables, il convient de noter qu'elles présentent également des inconvénients, tels que

- L'impact sur l'emploi dû à une automatisation accrue,
- Le coût initial plus élevé d'achat de machines
- La nécessité d'un personnel qualifié pour l'entretien et le contrôle.

Cependant, malgré ces défis, l'utilisation de serres agricoles reste une stratégie clé pour moderniser le secteur agricole et répondre à la demande croissante de production alimentaire.

I.3.3. Types de serres

La classification des serres est souvent subtile et complexe, souvent basée sur les structures de support qui composent l'ensemble. On distingue trois principaux types de structures de serre : la serre tunnel plastique, la serre multi chapelle et la serre en verre [4].



Figure 2 : Serres tunnels



Figure 3 : Serres plastiques Multi chapelles



Figure 4 : Serres verres



Figure 5 : Serres fermées en verre

Tableau 01 : Les différents types de serres ainsi que leurs avantages et inconvénients

Types de serres	Avantages	Inconvénients
Serres tunnels	<ul style="list-style-type: none"> ○ Les plus couramment adoptées par les agriculteurs. ○ Simples et abordables. 	<ul style="list-style-type: none"> + L'espace est souvent mal optimisé, (limitant la hauteur des plantes cultivées)
Serres plastiques Multi chapelles simple ou double paroi	<ul style="list-style-type: none"> ○ Offrent un grand espace aérien grâce à leur hauteur optimale et une largeur généreuse, favorisant une production intensive. ○ Excellente isolation, avec un système de ventilation permettant une aération constante ou ajustable, assurant un environnement sain et bien ventilé. ○ Onéreuse mais très rentable . 	<ul style="list-style-type: none"> + Construction et maintenance coûteuses. + Demande beaucoup d'énergie, des technologies avancées et un entretien fréquent
Serres verres	<ul style="list-style-type: none"> ○ Très éclairées ○ Hauteur idéale ○ Extrêmement solides 	<ul style="list-style-type: none"> + Conçues principalement pour la recherche + Moins résistantes (Susceptibles d'être endommagées par la grêle)
Serres fermées en verre	<ul style="list-style-type: none"> ○ Isolation complète de la serre, la protégeant contre les insectes et les maladies. ○ Contrôle précis de l'humidité. ○ Conçues pour une culture intensive de tomates, avec des plants pouvant atteindre jusqu'à 8 mètres de hauteur. 	<ul style="list-style-type: none"> + Très coûteuses et réservées aux grands industriels.

I.3.4. Structure et matériaux pour la serre

Il existe quatre matériaux pour la construction d'une serre : le bois, le PVC, l'aluminium, l'acier et le verre. [5]

- Le PVC est également un bon isolant, contribuant à réduire la condensation et à économiser de l'énergie. L'entretien est également très simple. Il faut toutefois noter que le PVC perd de son éclat avec le temps.
- Les métaux comme l'aluminium ou l'acier ne sont pas de grands isolants, mais ils peuvent être utilisés pour construire de grands hangars verts en raison de leurs fortes propriétés mécaniques.
- Le verre, bien que plus lourd, présente une plus grande translucidité et une meilleure diffusion de la lumière.
- Le bois est connu pour ses superbes propriétés d'isolation thermique.

Tableau 2 : Les utilisations et les propriétés distinctives des divers matériaux [12]

Matériau	Acier	Aluminium	Bois	PVC	Plastique souple	Plastique rigide	Verre
Application	Grandes serres	Petites à grandes serres	Petites à moyennes serres	Mini et petites serres	Mini et petites serres	Petites à grandes serres	Petites à grandes serres
Poids	Élevé	Moyen	Moyen	Faible	Léger	Moyennement léger	Lourd
Résistance mécanique	Élevée	Élevée	Moyenne	Faible	Faible à moyenne	Élevée	Très élevée
Durée de vie	Importante	Importante	Relativement importante	Peu élevée	< 10 ans	10 - 20 ans	> 20 ans
Entretien	Peintures anti-rouille ou Zinc	Peu d'entretien	Peintures bois extérieur	Peu d'entretien	Changement standard	Peu d'entretien	Peu d'entretien
Résistance aux intempéries	Élevée	Élevée	Moyenne	Faible	Résistance moyenne	Résistance élevée	Résistance élevée aux intempéries
Transmission lumineuse	Peu élevée	Négligeable	Faible à modérée	Modérée à élevée	70 - 80%	80 - 85%	80 - 90%
Longévité	Importante	Importante	Relativement importante	Peu élevée	Courte	Moyenne	Très longue

I.3.5. Serre agricole intelligente

Le développement de l'agriculture intelligente marque une évolution significative dans le secteur agricole, nécessitant une modification des systèmes traditionnels afin de promouvoir le développement alimentaire. Un système intelligent permet de contrôler et d'automatiser une serre intelligente. Ce dispositif permet de suivre et de gérer le microclimat et l'environnement de la serre. Dans un environnement tel que celui-ci, différentes disciplines comme l'électronique, la physique, l'informatique et les télécommunications se mêlent à la domotique. Cela comprend l'automatisation des opérations d'éclairage, d'accès, l'installation d'alarmes, la programmation de l'irrigation et la régulation du chauffage en fonction des conditions météorologiques. Tous ces dispositifs visent à diminuer la consommation d'énergie tout en garantissant une autonomie maximale à l'utilisateur.[6]



Figure 6 : Schéma d'une serre intelligente

I.4. Les paramètres climatiques dans une serre

Pour une production agricole optimale, des paramètres climatiques clés tels que la température, l'humidité, les niveaux de dioxyde de carbone et la lumière doivent être pris en compte. Ces éléments jouent un rôle essentiel dans la croissance et le rendement des plantes. En surveillant et en contrôlant ces paramètres, l'environnement climatique de ces serres peut être optimisé pour répondre aux besoins spécifiques de chaque culture. En fait, la température, l'humidité, les niveaux de CO₂ et les durées d'ensoleillement sont les facteurs les plus

influent dans la production végétale, et une bonne gestion consiste essentiellement à assurer une rentabilité maximale des cultures.

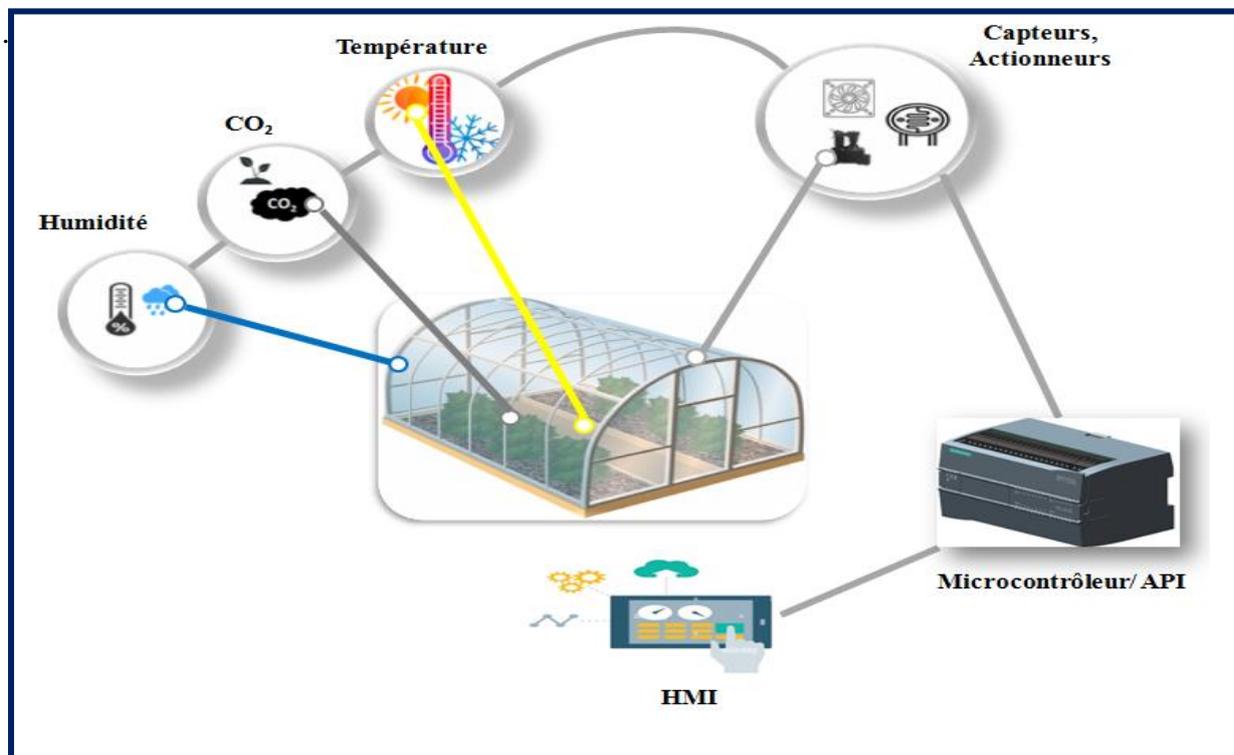


Figure 7 : Les paramètres climatiques dans une serre

I.4.1. La lumière

La lumière est essentielle pour le développement des plantes, notamment les légumes, qui ont besoin de 10 à 12 heures de soleil par jour. En cas de temps nuageux ou d'hiver, une lumière supplémentaire peut être nécessaire. La qualité et la quantité de lumière, variant selon les espèces, sont cruciales pour la photosynthèse et le développement des plantes. Les horticulteurs utilisent souvent de la lumière artificielle pour prolonger l'éclairage et stimuler la floraison. En ajustant la durée et l'intensité de la lumière, et en régulant celle-ci avec des stores ou des grilles, ils peuvent améliorer les conditions de croissance et choisir les cultures adaptées pour maximiser les rendements et la qualité des récoltes. [7]

I.4.2. Le gaz carbonique CO₂

Les serres agricoles utilisent diverses sources pour améliorer l'atmosphère avec du dioxyde de carbone (CO₂), qui est destiné à la croissance des plantes. Le CO₂ se comporte

comme un aliment pour les plantes, stimulant leur photosynthèse et donc leur croissance. L'ajout de CO₂ peut se faire par la libération directe de produits de combustion à partir de combustibles comme le propane, le gaz naturel ou du CO₂ pur des navires. Cette pratique est essentielle pour maximiser les rendements et améliorer la qualité des cultures. En effet, le CO₂ aide les plantes à produire des fleurs plus tôt, augmentant la production de fruits, renforçant les tiges et les fleurs et évitant la chute prématurée des bourgeons. En favorisant la photosynthèse, le CO₂ permet aux plantes de convertir efficacement le dioxyde de carbone en oxygène et en glucose, contribuant ainsi à la production de matière organique et à une croissance robuste.[7]

I.4.3. L'humidité

L'humidité de l'air joue un rôle crucial dans la culture en serre, mais sa gestion est complexe en raison de ses variations liées à la température. À mesure que la température augmente, l'air peut contenir plus d'humidité. Toutefois, il est primordial de surveiller étroitement cette humidité car elle impacte directement la croissance des plantes et leur résistance aux maladies. La mesure du taux d'humidité relative, exprimé en pourcentage, est essentielle pour maintenir des conditions optimales. Ce taux est intimement lié à la température, car plus celle-ci est élevée, plus l'air peut retenir de vapeur d'eau. Dans une serre, le contrôle précis de ces paramètres est indispensable pour obtenir un rendement de croissance satisfaisant. Cela nécessite l'utilisation de divers équipements comme des ouvertures de toiture, des ventilateurs, des systèmes de chauffage et des humidificateurs. Un taux d'humidité idéal, compris entre 40% et 60%, favorise la croissance tout en minimisant les risques de maladies associées à un excès ou à une insuffisance d'humidité.[8]

L'humidité du sol, quant à elle, est essentielle pour assurer une croissance optimale des racines et une absorption efficace des nutriments. Un sol trop sec peut provoquer la déshydratation des plantes, tandis qu'un sol trop humide peut asphyxier les racines et favoriser la pourriture.

I.4.4. La température

La température est un facteur essentiel qui influence directement la croissance des plantes, avec trois types à prendre en compte : celle du sol, celle de la plante elle-même et la température ambiante de la culture. Chaque phase du développement végétal a des besoins

thermiques spécifiques, entre une température de base pour la croissance, une température optimale pour un développement idéal et une température maximale au-delà de laquelle les plantes risquent de périr.

Pour assurer une croissance optimale en serre, il est crucial de bien contrôler la température, surtout en hiver pour protéger les cultures du gel, la serre agissant comme une maison spéciale nécessitant une température adaptée. Il faut aussi considérer la température de l'eau d'irrigation qui peut influencer le bien-être des plantes. [9]

Tableau 3 : Les températures optimales pour la croissance de certaines cultures [11]

Culture	Température	Culture	Température
Tomates	18-23°C	Melon miel	13-18°C
Laitue	10-18°C	Poivron	18-23°C
Radis noir	20-26°C	Chou	15-23°C
Haricots verts	18-25°C	Aubergine	22-26°C
Paksoi	20-24°C	Concombre	22-26°C

I.5. Techniques de modulation climatique en serre

Le contrôle des conditions environnementales dans une serre est essentiel pour assurer des conditions optimales de croissance pour les plantes. Diverses techniques sont employées pour contrôler l'environnement des serres. Dans ce qui suit, sont présentées les méthodes les plus utilisées pour régler les facteurs environnementaux.

I.5.1. Le chauffage

Le chauffage est crucial pour gérer les serres, en fonction des besoins des plantes. Options disponibles : chauffages au pétrole ou au gaz, simples à installer mais augmentant l'humidité ; radiateurs électriques, offrant un contrôle précis avec thermostats et ventilation, asséchant l'air. Pour les petites serres, un chauffage électrique à bain d'huile peut suffire. Le chauffage doit répondre aux besoins thermiques des plantes tout en éliminant l'humidité. L'intensité du chauffage dépend de l'éclairage disponible. Différents radiateurs, comme ceux à air chaud ou à eau chaude, ont des caractéristiques variées. Le choix du système dépend des besoins spécifiques de la serre, des conditions climatiques et des plantes cultivées. [13], [11]

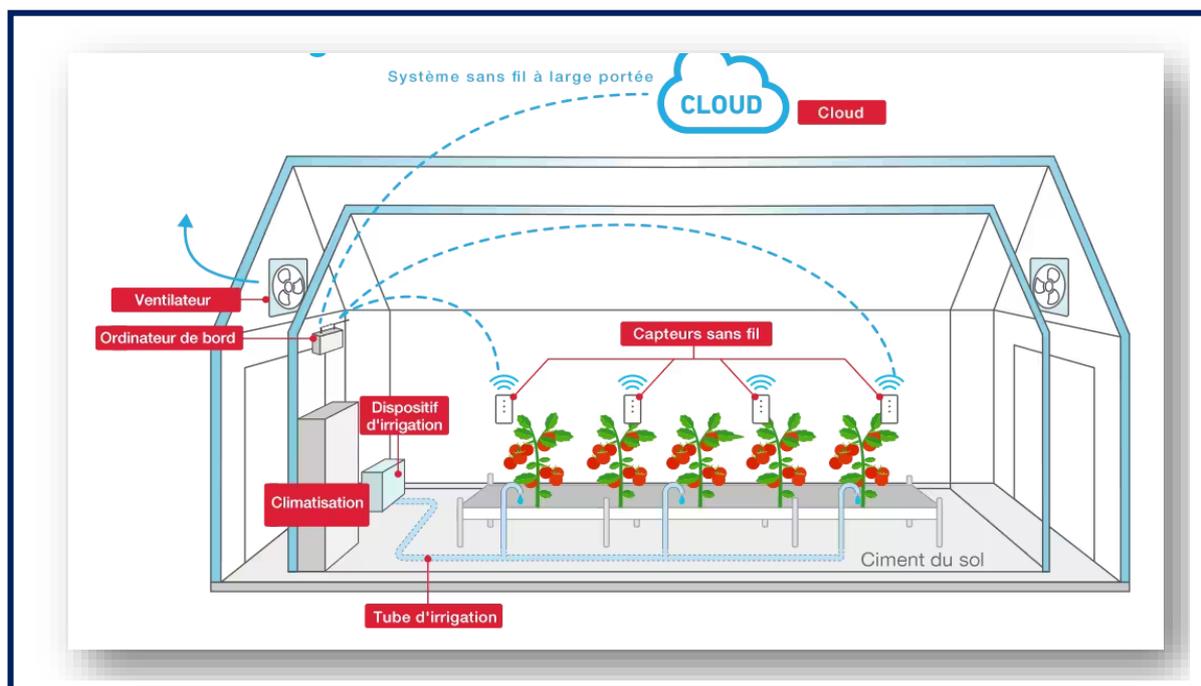


Figure 8 : Exemple de chauffage par air (chauffage électrique à ventilateur)

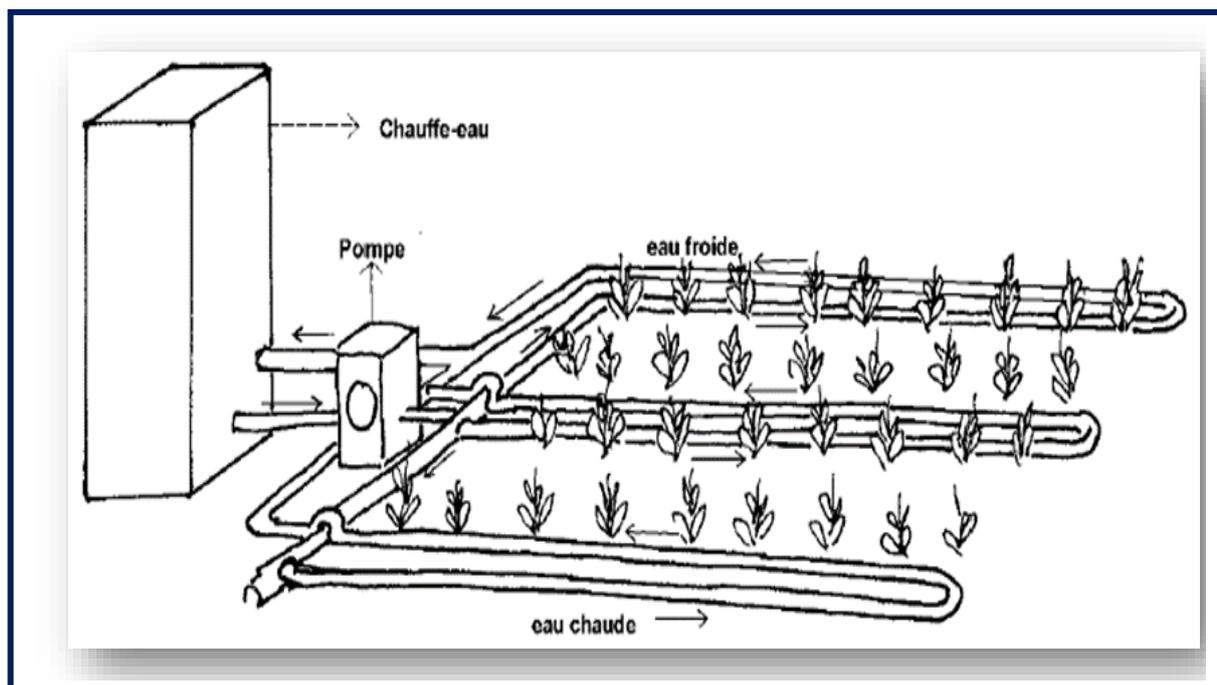


Figure 9 : Le chauffage par eau

I.5.2. Le refroidissement et la ventilation

Le refroidissement et la ventilation sont essentiels pour les serres, assurant des conditions de croissance optimales. Le refroidissement par évaporation d'eau implique l'expulsion d'air chaud d'un côté et l'entrée d'air frais de l'autre, absorbant la chaleur solaire.

La ventilation, réalisée par des ventilateurs, renouvelle l'air, fournit le CO₂ nécessaire à la photosynthèse, et régule la température et l'humidité. Il est important d'ouvrir une partie du revêtement pour ventiler. Des systèmes d'arrosage peuvent refroidir la serre en humidifiant le toit ou l'ombrière. Ces méthodes sont cruciales pour maintenir un environnement optimal pour les plantes en serre. [11]

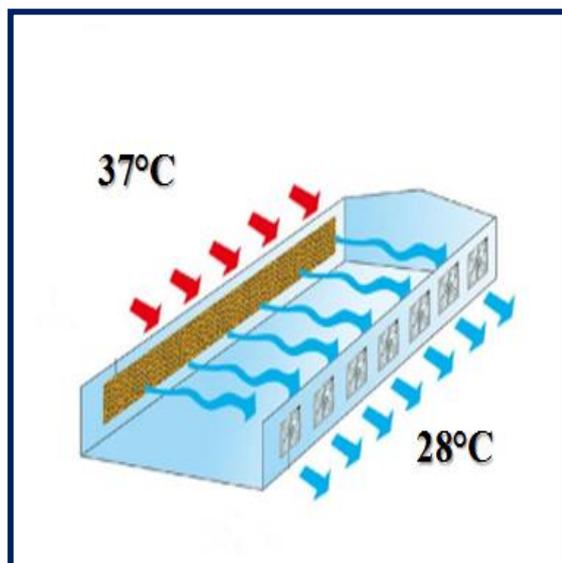


Figure 10 : Ventilation de la serre

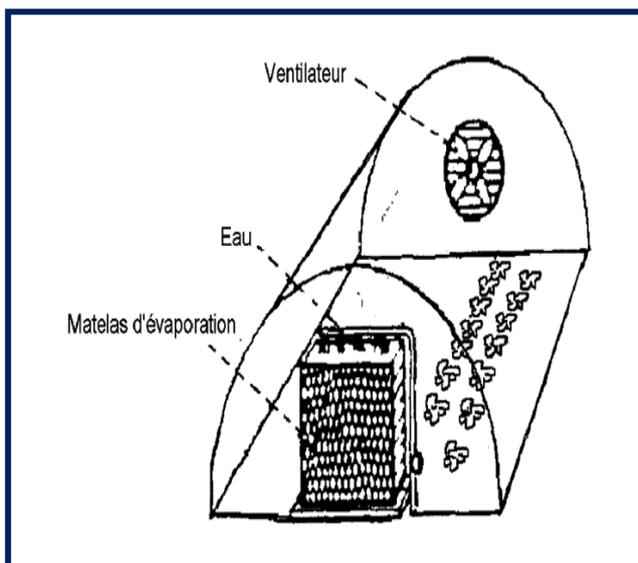


Figure 11 : Refroidissement par ventilateur avec matelas d'évaporation.

I.5.3. Le contrôle de la lumière

Le contrôle de la lumière dans une serre est essentiel pour la croissance des plantes. En hiver ou par temps nuageux, un éclairage supplémentaire avec des lampes électriques ou en réfléchissant la lumière du soleil est nécessaire. Pour éviter une surabondance de lumière, on peut fermer les fenêtres ou utiliser des stores d'ombrage ou des grilles. L'éclairage est crucial pour la photosynthèse, et les besoins varient selon les plantes. Les lampes LED, populaires pour leur efficacité énergétique et leur durabilité, offrent une alternative durable. En combinant éclairage naturel et artificiel, on peut optimiser la croissance des plantes toute l'année, assurant une production stable et efficace. [14]

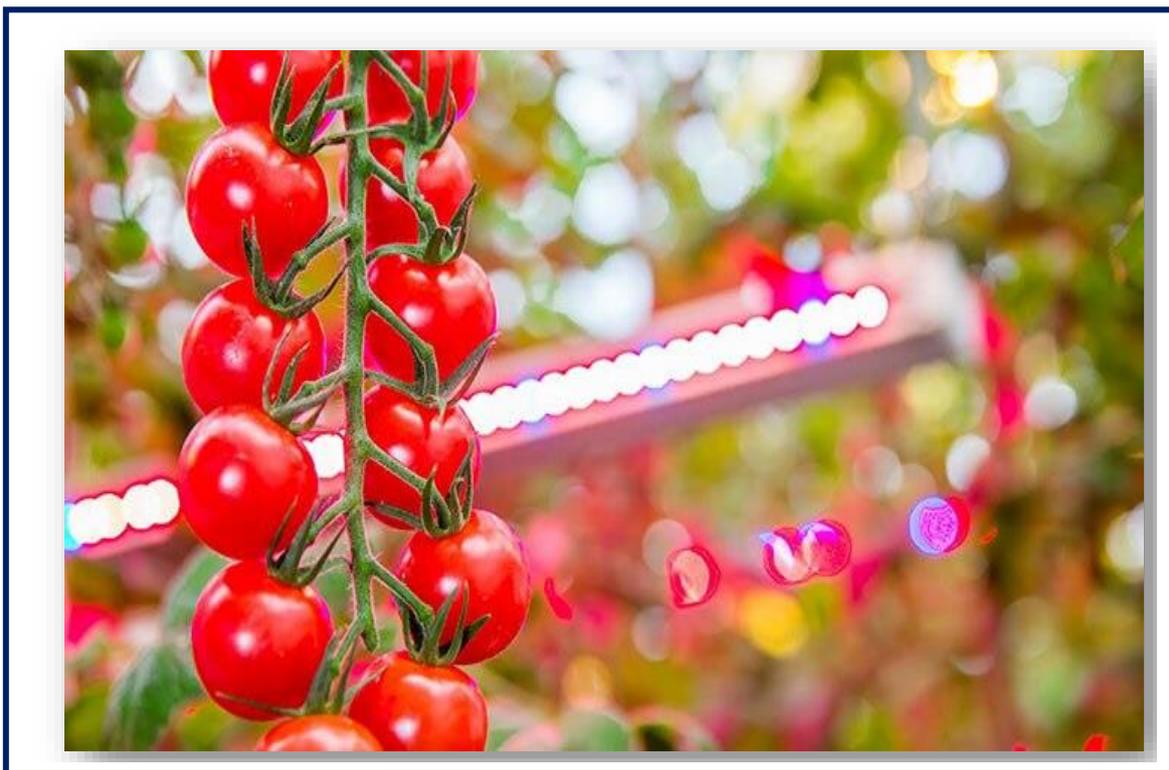


Figure 12 : Production de tomate basée sur éclairage par LED

I.5.4. L'ombrage

L'ombrage dans une serre est essentiel pour protéger les plantes du soleil excessif, surtout dans les climats chauds. Deux méthodes principales sont utilisées : les liquides d'ombrage appliqués sur les vitres et les stores. Les liquides d'ombrage peuvent être moins efficaces par temps gris et frais. Les stores ou les grilles, en particulier ceux à rouleau à l'extérieur, sont préférables car ils évitent l'accumulation de chaleur. Ils doivent être adaptés au pourcentage d'ombre nécessaire pour protéger les cultures sensibles au soleil, réduisant l'évaporation et permettant aux plantes d'assimiler l'eau. Les ombrières extérieures empêchent le chauffage excessif de la serre et assurent un environnement optimal pour la croissance des plantes. [15]



Figure 13 : Exemple d'ombrière.

I.5.5. Réduire /augmenter l'humidité

La gestion de l'humidité dans une serre nécessite des mesures précises pour maintenir un environnement idéal pour les plantes. Pour réduire l'humidité, la méthode traditionnelle de déshumidification associe aération et chauffage pour diminuer l'humidité relative de l'air. Cependant, cela entraîne une importante perte d'énergie. Pour augmenter l'humidité, l'utilisation de brumisateurs est efficace sans favoriser les maladies fongiques. L'arrosage des allées et l'écran de refroidissement peuvent également augmenter l'humidité. En combinant ces techniques, il est possible de maintenir un niveau optimal d'humidité pour favoriser la croissance des plantes tout en minimisant les pertes énergétiques. [3]



Figure 14 : Brumisation Pour Serre Agricole

I.5.6. Systèmes d'irrigation

Les systèmes d'irrigation sont essentiels pour le succès des cultures en serre, offrant diverses techniques pour fournir la quantité d'eau nécessaire.

- ✓ L'irrigation goutte à goutte est précise, alimentant directement les racines en eau et nutriments.
- ✓ L'irrigation souterraine cible les racines via des tuyaux spéciaux, tandis que la micro-aspiration distribue l'eau de manière aérienne.

Ces méthodes contribuent au processus global d'irrigation, crucial pour le développement et la production des plantes. Les systèmes d'irrigation incluent le pompage, le traitement, la distribution et l'entreposage de l'eau et des solutions fertilisantes.

En combinant ces technologies, il est possible d'optimiser l'apport en eau et nutriments, même en cas de déficit hydrique ou de climat aride. [16]



Figure 15 : L'irrigation goutte à goutte



Figure 16 : L'irrigation par micro-aspiration

I.5.7. Générateur d'Ozone

Dans une serre intelligente, l'ozone peut jouer un rôle crucial dans le maintien d'un environnement sain et productif pour les plantes. L'ozone est produit par la décomposition de l'oxygène (O_2) en atomes d'oxygène (O) par des décharges électriques, suivie de la réaction des atomes d'oxygène avec d'autres molécules d'oxygène (O_2) pour former de l'ozone (O_3).

L'ozone, grâce à ses propriétés désinfectantes, peut contribuer à réduire la présence de bactéries, de virus et de moisissures qui pourraient nuire aux cultures.

Les cellules d'ozone, en tant que composants clés des générateurs d'ozone, sont responsables de la production contrôlée d'ozone dans la serre. Les cellules d'ozone fonctionnent en générant de l'ozone à partir de l'oxygène de l'air. Cela se fait généralement en appliquant une tension électrique à travers une cellule contenant de l'oxygène. Elles peuvent être intégrées dans le système de ventilation ou de climatisation pour traiter l'air ambiant, éliminant ainsi les agents pathogènes et améliorant la qualité de l'air pour favoriser une croissance saine des plantes. Désinfection de l'eau et de l'air : Elles sont utilisées pour éliminer les bactéries, les virus, les moisissures et les odeurs indésirables.

- Traitement de l'eau : Elles peuvent être utilisées pour purifier l'eau en le désinfectant.
- Traitement de l'air dans les serres : Elles peuvent être intégrées dans les systèmes de climatisation pour améliorer la qualité de l'air et contrôler les agents pathogènes

Cependant, il est essentiel de surveiller attentivement les niveaux d'ozone pour éviter une exposition excessive, car des concentrations élevées peuvent être préjudiciables aux plantes et à l'environnement.

En résumé, les cellules d'ozone sont des dispositifs importants pour la désinfection de l'air et de l'eau, et elles peuvent être utiles dans le contexte des serres pour maintenir un environnement sain pour les plantes. [17]

Ce paramètre bien que pertinent et potentiellement bénéfique, reste largement méconnue en Algérie., mais il l'est en Égypte et dans d'autres pays. Alors qu'il n'a pas encore été diffusée ni discutée largement en Algérie, il a déjà suscité beaucoup d'intérêt et d'attention en Égypte.

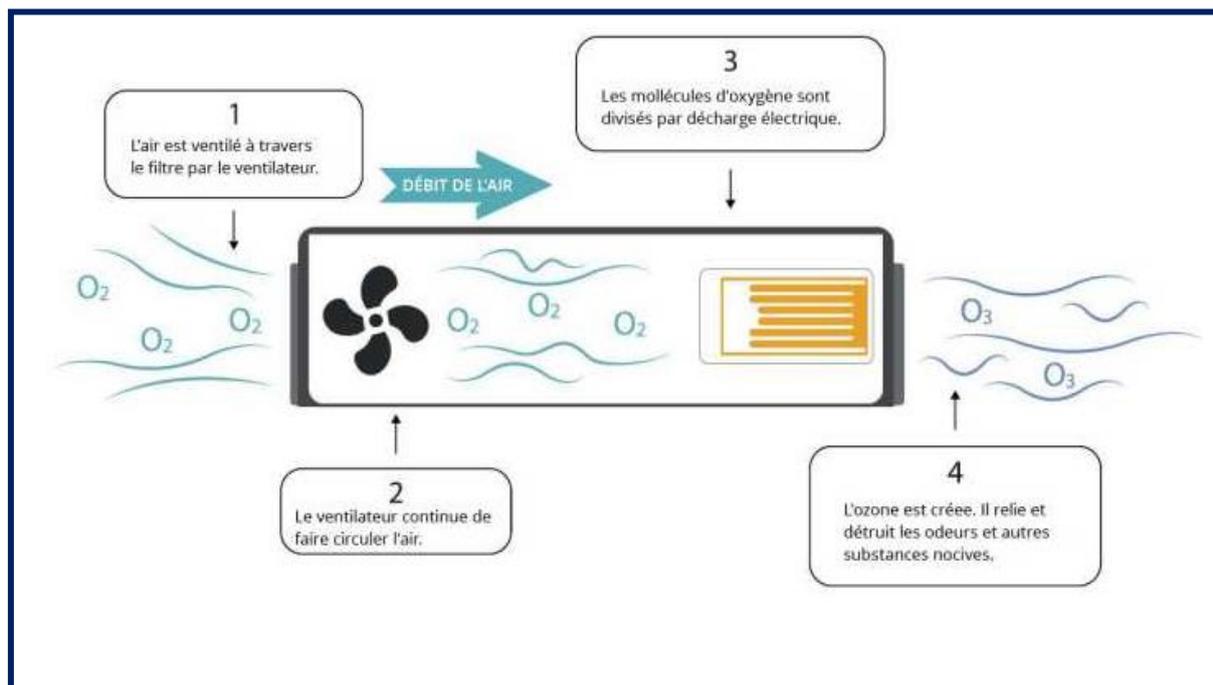


Figure 17 : Principe de fonctionnement d'ozone

1.5.8. Gestion de fertilisation

La fertilisation consiste en l'ajout de nutriments essentiels au sol ou au substrat pour assurer une croissance optimale des plantes. Elle vise à compenser les carences en éléments nutritifs naturels qui pourraient limiter le développement des cultures.

Les plantes ont besoin de trois éléments principaux en grande quantité : l'azote (N), le phosphore (P) et le potassium (K). L'azote favorise la croissance des feuilles et des tiges, le phosphore est crucial pour le développement des racines et la floraison, tandis que le potassium améliore la résistance des plantes aux maladies et au stress.

En plus des éléments majeurs, les plantes nécessitent des oligo-éléments comme le calcium, le magnésium, le soufre, le fer, le zinc, le cuivre, le molybdène et le bore, qui jouent des rôles spécifiques dans les processus physiologiques des plantes.

Les fertilisants peuvent être organiques (compost, fumier, etc.) ou chimiques (engrais synthétiques). Les engrais chimiques sont formulés pour fournir des concentrations précises de nutriments, tandis que les engrais organiques améliorent également la structure et la fertilité du sol à long terme.

La fertilisation peut se faire de différentes manières : par épandage direct sur le sol, par incorporation dans le sol avant la plantation, ou par fertigation (mélange d'engrais et d'eau d'irrigation). En serre, la fertigation est couramment utilisée, permettant une distribution uniforme et contrôlée des nutriments.[20]

I.5.9. Anticalcaire magnétique

Dans une serre, l'utilisation d'un anticalcaire magnétique peut jouer un rôle crucial dans la gestion efficace de l'eau et de la qualité du sol. Ces dispositifs exploitent des aimants pour traiter l'eau en éliminant les dépôts de calcaire et en prévenant la formation de tartre dans les systèmes d'irrigation. En évitant l'accumulation de calcaire, l'anticalcaire magnétique contribue à maintenir la performance optimale des équipements, tels que les goutteurs et les arroseurs, en assurant un débit d'eau constant et une distribution uniforme. De plus, en réduisant la présence de minéraux indésirables dans le sol, ces dispositifs peuvent favoriser des conditions de croissance plus favorables pour les plantes, en évitant les problèmes liés à l'excès de calcaire. Ainsi, l'anticalcaire magnétique s'avère être un outil précieux pour optimiser l'efficacité et la durabilité des installations agricoles, y compris dans le contexte d'une serre où la gestion de l'eau et du sol revêt une importance particulière. [10]

I.6. Généralités sur la tomate maraichère

La tomate appartient à la famille des solanacées et est originaire des régions tropicales d'Amérique latine. Cette plante annuelle est particulièrement sensible aux variations de température. Elle craint le froid, le gel, ainsi que les vents chauds, ce qui en fait une culture exigeante en termes de température. Le fruit de la tomate est une baie, souvent rouge, mais pouvant aussi être jaune ou orangée. De forme généralement ronde ou parfois allongée, les tomates sont de grosses baies contenant de nombreuses petites graines blanches, plates et réniformes, qui deviennent feutrées lorsqu'elles sont sèches. [18]

Tableau 4 : La température et l'humidité optimale pour la croissance de la tomate

	Jour	Nuit	Sol
Température	20-25°C	13-17°C	14-18°C
Humidité	85%	75%	75%

Pour les tomates, La transmission lumineuse varie selon le type de plastique utilisé,

Tableau 5 : La transmission lumineuse optimale pour la croissance de la tomate selon le type de plastique

Luminosité	Le plastique anti-UV	70%
	Le plastique infrarouge	65%

Cette transmission diminue avec l'âge du plastique en raison de la saleté et des dépôts de poussière, nécessitant un lavage en deuxième année pour maintenir son efficacité.[19]

I.7. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté une vue d'ensemble des serres agricoles, en énumérant succinctement les différents types, structures et matériaux utilisés. Nous avons également abordé les paramètres climatiques essentiels à la croissance des plantes et les divers systèmes automatiques employés pour contrôler et réguler ces facteurs.

A decorative border with a repeating geometric pattern of small squares and triangles in blue and grey, framing the entire page.

Chapitre II :
Partie matériels

II.1. Introduction

Après nous être familiarisés dans la première partie avec l'agriculture et les problèmes auxquels elle est confrontée en termes de conditions climatiques, et nous nous être familiarisés avec la serre agricole intelligente, dans cette section, nous allons découvrir la structure des circuits électriques en termes d'éléments existants qui nous aideront à contrôler les paramètres principaux inhérent à la gestion d'une serre agricole.

L'objectif de ce chapitre est de présenter l'ensemble des outils matériels et logiciels utilisés pour l'automatisation d'une serre agricole. L'automatisation du système est réalisée à l'aide des dispositifs électroniques tels que les capteurs et les actionneurs.

II.2. Un système automatisé

Un système automatisé est un système ou une installation qui est composée d'un ensemble d'éléments qui fonctionnent totalement ou en partie sans intervention humaine. Il permet de passer d'une situation à une autre en suivant un ensemble de paramètres prédéfinis sans avoir de recours direct à une intervention humaine. Il suit minutieusement, en tenant compte du facteur temps, l'itinéraire prédéfini et programmé au préalable par des experts.

En d'autres termes, ce système acquiert des données, les analyse et génère les actions requises à effectuer sur l'environnement pour corriger ou maintenir les paramètres adéquats aux cycles de la plante, selon les besoins intrinsèques préprogrammés de chaque culture. Un système automatisé se compose de deux parties, comme illustré dans la figure suivante :

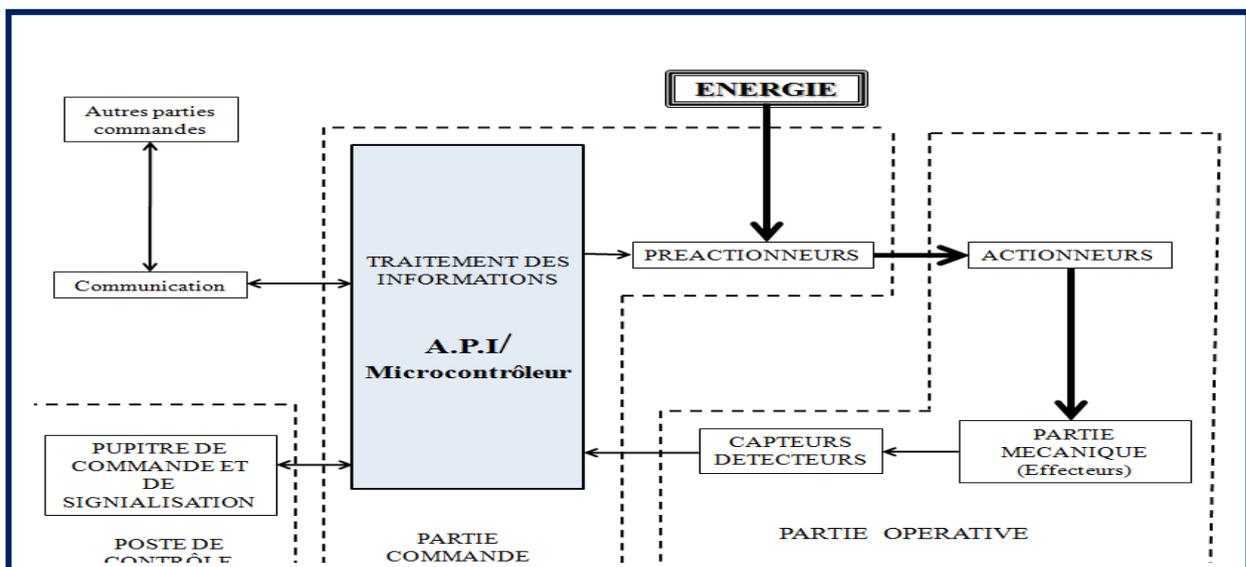


Figure 18 : Un système automatisé

II.2.1. La Partie Commande

En règle générale, elle est constituée d'un automate ou d'un microcontrôleur intégrant un programme qui gère le fonctionnement du système. Ce dispositif sélectionne les commandes nécessaires au bon fonctionnement de la partie opérationnelle en se basant sur les instructions reçues soit du dialogue homme-machine (par l'opérateur) soit par l'acquisition de données (informations fournies par des capteurs).

II.2.2. La Partie Opérative

Cette partie met en œuvre les directives émises par la partie commande en convertissant les signaux de commande en énergie électrique, pneumatique ou hydraulique pour assurer le fonctionnement du système. Parallèlement, elle communique l'état du système à la partie commande via les capteurs. Elle inclut généralement :

- ✚ Des actionneurs qui convertissent l'énergie reçue en énergie utilisable : moteurs, vérins, lampes.
- ✚ Des capteurs qui traduisent les variations des grandeurs physiques liées au fonctionnement du système en signaux électriques : capteurs de position, de température, boutons-poussoirs, etc.

II.3. Définition de l'automate

L'automate programmable industriel (API) est un appareil électronique spécialisé dans le processus d'information logique, ce qui le rend idéal pour les environnements industriels. Le programme opérationnel, basé sur des instructions spécifiques liées au processus à exécuter, guide ses opérations. Grâce aux données d'entrée des capteurs et au programme préétabli, l'automate émet des commandes aux pré actionneur de l'opérateur, contrôlant ainsi une variété de machines ou de processus via des entrées/sorties analogiques ou tout ou rien.

L'API reçoit des informations en temps réel sur les états du système, ce qui lui permet de contrôler les pré actionneur en fonction du programme stocké sur sa mémoire. Fonctionnement cyclique, typique pour les automates industriels, réalisé par le microprocesseur qui exécute des fonctions logiques telles que ET, OU, la synchronisation, le comptage, les fonctions de calcul, etc. Les liens parallèles appellent 'BUS' faciliter la communication binaire entre le microprocesseur, la mémoire! Et l'interface d'E/S.

Les structures simplifiées d'un système automatique se décomposent en trois parties essentielles : entrées TOR, parfois analogiques, fournissant des informations sur l'état du processus telles que les fins de course, les détecteurs de niveau, les thermostats, etc.; l'API traite ces informations d'entrée pour générer des commandes; enfin, les sorties transmettant les commandes développées par l'API aux différents actionneurs ou ré-actionneurs tels que les voyants, les distributeurs de vérins, les contacteurs de moteurs, etc.[20]

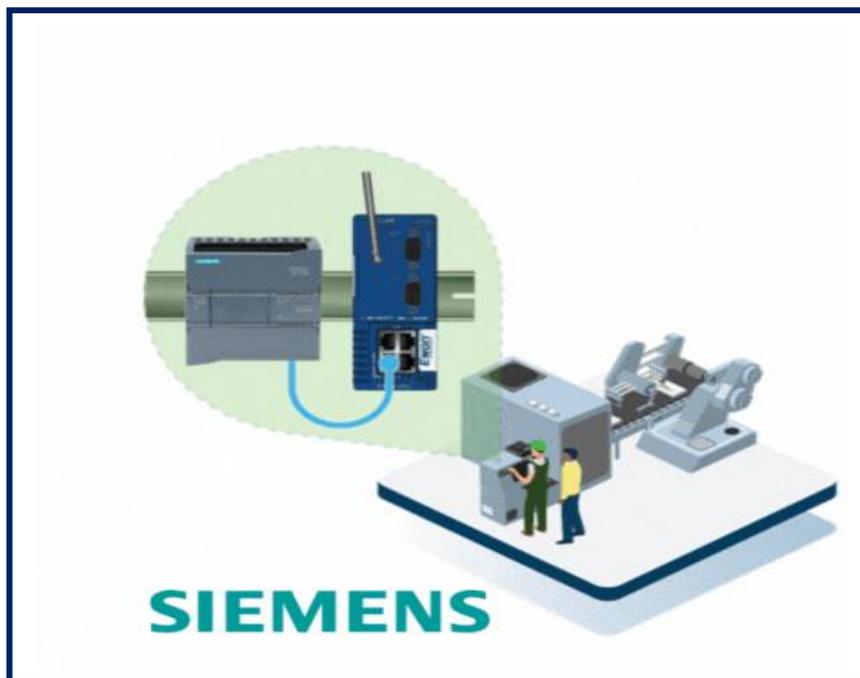


Figure 19 : Automate programmable industriel

II.3.1. Structure d'un API

- **Module d'alimentation** : assure la distribution d'énergie aux différents modules.
- **Unité centrale** : à base de microprocesseur, elle réalise toutes les arithmétiques et de traitement numérique (transfert, comptage, temporisation ...).
- **Mémoires** : permettent de stocker le système d'exploitation (ROM ou PROM), le programme (EEPROM) et les données système lors du fonctionnement (RAM).
- **Interfaces d'entrées / sorties** : éléments de signalisation du Système.

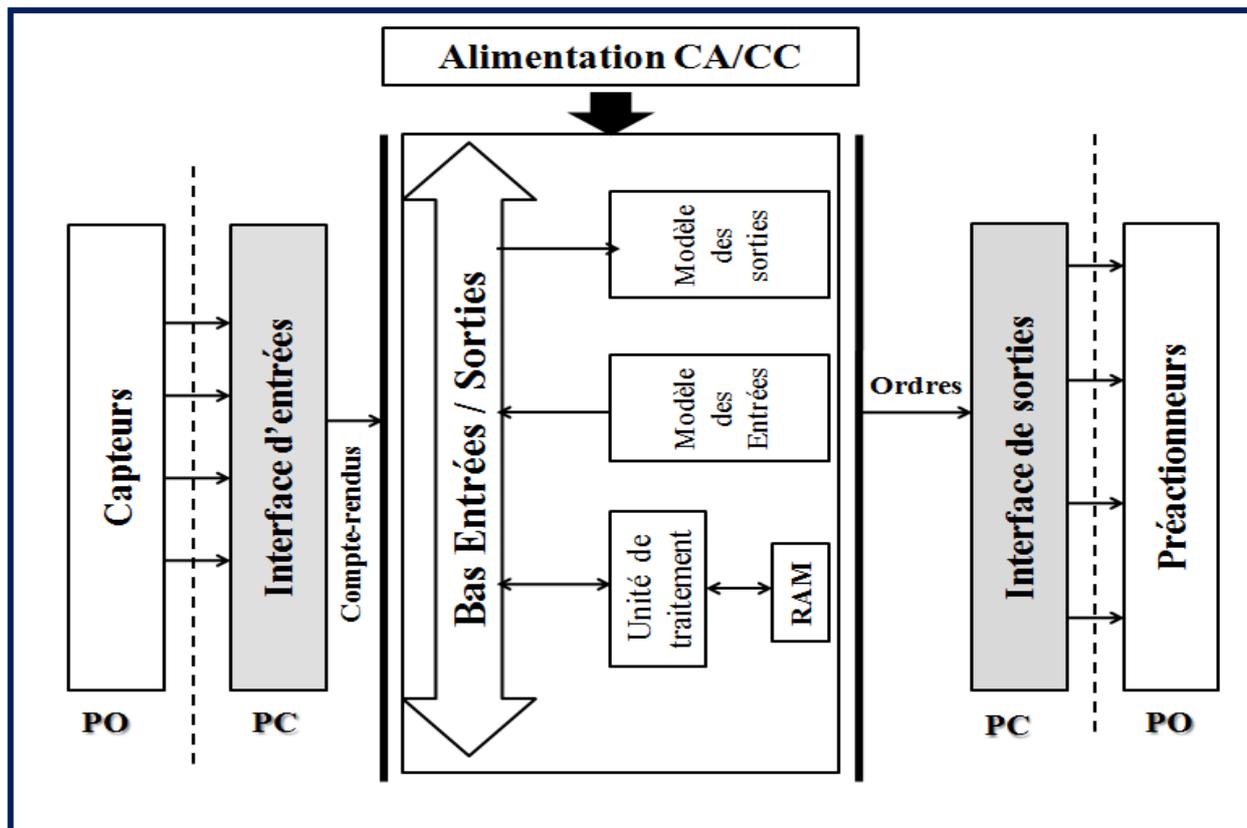


Figure 20 : Structure interne d'un API

II.3.2. Automate siemens S7-1200

Le SIEMENS SIMACTIC S7-1200 est un appareil modulaire et compact conçu pour des tâches d'automatisation simples mais très précises. La diversité de sa conception en fait un investissement sûr et une résolution idéale pour différentes tâches. Ce contrôleur, que nous avons choisi pour notre projet, offre la flexibilité et la force nécessaires pour gérer les différents composants de la machine.

Le CPU du S7-1200 intègre un microprocesseur, une alimentation, des circuits d'entrée et de sortie, un PROFNET, des E/S rapides pour le contrôle de mouvement, ainsi que des entrées analogiques, le tout dans un petit boîtier, créant un contrôleur puissant. Une fois le programme chargé, le CPU contient la logique nécessaire pour gérer un contrôle des appareils de notre application. Il surveille les entrées et ajuste les sorties sur la base de la logique du programme utilisateur, qui peut inclure des instructions booléennes, comptage, synchronisation, des instructions mathématiques complexes, des commandes pour communiquer avec d'autres appareils intelligents.

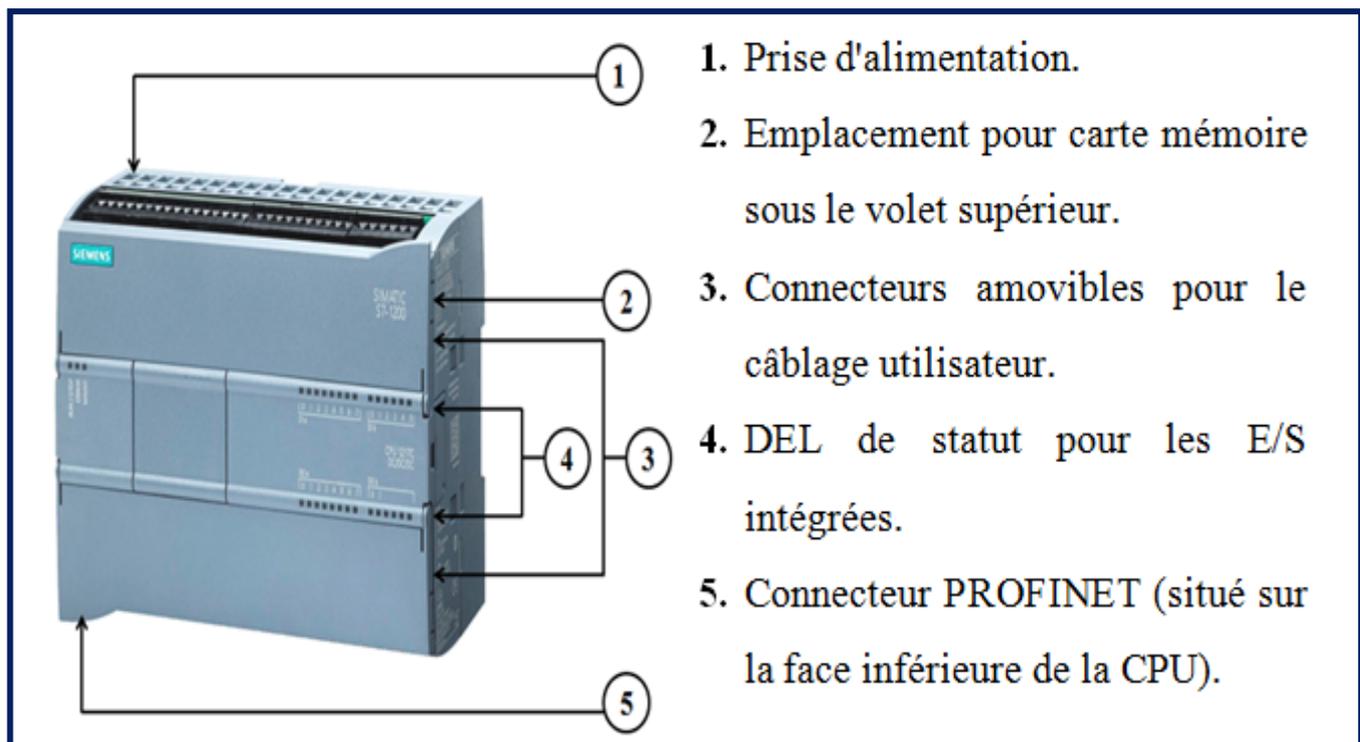


Figure 21 : Automate s7-1200

✓ Caractéristiques techniques de CPU 1214C [21]

Tableau 6 : Les caractéristiques techniques de CPU 1214C

Caractéristiques techniques		La description
Mémoire utilisateur	Travail	100 koctets
	Charge	4Mo interne extensible jusqu'à SD taille de la carte
	Fidèle	10 k octets
E/S numérique embarqué		14entrées/10sorties
E/S analogiques de bord		2entrées/2sorties
Taille de l'image du processus		1024 octets d'entrées(I)/1024 octets de sorties(Q)
La mémoire de bits(M)		8192 octets

<p>Mémoire temporaire (local)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✚ 16 Ko pour le démarrage et le cycle de programme (y compris FB associé et FC) ✚ 4 Ko pour les événements d'interruption standard, y compris FB et de FC ✚ 4Ko pour les événements d'erreur d'interruption, y compris FB et FC
<p>Compteurs rapides</p>	<p>6 au total, voir onglet le HSC affectations d'entrée pour CPU 1214C</p> <ul style="list-style-type: none"> ✚ Monophasé :3à100kHz et 3 à la fréquence d'horloge de 30kHz ✚ Quadrature de phase :3 à 80kHz et3 à la fréquence d'horlogede20kHz
<p>Sorties d'impulsions</p>	<p>4</p>
<p>Entrées Pulse de capture</p>	<p>14</p>

✓ **Modules d'extensions**

Les modules d'extensions de l'API S7-1200 enrichissent les fonctionnalités de l'automatisation industrielle en offrant une gamme étendue de possibilités. Conçus pour répondre aux besoins spécifiques de chaque application, ces modules incluent des extensions pour les entrées et sorties numériques, analogiques, les communications, et le contrôle de mouvement, entre autres. Leur intégration permet d'incorporer divers capteurs, actionneurs, et dispositifs de communication, rendant ainsi le système S7-1200 adaptable à une multitude de contextes industriels. Cette modularité renforce la surveillance, le contrôle, et la connectivité des processus, tout en garantissant une évolutivité pour s'adapter aux exigences futures. Les modules d'extension pour entrées analogiques offrent une précision accrue dans la mesure et le contrôle des paramètres industriels, en acceptant différents signaux comme les tensions et les courants, ce qui permet de surveiller avec précision des variables telles que la température, la pression, le débit, et le niveau de liquide. Ils s'intègrent facilement à la CPU du S7-1200, simplifiant ainsi l'expansion des capacités du système sans complications.



Figure 22 : Modules d'extensions

II.4. Les capteurs

Un capteur est un dispositif ou un élément qui peut détecter une grandeur physique à mesurer et la convertir en une forme exploitable par un système de traitement. Le signal généré par un capteur est fréquemment électrique, sous forme de courant ou de tension.[22]

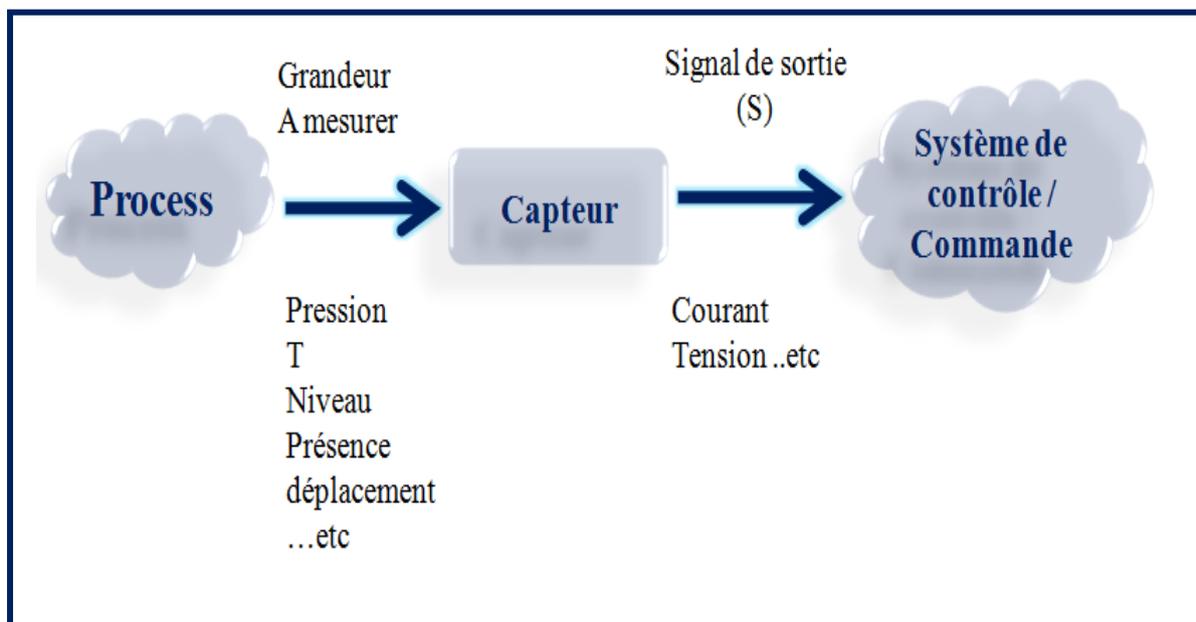


Figure 23 : Principe de fonctionnement d'un capteur

II.4.1. Classification des capteurs

II.4.1.1 Classification selon la nature du signal de sortie

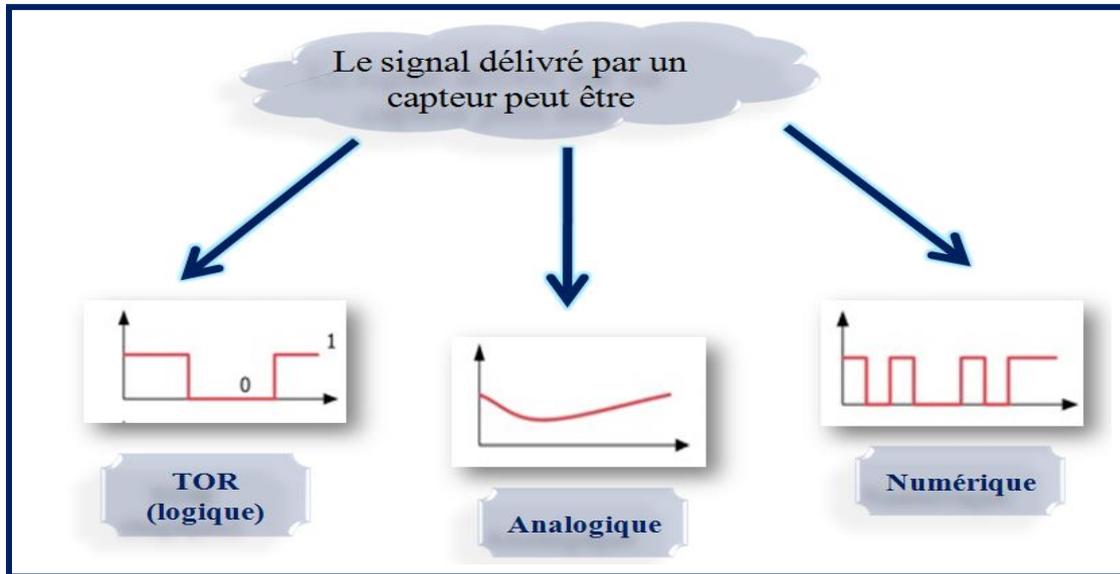


Figure 24 : Classification des capteurs selon la nature du signal de sortie

➤ Capteur TOR (logique)

- Un capteur TOR (Tout Ou Rien) est un capteur dont la sortie ne peut prendre que deux états généralement représentés par 0 et 1.
- Les capteurs les plus couramment utilisés dans l'automatisation sont les interrupteurs de position et les détecteurs de proximité.
- Les applications des capteurs TOR comprennent la détection de présence ou de passage, la surveillance des seuils de température (thermostat) ou de pression (pressostat), etc.

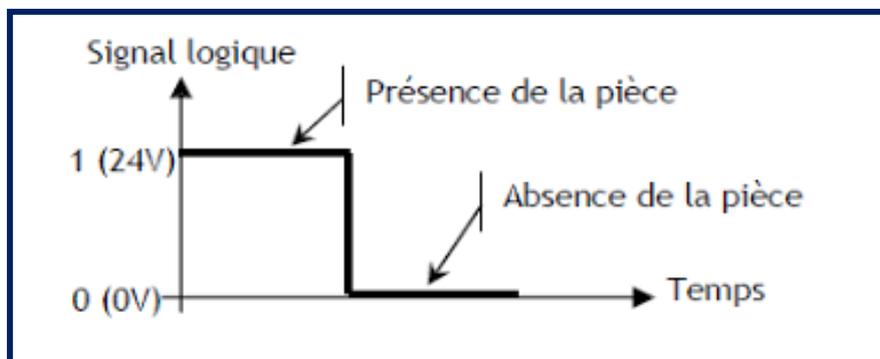


Figure 25 : Un capteur TOR

➤ **Capteur analogique**

- Un signal analogique est un signal qui varie de manière continue dans le temps.
- Les capteurs analogiques sont utilisés dans divers domaines pour mesurer des grandeurs physiques telles que la température, la pression, le niveau, la tension, la force, la luminosité, la couleur, etc.

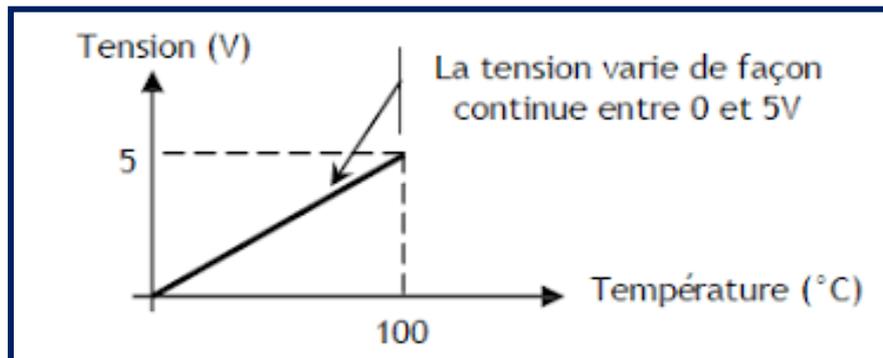


Figure 26 : Un capteur analogique

➤ **Capteur Numérique**

- Un signal numérique est un Signal composé d'un nombre fini de valeurs numériques.
- Les informations fournies par un capteur numérique peuvent se présenter sous forme de code binaire (avec un nombre défini de bits) ou de train d'impulsions (avec un nombre précis d'impulsions ou une fréquence spécifique).

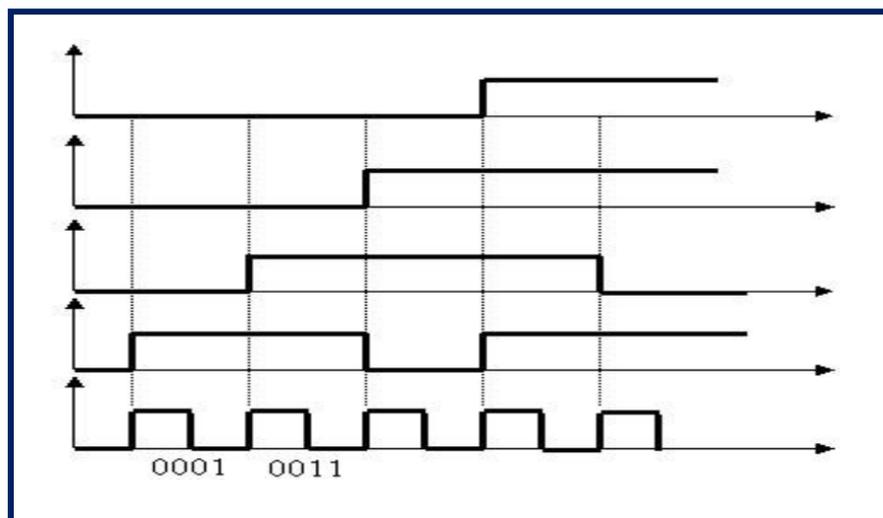


Figure 27 : Un capteur numérique

II.4.1.2. Classification selon le principe de fonctionnement

Un capteur passif et un capteur actif se distinguent principalement par leur capacité à alimenter ou non le système auquel ils sont connectés.

- ✓ **Capteur passif** : Ce type de capteur ne nécessite pas d'alimentation externe pour fonctionner. Il réagit aux stimuli externes (comme la lumière, la chaleur, le mouvement) et génère une sortie en réponse à ces stimuli. Par exemple, un capteur passif infrarouge détecte les variations de chaleur sans nécessiter d'alimentation externe.
- ✓ **Capteur actif** : Contrairement au capteur passif, un capteur actif nécessite une alimentation externe pour fonctionner. Il génère un signal de sortie en utilisant cette alimentation pour émettre un signal, puis mesure la réponse de l'environnement à ce signal émis. Par exemple, un capteur ultrasonique envoie des signaux ultrasonores et mesure le temps qu'il faut pour que ces signaux rebondissent sur un objet, calculant ainsi la distance à cet objet.

En résumé, un capteur passif réagit aux stimuli externes sans alimentation, tandis qu'un capteur actif nécessite une alimentation pour émettre un signal et mesurer la réponse.

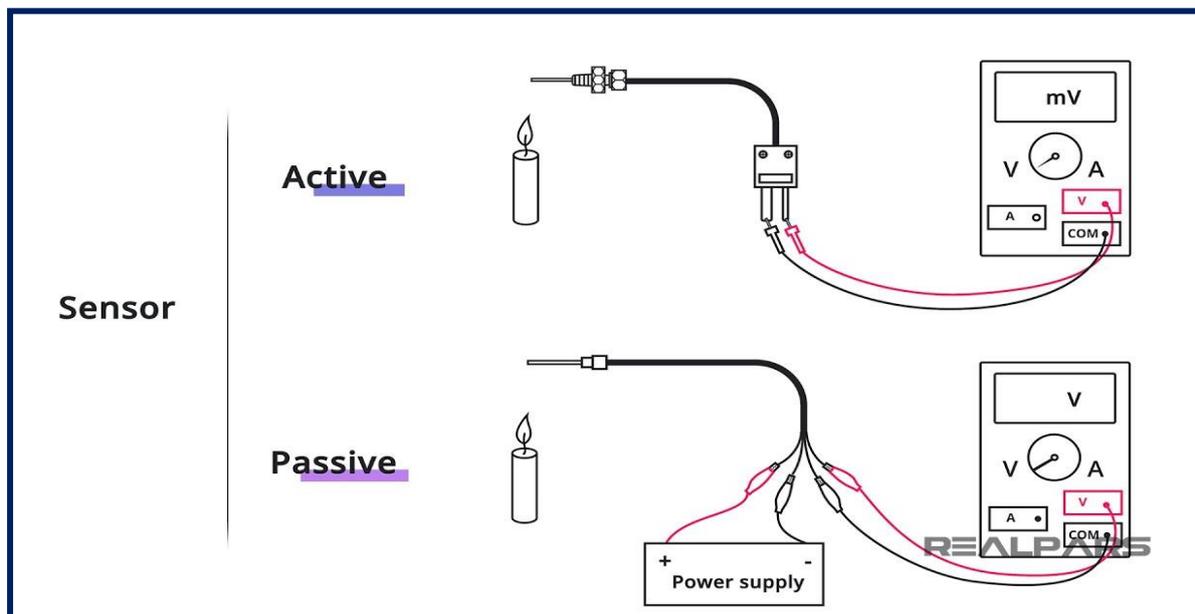


Figure 28 : La différence entre un capteur actif et un capteur passif

II.4.2. DHT22

Le capteur DHT22, est largement utilisé dans divers projets d'automatisation et de surveillance environnementale en raison de sa précision remarquable dans la mesure de la température et de l'humidité relative. Avec une plage de fonctionnement de -40 à 80 degrés Celsius et une précision de $\pm 0,5$ degré Celsius pour la température, ainsi qu'une mesure de l'humidité relative de 0 à 100% avec une précision de $\pm 2\%$. Son interface de communication simple, souvent basée sur le protocole numérique à un seul fil, le rend compatible avec de nombreuses plateformes de microcontrôleurs et de capteurs, facilitant ainsi son intégration dans divers systèmes.

En tant que capteur passif, il réagit aux fluctuations de température et d'humidité sans nécessiter d'alimentation externe, tout en étant un capteur numérique qui convertit ces variations en signaux numériques pour une utilisation avec des systèmes numériques et des microcontrôleurs. Ces caractéristiques font du capteur DHT22 un choix populaire pour le contrôle climatique, la surveillance environnementale, les applications domotiques et l'agriculture intelligente.[23]

- ✓ Le capteur possède 3 broches, utilisées comme suit :
 - La broche n°1 est la broche d'alimentation (5 volts ou 3.3 volts).
 - La broche n°2 est la broche de communication.
 - La broche n°3 est la masse du capteur (GND).

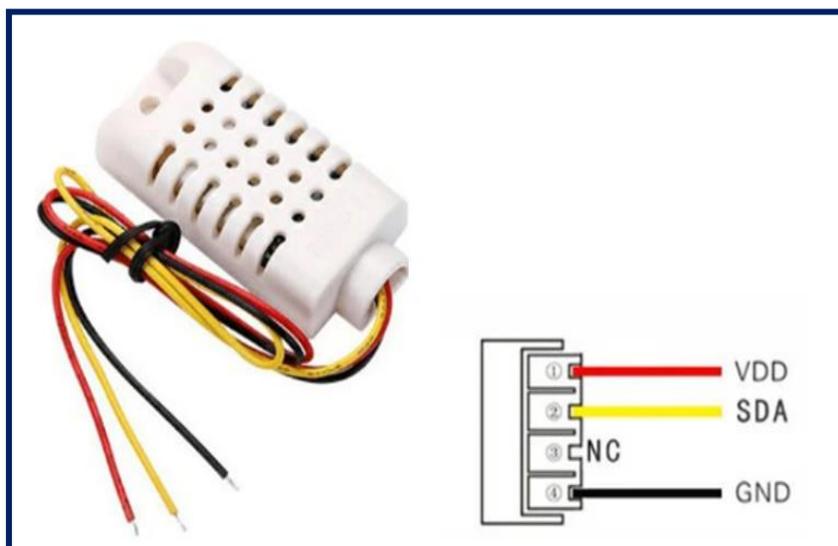


Figure 29 : capteur DHT22

✓ Caractéristique :

Tableau 7 : Caractéristiques techniques du DHT22

Alimentation	3.3 à 6 Vcc
Consommation max	1.5 mA
Consommation au repos	50µA
Plage de mesure	Température : -40 à +80 °C Humidité : 0 à 100 % RH
Précision	Température : ± 0,5 °C Humidité : ± 2 % RH
Dimensions	25×15×9

II.4.2.1. Arduino

L'Arduino Nano est une carte microcontrôleur compacte et puissante basée sur le microcontrôleur ATmega328. Idéal pour les projets d'électronique et d'automatisation, l'Arduino Nano se distingue par sa petite taille, ce qui le rend parfait pour les espaces restreints et les projets portables. Il dispose de 14 broches d'entrée/sortie numériques, dont 6 peuvent être utilisées comme sorties PWM, et de 8 entrées analogiques, offrant une grande flexibilité pour la connexion de divers capteurs et composants. Programmable via l'environnement de développement Arduino (IDE) et équipé d'un port mini-USB pour la connexion à un ordinateur, l'Arduino Nano facilite la création de prototypes rapides et l'implémentation de solutions innovantes.[24]

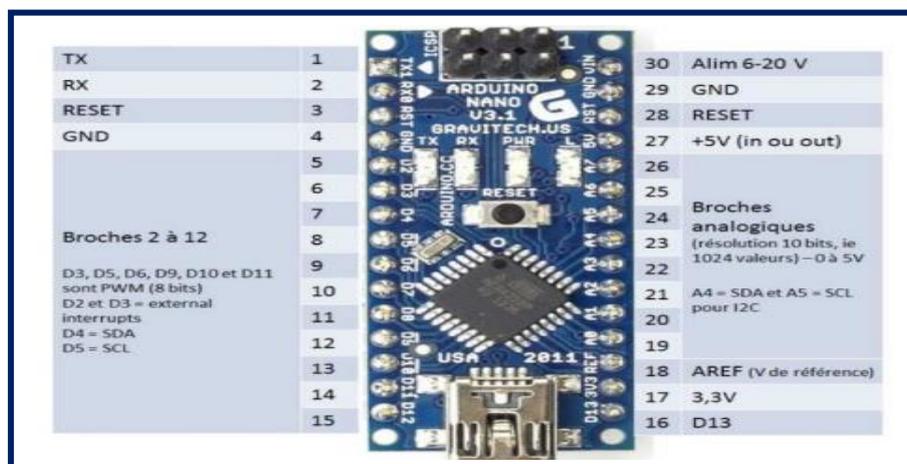


Figure 30 : Arduino nano

✓ Caractéristique

Tableau 8 : Caractéristiques techniques de l'ARDUINO nano

Type ARDUINO	Carte nano
Microprocesseur	ATmega328
Broche E/S numérique	3
Broche d'entrée analogique	8
Mémoire flash	32kb
Mémoire SRAM	2kb
Mémoire EEPROM	1kb
Fréquence horloge	16MHz
Dimensions	45×18×18mm
Alimentation	5v

Dans notre projet, nous avons utilisé un Arduino Nano pour programmer le capteur DHT22 afin de séparer les données de température et d'humidité. Le capteur DHT22, connecté à une broche numérique de l'Arduino Nano, fournit des mesures précises de l'humidité et de la température ambiante. Elles sont intégrées dans notre système via une API, permettant une liaison fluide avec le processus global de gestion de notre serre intelligente. L'utilisation de l'Arduino Nano dans ce projet a permis une collecte de données efficace et une intégration harmonieuse avec notre infrastructure automatisée.

II.4.3. WATERMARK

Le capteur d'humidité Watermark S200 est un dispositif fiable et robuste utilisé dans l'agriculture et l'horticulture pour mesurer l'humidité du sol. Le principe de fonctionnement du capteur d'humidité Watermark S200 repose sur la mesure de la résistance électrique pour évaluer la teneur en eau du sol. Ce capteur est équipé de deux électrodes en acier inoxydable intégrées dans un matériau poreux et conducteur qui réagit à l'humidité. Lorsque le capteur est inséré dans le sol, l'eau présente dans le sol imprègne ce matériau, modifiant ainsi sa conductivité électrique. Plus le sol est humide, plus la conductivité entre les électrodes est élevée, ce qui se traduit par une faible résistance électrique. À l'inverse, lorsque le sol s'assèche, la conductivité diminue et la résistance augmente. Cette variation de résistance est

ensuite convertie en une valeur d'humidité, qui peut être lue par des appareils de mesure ou des systèmes de gestion de l'irrigation. Le Watermark S200 est passif, nécessitant une source externe de courant, et est analogique, convertissant la résistance en une valeur lisible par les dispositifs de gestion de l'irrigation. Son fonctionnement durable et fiable en fait un choix apprécié pour la surveillance continue de l'humidité du sol.[25]



Figure 31 :WATERMARK S200



Figure 32 : Portable Meter

- ✚ Le capteur d'humidité Watermark S200 dispose de deux broches principales :
 - **Broche de Signal (S)** : Utilisée pour transmettre le signal de résistance électrique mesurée entre les électrodes du capteur. Ce signal est généralement analogique et varie en continu selon l'humidité du sol.
 - **Broche de Masse (GND)** : Connectée à la masse ou au pôle négatif du circuit, elle assure la continuité électrique et le bon fonctionnement du capteur.

✓ Portable Meter

Compteur portable pour la lecture des capteurs WATERMARK 200SS. Ajustable pour les variations de température du sol. Panneau de commande à écran tactile avec affichage LCD.

II.4.4. LM393 Photoresistor

Le LM393 Photoresistor est un composant électronique largement utilisé dans les dispositifs de détection de lumière. Il intègre un comparateur de tension LM393 avec un photoresistor, également connu sous le nom de LDR (Light Dependent Resistor). Ce système fonctionne en comparant la tension générée par le photoresistor, qui varie en fonction de l'intensité lumineuse, avec une tension de référence définie. Lorsque l'intensité lumineuse dépasse un seuil prédéfini, le comparateur LM393 change d'état, activant ou désactivant des

composants externes tels que des LED ou des relais. Sa conception résistive permet au LM393 Photoresistor de détecter la lumière en ajustant sa résistance selon la quantité de lumière reçue. Ce capteur fonctionne de manière analogique pour mesurer l'intensité lumineuse, offrant ainsi une solution précise et économe en énergie pour diverses applications de détection de lumière.[26]

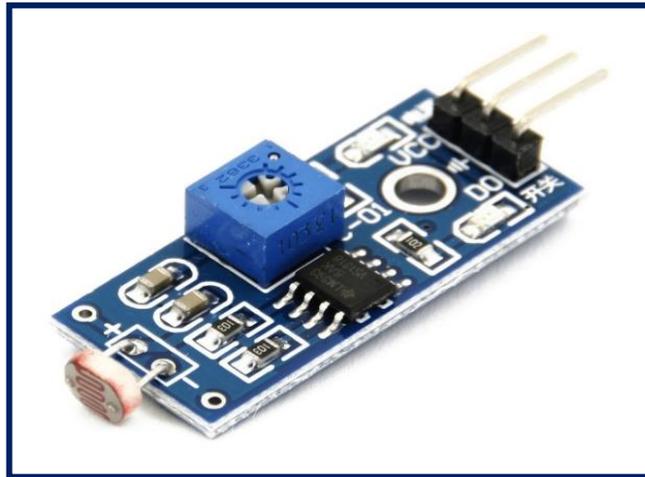


Figure 33 : LM393 Photoresistor

✓ Caractéristiques

Tableau 9 : Caractéristiques techniques de LM393 Photoresistor

Type de capteur :	Photorésistance LDR
Puce intégrée:	LM393
Tension de fonctionnement:	: 3.3V – 5V
Plage de détection de lumière	0 Lux – 1000 Lux
Dimensions	25mm x 15mm

✓ Des broches principales du LM393 :

- Broche Positive (+) : Alimente le circuit en se connectant à la source de tension positive (VCC).
- Broche Négative (-) : Complète le circuit en se connectant à la source de tension négative (GND).
- Broche Signal (ou Sortie) : Permet de lire la tension de sortie du LM393, qui varie selon la lumière détectée par la photorésistance.

II.4.5. MQ135

Le capteur MQ135 est un dispositif couramment utilisé pour surveiller la qualité de l'air en détectant des gaz nocifs comme l'ammoniac, le benzène, le monoxyde de carbone et les oxydes d'azote. Son fonctionnement repose sur la variation de résistance électrique en présence de ces gaz, ce qui lui permet d'analyser la concentration des polluants dans l'air intérieur et extérieur. Grâce à sa nature résistive, il peut mesurer cette variation de résistance et fournir une sortie analogique proportionnelle à la concentration des gaz détectés, offrant ainsi une surveillance précise et continue de la pollution atmosphérique. En résumé, le capteur MQ135 est un outil essentiel pour contrôler et améliorer la qualité de l'air, contribuant ainsi à créer des environnements plus sains et sécurisés pour les individus.[27]

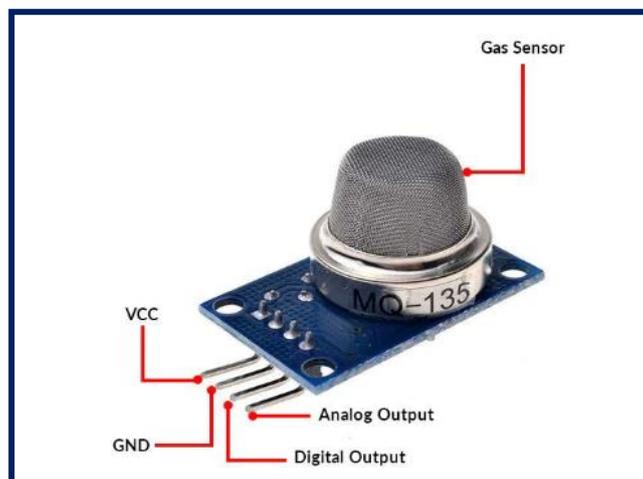


Figure 34 : MQ135

✓ Caractéristiques

Tableau 10 : Caractéristiques techniques de MQ135

Caractéristiques	Valeurs
Alimentation	3,3 V - 5 V
Sortie	Analogique et numérique
Plage de détection	10 à 1000 PPM
Gaz détecté	NH ₃ , NO _x , alcool, benzène, fumée, CO ₂
Temps de réponse	≤ 1 s
Dimensions	32x22x27 mm

✓ Les broches du MQ135

- A0 (Sortie analogique) : Fournit une tension proportionnelle à la concentration de gaz détectée.
- D0 (Sortie numérique) : Donne un signal haut (HIGH) ou bas (LOW) en fonction d'un seuil de concentration de gaz défini.
- VCC : Broche d'alimentation, généralement connectée à une source de tension de 5V.
- GND : Broche de mise à la terre, connectée au pôle négatif de l'alimentation ou du microcontrôleur.

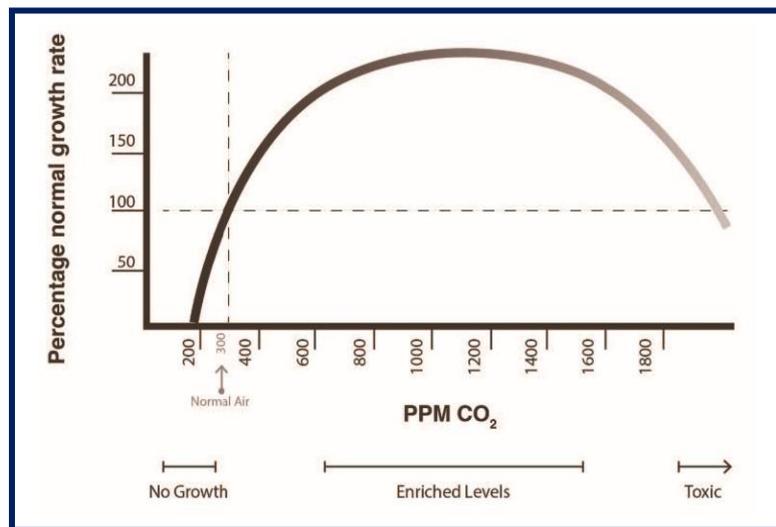


Figure 35 : Suppression de Dioxyde de Carbone dans une Serre

II.5. Les actionneurs

Les actionneurs sont des dispositifs essentiels dans les systèmes automatisés, transformant l'énergie en mouvement mécanique.

II.5.1. Pompe électrique

Une pompe est un dispositif utilisé pour aspirer et refouler des fluides, avec plusieurs types de pompes adaptées à différents besoins. Le choix d'une pompe dépend de son usage spécifique et des paramètres de performance requis. Pour un système d'irrigation, une pompe d'arrosage est nécessaire pour fournir au sol l'eau essentielle afin de maintenir l'humidité nécessaire aux plantes.[28]

Nous avons utilisé une pompe d'aquarium, alimentée par une source de tension 220V



Figure 36 : une pompe électrique

✓ Caractéristiques :

Tableau 11 : Caractéristiques de la pompe électrique [30]

Tension de fonctionnement	6-12V DC
Courant de fonctionnement de charge	375mA
Puissance	4.2W
Debit	240L/H
Resistance à la chaleur	0-100°
Matériaux	plastique
Diamètre du tuyau d'entrée	8mm
Dimensions	54(L)× 37(w) × 42(H) mm.

II.5.2. Ventilateur

Le ventilateur ou extracteur d'air sert à évacuer l'air chaud et humide d'une serre, favorisant ainsi la circulation de l'air pour réguler des paramètres essentiels tels que la température, l'humidité et les concentrations de gaz, selon les consignes définies.[29]



Figure 37 : Ventilateur 24V DC

✓ Caractéristiques :

Tableau 12 : Caractéristiques du ventilateur

Tension	24V
Courant	0,28A
Dimensions	120 x 120 x 38 mm

II.5.3.LED

La lampe horticole de croissance LED 5730 est un dispositif d'éclairage spécialement conçu pour favoriser la croissance des plantes en intérieur. Équipée de diodes électroluminescentes (LED) de haute efficacité, cette lampe offre un spectre lumineux adapté aux besoins photosynthétiques des plantes. Le modèle 5730 se distingue par sa capacité à émettre une lumière intense et homogène, tout en consommant moins d'énergie comparé aux sources d'éclairage traditionnelles. [30]



Figure 38 : LED

II.5.4. Activtek induct 500

L'ActivTek INDUCT 500 est un système de purification d'air avancé conçu pour améliorer la qualité de l'air intérieur en utilisant la technologie brevetée ActivePure®. Ce dispositif utilise des lampes UV pour générer des ions et des radicaux hydroxyles, capables de neutraliser divers contaminants tels que les bactéries, les virus, les moisissures et les composés organiques volatils (COV). L'INDUCT 500 purifie l'air circulant dans tout le bâtiment de manière continue, offrant une solution efficace et peu exigeante en maintenance pour maintenir une qualité de l'air optimale dans divers environnements. Avec une capacité de couverture allant jusqu'à 500 pieds carrés. [31]



Figure 39 : Activtek induct 500

✓ Caractéristiques

Tableau 13 : Caractéristiques de Activtekinduct 500

Spécifications Techniques	Détails
Technologie	ActivePure® avec lampes UV et photocatalyse
Dimensions	Environ 3,175 cm x 5,72 cm x 28,37 cm
Poids	Environ 1,3 kg
Capacité de couverture	Jusqu'à 500 pieds carrés (environ 46 mètres carrés)
Consommation électrique	13 watts
Alimentation	100-240V / 50-60Hz
Maintenance	Remplacement des lampes UV et des cellules tous les 2-3 ans
Installation	Intégré dans les systèmes de ventilation et de

	climatisation
Certifications	UL, CE, et autres certifications de qualité de l'air
Durée de vie des lampes UV	Environ 10 000 heures

II.5.5. Humidificateur

Un dispositif utile pour l'humidification et la purification de l'air, améliorant ainsi la qualité de l'air, convient parfaitement à notre prototype de serre. Son utilisation est très simple : il suffit de placer un récipient partiellement rempli d'eau et d'utiliser une source de tension pour l'alimenter.



Figure 40 : Un humidificateur

✓ Caractéristique :

Tableau 14 : Caractéristiques techniques d'un humidificateur

Taille	45 x 26 mm / 1,77 x 1,02 pouces
Adaptateur Câble	120 cm / 47.24 pouces
Profondeur	50-70mm
Taille du transducteur	20mm
Tension	24V DC

II.6. Module relais 4 canaux

Le module relais à 4 canaux permet de contrôler et de commuter facilement des charges élevées avec un microcontrôleur. Alimenté en 5 V, il utilise des bornes à vis pour simplifier les connexions filaires à une carte. Chaque relais peut être activé ou désactivé individuellement via une entrée numérique opto-isolée, directement connectable à une broche de sortie du microcontrôleur. Conçu pour commuter jusqu'à 4 charges simultanément, ce module est polyvalent et adapté aux contrôles des microcontrôleurs, aux applications industrielles, aux systèmes de contrôle programmables (API) et à la domotique.[35]



Figure 41 : Module relais à 4 canaux

II.7. Module Convertisseur abaisseur DC-DC(LM2596)

Le LM2596 est un régulateur de tension à découpage de type abaisseur (buckconverter) très prisé pour ses performances et son efficacité énergétique. Il est capable de convertir une tension d'entrée de 4,5V à 40V en une tension de sortie régulée de 1,23V à 37V, avec un courant de sortie maximal de 3A. De plus, il intègre des protections contre les surcharges, les courts-circuits et les températures excessives, assurant ainsi une utilisation fiable et sécurisée [33].

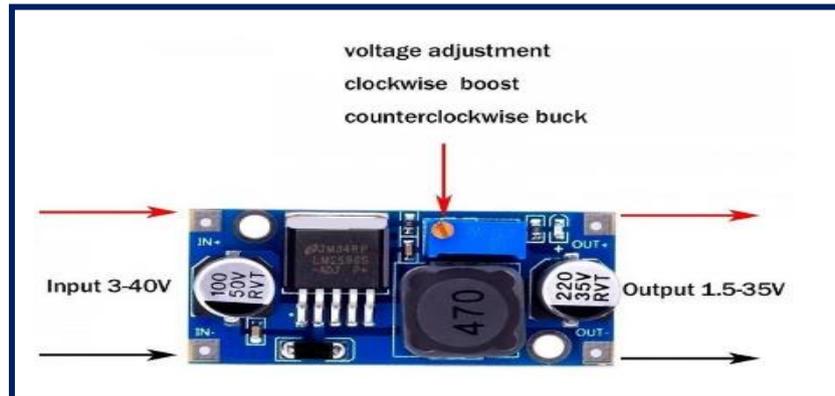


Figure 42 : LM2596

✓ Caractéristique :

Tableau 15 : Caractéristiques du LM2596

Caractéristiques	Valeurs
Type	Convertisseur de tension à découpage (buck)
Tension d'entrée	4,5V - 40V
Tension de sortie	1,23V - 37V
Courant de sortie maximal	3A
Fréquence de commutation	Typiquement 150 kHz
Rendement	Jusqu'à 90% ou plus
Protection	Surtension, surintensité, surchauffe

II.8. Hub

Le Tenda Hub 5 port est un commutateur Ethernet compact et efficace, conçu pour simplifier la connectivité réseau dans les environnements domestiques ou de bureau. Avec ses cinq ports Ethernet, il offre une solution fiable pour connecter plusieurs appareils tels que des ordinateurs, les api .



Figure 43 : Un Hub

II.9. Appareils de protection

II.9.1. Sectionneur porte-fusible

Un porte-fusible est un appareillage qui interrompt le courant en cas de surcharge électrique ou de court-circuit. Installé en amont d'un circuit électrique, un porte-fusible héberge un fusible (comporte des fusibles sur sec contacts), et sa valeur est exprimée en ampères (A).[32]



Figure 44 : Un porte-fusible

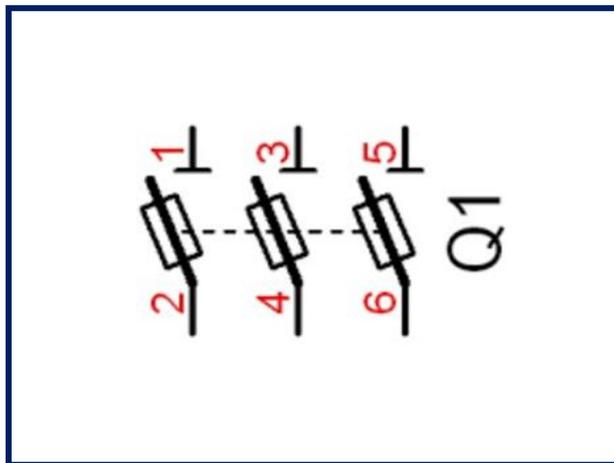


Figure 45 : Symbole d'un porte-fusible

II.9.2. Le disjoncteur

Les disjoncteurs différentiels, Ces modèles de disjoncteurs sont de plus en plus répandus. Leur tâche consiste à mesurer l'ensemble des courants de l'installation pour ensuite déclencher l'ouverture d'un circuit quand il y a une différence entre le courant sortant et le courant entrant. C'est assurément la meilleure protection des biens et des personnes contre l'électrocution. Ces disjoncteurs sont à haute sensibilité (30 mA ou 300 mA) pour une meilleure protection, la sensibilité étant le seuil de déclenchement en cas de surcharge de courant.[32]



Figure 46 : le disjoncteur

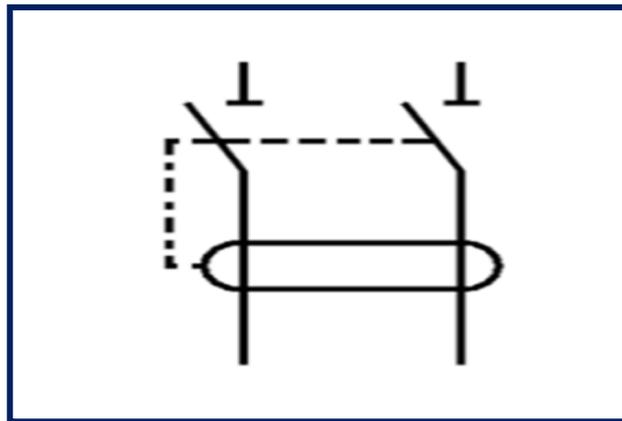


Figure 47 : symbole du disjoncteur

II.10. Relais d'interface (Relais de miniature)

Les relais sont des contacteurs, avec la différence que les relais sont prévus pour supporter un courant beaucoup moins important (généralement utiliser avec des récepteurs qui consomment une faible puissance). Le relais d'interface est composé de deux parties différentes le support et le relais.



Figure 48 : support de relai de miniature



Figure 49 : relai miniature

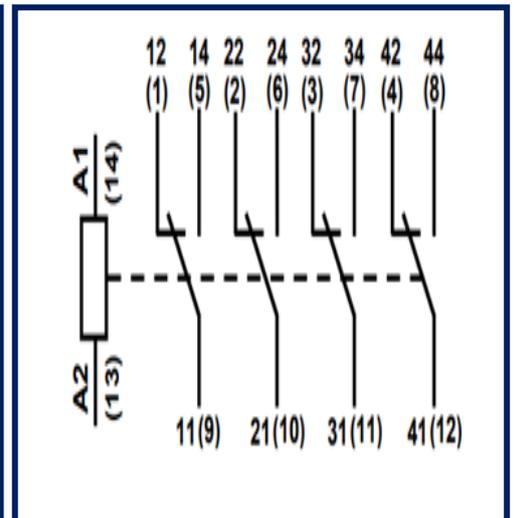


Figure 50: Symbole de relai miniature

II.11. Un répartiteur jeu de barre

Un répartiteur électrique est un dispositif essentiel dans les installations électriques permettant de distribuer l'énergie provenant d'une source unique vers plusieurs circuits ou appareils. Il fonctionne en recevant l'alimentation électrique principale et en la redistribuant de manière équitable ou selon les besoins spécifiques des différents points de connexion



Figure 51 : un répartiteur jeu de barre

II.12. Partie Soft

II.12.1. TIA PORTAL (Totally Integrated Automation portal)

TIA Portal (Totally Integrated Automation Portal) est une plateforme logicielle développée par Siemens pour la conception, la programmation, et la gestion des systèmes d'automatisation industrielle.

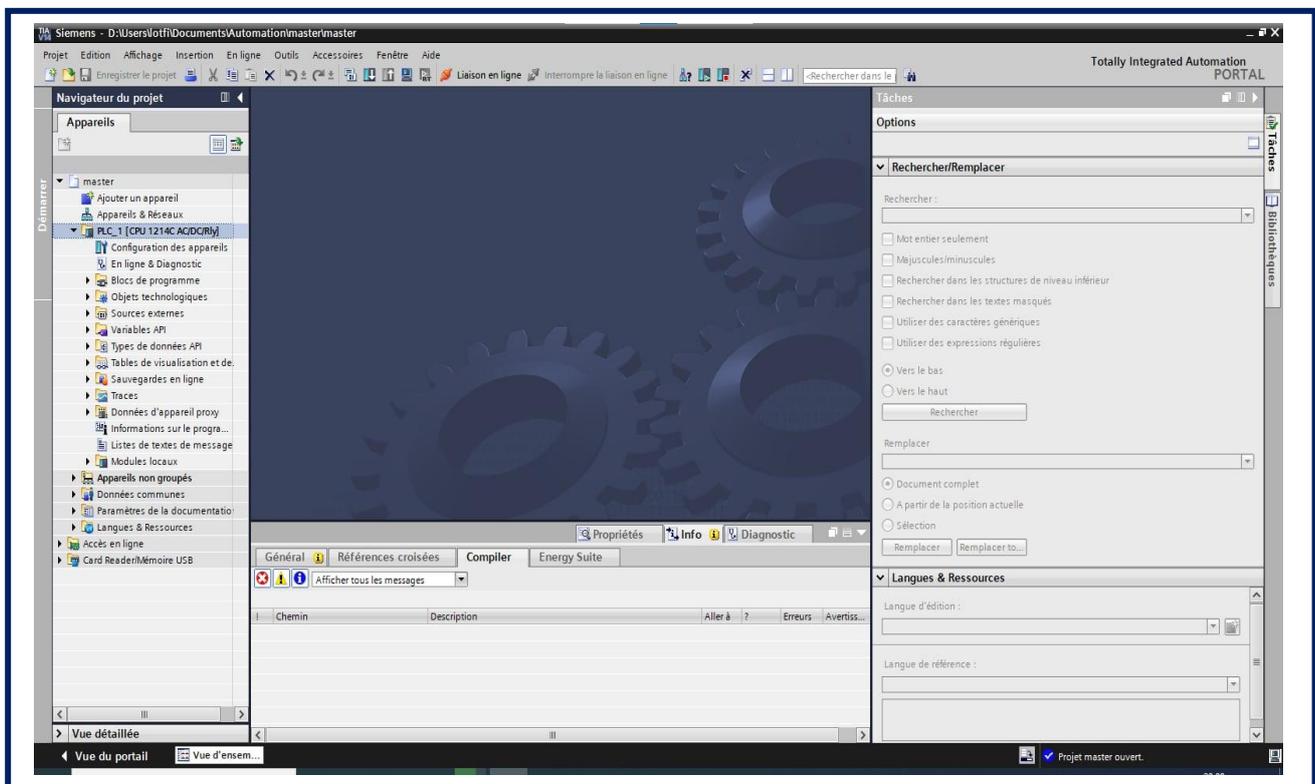


Figure 52 :Vue générale de TIA portal

II.12.1.1. Langages de programmation

TIA Portal prend en charge plusieurs langages de programmation, offrant une flexibilité et une adaptabilité accrues pour répondre aux besoins variés des projets d'automatisation industrielle. Les langages disponibles incluent le Ladder Diagram (LD), le Function Block Diagram (FBD), le Structured Text (ST) et le Statement List (STL). Chaque langage présente ses propres avantages

II.12.1.1.1. Le SCL (Structured Control Language)

SCL sont utilisés pour des programmations plus complexes nécessitant des structures de code sophistiquées et des algorithmes mathématiques.

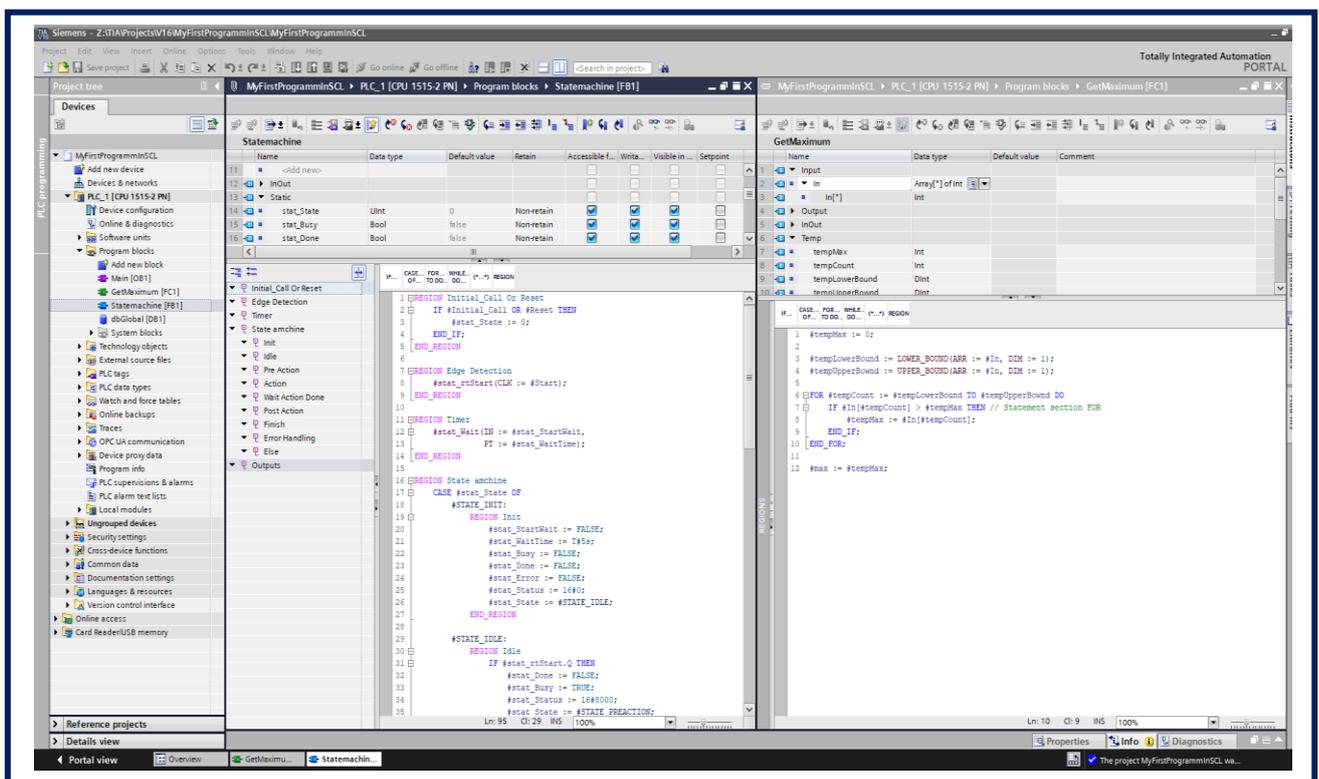


Figure 53 : Langage SCL

II.12.1.1.2. Le Graph Grafcet ou SFC (Sequential Function Chart)

C'est un langage graphique permettant de présenter l'évolution séquentielle du système

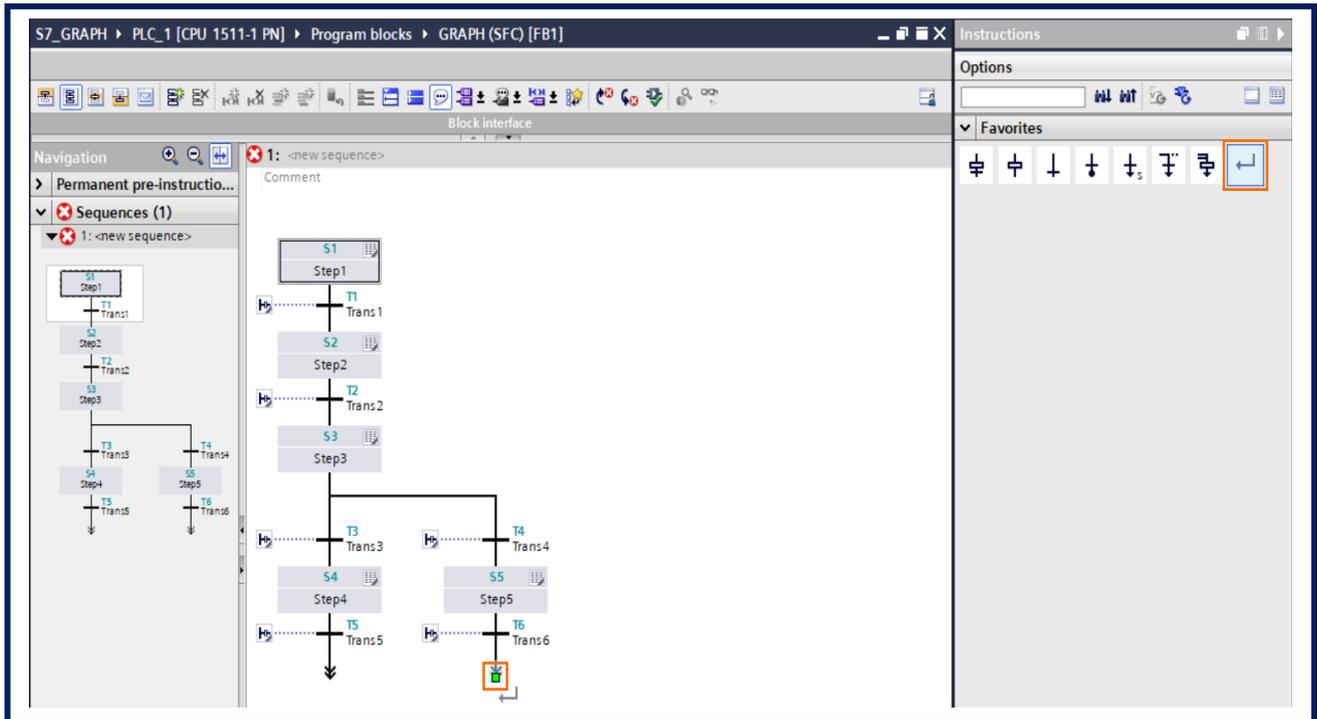


Figure 54 : Langage GRAFCET

II.12.1.1.3. Le LADDER /FBD (Function Block Diagram)

Le LADDER, très facile à prendre en main, est idéal pour visualiser et diagnostiquer des programmes lors des opérations de maintenance. Le FBD, quant à lui, permet d'effectuer des opérations de calculs logiques et arithmétiques.

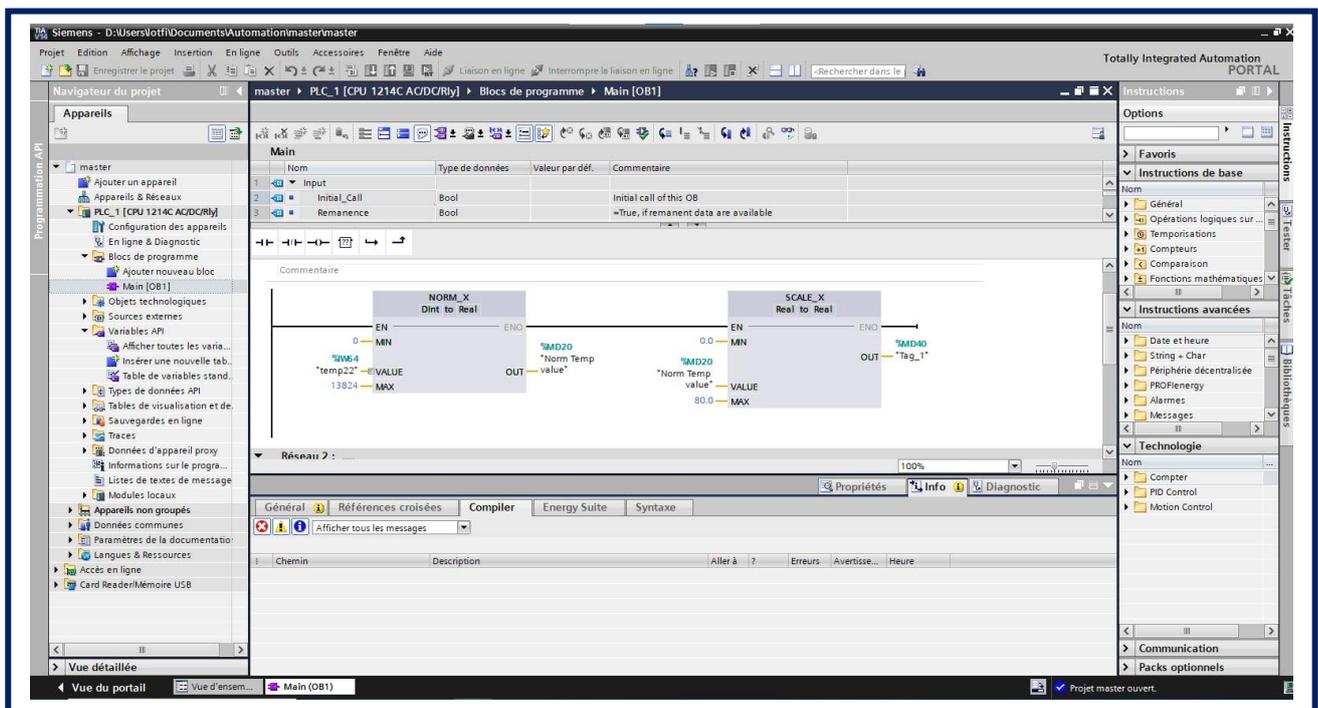
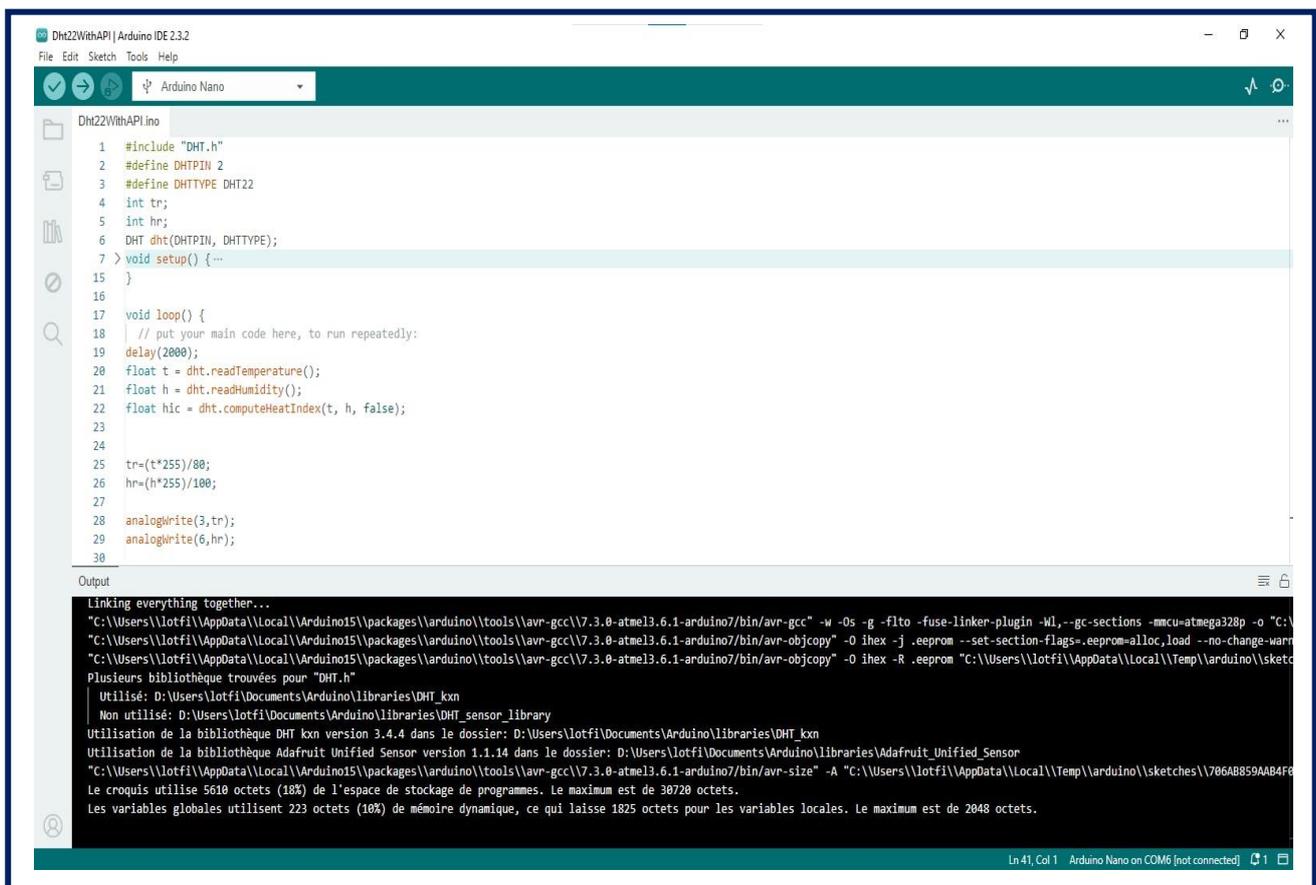


Figure 55: Langage LADDER

II.12.2. Arduino IDE

L'IDE Arduino (Integrated Development Environment) est un environnement de développement intégré conçu spécifiquement pour programmer les microcontrôleurs Arduino. Intuitif et convivial, il permet aux utilisateurs, même débutants, de créer, éditer et téléverser des programmes sur leurs cartes Arduino. Nous avons utilisé un Arduino Nano pour programmer le capteur DHT22 afin de séparer les données de température et d'humidité.



```

Dht22WithAPI.ino
1  #include "DHT.h"
2  #define DHTPIN 2
3  #define DHTTYPE DHT22
4  int tr;
5  int hr;
6  DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
7  void setup() { ...
15 }
16
17 void loop() {
18   // put your main code here, to run repeatedly:
19   delay(2000);
20   float t = dht.readTemperature();
21   float h = dht.readHumidity();
22   float hic = dht.computeHeatIndex(t, h, false);
23
24
25   tr=(t*255)/80;
26   hr=(h*255)/100;
27
28   analogWrite(3,tr);
29   analogWrite(6,hr);
30
Output
Linking everything together...
"C:\Users\lotfi\AppData\Local\Arduino15\packages\arduino\tools\avr-gcc\7.3.0-atmel3.6.1-arduino7/bin/avr-gcc" -w -Os -g -flto -fuse-linker-plugin -Wl,--gc-sections -mcpu=atmega328p -o "C:\Users\lotfi\AppData\Local\Arduino15\packages\arduino\tools\avr-gcc\7.3.0-atmel3.6.1-arduino7/bin/avr-objcopy" -O ihex -j .eeprom --set-section-flags=.eeprom=alloc,load --no-change-warn
"C:\Users\lotfi\AppData\Local\Arduino15\packages\arduino\tools\avr-gcc\7.3.0-atmel3.6.1-arduino7/bin/avr-objcopy" -O ihex -R .eeprom "C:\Users\lotfi\AppData\Local\Temp\arduino\sketches\786A8859A4B4F8
Plusieurs bibliothèque trouvées pour "DHT.h"
Utilisé: D:\Users\lotfi\Documents\Arduino\libraries\DHT_kxn
Non utilisé: D:\Users\lotfi\Documents\Arduino\libraries\DHT_sensor_library
Utilisation de la bibliothèque DHT kxn version 3.4.4 dans le dossier: D:\Users\lotfi\Documents\Arduino\libraries\DHT_kxn
Utilisation de la bibliothèque Adafruit Unified Sensor version 1.1.14 dans le dossier: D:\Users\lotfi\Documents\Arduino\libraries\Adafruit Unified Sensor
"C:\Users\lotfi\AppData\Local\Arduino15\packages\arduino\tools\avr-gcc\7.3.0-atmel3.6.1-arduino7/bin/avr-size" -A "C:\Users\lotfi\AppData\Local\Temp\arduino\sketches\786A8859A4B4F8
Le croquis utilise 5610 octets (18%) de l'espace de stockage de programmes. Le maximum est de 30720 octets.
Les variables globales utilisent 223 octets (10%) de mémoire dynamique, ce qui laisse 1825 octets pour les variables locales. Le maximum est de 2048 octets.
Ln 41, Col 1  Arduino Nano on COM6 [not connected]

```

Figure 56: IDE Arduino.

II.13. EPLAN

EPLAN est une suite logicielle spécialisée dans la conception, la documentation et la gestion de projets d'automatisation et de systèmes électriques. Grâce à ses outils avancés, EPLAN permet aux ingénieurs et aux techniciens de créer des schémas électriques détaillés, de générer des listes de matériel, et d'optimiser la planification des projets.

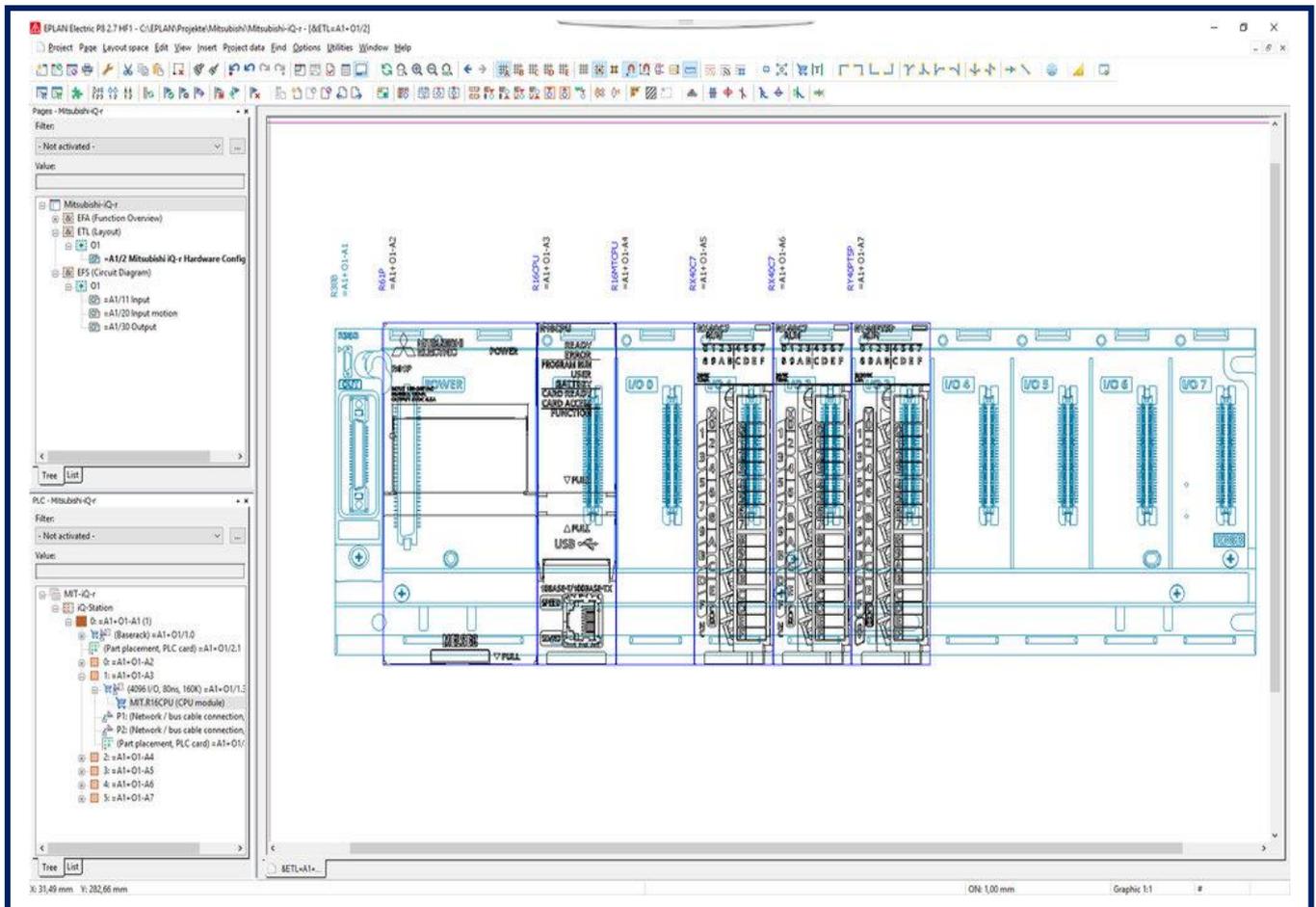


Figure 57: EPLAN.

II.14. Conclusion

Ce chapitre a abordé les divers capteurs utilisés pour recueillir des données, ainsi que l'ensemble des actionneurs employés pour ajuster et contrôler à distance les paramètres du microclimat tels que l'humidité, la lumière et l'arrosage, répondant ainsi aux besoins de la production agricole. Le réseau de capteurs et d'actionneurs est supervisé par un API. De plus, nous avons présenté le logiciel utilisé pour programmer et configurer notre carte, garantissant le bon fonctionnement de notre application

Chapitre III :
Conditionnement
d'un capteur de
tension d'humidité de
sol « Watermark »

III.1. Introduction :

L'année dernière, nous avons réalisé un projet qui mettait en œuvre un système peu coûteux mais précis pour le capteur WATERMARK qui mesure l'humidité du sol. Ce capteur fournit des données qui sont plus faciles à interpréter pour les humains. Dans ce chapitre, nous détaillons le fonctionnement de ce système, soulignant le conditionnement du capteur Watermark.

III.2. Description du capteur :

Les sondes Watermark fabriquées par Irrrometer sont des appareils de type tensiomètre conçus pour évaluer l'humidité du sol en fonction de la tension exercée sur l'eau présente dans le sol. Ces sondes sont installées dans le sol à l'aide d'un tube, permettant ainsi de mesurer avec précision l'état hydrique du sol. Leur fonctionnement est passif, ce qui signifie que leur impédance varie en fonction du contenu en eau du sol. La sortie de ces sondes, représentée par la résistance "s", traduit donc de manière directe la quantité d'eau disponible dans le sol, offrant ainsi des données cruciales pour la gestion de l'irrigation et le suivi de l'humidité du sol.

❖ Système de fonctionnement :

Le capteur Watermark S200 est un dispositif sophistiqué utilisé pour mesurer l'humidité du sol en se basant sur la résistance électrique. Il se compose de deux électrodes en acier inoxydable, intégrées dans un matériau synthétique poreux et enveloppées dans un revêtement spécial qui protège contre la corrosion et assure une longue durée de vie. Lorsqu'il est placé dans le sol, le matériau poreux absorbe l'humidité, modifiant ainsi la conductivité électrique entre les deux électrodes.

Le principe de fonctionnement repose sur la relation entre l'humidité du sol et la résistance électrique. Plus le sol est sec, plus la résistance entre les électrodes est élevée. À l'inverse, lorsque le sol est humide, l'eau diminue la résistance. Le capteur Watermark mesure cette résistance et la convertit en une valeur en centibars (kPa) qui représente la tension de l'eau dans le sol. Cette mesure est ensuite transmise à un dispositif de lecture, tel qu'un enregistreur de données ou un système de contrôle automatisé.

❖ **Fiche technique de la sonde Watermark :**

- ✓ Précision $\pm 2\%$
- ✓ Plage de mesure 0-200 kPa
- ✓ Temps de mesure Quelques heures
- ✓ Alimentation 2.5V-5V @20mA
- ✓ Température d'utilisation -10°C à $+40^{\circ}\text{C}$

Les images suivantes montrent à quoi ressemble un capteur Watermark lorsqu'il est démonté. Chaque composant est étiqueté et décrit ci-dessous.[33]

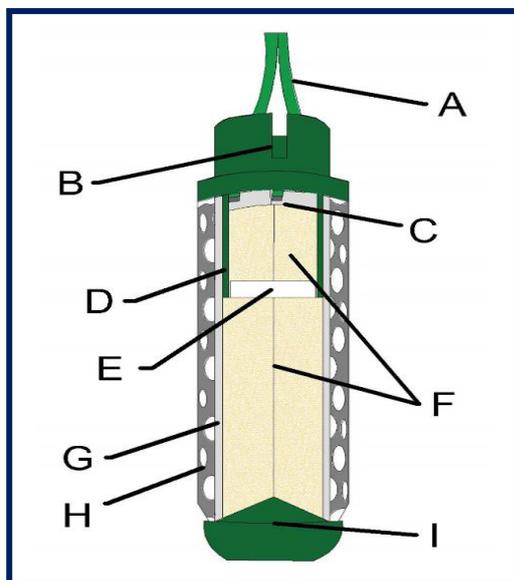


Figure 58 : Vue en coupe d'un capteur Watermark

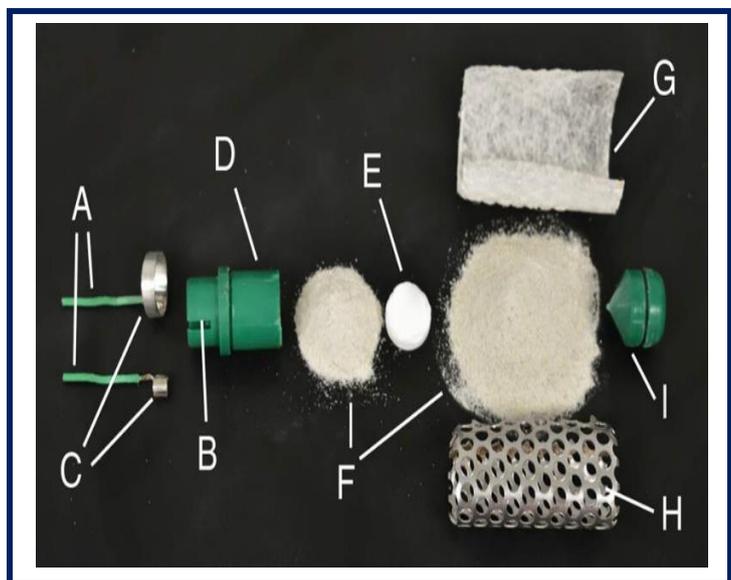


Figure 59 : Vue éclatée d'un capteur Watermark

- A.** Deux fils 20 AWG : connecteurs électriques entre l'appareil de mesure (par exemple, un enregistreur de données) et les électrodes (C).
- B.** Fente d'évacuation : évacuation de l'eau stagnante au-dessus du manchon du capteur (D).
- C.** Deux électrodes : bandes concentriques en forme d'anneau en acier inoxydable ; le dispositif de mesure lit la résistance électrique entre ces bandes.
- D.** Manchon capteur ABS : compartiment dont la teneur en eau modifie la résistance électrique entre les électrodes (C).
- E.** Plaquette de gypse : source de tampon de salinité pour l'eau à l'intérieur du manchon du capteur (D).

F. Sable meuble et gradué : matériau traversé par l'eau entre le sol extérieur et les électrodes (C).

G. Tissu maillé : filtre qui laisse passer l'eau mais pas le sable (F).

H. Cage en acier : protection du tissu maillé (G).

J . Bouchon ABS : capuchon pour le bas du capteur.

III.3. La courbe caractéristique de capteur :

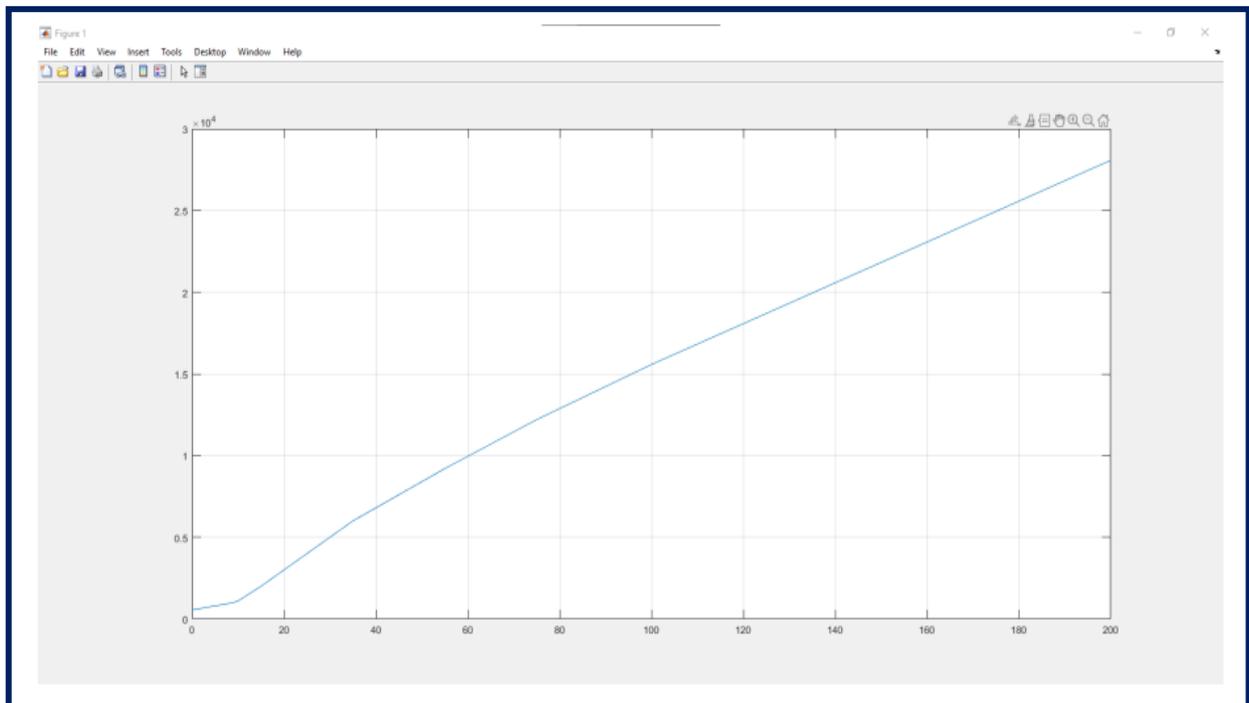


Figure 60 : la courbe caractéristique de capteur

III.4. Caractéristiques métrologiques du capteur :

III.4.1. Etendu de mesure :

C'est le domaine de mesure pour lequel les indications du capteur ne doivent pas être entachées d'une erreur supérieure à l'erreur maximale tolérée. On appelle les valeurs limites du domaine, « m_{min} : portée minimale » et « m_{max} : portée maximale ».[34]

$$E.M = m_{max} - m_{min}$$

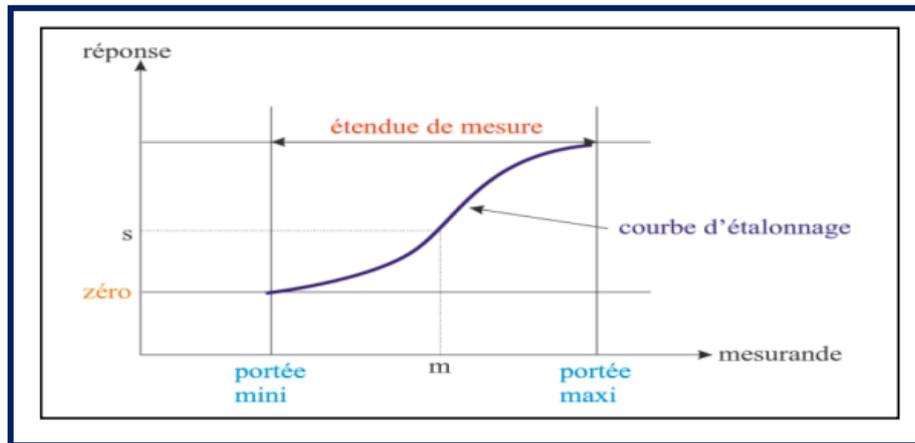


Figure 61 : Etendu de mesure

Le Watermark 200SS est capable de mesurer la tension d'humidité du sol dans une plage allant de **4.7V à 1.3V**, ce qui équivaut à une gamme de **0 kPa à 200 kPa**, respectivement.

III.4.2. Sensibilité :

La sensibilité d'un capteur, pour une valeur donnée du mesurande, est définie comme le rapport de la variation du signal électrique à la variation du signal physique.[34]

$$\delta(m) = \frac{ds}{dm}$$

Tableau 16 : Sensibilité

P(KPa)	0	9	10	15	35	55	75	100	200
Rr(Ω)	500	1K	1.1K	2K	6K	9.2K	12.2K	15.5K	28K
$\delta(\frac{\Omega}{KPa})$		55	150	196	180	155	128.8	126	

- Sensibilité après la linéarité :

$$\delta = \frac{dR}{dP} = 142,77 \left(\frac{\Omega}{KPa} \right)$$

III.4.3. Linéarité :

Un capteur est considéré comme linéaire s'il maintient une sensibilité constante sur toute la plage de sa portée, c'est-à-dire que sa sensibilité ne varie pas en fonction de la valeur du mesurande.

Graphe de non linéarité :

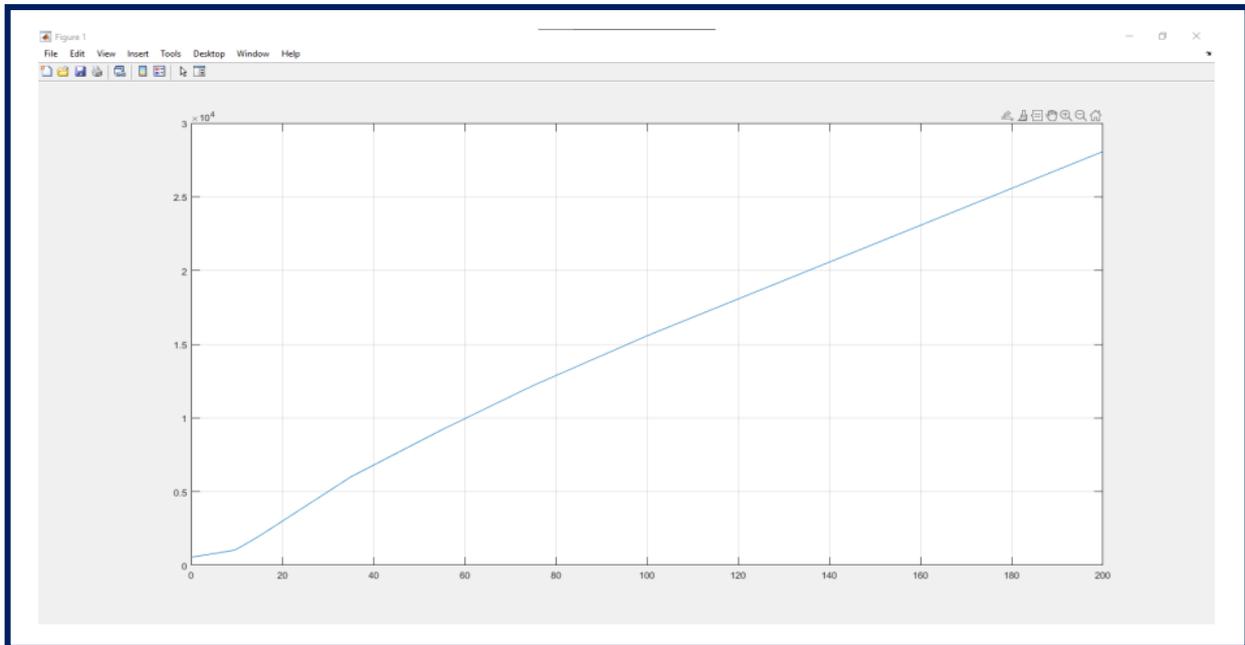


Figure 62 : Graphe de non linéarité

On a utilisé la méthode de moindre carre ordinaire (MCO) pour calculer la courbe de linéarisation On a trouvé que

$$RL = 142.7707P + 495.2686$$

La méthode des moindres carrés ordinaires (MCO) : est une technique statistique utilisée pour estimer les paramètres d'un modèle linéaire. Cette méthode est couramment utilisée dans la régression linéaire, où l'objectif est de trouver la ligne droite qui s'ajuste le mieux à un ensemble de données.

Graphe de linéarisation

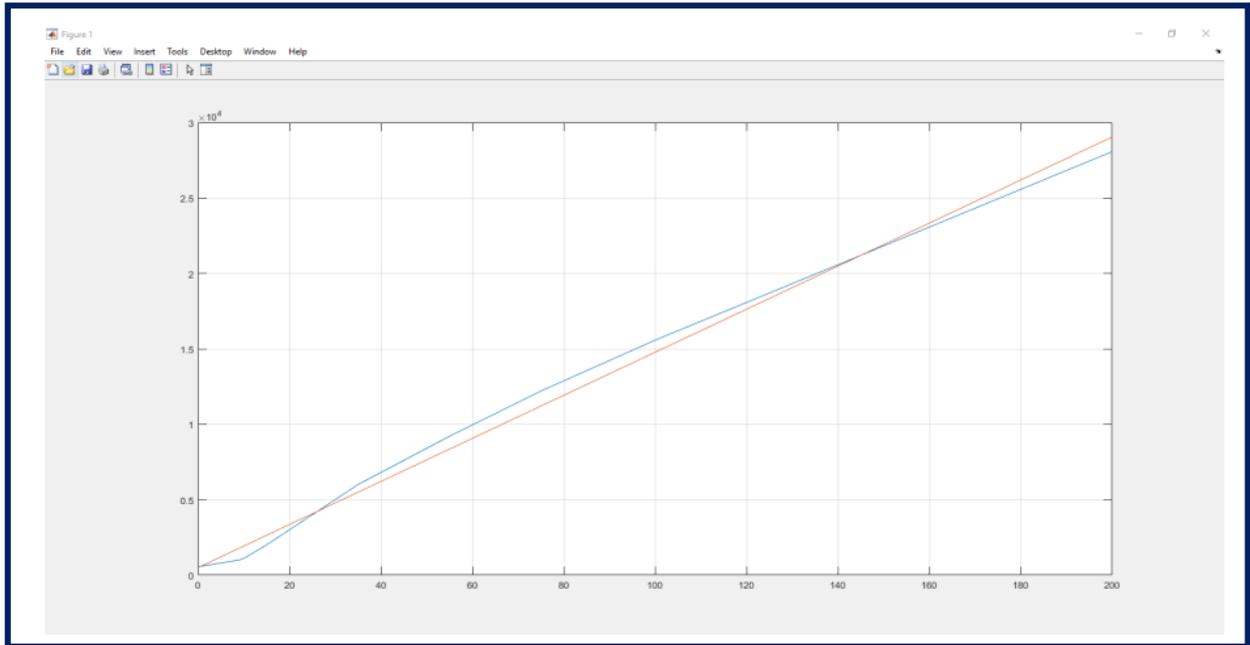


Figure : 63 : Graphe de la linéarisation

Tableau 17 : L'erreur

P(KPa)	0	9	10	15	35	55	75	100	200
R _r (Ω)	500	1K	1.1K	2K	6K	9.2K	12.2K	15.5K	28K
R _L (Ω)	495	1.7K	1.9K	2.6K	5.4K	8.3K	11.2K	14.7K	29K
R _r - R _L (Ω)	55	0.7K	0.8K	0.6K	0.6K	0.9K	1K	0.8K	1K

• L'erreur relative de linéarité :

La non-linéarité est la déviation maximale de la réponse du capteur par rapport à la fonction de transfert linéaire sur toute l'étendue de mesure.

$$\text{L'erreur relative de linéarité} = \frac{\Delta y_{max}}{y_{max} - y_0}$$

$$\text{L'erreur relative de linéarité} = \frac{|12,2k - 11,2|}{28k - 550} = 0,03642\Omega$$

III.4.4. Fidélité :

Elle caractérise la capacité d'un capteur à fournir des mesures répétitives sans erreurs. L'erreur de fidélité est définie par l'écart type obtenu sur une série de mesures d'un mesurande constant. Ce paramètre reflète la faible occurrence d'erreurs accidentelles. L'écart type est calculé comme suit [34] :

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n (m_k - m_0)^2}{n - 1}}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n (mk - m0)^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{209503,19}{9}} = 152,57 \Omega$$

III.4.5. Justesse :

Il s'agit de la capacité d'un capteur à fournir une réponse proche de la valeur réelle, indépendamment de la notion de fidélité.

$$\varepsilon = |m0 - mvraie|$$

$$\varepsilon = |5735,797 - 5753,85| = 18,053 \Omega$$

III.4.6. Précision :

C'est la qualité qui définit la capacité d'un capteur à fournir des indications proches de la valeur réelle de la grandeur mesurée. La mesure M comporte toujours une certaine incertitude δM . Plus cette incertitude est faible, meilleure est la précision du capteur.[34]

$$\text{Précision} = \text{fidélité} + \text{justesse}$$

$$\text{Précision} = 152,7 + 18,053 = 171,27 \Omega$$

III.4.7. Le temps :

Correctement positionnée, une Sonde Watermark maintient un équilibre constant de tension avec le sol. Son temps de réponse rapide de quelques secondes à toute variation est aisément vérifiable en dehors du sol. Par conséquent, c'est le sol qui influence la rapidité de réaction de la sonde.

Fréquence de mesure = 62.5s à 75s

III.4.8. La vitesse :

Dans un sol sain, le déplacement de l'eau se situe généralement entre 1 et 3 cm par heure. Cependant, les structures dégradées du sol peuvent ralentir le processus d'équilibrage des tensions

III.4.9. Fiabilité :

Grâce à 6 sondes Watermark par parcelle : La fiabilité statistique s'obtient à partir de 3 paires de sondes, soit 6 sondes par parcelle

III.5. Realisation :

Conditionnement du capteur de tension d'humidité du sol Watermark :

Le capteur de tension d'humidité du sol Watermark doit être conditionné avant de pouvoir être utilisé. Ce processus implique de connecter l'appareil à un circuit de diviseur de tension, qui est utilisé pour ajuster la tension entre les deux électrodes dans le sol. Cela permet au dispositif de mesurer avec précision la teneur en humidité du sol.

Le circuit du diviseur de tension se compose d'une résistance connectée en série avec le capteur. La tension à travers la résistance est ajustée en changeant la résistance de capteur. Cela permet au dispositif de mesurer avec précision la teneur en humidité du sol dans une variété de sols et de conditions environnementales

III.5.1. L'étude de circuit de conditionnement :

Ce capteur c'est un capteur passif résistif on peut calculer la valeur de la tension au bord de la résistance en utilisant un simple circuit « diviseur de tension ».

Soit $V_e=5V$ / $R_1=10k$ R_2 est la résistance de capteur.

$$V_s = \frac{R_1}{R_1+R_2} V_e$$

$$R_2 = \left(\frac{V_e}{V_s} - 1 \right) R_1$$

$$V_s = \frac{5}{0.01427707P+1.049}$$

$$P = \left(\frac{5}{V_s} - 1.049 \right) \times \frac{1}{0.01427707}$$

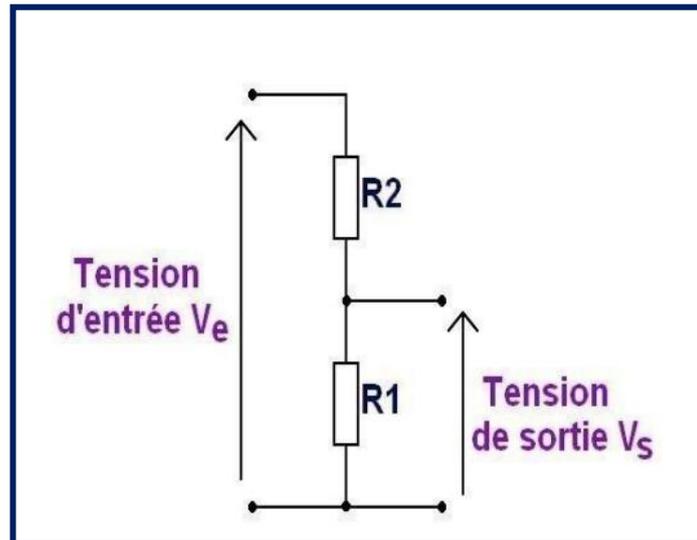


Figure 64 : schéma de circuit

✚ Avantages du conditionnement du capteur de tension d'humidité du sol Watermark

Le conditionnement du capteur de tension d'humidité du sol Watermark offre de nombreux avantages. Il garantit que l'appareil peut mesurer avec précision la teneur en humidité du sol dans diverses conditions de sol et environnementales, ce qui permet des lectures plus précises et des données plus fiables. De plus, ce conditionnement prolonge la durée de vie du capteur en le protégeant contre les pics de tension et autres fluctuations pouvant l'endommager. En outre, il est économique et contribue à la longévité de l'appareil.

III.5.2 Le circuit de conditionnement du capteur :

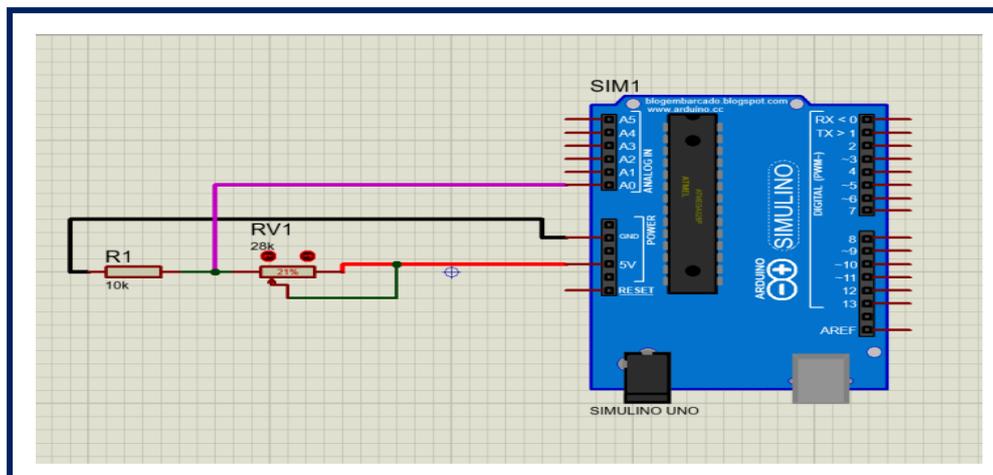


Figure 65 : Simulation en utilisant le programme ISIS Proteus 8

```

Editor - D:\user\lotfi\Desktop\Matlab\WaterMark.m
WaterMark.m
2 - close all
3 - clc
4
5 %tracer le graph pratique de capteur
6 - u=[0 9 10 15 35 55 75 100 200]
7 - y=[550;1000;1100;2000;6000;9200;12200;15575;28075]
8 - x=[0:200]
9 - figure(1)
10 - plot(u,y)
11 - grid on
12
13 %calcul de la linéarisation en utilisant la methode de moindres carres ordinaire
14 - phi=[u;1 1 1 1 1 1 1 1 1]
15 - pn=inv(phi*phi')
16 - y1=phi*y
17 - theta=pn*y1
18
19 %tracer de graph de la linéarité
20 - y2=142.7707*x+495.2686;
21 - hold on
22 - plot(x,y2)
23
Command Window
8853500
75700

theta =
142.7707
495.2686
fx >>
    
```

Figure 66 : Programme MATLAB pour calculer la courbe de linéarisation

```

Sortie Moniteur série x
Message (Enter to send message to 'Arduino Uno' on 'COM4')

Vout: 3.07 V
R2: 6279.81 Ohm
P: 40.52 kPa

Vout: 3.07 V
R2: 6305.73 Ohm
P: 40.70 kPa

Vout: 3.08 V
R2: 6228.21 Ohm
P: 40.15 kPa

Vout: 3.07 V
R2: 6305.73 Ohm
    
```

Figure 67 : Valeur réelle de capteur avec ARDUINO UNO

III.6. Application pour la réalisation :

On peut intégrer le capteur WaterMark dans tous les champs agricoles pour contrôler l'irrigation de ce champ et avoir des données en temps réel concernant l'humidité. Soit

- 0-10 kPa = Sol saturé
- 10-30 kPa = Le sol est suffisamment humide (sauf pour les sables grossiers qui commencent à perdre de l'eau)
- 30-60 kPa = Gamme habituelle pour l'irrigation (sauf sols argileux lourds)
- 60-100 kPa = Gamme habituelle pour l'irrigation dans les sols argileux lourds
- 100-200 kPa = Sol devenant dangereusement sec pour une production maximale

III.7. Conclusion :

En résumé, ce chapitre présente la conception d'un système de mesure de l'humidité du sol utilisant le capteur Watermark en combinaison avec une carte ARDUINO Uno. L'objectif était de créer un système modulaire et flexible à partir de composants abordables. La solution proposée est capable de mesurer le potentiel hydrique dans une plage allant de 0 kPa à 200 kPa, ce qui la rend adaptée aux besoins de l'agriculture. Ce système se distingue par sa flexibilité, sa simplicité d'utilisation et sa capacité à offrir une surveillance en temps réel. En outre, il constitue une alternative viable aux systèmes similaires plus coûteux, notamment lorsqu'il est nécessaire de surveiller plusieurs sites simultanément.

Chapitre IV :
Réalisation de la
serre agricole
intelligente.

IV.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous présenterons d'abord la préparation de notre environnement de travail, puis les résultats obtenus lors de la programmation des différents capteurs et de leurs tests sur notre serre prototype. Par la suite, nous aborderons le fonctionnement de l'application et interpréterons les résultats des tests expérimentaux réalisés.

IV.2. La problématique

La problématique centrale de notre projet réside dans la nécessité de concevoir et de mettre en œuvre un système automatisé pour une serre agricole, capable d'optimiser les conditions de culture tout en réduisant les interventions humaines et en répondant à divers défis spécifiques. La gestion efficace des paramètres de culture est essentielle, car des problèmes tels que la surconsommation d'eau, le manque de lumière, les températures extrêmes (trop élevées ou glaciales) peuvent sérieusement compromettre la croissance des plantes. La fonction principale d'une serre étant de créer un microclimat optimal, il est crucial de contrôler des paramètres comme la température, l'humidité (d'air et de sol), l' luminosité et la purification. Les méthodes traditionnelles peuvent souvent conduire à des inefficacités, notamment une mauvaise gestion de l'éclairage et une utilisation excessive des ressources en eau et en énergie.

IV.3. L'objectif

L'objectif principal de notre projet est de concevoir et de mettre en œuvre un système automatisé innovant pour une serre agricole, visant à optimiser les conditions de croissance des plantes tout en réduisant la nécessité d'interventions humaines fréquentes. Ce système vise à garantir un environnement de culture optimal en contrôlant de manière précise des paramètres clés tels que la température, l'humidité et le rayonnement solaire. En réduisant les erreurs humaines et en optimisant l'utilisation des ressources telles que l'eau et l'énergie. Notre objectif est de maximiser les rendements agricoles tout en minimisant les coûts et l'impact environnemental. De plus, nous cherchons à développer des solutions durables et évolutives pour répondre aux défis spécifiques rencontrés dans la culture en serre, contribuant ainsi à une agriculture plus efficace, économique. Pour atteindre cet objectif, nous prendrons en compte des paramètres essentiels tels que la température, l'humidité de l'air, l'humidité du

sol, la luminosité et la mesure de la qualité de l'air CO₂ en fonction des besoins spécifiques de chaque plante.

IV.4. La solution

Pour automatiser et optimiser la gestion de notre serre, nous avons choisi une solution intégrant des capteurs et des actionneurs reliés à un API S7-1214Cavec une visualisation sur une interface HMI. Les capteurs DH22 et watermark S200 mesurent respectivement l'humidité de l'air, celle du sol, et la température, assurant une surveillance précise des conditions environnementales. Les données collectées sont traitées par l'API, qui contrôle ensuite les actionneurs pour ajuster en temps réel l'irrigation et la ventilation. Cette approche permet de maintenir des conditions optimales pour la croissance des cultures tout en réduisant les coûts et en augmentant l'efficacité. L'intégration de capteurs de qualité de l'air, comme le MQ135, et de capteurs de luminosité, comme le LM393, complète le système en assurant une surveillance globale de l'environnement, contribuant ainsi à une production plus saine et durable.

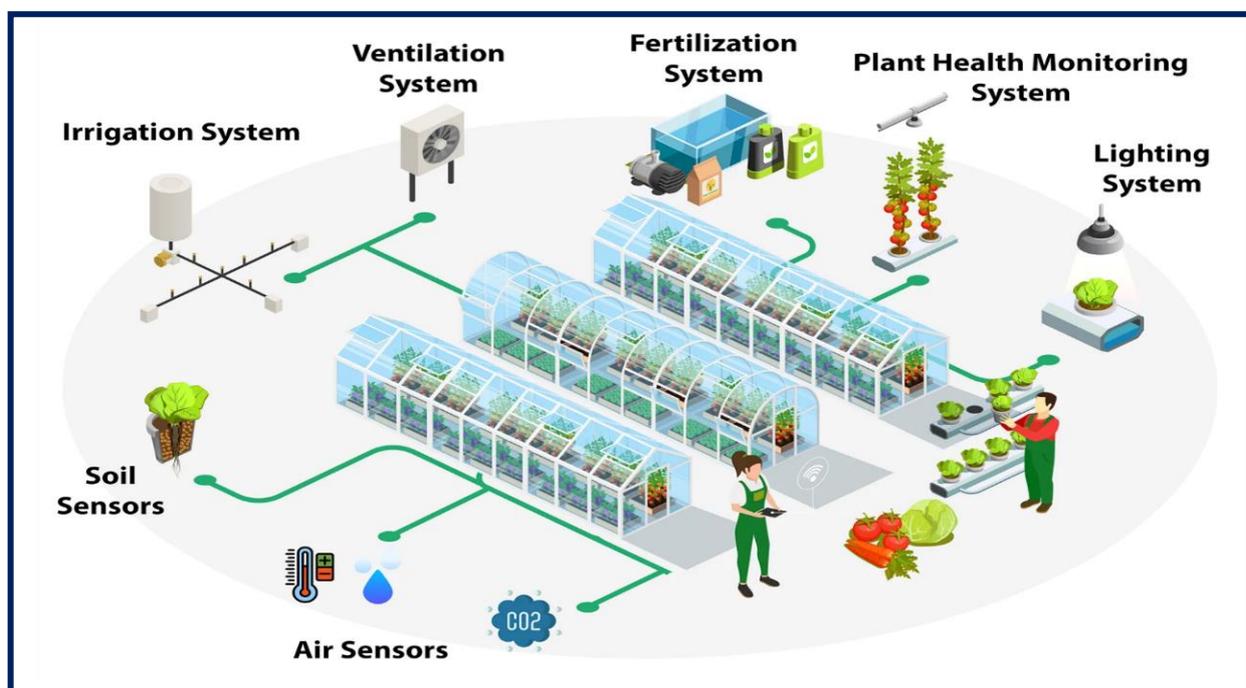


Figure 68 : Système globale

IV.5. Réalisation de la serre

IV.5.1. Dimension de la serre

Représentation des dimensions de notre serre (2,16m*2,05m*3,05m)

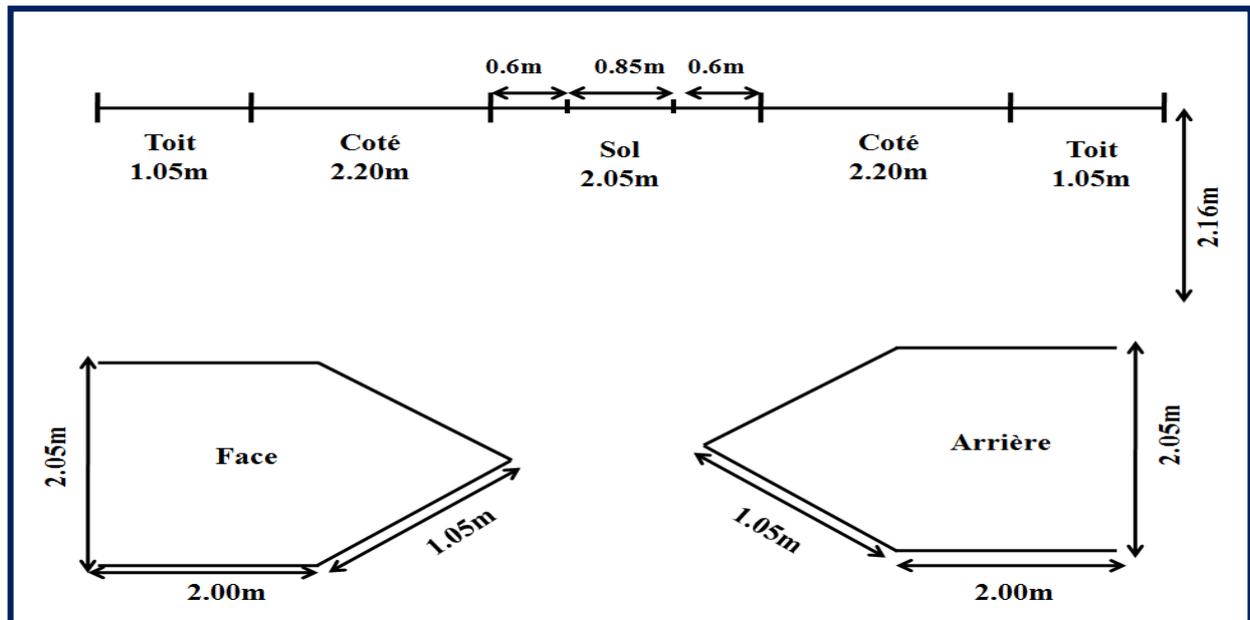


Figure 69 : Dimensions de la serre

IV.5.2. Montage de la serre



Figure 70 : La serre avant câblage



Figure 71 : La serre après câblage



Figure 72 : résultat finale

IV.5.3. Montage des capteurs, actionneurs et l'armoire électrique

Nous avons installé :

- Les capteurs : DHT22, LM393, MQ135 et 2 sondes de Watermark.

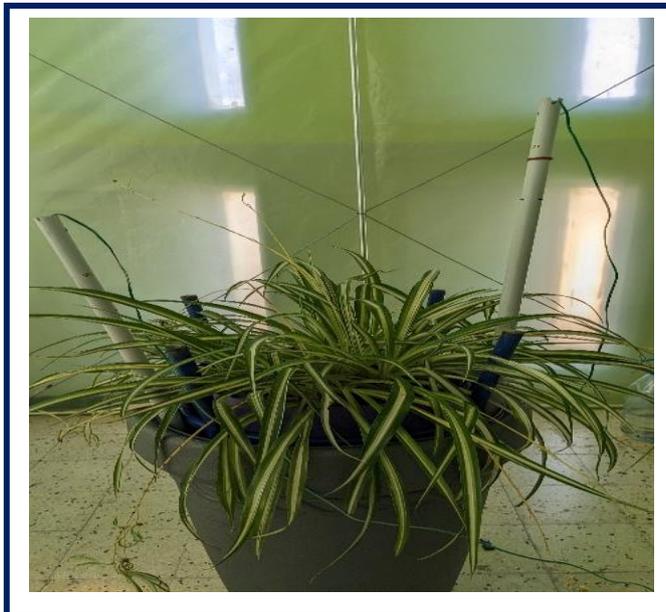


Figure 73: l'installation des 2 sondes de watermark

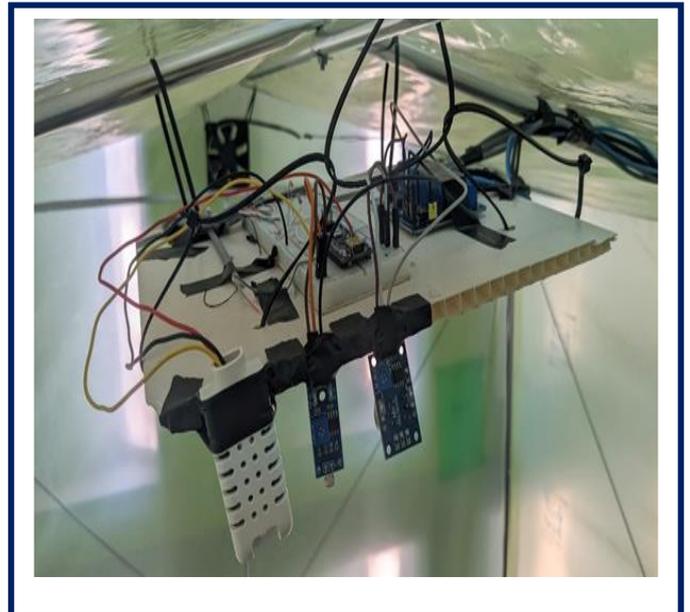


Figure 74 : capteur DHT22, LM393 et MQ-135

- Les actionneurs : Pompe, LED, 2 ventilateurs, humidificateur et Activtek induct 500.



Figure 75 : La pompe électrique

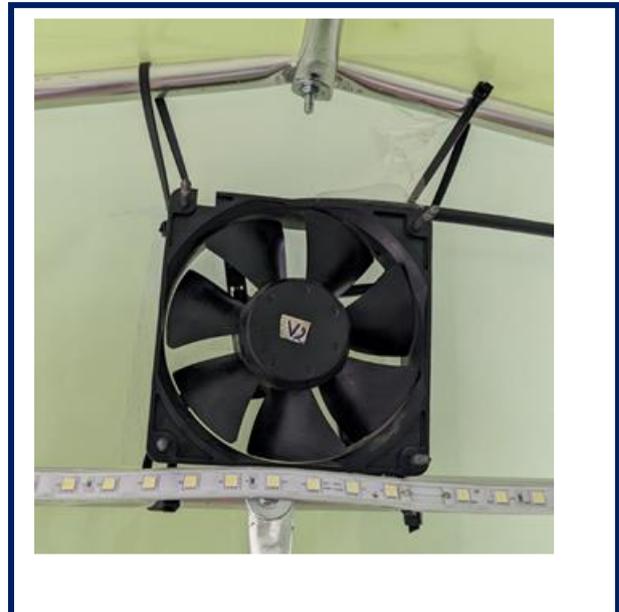


Figure 76 : ventilateur et LED



Figure 77 : L'humidificateur



Figure 78 : activek induct 500

- Armoire électrique : 2 API (S7-1214C AC/DC/RLY et S7-1214C DC/DC/RLY), Disjoncteur différentielle, porte fusible, répartiteur jeu de barre, 2 alimentations, 2 relais miniature, bornes, hub et une prise.



Figure 79 : L'armoire avant câblage

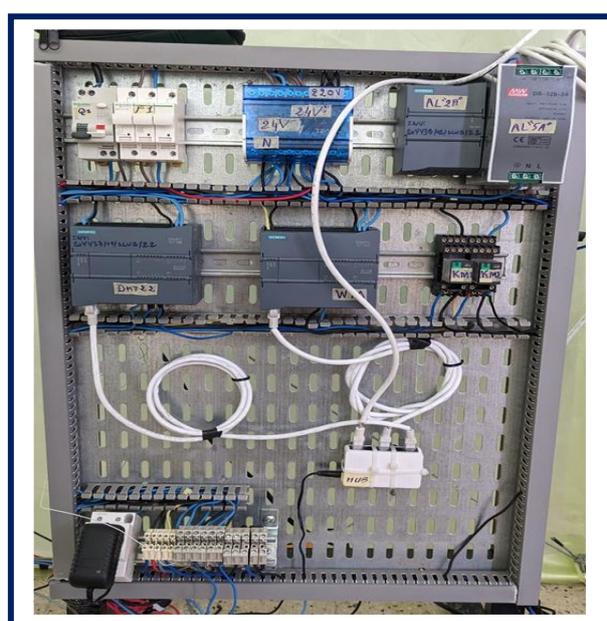


Figure 80 : L'armoire après câblage

IV.6. Système de fonctionnement

Notre projet consiste en l'automatisation d'une serre agricole intelligente en utilisant des capteurs et des actionneurs, coordonnés par deux automates programmables industriels (API) Siemens S7-1200.

Première Partie

✚ Capteurs Utilisés :

- ✓ **DHT22** : Le capteur DHT22 est employé pour mesurer à la fois la température et l'humidité de l'air. Remarque : L'Arduino Nano est utilisé pour séparer les données de température et d'humidité de l'air fournies par ce capteur.
- ✓ **Watermark S200** : Capteur utilisé pour mesurer l'humidité du sol.

✚ Automates Programmables Industriels (API) :

- ✓ **S7-1214C AC/DC/RLY** : Cet API est dédié au traitement des données provenant du capteur DHT22. Il collecte les mesures de température et d'humidité de l'air, analyse ces données et prend des décisions basées sur des seuils prédéfinis pour réguler les conditions de la serre.

- ✓ **S7-1214C DC/DC/RLY** : Cet API est dédié à la gestion des deux sondes Watermark S200. Il collecte les mesures d'humidité du sol et, en fonction des seuils définis, active les systèmes d'irrigation nécessaires pour maintenir des niveaux d'humidité optimaux.

Communication entre les API :

Les deux API communiquent entre eux via un switch pour permettre une coordination efficace et une gestion centralisée. Cette communication est cruciale pour l'intégration des données des différents capteurs et pour assurer une réponse cohérente et harmonisée des actionneurs.

Interface Homme-Machine (HMI) :

Une interface commune HMI a été mise en place pour permettre une visualisation et un contrôle centralisés de l'ensemble du système. Cette interface permet de surveiller les données en temps réel, de visualiser les tendances et d'ajuster les paramètres du système si nécessaire.

Processus de Fonctionnement :

Les capteurs collectent continuellement des données sur l'environnement de la serre.

Les données du capteur DHT22 sont envoyées par un Arduino Nano qui est utilisé pour séparer les données de température et d'humidité de l'air à l'API S7-1214C AC/DC/RLY, qui analyse les conditions de l'air.

Les données des sondes Watermark S200 sont envoyées à l'API S7-1214C DC/DC/RLY, qui analyse l'humidité du sol.

Les API traitent ces données et, selon les seuils prédéfinis, activent les actionneurs correspondants comme les systèmes de ventilation et d'irrigation.

L'interface HMI permet aux opérateurs de surveiller et de contrôler les opérations en temps réel, offrant une vue d'ensemble complète.

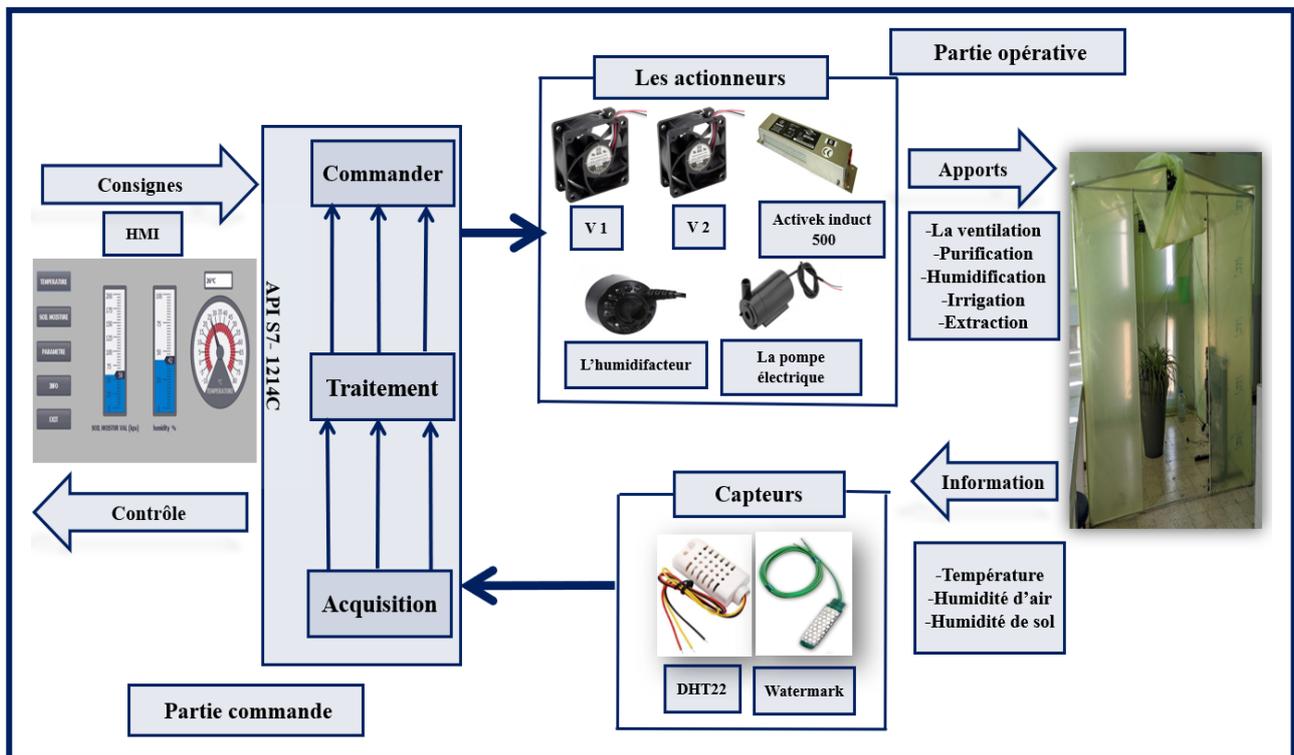


Figure 81: Système automatisé de la partie 1

Deuxième Partie :

✚ Capteurs Utilisés :

- ✓ **LM393** : Utilisé pour mesurer la luminosité.
- ✓ **MQ-135** : Utilisé pour mesurer la qualité de l'air, notamment les niveaux de CO2.

✚ Fonctionnement des Capteurs :

Les données provenant des capteurs LM393 et MQ-135 ne sont pas traitées par les API. Cependant, ces capteurs ont des seuils bien définis pour déclencher des actions spécifiques.

- Luminosité (LM393) : Si la lumière mesurée est inférieure au seuil requis, des LED sont actionnées pour assurer un niveau de luminosité adéquat pour les plantes.
- Qualité de l'Air (MQ-135) : Si le taux de CO2 dépasse le seuil requis, le ventilateur d'extraction expulse l'air de l'intérieur de la serre vers l'extérieur.

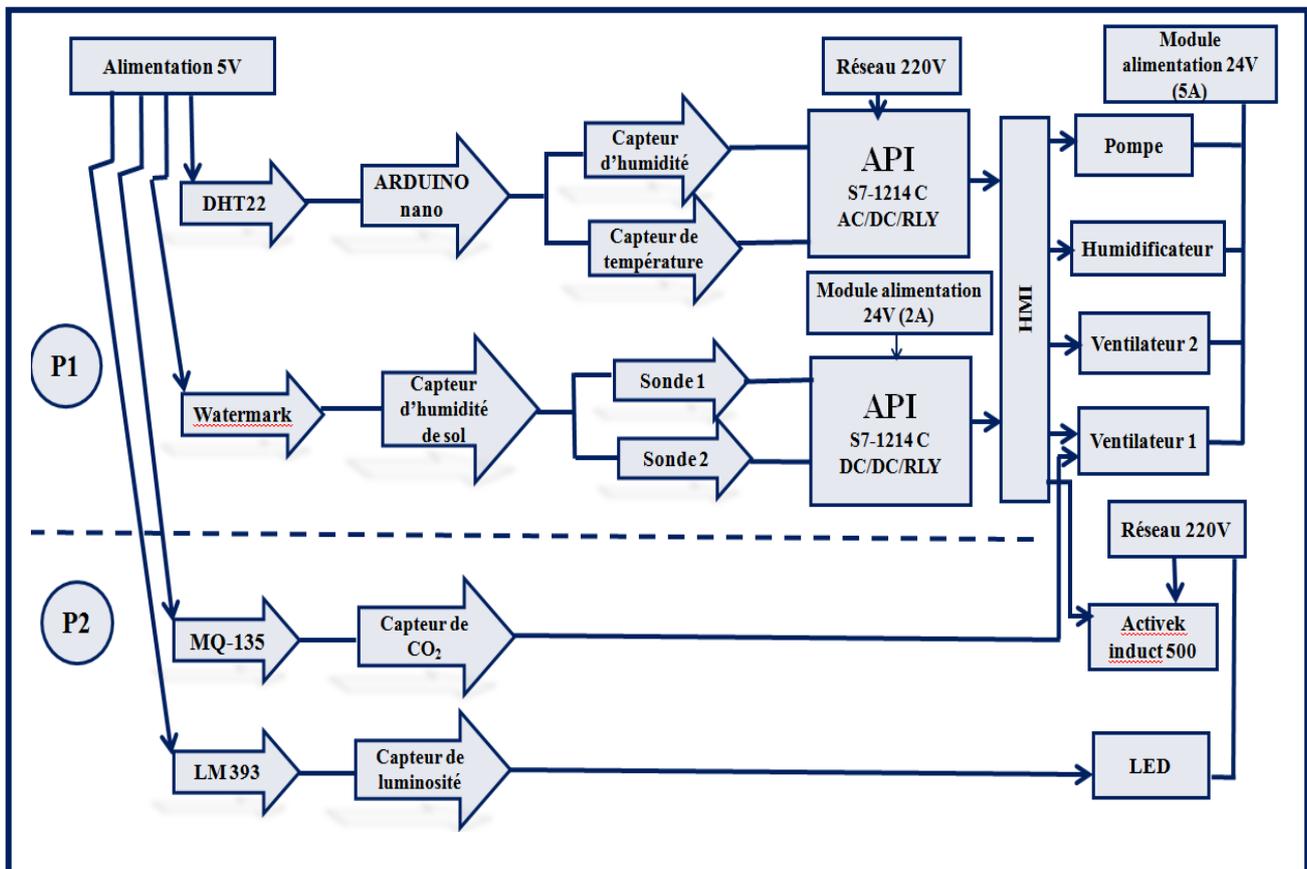


Figure 82 : Système de fonctionnement

IV.7. Les logigrammes

IV.7.1. Logigramme General du système

Pour la première partie nous commençons par l'initialisation des capteurs (DHT22 pour la température et l'humidité de l'air, Watermark S200 pour l'humidité du sol) et la vérification de la connexion avec l'API S7-1200. Les données collectées par les capteurs sont envoyées à l'API pour traitement. Une analyse est effectuée pour comparer les valeurs mesurées avec les seuils prédéfinis, et des décisions sont prises en conséquence pour activer ou désactiver les actionneurs. Par exemple, la pompe d'irrigation peut être activée si l'humidité du sol est inférieure au seuil requis, ou les ventilateurs peuvent être mis en marche pour réduire la température élevée, avec l'appareil UV pour la purification de l'air ou l'humidificateur pour augmenter l'humidité de l'air.

Pour la deuxième partie, les capteurs (LM393 pour la luminosité, MQ-135 pour la qualité de l'air) ne seront pas traités, mais ils ont un seuil bien défini qui sera lu pour actionner des LED si la lumière est inférieure au seuil requis, et un ventilateur si le taux de CO2 dépasse le seuil requis.

Finalement, le système peut être mis en veille ou arrêté selon les conditions prédéfinies.

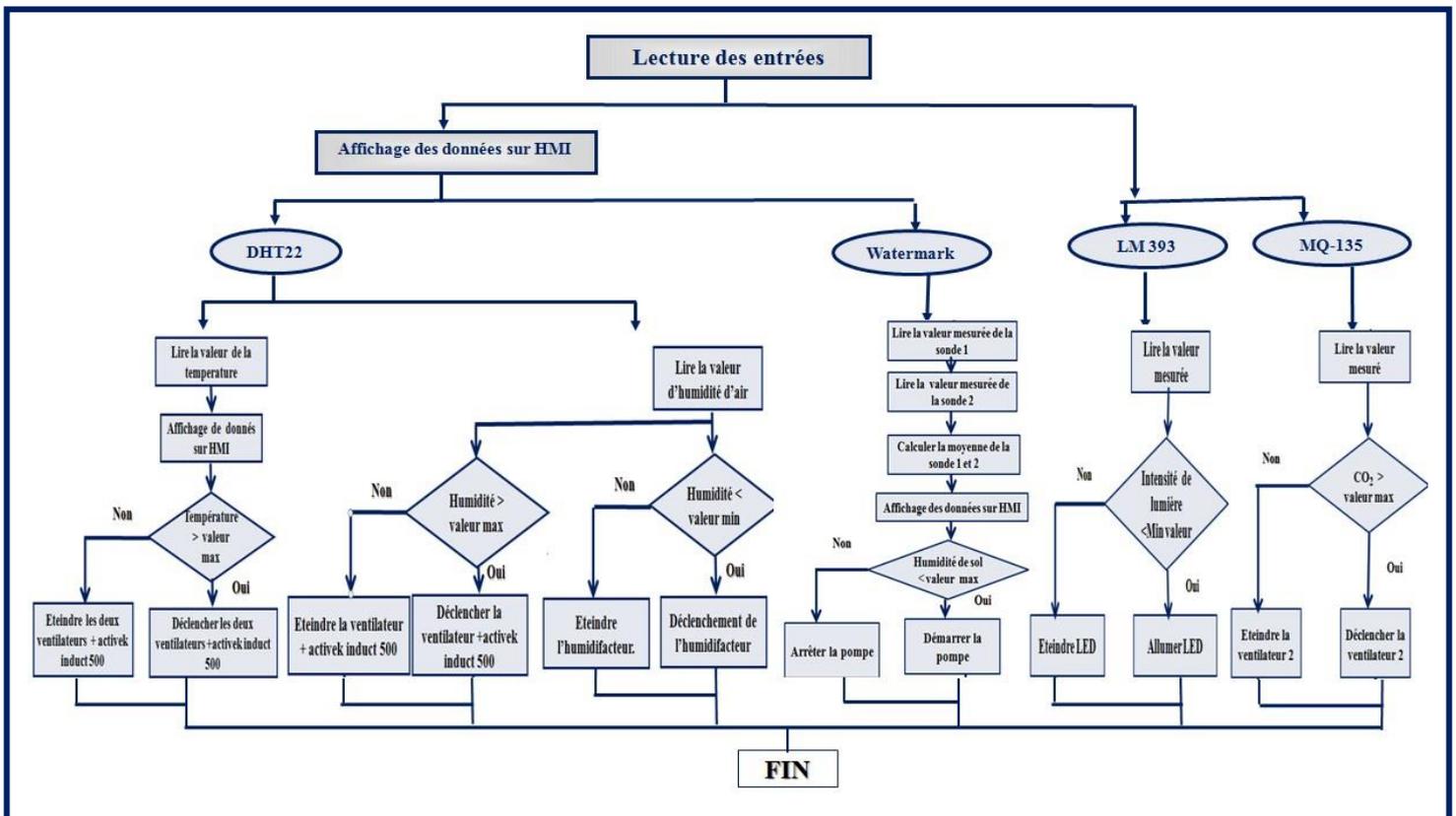


Figure 83 : Logigramme générale du processus

IV.7.2. Logigramme de luminosité

La gestion de la luminosité est essentielle pour optimiser la croissance des plantes, surtout dans des environnements contrôlés comme les serres. On a utilisé un capteur LM393photoresistor, pour surveiller le niveau de lumière. Lorsque la luminosité descend en dessous d'un seuil défini, le système active automatiquement les LED, pour compenser le manque de lumière naturelle. Cette automatisation garantit que les plantes reçoivent un éclairage adéquat pour leur croissance, même en l'absence de lumière solaire suffisante.

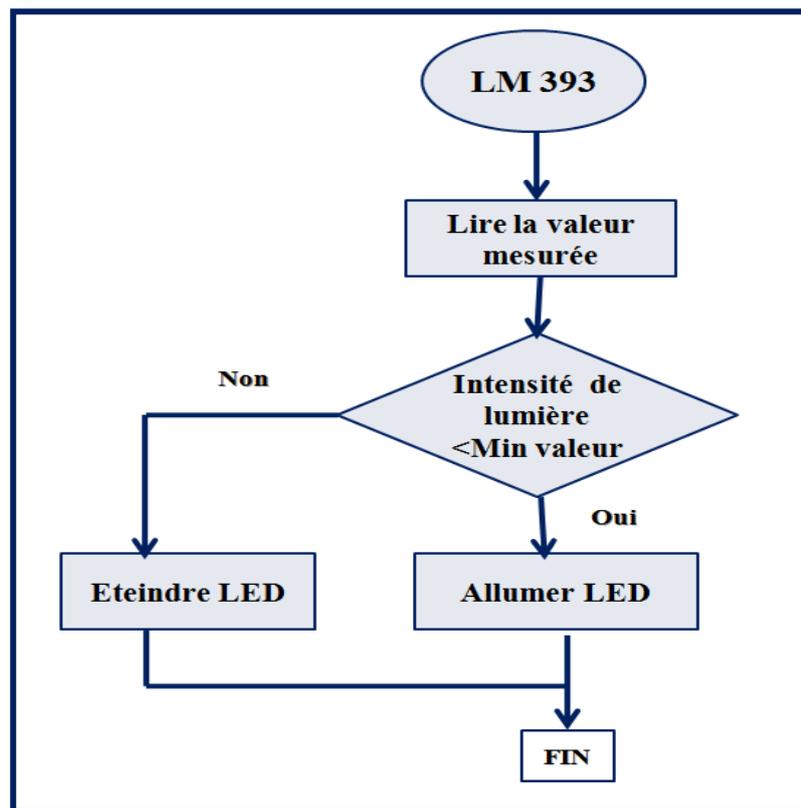


Figure 84 : Logigramme de luminosité

IV.7.3. Logigramme de ventilation

La ventilation joue un rôle crucial dans le maintien d'un environnement optimal pour les plantes, en particulier en régulant la température à l'intérieur de la serre. Dans ce contexte, le capteur de température DHT22 agit comme un régulateur de température en mesurant continuellement la température ambiante. Lorsque la température dépasse la valeur maximale, l'API S7-1200 déclenche les ventilateurs et l'appareil UV pour réduire la température à l'intérieur de la serre, évitant ainsi la surchauffe qui pourrait nuire à la croissance des plantes. Ce processus permet de maintenir un climat stable et favorable au développement des plantes.

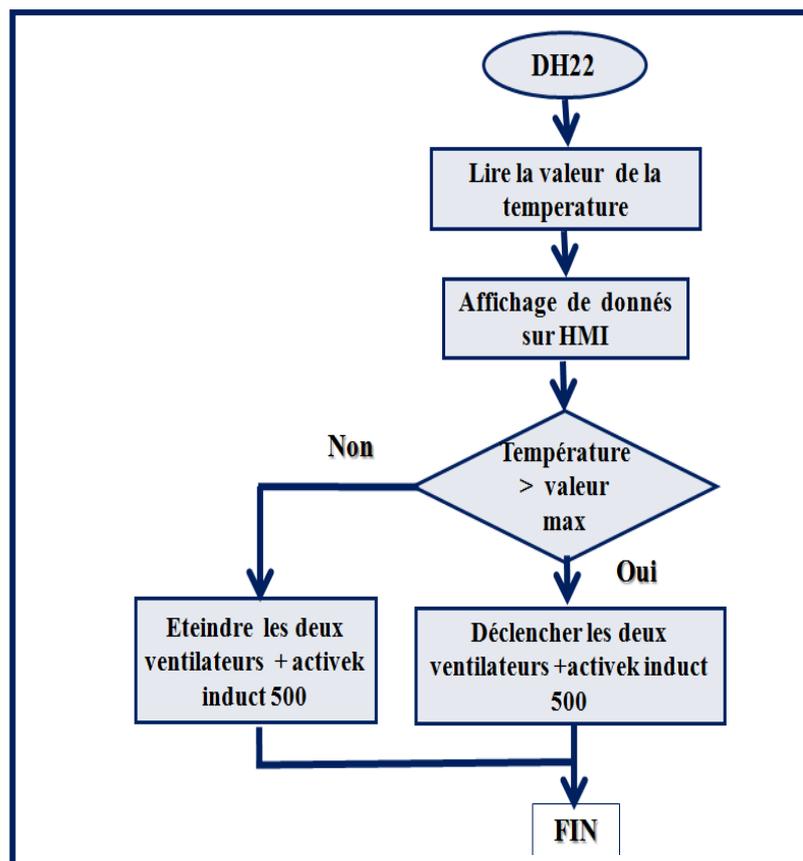


Figure 85 : Logigramme de ventilation

IV.7.4. Logigramme d'humidification d'air

L'humidification joue un rôle crucial dans le maintien de conditions optimales pour la croissance des plantes. Lorsque l'humidité de l'air tombe en dessous des niveaux nécessaires pour une plante donnée, un système d'humidification est activé pour compenser et rétablir les conditions idéales. Cette approche garantit que les plantes reçoivent l'humidité nécessaire pour leur développement optimal, même en période de sécheresse ou de faible humidité ambiante. Dans ce contexte, le capteur DHT22 agit comme un régulateur d'humidité en mesurant à la fois la température et l'humidité de l'air, envoyant ces informations à l'API S7-1200 pour activer ou désactiver l'humidificateur selon les besoins des plantes.

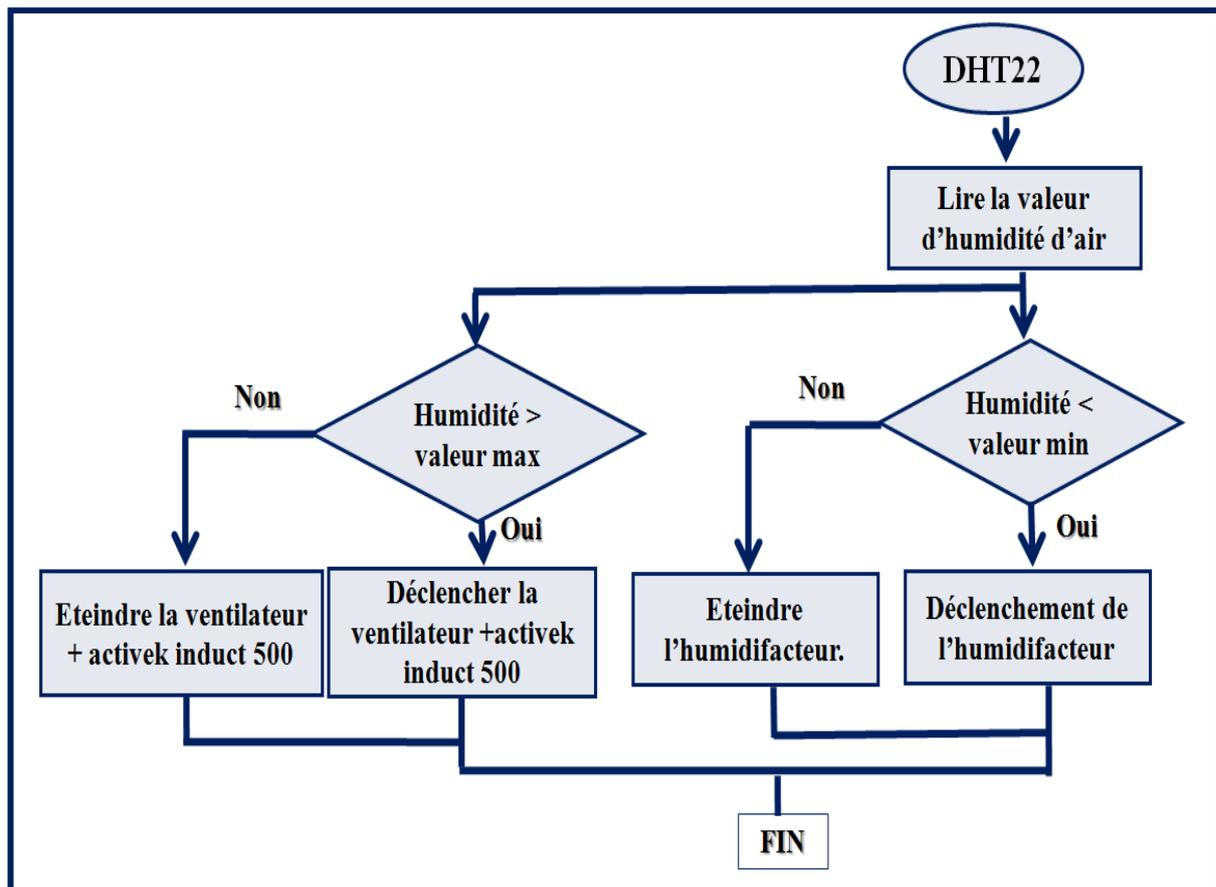


Figure 86: Logigramme d'humidification d'air

IV.7.5. Logigramme de l'extraction d'air

Pour garantir un environnement optimal pour les plantes, un système l'extraction d'air est intégré au dispositif. Le capteur MQ-135 surveille en permanence la qualité de l'air en détectant les niveaux de gaz nocifs. Lorsque les concentrations de CO₂ dépassent le seuil maximal, le système active automatiquement le ventilateur d'extraction pour expulser l'air de la serre vers l'extérieur. Ce processus assure que les plantes bénéficient d'un air purifié, essentiel à leur développement optimal et à leur bien-être.

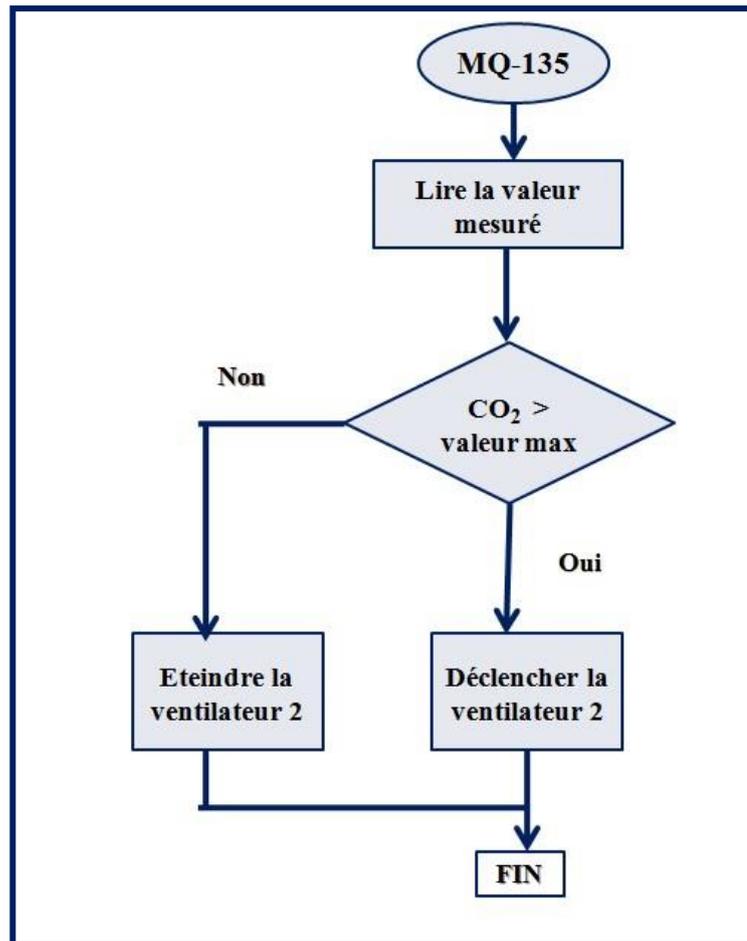


Figure 87 : Logigramme de l'extraction d'air

IV.7.6. Logigramme d'irrigation

L'irrigation est essentielle pour la croissance des plantes en maintenant un niveau d'humidité adéquat. Dans ce système, deux sondes Watermark mesurent l'humidité du sol, et la moyenne de leurs lectures détermine la nécessité d'irrigation. Lorsque la moyenne est supérieure au seuil requis, le système d'irrigation s'active automatiquement. Les capteurs Watermark mesurent la résistance électrique du sol, et un API traite ces données pour contrôler la pompe pour l'irrigation. Cette approche assure une utilisation efficace de l'eau et un environnement optimal pour les plantes.

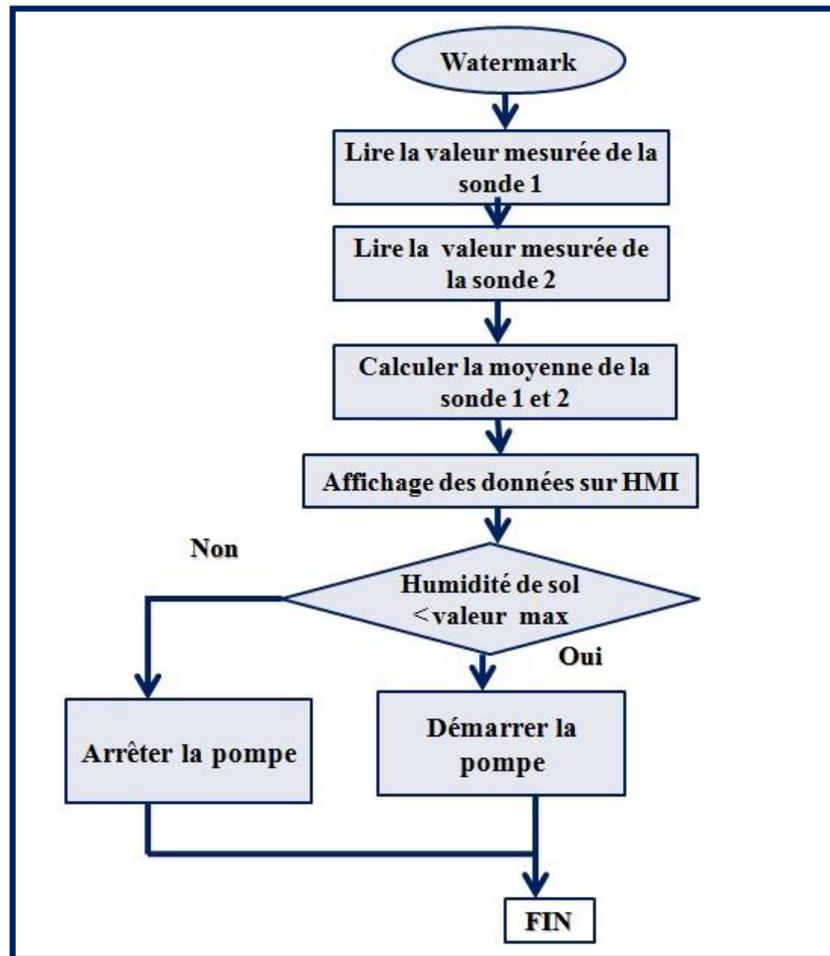


Figure 88: Logigramme d'irrigation

IV.8. Bilan technicoéconomique :

Tableau 18 : Bilan Général du Projet de Serre Intelligente

Catégorie	Détails
Objectifs du Projet	<ul style="list-style-type: none"> - Automatisation de la gestion de la température, de l'humidité de l'air et du sol, de l'éclairage et de la qualité d'air dans une serre. - Utiliser des capteurs et des actionneurs pour améliorer la production agricole et réduire les coûts opérationnels.
Technologies Utilisées	<p>Capteurs : DHT22 (température et humidité de l'air, plage de mesure : -40 à 80°C, 0-100% HR, précision : $\pm 0.5^\circ\text{C}$, $\pm 2\%$ HR) Watermark S200 (humidité du sol, plage de mesure : 1-200 kPa), LM393 (détection de lumière, plage de détection : 0-1000 Lux), MQ135 (qualité de l'air, détection : NH₃, NO_x, alcool, benzène, fumée, CO₂, plage de détection : 10-1000 ppm).</p> <ul style="list-style-type: none"> - Contrôleurs : Siemens S7-1200 API - Actionneurs : Pompes d'irrigation (12V), Ventilateurs (24V), Humidificateurs (24V), Active teck (220V), LEDs d'éclairage (220V).
Consommation Énergétique	<ul style="list-style-type: none"> - Pompes d'Irrigation : (12V, 600mA). - Ventilateurs : (24V, 0,28A). - Humidificateurs : (24V, 1.2A). - Active teck : (15V, 1A). - LEDs d'Éclairage : (220V, 0.1A).
Coûts Financiers	<p>- Matériel : Capteurs (ex : DHT22 : 5€, Watermark S200 : 50€, LM393 : 3€, MQ135 : 15€), contrôleurs (Siemens S7-1200 : 500€), actionneurs (ex : pompe d'irrigation : 30€, ventilateur : 20€, humidificateur : 40€, Active teck : 60€, LEDs: 25€), câbles : 30€</p>

<p>Défis Techniques</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Problèmes de communication entre API S7-1200 et HMI -manque de câbles et de matériels (module entrée analogique)
<p>Solutions Apportées</p>	<ul style="list-style-type: none"> - l'utilisation de WinCC Advanced - pour la faisabilité du système nous avons utilisé un deuxième API
<p>Impact et Bénéfices</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Optimisation des Ressources (Réduction de la consommation d'eau et d'énergie). - Amélioration de la Production (Augmentation des rendements et de la qualité des récoltes). - Efficacité et Productivité (Surveillance et contrôle en temps réel des paramètres environnementaux). - Gestion Automatisée (Réduction de l'intervention humaine, automatisation des tâches répétitives). - Durabilité (Agriculture durable, tout le long de l'année).
<p>Leçons Apprises</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Impact Environnemental (Les solutions technologiques peuvent contribuer à une agriculture plus durable et respectueuse de l'environnement). - Avantages de l'automatisation pour une gestion plus efficace et réactive des conditions de serre. - Planification Précise (La précision dans le choix et le placement des capteurs et actionneurs est essentielle).
<p>Améliorations Futures</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Ajouter des capteurs pour surveiller d'autres paramètres environnementaux tels que le pH-mètre, les nutriments du sol, et la santé des plantes. - Développer des algorithmes plus sophistiqués pour une automatisation et un contrôle encore plus précis des conditions de terre. - Créer une interface utilisateur plus intuitive pour faciliter la gestion et la surveillance à distance via des applications mobiles.

- Intégrer des sources d'énergie renouvelable, comme des panneaux solaires, pour rendre la serre encore plus autonome et durable.
- Développer des solutions évolutives permettant de gérer plusieurs serres ou de grandes surfaces agricoles avec une seule plateforme de contrôle.

Ce tableau récapitulatif fournit une vue d'ensemble technique détaillée de notre projet de serre intelligente, mettant en évidence les principaux aspects techniques, les performances, les défis, et les améliorations futures possibles.

IV.8. Interface homme machine

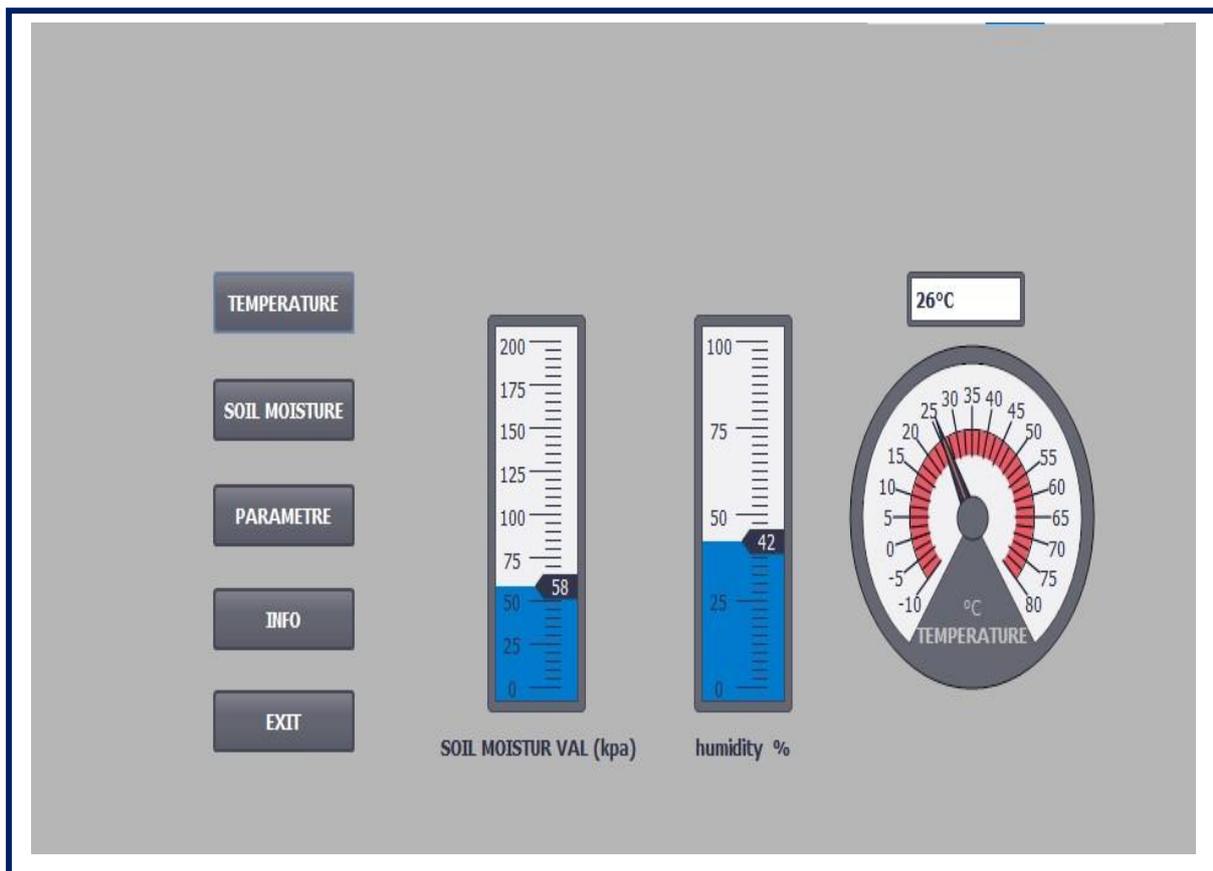


Figure 89 : Home (l'interface principale)

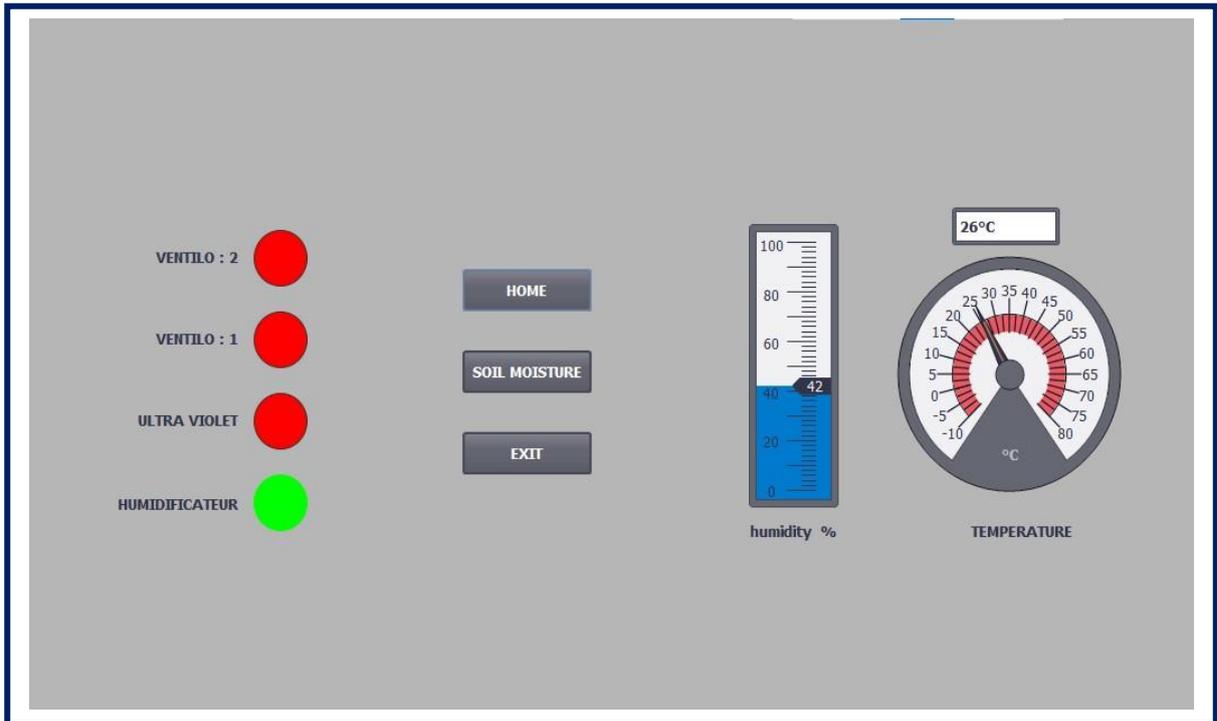


Figure 90 : l'interface DHT22

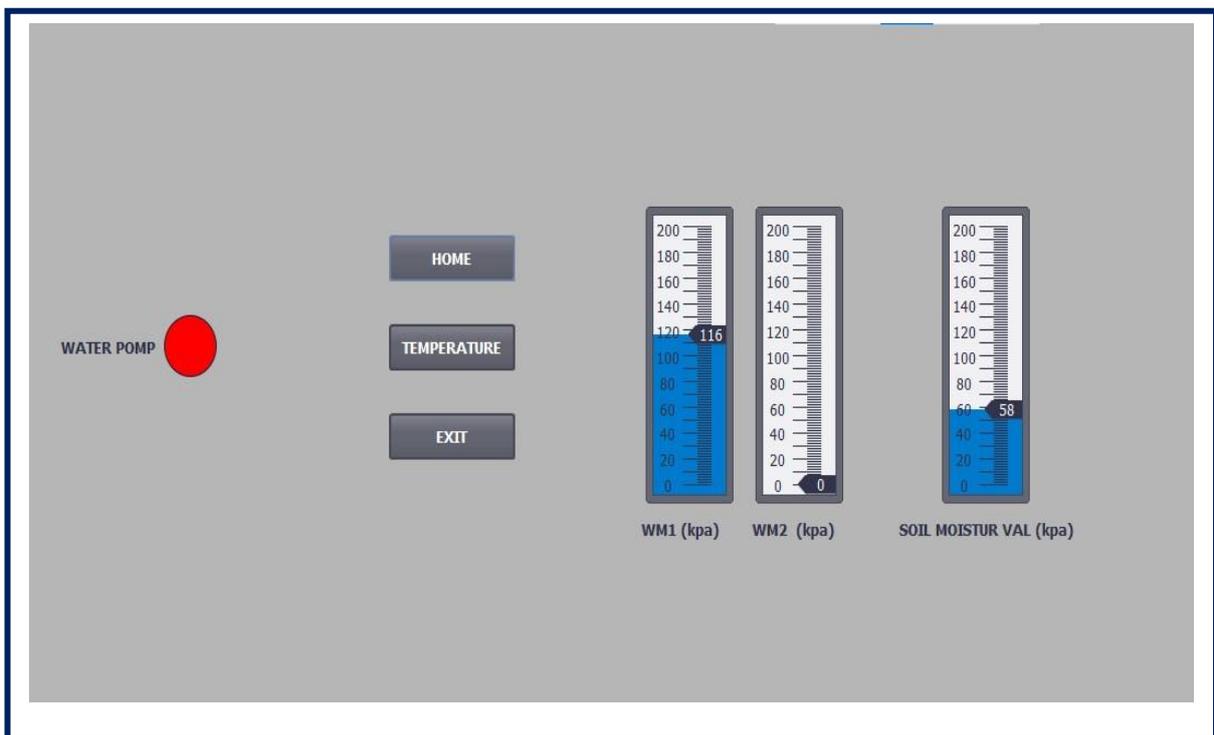


Figure 91 : l'interface watermark

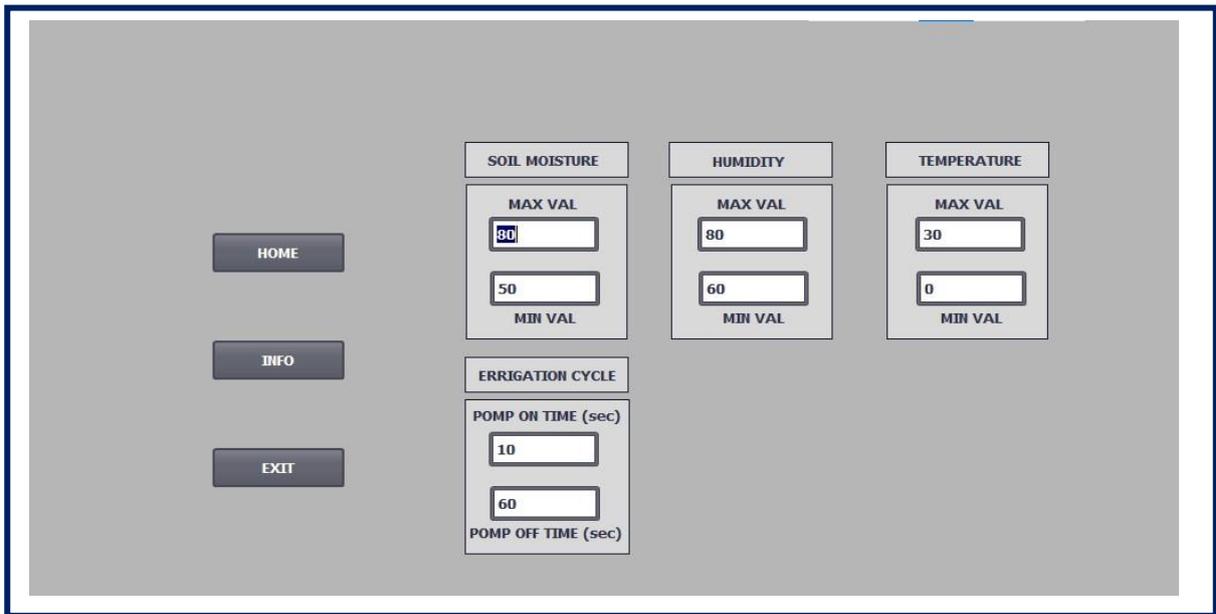


Figure 92: l'interface paramètres



Figure 93 : l'information

IV.10. Conclusion

Dans ce chapitre dédié à la réalisation de notre système, nous avons intégré avec succès un interface homme-machine (HMI). Grâce à une combinaison astucieuse de capteurs et d'actionneurs contrôlés par un api, nous avons créé un environnement automatisé qui surveille et ajuste les paramètres environnementaux cruciaux pour la croissance des plantes. Cette réalisation concrète représente un pas significatif vers une agriculture plus intelligente et durable, où la technologie joue un rôle clé dans l'optimisation des conditions de culture.

A decorative border with a repeating geometric pattern in blue and grey surrounds the page content.

Conclusion

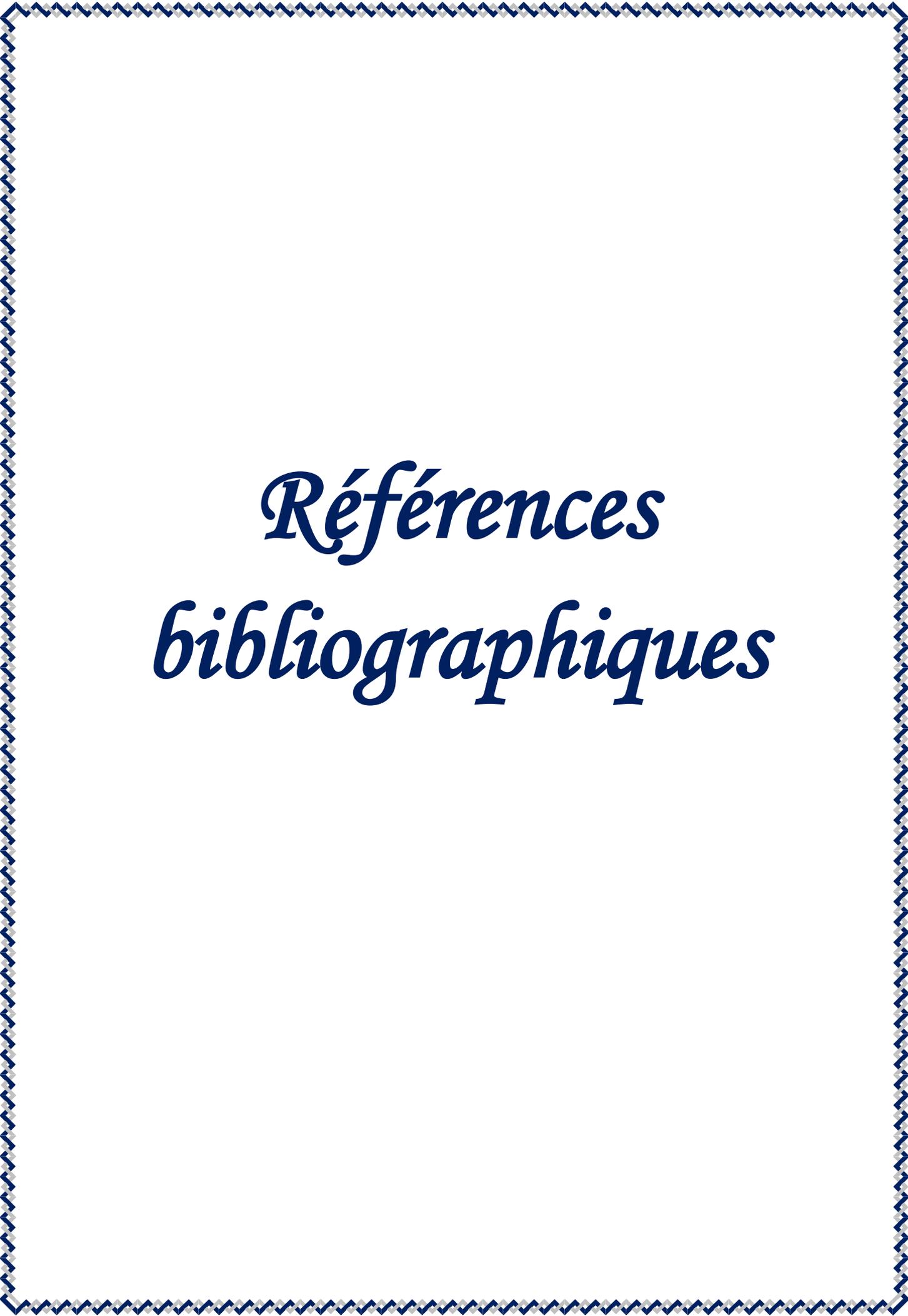
Pour notre projet, nous avons développé une serre intelligente capable de superviser diverses tâches agricoles tout en maintenant un climat favorable à la croissance des plantes. Nous avons commencé par étudier les serres, leurs fonctions et les paramètres climatiques. Le choix d'une API pour la programmation a été une décision clé. Des capteurs ont été utilisés pour transmettre des données à l'API, permettant au système de réagir aux changements physiques. L'objectif principal était de gérer les opérations de la serre en se basant sur les données recueillies.

En fin de compte, ce projet a abouti à une solution automatisée pour la gestion des serres. L'utilisation d'une API, des capteurs et des actionneurs a joué un rôle essentiel dans la surveillance et le contrôle précis des facteurs environnementaux. En optimisant l'environnement des serres, la croissance des plantes a été améliorée grâce à une gestion précise. Ce projet souligne l'importance des systèmes agricoles intelligents pour améliorer la productivité et la durabilité des cultures.

À l'avenir, notre plan est de construire une grande serre d'un hectare. Nous utiliserons des technologies similaires comme les API, les capteurs et les actionneurs. Cependant, cette fois, nous allons aller avec une API différente qui fonctionne mieux pour des tâches simples et qui a plusieurs entrées analogues comme le S7-1217C. Parallèlement à cela, nous installerons plus d'équipements comme des extracteurs, des appareils de chauffage, des ombrières et un générateur d'ozone. Cela nous aidera à mieux gérer l'environnement à l'intérieur de la serre.

De plus, nous installerons également des capteurs pour suivre les niveaux de pH, les nutriments du sol et la santé des plantes. Pour rendre les choses encore plus automatisées, nous proposerons des algorithmes plus intelligents pour contrôler précisément les conditions du sol. Une interface conviviale sera conçue pour faciliter le contrôle et la surveillance à distance via des applications mobiles.

Pour rendre la serre plus autonome et plus écologique, nous intégrerons des sources d'énergie renouvelables comme des panneaux solaires. Enfin, notre objectif est de créer des solutions flexibles qui peuvent gérer plusieurs serres ou de grandes zones agricoles en utilisant un seul système de contrôle.

A decorative border with a repeating geometric pattern of small squares and triangles, rendered in a dark blue color, framing the entire page.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

[1] : <https://agriculture.gouv.fr/algerie>

[2] : <https://aapi.dz/secteur-de-lagriculture/>

[3] : Y. Bouteraa, "Automatisation d'une serre agricole, " Magister en Sciences Agronomiques, Ecole Nationale Supérieure D'agronomie-El Harrach, 2012.

[4] : <https://blog.jardincouvert.com/utiliser-et-entretenir-une-serre-tunnel/differents-types-serres/>

[5]: Projet de fin d'étude d'un Système Automatisé « Gestion de serre intelligente par application android» réalisé par BENNADIR Mohammed et KHEDIM Aymen " Ghardaïa" (2022/2023).

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

[7] : <https://maferme.ma/serre-intelligente-maroc/>

[8] : Joe Meisel, Peter Bristow, et Ray Tyler "Greenhouse Vegetable Production: A Complete Guide",2014.

[9] : Y. El afou, "Contribution au contrôle des paramètres climatiques sous serre". Thèse de Doctorat Université Lille 1, 2014

[10] : <https://www.stet.com.tn/MtdStet/uploads/2019/06/anticalcaire-magnetique.pdf>

[11] : Projet de fin d'étude d'un Instrumentation « Réalisation d'un système de contrôle d'une serre agricole à base d'un microcontrôleur ATMega328 » réalisé par YAHLALI Felicia et MOUZARINE Massiba" Tizi-Ouzou" (2017/2018).

[12] : <https://guidebatimentdurable.brussels/serres>

[13] : <https://www.gerbeaud.com/jardin/fiches/serre-maitrise-temperature,1200.html>

[14] R. Cadiergues, "L'éclairage Artificiel," Guide RefCad nR27. A, 2012

[15]<https://www.atoutloisir.com/blog/utilite-filet-dombrage/#:~:text=Le%20filet%20d'ombrage%20permet,ni%20les%20d%C3%A9jections%20des%20oiseaux.>

[16] : MEMMADI-Mehdi « Réalisation d'une mini serre agricole connectée », », Mémoire Magister, université BADJI MOKHTAR ANNABA (2019).

[17] : Elhindi, K. M. (2021). "Ozone technology in greenhouse cultivation." In Greenhouse Technology for Controlled Environment Agriculture (pp. 193-211). Springer, Cham.

Références bibliographiques

- [18] : « Tomate sous serre,» [En ligne]. Available: <http://www.etudier.com>.
- [19] : TOUCHERIFT IDRIS, TAIEB HAMID « Contrôle des paramètres climatiques d'une serre agricol», département D'ELECTRONIQUE Université Mouloud Mammeri de Tizi – Ouzou, 2017.
- 20] : "Automating with SIMATIC: Controllers, Software, Programming, Data Communication" par Hans Berger(livre)
- [21] : <https://docs.rs-online.com/a281/0900766b81089071.pdf>
- [22] : https://www.lycee-desfontaines.eu/si/IMG/pdf/capteurs_cr.pdf
- [23]: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/1132459/ETC2/DHT22.html>
- [24] : <https://docs.arduino.cc/hardware/nano/>
- [25] : <https://www.irrometer.com/sensors.html#wm>
- [26]: <https://www.didactico.tn/produit/module-de-photoresistance-ldr-avec-lm393/>
- [27]: <https://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=LM393>
- [28] : <https://www.smart-cube.biz/produit/mini-pompe-submersible-horizontale-3-5v/>
- [29] : <https://store.mectronica.it/fr/ventilateurs-de-refroidissement/1561-ventilateur-de-refroidissement-sans-balais-12v-dc-120x120x25mm-1275m3h-34dba-3-fils.html>
- [30] : <https://www.ledpoint.fr/fr/ruban-led-blanc-froid-5m-6000-6500k-60ledsm-honglitrionic-5630-24v>
- [31] : https://activtek.pl/wp-content/uploads/2019/12/INDUCT-500-Spec-Sheet-CARD_EN.pdf
- [32] : [cour de Câblage industriel de master 1 spécialité AA](#), Dr. FAS Mohamed Lamine.
- [33] : <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/1614705/TECHPUBLIC/LM2596.html>
- [35] : <https://youpilab.com/components/product/module-de-relais-a-4-canaux>
- [33] : https://www.ncaar.msstate.edu/docs/Rix_MSSState_ShortPub_Watermark.pdf
- [34] : cour Capteurs et Actionneurs en Industrie par madame L.Khemici