



UNIVERSITÉ D'ANTANANARIVO

INSTITUT D'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR D'ANTSIRABE –
VAKINANKARATRA

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

En vue de l'obtention du diplôme de MASTER

Domaine : Sciences de l'Ingénieur

Mention : AUTOMATISME ET INFORMATIQUE

Parcours : AUTOMATISME ELECTRONIQUE INFORMATIQUE INDUSTRIELLE

Par : **RAZAFINDRAJOA Tsitohaina Andriamparany**

**Titre : ETUDE, REALISATION D'UNE PLATEFORME POUR
L'AUTOMATISATION ET LE CONTROLE CLIMATIQUE
ARTIFICIEL D'UNE SERRE POUR AGRICULTURE DE SPIRULINE
GERER PAR UNE ARMOIRE ELECTRIQUE INTELLIGENTE**

Soutenu le Jeudi 21 Décembre 2020, devant la Commission d'Examen composée de :

Président de Jury : Mr ANDRIANAHARISON Yvon, Professeur titulaire

Examineurs : Mme RANAIVOSOA Mamitiana Lalaonirina Olivette, Docteur en Génie
Electrique

Mr RABEARIVELO Gericha Apotheken, Docteur en Génie Electrique

Mr RALAHARIJAONINA Zandrison Richard, AESR

Encadreur pédagogique : Mr. RASAMIMANANA François De Salle, Maitre de conférence

FISAORANA

Isaorako manokana ilay nisy hatramin'ny taloha indrindra ary ho mandrakizay dia Ilay mpahary ny zavatra rehetra nohon'ny tombon'andro nomeny sy ny nanaovany ahy nisy mba afahako nanatanteraka izao asa izao,

Manarak'izany dia isaorana sy ankasitrahana ireo tompon'andraikitra sy mpampianatra eo anivon'ny anjery manontolo, izay anisan'ny angady nananana sy vy nahitana nampitombo ny fahalalana. Ka isaorana manokana amin'izany :

Andriamatoa RAVELOMANANA Mamy Raoul, Talen'ny oniversiten'Antananarivo ; nohon'ny ezaka izay nataony ho any Oniversite;

Andriamatoa RAJAONARISON Eddie Frank, talen'ny l'IES-AV; tamin'ny fandraisany anay antanandroa teto amin'ny sekoly;

Ramatoa RANAIVOSOA Mमितiana Olivette, lehiben'ny sampam-piofanana "Automatisme Electronique Informatique Industrielle, tamin'ny fanampiana sy fanabeazana rehetra nampitainy ;

Andriamatoa RASAMIMANANA François de Salle, tantsoroka ara-pedagogjika noho ny fanarahamaso akaiky nataony sy ny torolalana maro samihafa mba hahavitana izao asa izao ;

Mankasitraka manokana koa ireo mpampianatra nanaiky hitsara sy hanitsy ary indrindra mitondra hevibaovao ny asanay;

Isaorako ireo Ray aman 'dReny nahitako masoandro nitaiza sy nikolokolo indrindra nanohana ahy tamin 'ny lafiny rehetra;

Tsy ho adino ihany koa ny maneho fisaorana feno hoan' ireo rehetra izay nanampy tamin 'ny fahavitana izao asa izao na lavitra na akaiky, ilay Andriamanitra manankarempahasoavana anie hamaly soa sy hanafy fanambinana anareo.

REMERCIEMENTS

Au terme de ce modeste travail, nous tenons à exprimer nos remerciements les plus sincères :

Monsieur RAVELOMANANA Mamy Raoul, Président de l'université d'Antananarivo qui m'ont permis de poursuivre mes études au sein de cette honorable Université ;

Monsieur le Docteur RAJAONARISON Eddie Franck, Directeur de l'Institut d'Enseignement Supérieur Antsirabe Vakinankaratra, qui contribue à la bonne gestion, à l'amélioration de l'enseignement et qui n'a pas économisé son temps ni ses efforts pour le bien de l'institut ;

Madame RANAIVOSOA Mamitiana Lalaonirina Olivette, enseignant et Responsable de la Mention Automatisation et Informatique de l'IES-AV, par ces efforts pour la gestion de la mention, leur conseil et appuis précieux ;

Monsieur RASAMIMANANA François de Salle, encadreur pédagogique pour ces conseils et appuis précieux ;

Le président et les membres du jury pour l'honneur que nous ont faits pour évaluer notre travail ;

L'équipe professorale et Administrative de l'IES-AV; à la mention automatisme et informatique et surtout au parcours AEII par leur accueil, leur aptitude pour nous enseigner pendant ces 5 ans ;

Ma famille qui ont été toujours présents à mes côtés par leurs prières, soutien, aide financière et encouragements, on a pu surmonter tous les obstacles ;

Que tous ceux qui nous ont aidés, de près ou de loin, à mener à bout ce travail, trouvent ici l'expression de notre reconnaissance et notre profonde gratitude.

Merci à toutes et à tous.

TABLE DES MATIERES

FISAORANA	i
REMERCIEMENTS.....	ii
TABLE DES MATIERES	iii
NOTATIONS.....	vi
LISTES DES TABLEAUX ET DES FIGURES	ix
INTRODUCTION ET POSITION DU PROBLÈME.....	1
CHAPITRE 1 : SERRE ET SON CLIMAT	2
1.1 Introduction :	2
1.2 Serres agricoles	2
1.2.1 Définition	2
1.2.2 Intérêt de la serre	2
1.2.3 Choix de la serre et de sa couverture	3
1.2.4 Classification des serres.....	3
1.3 Type de ventilation de la serre.....	6
1.3.1 Ventilation naturelle.....	6
1.3.2 Ventilation forcée.....	7
1.4 Les équipements d'une serre	7
1.4.1 Les actionneurs	7
1.4.2 Extracteurs	8
1.4.3 Double paroi gonflable	8
1.4.4 Les Capteurs.....	12
1.5 Le Micro climat de la serre	18
1.5.1 Intérêts de la détermination du microclimat.....	18
1.5.2 La température.....	19
1.5.3 L'effet de serre	19
1.5.4 L'humidité.....	20
1.5.5 Le Rayonnement	21
1.5.6 Le gaz carbonique.....	22
1.6 Conclusion	22

CHAPITRE 2 DESCRIPTION DU SYSTEM A REALISER.....	23
2.1 Introduction.....	23
2.2 Schéma synoptique	23
2.3 Choix de la solution technologique.....	24
2.4 Partie commande	24
<i>2.4.1 Etude des microcontrôleurs.....</i>	<i>24</i>
<i>2.4.2 Choix du microcontrôleur</i>	<i>25</i>
<i>2.4.3 L'arduino</i>	<i>26</i>
<i>2.4.4 Le bus I²C.....</i>	<i>30</i>
<i>2.4.5 Les ports de communications</i>	<i>31</i>
<i>2.4.6 Afficheur (LCD) [2.08].....</i>	<i>32</i>
<i>2.4.7 Définition de l'interface I2C</i>	<i>35</i>
<i>2.4.8 Spécification sur l'interface I2C</i>	<i>35</i>
<i>2.4.9 Objectif de l'installation de l'afficheur LCD 20*4 avec interface I2C</i>	<i>35</i>
<i>2.4.10 Combinaison de i2C et l'écran LCDS.....</i>	<i>36</i>
2.5 Programmation du microcontrôleur.....	37
2.6 Capteurs utilisés.....	37
2.7 Partie puissance	41
<i>2.7.1 Le Moteur pas-à-pas</i>	<i>41</i>
<i>2.7.2 Horloge.....</i>	<i>44</i>
2.8 LEDs photosynthétique	46
<i>2.8.2 Potentiels des LEDs comme sources d'éclairage en horticulture</i>	<i>47</i>
<i>2.8.3 Chauffage.....</i>	<i>52</i>
<i>2.8.4 Le relais</i>	<i>53</i>
2.9 Contacteur électrique	54
<i>2.9.1 Introduction</i>	<i>54</i>
<i>2.9.2 Constitution et fonctionnement.....</i>	<i>55</i>
<i>2.9.3 Symboles.....</i>	<i>56</i>
<i>2.9.4 Choix d'un contacteur</i>	<i>57</i>
<i>2.9.5 L'alimentation.....</i>	<i>59</i>
2.10 Protection de l'armoire électrique et du réparateur.....	61
<i>2.10.1 Protection contre le cours circuit</i>	<i>61</i>
<i>2.10.2 Protection contre le cours circuit</i>	<i>63</i>
<i>2.10.3 Les fusibles.....</i>	<i>63</i>

2.10.4 Protection contre la surcharge	64
2.11 Conclusion	65
CHAPITRE 3 REALISATION PROPUREMENT DITE ET AU TEST EXPERIMENTAL	66
3.1 Introduction.....	66
3.2 Réalisation de l'aquarium	66
3.2.1 Construction de l'aquarium	66
3.2.2 Armoire électrique	68
3.2.3 Montage des capteurs et actionneurs	68
3.2.4 Montage de la partie électrique	69
3.3 Organigramme générale du système.....	70
3.3.1 Organigramme de la carte de commande	70
3.4 Schéma électrique	72
3.4.2 Fonctionnement.....	73
3.5 La carte de commande	74
3.5.1 Les composants constituant la carte de commande :.....	74
3.5.2 Schéma de câblage de la carte de commande	74
3.6 Le projet final.....	74
3.7 Evaluation des performances du système.....	75
3.7.1 Evolution des paramètres climatique sans control.....	75
3.7.2 Evolution des paramètres climatique avec contrôle	77
3.8 Etude socioéconomique	78
3.9 Conclusion	79
CONCLUSION ET PERSPECTIVES	80
ANNEXES	xii
REFERENCES	xv
FICHE DE RENSEIGNEMENTS	xx

NOTATIONS

1. Minuscules latines

k kilos

h heure

2. Majuscules latines

K Kelvin

P Puissance

V Volte

Q Quantité

W Watt

A Ampère

L litre

3. Majuscules grecques

Ω Omega

4. Minuscules grecques

∂ Gama

μ Mucron

5. Notations spéciales

%	Pourcentage
°C	Degré Celsius
m ²	Mètre carré
CO ₂	Dioxyde de Carbone
MHz	Méga Hertz

6. Abréviations

LED	Diode Electro-Luminescent
LCD	Liquid Crystal Display
SHP	Lampe é Sodium Haute Pression
ILS	Interrupteur à Lampe Souple
TOR	Tout Ou Rien
RAM	Random Access Memory
EEPROM	Erase Programable read Only Memory
DRV	Driver
GND	Ground
NO	Normalement Ouvert
NF	Normalement Fermer
AC	Alternaing Current
JIRAMA	Jiro sy RAno MAlagasy
USB	Universal Serial Bus
DC	Direcing Current
SDL	Serial Data Line
SCL	Serial Clock Line

PC	Personal Computer
RS	Registre Select
E	Eneble
TWI	ToWer Interface
TWSI	ToWer Serial Interface

LISTES DES TABLEAUX ET DES FIGURES

1. Liste des tableaux

Tableau 2.01 : Etude comparative de quelques microcontrôleurs disponibles sur le marché	26
Tableau 2.02 : Précision caractéristique du capteur DS18B20.	39
Tableau 2.03 : Caractéristique du moteur agitateur.....	44
Tableau 2.04 : caractéristique du module horloge	46
Tableau 2.05 : Effets de l'éclairage sur certaines plantes	49
Tableau 2.06 : Précision caractéristique Du LED utilisé.....	51
Tableau 2.07 : caractéristique de la résistance chauffante.	53
Tableau 2.08 : Exemple pour catégorie AC1.	58
Tableau 2.09 : caractéristique du disjoncteur.....	62
Tableau 2.10 : Caractéristique des fusibles.....	63
Tableau 2.11 : caractéristique du relais thermique.....	64
Tableau 3.01 : Etude socioéconomique.....	78

2. Liste des figures

Figure 1.01 : Une serre tunnel.	3
Figure 1.02 : Une serre multi-chapelle [11].	4
Figure 1.03 : Une aération uniforme située sur le faîtage[1.09].	5
Figure 1.04 : Ouverture par déplacement vertical [1.09].	5
Figure 1.05 : Une serre jardin [1.10].	6
Figure 1.06 : Un chauffage d'air [1.12].	7
Figure 1.07 : Un Extracteur [14].	8
Figure 1.08 : Une double paroi gonflable [1.12].	9
Figure 1.09 : Un système de réfrigération (Cooling) [1.12].	9
Figure 1.10 : Un brasseur d'air [1.12].	10
Figure 1.11 : Un fog système [1.12].	10
Figure 1.12 : Eclairage LED dans une serre agricole [1.13].	11
Figure 1.13 : Une lampe de sodium haute pression (SHP) [1.14].	12
Figure 1.14 : Une lampe fluorescente [1.13].	12

Figure 1.15 : Un anémomètre et son schéma de fonctionnement [1.15].....	13
Figure 1.16 : Un pluviomètre à augets électronique [1.16].....	14
Figure 1.17 : Une girouette [1.17].....	15
Figure 1.18 : Un capteur d'humidité volumique d'un substrat [1.18].....	16
Figure 1.19 : Capteur de température et d'humidité combinés (AFTF-35) [1.19].....	16
Figure 1.20 : Une sonde de dioxyde de carbone GMP252 [1.20].....	17
Figure 1.21 : Principe de fonctionnement d'un capteur de CO2 [1.22].	18
Figure 2.01 : Schéma synoptique du dispositif à réaliser.....	23
Figure 2.02 : Système Arduino	26
Figure 2.03 : La carte Arduino UNO	29
Figure 2.04 : Architecture I ² C avec plusieurs maîtres et plusieurs esclaves.....	31
Figure 2.05 : Constitution de la carte Arduino UNO	32
Figure 2.06 : LCD alphanumérique.....	33
Figure 2.07 : Schéma synoptique de l'afficheur.....	34
Figure 2.08 : interface I2C	35
Figure 2.09 : Montage du Module I2C avec l'afficheur LCD	36
Figure 2.10 : Montage du Module I2C avec l'afficheur LCD	36
Figure 2.11 : Mode d'alimentation alimentation extérieure.....	38
Figure 2.12 : Mode d'alimentation par une alimentation parasite	38
Figure 2.13 : Photo réel de notre capteur de température DS18B20 de notre projet.	40
Figure 2.14 : Représentation de la fonction 1Wire [32].....	40
Figure 2.15 : Image réel de l'agitateur de la serre.....	42
Figure 2.16 : Stepper moteur.....	42
Figure 2.17 : Le driver drvL298N	43
Figure 2.18 : L'horloge temps réel de la serre.	44
Figure 2.19 : Connecteur vu de dessous.....	46
Figure 2.20 : LEDs de photosynthèse	47
Figure 2.21 : LEDs de photosynthèse sur le banc d'essai.....	51
Figure 2.22 : La résistance de chauffage.....	52
Figure 2.23 : . Le relai utilisé dans notre projet.	53
Figure 2.24 : Visuels de contacteurs.	55
Figure 2.25 : Vue des éléments intérieurs d'un contacteur.....	55
Figure 2.26 : Exemples de symboles de contacteur de puissance.....	56
Figure 2.27 : Le contacteur LC1 D12 de notre projet TELEMECANIQUE.	59

Figure 2.28 : Alimentation en 5voltes DC.	60
Figure 2.29 : Alimentation en 12voltes DC.	60
Figure 2.30 : La pond à diodes sur le banc d'essaye.	61
Figure 2.31 : Le disjoncteur GV1- M08 DU TELEMECANIQUE.	62
Figure 2.32 : Les fusibles SOCOMEC.	63
Figure 2.33 : Le relais thermique de la serre agricole.	64
Figure 3.01 : représente la structure immobile de l'aquarium	66
Figure 3.02 : représente la partie mobile de l'aquarium	67
Figure 3.03 : Armoire électrique de commande de l'aquarium	68
Figure 3.04 : Les actionneurs et capteur e la serre	69
Figure 3.05 : Armoire électrique de commande de la serre aquarium	70
Figure 3.06 : L'organigramme du programme	71
Figure 3.07 : Schéma de commande de la résistance chauffante	72
Figure 3.08 : Schéma de puissance de la résistance chauffante	73
Figure 3.09 : Schéma de câblage de la carte de commande	74
Figure 3.10 : Description des différents composants de La serre	75
Figure 3.11 : Evolution de la température intérieure sans contrôle.....	76
Figure 3.12 : Evolution de la température extérieure de la serre	76
Figure 3.13 : Evolution de la de la régulation de température de la serre.....	77

INTRODUCTION ET POSITION DU PROBLÈME

La sécurité et l'autosuffisance alimentaire restent des défis majeurs pour de nombreux pays, notamment à Madagascar, en Afrique Sub-Saharienne et en Asie du Sud-Est. Les conflits et l'instabilité politique sont bien entendus les principaux verrous mais la Croissance démographique mondiale et la diminution des terres cultivables constituent également des freins pour atteindre ces objectifs.

L'instabilité climatique due à la destruction de l'environnement empêche les cultivateurs traditionnels de produire suffisamment de récolte pour les habitants. Et par conséquent la mal nutrition, la sous nutrition au sud de l'Ile.

Par ailleurs, les méthodes agricoles actuelles telles que l'utilisation des engrais, des pesticides ont des effets néfastes sur l'environnement (destructions des écosystèmes, pollution des sols et des nappes phréatiques) et sur la santé humaine (allergies, fertilité, perturbateurs endocriniens, cancers [1.01], intoxications alimentaires).

La culture traditionnelle de la micro algue spiruline qui est utilisée pour concevoir des médicaments contre plusieurs maladies, mais surtout utilisée à combattre la mal nutrition et la sous nutrition rencontre de grand problème due à l'instabilité climatique.

Ce travail est la mise en œuvre d'une grande alternative par la modification génétique ou culture en milieu contrôlé du micro algue Spiruline Plantesis. Celle-ci, sous un aquarium de quarante (40) litres, plus sophistiqués en intégrant des outils informatiques et électroniques de pointe. Dans ces processus d'automatisation, le but c'est d'avoir une gestion optimale et précise des paramètres climatiques (température, lumière, agitation...) qui sont des facteurs majeurs pour assurer une bonne rentabilité aux producteurs et aussi de récolter de la spiruline de façon illimitée indépendamment de la saison. Ces paramètres climatiques artificiels pour la culture des plantes sont des paramètres importants qui déterminent la croissance mais aussi le goût et la qualité nutritionnelle de la culture.

Ce travail est structuré en trois chapitres :

- Le premier chapitre donne un aperçu sur la serre et son climat ;
- Ensuite la description du système à réaliser ;
- Le troisième chapitre est consacré à la réalisation proprement dite et au test expérimental.

CHAPITRE 1 : SERRE ET SON CLIMAT

1.1 Introduction :

Dans ce chapitre, nous présenterons une vue globale sur les différents types de serres agricoles, ainsi que les équipements et outils qui nous permettent de contrôler et de gérer les paramètres climatiques, en les maintenant aux voisinages des consignes tout en s'affranchissant des paramètres climatiques externes.

Ces consignes sont définies pour atteindre les deux objectifs suivant : maximiser la production sous serre et protéger la culture sous abri contre les maladies fortuites lors de sa croissance [1.02] [1.03].

La serre est conçue comme une enceinte limitée par une paroi transparente, protégée de certains effets indésirables du climat extérieur, créant alors des conditions peu favorables aux cultures. Le recours aux techniques de régulation automatique a permis de réaliser les objectifs techniques et économiques par le producteur tels que :

- Obtenir les meilleurs rendements.
- Optimiser la qualité de production.
- Rationaliser la consommation d'énergie. Gérer le planning de production.

On se tourne alors vers la micro-informatique, pour maîtriser aisément la conduite climatique sous serre.

1.2 Serres agricoles

1.2.1 Définition

Une serre est une structure qui peut être parfaitement close. Elle est destinée en général à la production agricole. L'objectif est de créer un environnement propice à leur développement en tirant parti de l'influence du climat , en créant un micro climat, pour une meilleure gestion des besoins des plantes , pour en accélérer la croissance ou pour les produire indépendamment des saisons [1.04] [1.05].

1.2.2 Intérêt de la serre

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

La serre permet ainsi d'obtenir une production végétale dans des conditions meilleures que celles existantes naturellement et ce par une meilleure qualité du produit. Pour aboutir à ces résultats, il faut répondre minutieusement aux exigences de la culture pour les différents facteurs intervenant dans sa croissance et son développement. Ceci suppose la connaissance des interactions entre ces divers paramètres [1.06].

1.2.3 Choix de la serre et de sa couverture

Les principaux critères de choix d'une serre et sa couverture sont [1.07]:

- La transmission au rayonnement utile à la photosynthèse (pour améliorer le potentiel de production).
- La solidité et la durabilité.
- Les économies d'énergie et le cout.

1.2.4 Classification des serres

La classification des serres est complexe et difficile. Elle est souvent faite selon les formes données par les cadres porteurs qui constituent l'assemblage. On distingue deux principaux types appartenant à deux grandes familles de serres : les serres tunnels et les serres chapelles [1.07].

1.2.4.1 Serres tunnels :

Une serre tunnel (Figure 1.01) est formée de plusieurs grands arceaux métalliques, recouverts d'un film souple en plastique transparent, qui lui donne la forme d'un tunnel ! Les dimensions de la serre dépendent des besoins du jardinier [1.08].



Figure 1.01 : Une serre tunnel.

❖ Caractéristiques des serres tunnels

- La hauteur varie généralement entre 2 et 2,50 mètres.
- La largeur se situe entre 3 et 5 mètres.
- Une surface au sol minimale de 6 m².

- La deuxième porte est nécessaire dès que la **serre tunnel** dépasse les 6 mètres de long.

1.2.4.2 Serres multi-chapelle

Les différentes pièces qui composent la structure de la gamme à serres Multi-chapelle (Figure 1.02) sont conçues pour être parfaitement assemblées grâce à des joints vissés qui simplifient le montage tout en absorbant idéalement les différentes forces qui ont un impact sur la structure. Elles sont très demandées pour leur robustesse et leur grande capacité d'adaptation aux dimensions et aux caractéristiques du terrain [1.09].



Figure 1.02 : Une serre multi-chapelle [11].

❖ Caractéristiques des serres multi-chapelle

1. Matériaux de revêtement :
 - Film plastique.
 - Matériaux semi-rigides
 - Plaque rigide
2. Les éléments en aluminium et les profils d'ancrage.
3. Un volume intérieur important.
4. L'inclinaison des arceaux permettant de tirer le meilleur parti des rayons solaires.

- Aérations au faîtage (Figure 1.03).



Figure 1.03 : Une aération uniforme située sur le faîtage[1.09].

- Aérations latérales (Figure 1.04).



Figure 1.04 : Ouverture par déplacement vertical [1.09].

1.2.4.3 Serre de jardin

C'est un petit modèle, parfait pour faire pousser des plantes, idéale pour protéger ses plantes en hiver, récolter des fruits et légumes toute l'année ou réaliser des semis sous abri, Une serre peut être construite avec divers matériaux et selon différentes formes, même avec des matériaux de récupération [1.10] (figure 1.05).



Figure 1.05 : Une serre jardin [1.10].

❖ Caractéristiques d'une serre de jardin

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

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

2. Les matériaux fréquemment utilisés pour les panneaux de la serre :

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

1.3 Type de ventilation de la serre

La température et le taux d'humidité à l'intérieur d'une serre dépendent de son aération. Il s'agit d'un processus complexe qui participe à l'essentiel des échanges de chaleur avec l'extérieur, sa maîtrise permet donc de contrôler certains paramètres essentiels au bon fonctionnement de la serre telle que la température, l'humidité, ou les concentrations de gaz comme le CO₂ [1.11].

1.3.1 Ventilation naturelle

La ventilation naturelle est le système le plus économique pour régler le microclimat interne de la serre. Il s'agit des ouvrants disposés sur la structure. Les ouvertures doivent représenter environ 20% de la surface au sol et avoir un angle d'ouverture assez important pour permettre à l'air de bien circuler. Par le toit, une installation de l'ouvrant côté Nord est préconisée, les ouvertures au plafond permettent à l'air de se mélanger correctement dans la serre.

Ne négligez pas les ouvertures sur les côtés au niveau des plantes qui augmenteront l'efficacité de l'ouvrant du toit et qui moduleront la ventilation. La circulation de l'air sera alors optimale, créant un circuit interne autorégulé.

Au printemps et en été on peut bien évidemment, ajouter l'ouverture totale des portes pour faire encore baisser la température interne [1.11].

1.3.2 Ventilation forcée

La ventilation forcée nécessitera une installation électrique spécifique dans la serre : Boîtiers électriques avec protection des circuits, démarreurs, lignes, canaux électriques ... Par la suite vous pourrez installer votre ventilateur, il s'agit habituellement d'un ventilateur de type hélicoïdal avec des persiennes, fonctionnant en mode extracteur d'air.

Par son action ces types de ventilateurs fournissent le renouvellement du volume d'air logé dans la serre et permettent l'extraction du CO₂ et le rééquilibrage du climat général. Ces ventilateurs doivent de préférence être installés à l'opposé des vents dominants.

Ce type d'installation est adéquat pour suppléer le fonctionnement de l'aération naturelle dans les serres, garantissant l'aération à des moments déterminés pendant lesquels les conditions environnementales ne conviennent pas aux cultures (fort enneigement empêchant l'ouverture, vent violent) [1.11].

1.4 Les équipements d'une serre

1.4.1 Les actionneurs

1.4.1.1 Générateur d'air

Les générateurs d'air chaud (Figure 1.06) sont spécialement indiqués lorsqu'il n'existe pas de demande de chauffage importante de façon continue et comme défense ponctuelle face aux gelées. Avec ce système, il est possible d'obtenir une précocité et productivité majeure dans les saisons froides, avec un degré de technicité moyen [1.12].



Figure 1.06 : Un chauffage d'air [1.12].

1.4.2 Extracteurs

Les ventilateurs extracteurs (Figure 1.07) permettent de forcer l'aération dans la serre lorsque la ventilation naturelle à travers les ouvrants du toit et/ou du périmètre ne permet pas d'atteindre le taux de renouvellement d'air désiré.

Il s'agit d'un besoin essentiel dans la production de culture et dans les fermes d'élevage.

Ils sont indispensables pour un système de refroidissement avec des panneaux évaporateurs et souvent aussi avec des systèmes de brumisation d'eau afin d'obtenir un certain niveau de réfrigération adéquat [1.12].

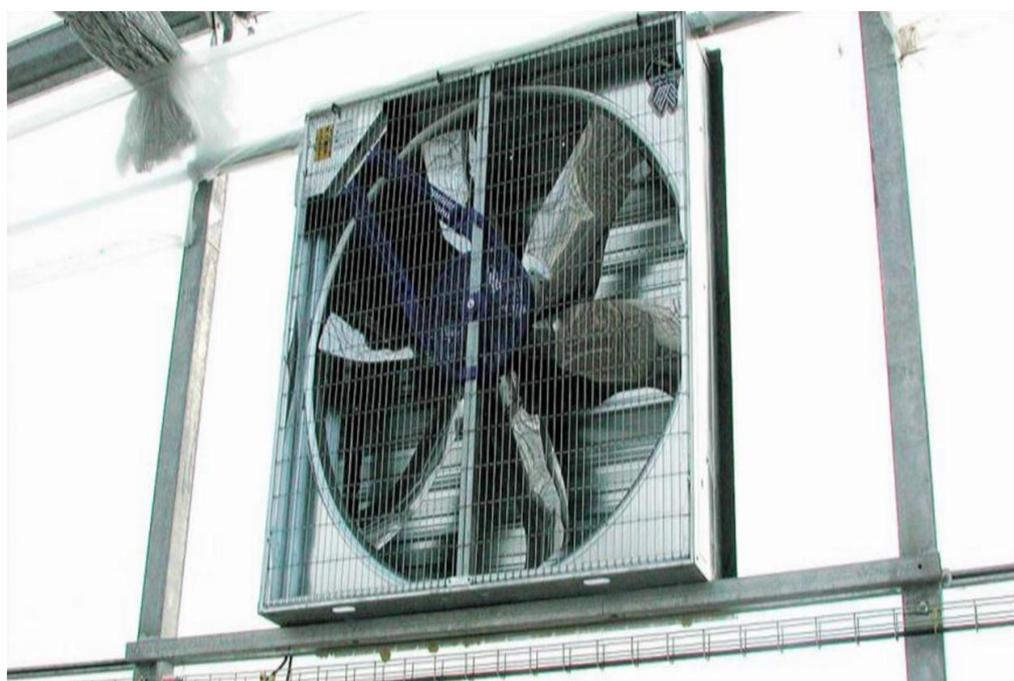


Figure 1.07 : *Un Extracteur [14].*

1.4.3 Double paroi gonflable

Le système de double paroi gonflable (Figure 1.08) se base dans la création d'une chambre d'air entre deux couches de film plastique. La chambre d'air est gonflée avec de petits ventilateurs qui insufflent l'air dans la chambre à travers des tuyaux en PVC.

Cela permet de créer une chambre qui réduit le coefficient de transmission de chaleur vers l'extérieur pour obtenir une économie considérable d'énergie et un contrôle de la température [1.12].



Figure 1.08 : Une double paroi gonflable [1.12].

1.4.3.2 Le système de réfrigération (Cooling)

Ce système de réfrigération par évaporation d'eau (Figure 1.09) est composé d'extracteurs et de panneaux de refroidissement placés sur les parois opposées de la serre pour créer une zone de pression négative dans la serre. Cela permet que l'air extérieur qui traverse les panneaux humides en se chargeant avec des molécules d'eau, afin de se refroidir et de réduire ainsi la température à l'intérieur de la serre [1.12].



Figure 1.09 : Un système de réfrigération (Cooling) [1.12].

1.4.3.3 Brasseur d'air

Les brasseurs d'air ou ventilateurs (Figure 1.10) permettent d'obtenir un mouvement de l'air pour aider à maintenir un climat intérieur homogène, de façon à éviter l'accumulation d'air chaud dans la partie supérieure de la serre, ce qui réduit considérablement l'effet de condensation de l'eau et favorise la transpiration et l'absorption de CO_2 par les cultures.

Ils peuvent aussi être employés comme soutien des extracteurs ou bien comme systèmes d'humidifications ou d'application de traitements [1.12].



Figure 1.10 : Un brasseur d'air [1.12].

1.4.3.4 Le fog system

Il s'agit d'incorporer un grand nombre de micro particules d'eau qui restent suspendus dans l'air de la serre pendant assez de temps pour s'évaporer sans mouiller les cultures. L'eau est incorporée sous forme de brouillard par des buses spéciales distribuées uniformément tout le long de la surface de la serre.

Le Fog System (Figure 1.10) est très pratique pour humidifier et refroidir de façon contrôlée la serre en ayant aussi la possibilité d'effectuer des traitements de désinfection avec des produits phytosanitaires solubles [1.12].



Figure 1.11 : Un fog système [1.12].

1.4.3.5 Système d'éclairage

La lumière du soleil constitue la source de lumière la moins chère pour la croissance des plantes mais elle n'est pas toujours disponible. Grâce à une lumière d'intérieur, il est possible de mieux maîtriser la croissance des plantes et d'assurer une production effective tout au long de l'année.

→ L'éclairage LED

La technologie LED (Figure 1.12) a de plus en plus de succès comme source d'éclairage innovante dans le secteur mondial de l'horticulture sous serre. L'avenir des lampes LED est prometteur. L'éclairage par LED permet déjà actuellement une efficacité supérieure de 30 à 46%. Ceci s'explique par le fait que les plantes utilisent l'énergie émise par la technologie LED de manière plus efficace que l'énergie émise par les lampes SON-T classiques. Les chiffres sont encore plus impressionnants en matière d'économie d'énergie : la différence avec les lampes classiques peut dans certains cas s'élever à 80% [1.13].



Figure 1.12 : *Eclairage LED dans une serre agricole [1.13].*

❖ Avantages de l'éclairage LED

- Les lampes LED ont par ailleurs une durée de vie prolongée par rapport aux autres lampes.
- L'installation d'éclairage de croissance avec des LED peut très bien être montée entre les plantations.
- Les lampes LED sont très efficaces et économes en énergie.

→ Éclairage par lampe de sodium haute pression (SHP)

Les lampes à sodium haute pression (SHP) (Figure 1.13) produisent une lumière plus rouge, qui peut être comparée à la lumière naturelle d'un coucher de soleil en automne. Une couleur plus jaune/rouge du spectre et moins bleue favorise une fleur haute par rapport aux feuilles.

Les lampes à sodium haute pression sont utilisées pendant les heures de faible luminosité ou de totale obscurité [1.14].

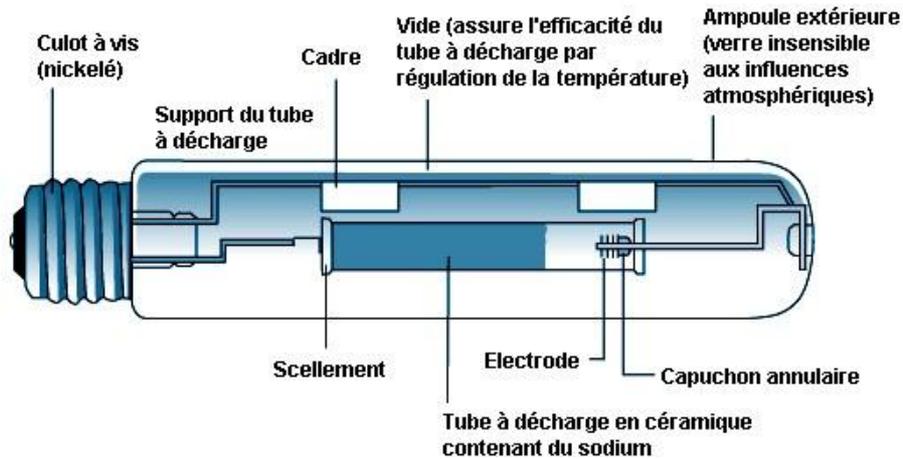


Figure 1.13 : Une lampe de sodium haute pression (SHP) [1.14].

→ Eclairage par lampes fluorescentes

Les lampes fluorescentes (Figure 1.14) présentent une intensité plus faible que les lampes au sodium. Comme elles ne dégagent pas beaucoup de chaleur, elles n'assèchent pas le support de croissance lorsqu'elles sont placées à proximité de la plante. Elles sont donc idéales pour la propagation et la croissance végétative précoce. Ainsi ne dégageant pas beaucoup de chaleur, elles peuvent être placées à environ 2,5 cm des plantes, sans nécessiter la présence d'un système d'aération pour éliminer la chaleur excessive [1.13].

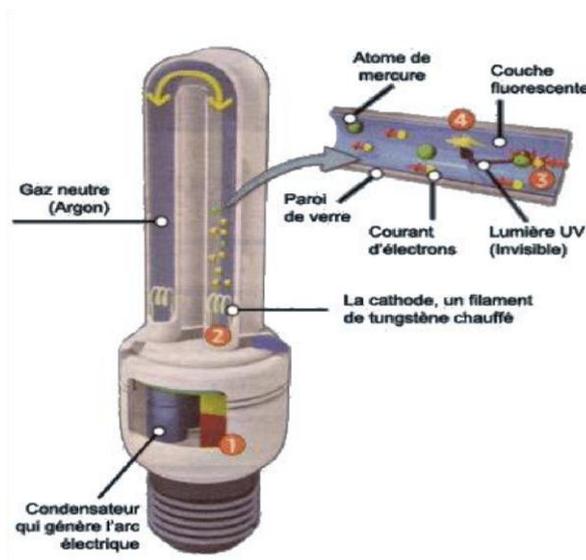


Figure 1.14 : Une lampe fluorescente [1.13].

1.4.4 Les Capteurs

Un capteur transforme une grandeur physique en une grandeur normée, généralement électrique, qui peut être interprétée par un dispositif de contrôle commande. Le capteur se distingue de l'instrument de mesure par le fait qu'il ne s'agit que d'une simple interface entre un processus physique

et une information manipulable. Par opposition, l'instrument de mesure est un appareil autonome se suffisant à lui-même, disposant d'un affichage ou d'un système de stockage des données. Le capteur, lui, en est dépourvu.

Voici quelques capteurs industriels utilisés dans le domaine des serres agricoles :

1.4.4.1 L'anémomètre

Ce capteur (Figure 1.15) mesure la vitesse de l'air et le débit volumétrique. Il permet de mesurer la force éolienne et la vitesse de circulation de l'air. Il est muni d'un capteur mécanique de type éolien qui tourne en fonction de la puissance du vent. La vitesse de rotation de l'hélice est proportionnelle à la vitesse du vent [1.15].

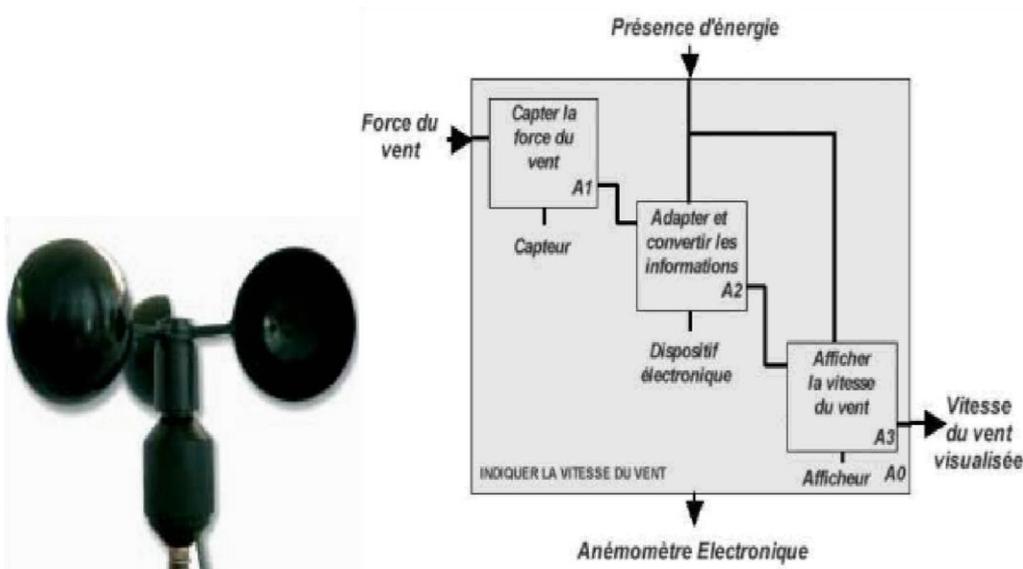


Figure 1.15 : Un anémomètre et son schéma de fonctionnement [1.15]

❖ Principe de fonctionnement

L'anémomètre est un appareil doté d'un chapeau à 3 coupelles ayant une prise au vent. Il tourne grâce à une liaison pivot sur un axe. Ce système se compose de deux composants :

- D'un moulinet se caractérisant d'un support à 4 aimants, fixé au bâti du chapeau de l'anémomètre en suivant ainsi la rotation des coupelles et donc du vent.
- Un interrupteur à lame souple (I.L.S) qui se compose de deux lames d'aciers se situant dans les champs magnétiques d'un tube de verre. Cet interrupteur est intérieurement fixé par rapport

au bâti du chapeau de l'anémomètre. Cet I.L.S est directement relié au boîtier de commande de l'anémomètre.

Le moulinet agit donc sur l'interrupteur grâce à un phénomène physique de polarisation et de dépolarisation (impulsions électriques), provoqué par les aimants, et du au champ magnétique présent dans le tube de l'I.L.S.

Le signal électrique T.O.R (Tout ou Rien) de l'anémomètre est caractérisé par la superposition des lames d'acier de l'I.L.S. Lorsque les lames se polarisent, elles se touchent et envoient ce signal [1.15].

1.4.4.2 Le pluviomètre

Le pluviomètre (Figure 1.16) est un instrument météorologique servant à mesurer la quantité de précipitation tombée à un endroit donné pendant une période précise. La hauteur du niveau d'eau est habituellement indiquée en millimètres. Elle donne la quantité de précipitation pour un mètre carré [1.16].



Figure 1.16 : Un pluviomètre à augets électronique [1.16].

❖ Principe de fonctionnement

L'appareil de mesure avec les augets recueille l'eau issue de l'entonnoir. Sur le centre des augets un petit aimant est fixé, il actionne un ILS (interrupteur lame souple) qui se trouve derrière. Un condensateur est branché en parallèle pour temporiser la durée du contact. L'auget se vide dans le fond et l'eau est évacuée à l'extérieur. Un niveau à bulle permet de régler une

parfaite horizontalité. A chaque basculement de l'auget une impulsion est générée, elle correspond à 0,2mm. Il est possible de procéder à un étalonnage à l'aide de vis de réglage, elles permettent de remplir plus ou moins les augets [1.16].

1.4.4.3 Girouette

Une girouette (Figure 1.17) est un dispositif généralement métallique, la plupart du temps installé sur un toit, constitué d'un élément rotatif monté sur un axe vertical fixe. Sa fonction est de montrer la provenance du vent ainsi que son origine cardinale [1.17].

Ceci est permis par sa structure asymétrique, généralement matérialisée par une flèche ou un coq.



Figure 1.17 : Une girouette [1.17].

❖ Principe de fonctionnement

Lorsque le vent change de direction, il pousse sur la grosse partie de la flèche (l'arrière) jusqu'à ce qu'elle soit alignée avec le vent (parallèle au vent). Cela a pour conséquence de faire pointer la flèche dans la direction d'où provient le vent.

On se réfère alors aux quatre principaux points cardinaux pour juger de la direction d'où vient le vent. On place habituellement la girouette à 10 m du sol [1.17].

1.4.4.4 Capteurs d'humidité volumétrique

Les capteurs d'humidité volumétrique (Figure 1.18) sont insérés dans le substrat et mesurent l'humidité volumétrique du substrat en contact avec les capteurs. La zone de détection des capteurs varie entre 1 et 4 pouces de longueur (selon le modèle et le type de capteur) [1.17].



Figure 1.18 : Un capteur d'humidité volumique d'un substrat [1.18].

❖ Principe de fonctionnement

Il existe deux principaux types de capteurs qui mesurent l'humidité volumétrique dans les substrats : les capteurs TDR (réflectométrie de domaine temporel) et les capteurs de capacitance.

Les deux types de capteurs mesurent le constant diélectrique du substrat. Le constant diélectrique est de 1 pour l'air, de 3-5 pour les sols minéraux et de 80 pour l'eau. Ainsi, tout changement de l'un ou l'autre de ces trois paramètres changera le constant diélectrique du substrat [1.17].

1.4.4.5 Température et humidité combinées (AFTF-35)

Les sondes d'humidité de la série AFTF-35 (système de mesure d'humidité chauffée) (Figure 1.19) servent à la mesure de l'humidité relative et de la température dans l'air ambiant. Ce Capteur / Sonde combine humidité et température pour montage mural ou en saillie, avec chauffage intégré (résistante à la condensation) pour haute humidité. Avec deux sorties analogiques : 0-10V, une précision jusqu'à 2% H.R, sur une plage de mesure de 0...100% H.R. et une plage de mesure pour la température de 0...+50°C [1.19].



Figure 1.19 : Capteur de température et d'humidité combinés (AFTF-35) [1.19].

❖ Principe de fonctionnement

Le principe de fonctionnement est très simple, le capteur est chauffé par un " chauffage " à une température se situant à environ 2K au-dessus de la température ambiante. Le chauffage intégré en fait des sondes résistantes à la condensation ! Cette résistance à la condensation en fait un outil indispensable dans les milieux humides tels que les piscines etc...Elles convertissent ces valeurs mesurées dans un signal normalisé de 0 à 10 V [1.19].

1.4.4.6 Sonde de dioxyde de carbone GMP252

La sonde de dioxyde de carbone GMP252 (Figure 1.20) est une sonde intelligente et autonome pour la mesure du CO₂ dans l'agriculture, les installations de réfrigération, les serres et les applications CVC exigeantes. Elle convient à des milieux de mesure de CO₂ difficiles et humides, pour lesquels il est nécessaire d'avoir des mesures stables et précises du niveau de CO₂ en ppm [1.20].



Figure 1.20 : Une sonde de dioxyde de carbone GMP252 [1.20].

- Plage de mesure de 0... à 10 000 ppm de taux de CO₂
- Peut être utilisée pour des mesures allant jusqu'à 30 000 ppm de taux de CO₂ avec une précision réduite
- Sonde intelligente et autonome avec sorties analogiques (V, mA) et numériques (RS485 avec le protocole Vaisala ou Modbus)
- Large plage de températures de fonctionnement de -40... à +60 °C
- Compensation de pression et de température
- Tête du capteur chauffée pour éviter la condensation

❖ Principe de fonctionnement

La concentration du CO₂ dans l'air est mesurée avec des capteurs optiques, cette technologie de mesure se base sur la quantité de lumière absorbée par le gaz. Les molécules de CO₂ absorbent la

lumière dans une longueur d'onde spécifique (4.26 μ m), en mesurant cette absorption nous pouvons déterminer la concentration du CO₂ [1.22].

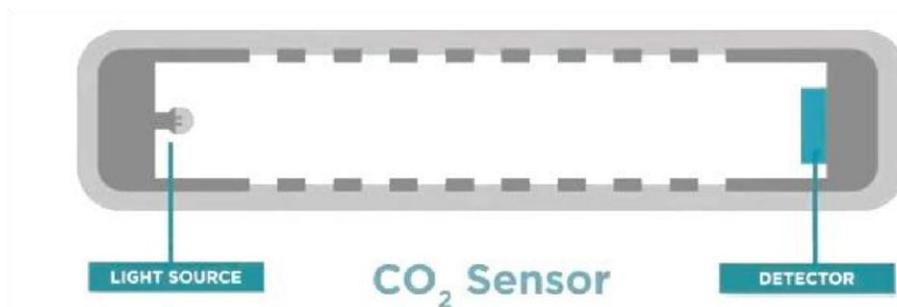


Figure 1.21 : Principe de fonctionnement d'un capteur de CO₂ [1.22].

1.5 Le Micro climat de la serre

Les facteurs climatiques qui influent le plus sur le climat à l'intérieur de la serre sont la température, l'humidité de l'air, le rayonnement solaire et le vent extérieur. En réalité, chacun de ces facteurs engendre une combinaison d'effets qui peuvent être favorables ou non au fonctionnement de la serre selon les conditions locales qui prévalent. En Algérie, les aires climatiques sont très diversifiées et le climat varie de type méditerranéen au type saharien. Au nord, les hivers pluvieux et froids, les étés chauds et secs tandis qu'au sud, les températures sont très élevées le jour (35°) et très bas la nuit (0°) et l'aridité des sols est extrême [23].

La température et l'humidité interviennent de façon prépondérante dans la croissance et le développement de la végétation puisque les espèces pour lesquelles sont mises en œuvre les techniques de cultures protégées sont essentiellement des espèces de saison chaude adaptées à des températures moyennes mensuelles de l'air situant entre 17°C et 28°C [1.07], ce qui correspond aux conditions limites ci-après :

- Moyenne mensuelle des températures minimales : 12°C
- Moyenne mensuelle des températures maximales : 32°C

1.5.1 Intérêts de la détermination du microclimat

Pour répondre à ces besoins, de nouveaux outils et techniques de production ont été développés. L'outil serre et ses équipements de chauffage permettent de mieux gérer la croissance des plantes car la gestion du climat est maîtrisée.

Pour une croissance optimale, il y a la nécessité d'un climat maîtrisé. Plusieurs paramètres du climat influencent fortement la croissance de la plante.

1.5.2 La température

Le contrôle adéquat de la température est le facteur le plus important pour garantir une bonne croissance des plantes. En effet, la température est l'un des paramètres le plus important dans la gestion du climat, et aussi le plus difficiles à gérer.

La température optimale diffère d'une culture à une autre et selon le stade de la culture elle influe sur plusieurs phénomènes bioénergétiques (respiration, photosynthèse,...)

Toute grande déviation de la température par rapport aux températures typiques d'une plante provoque un ralentissement de la croissance et la détérioration dans certains cas, de ce fait on note l'importance de ce paramètre dans les systèmes de gestions des serres agricoles [1.20].

1.5.3 L'effet de serre

L'effet de serre est le résultat d'interposition entre l'atmosphère et le sol d'un matériau transparent pour les radiations courtes provenant du soleil et absorbant au maximum les radiations longues en provenance du sol.

L'effet de serre se manifeste essentiellement par l'élévation de la température. Sa détermination peut être ramenée à la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur de la serre [DT] multipliée par le nombre d'heures pendant lesquelles cette différence existe (H). Effet de serre = DT.H (1.01)

Le phénomène d'effet de serre permet une augmentation conséquente de la température, mais dans d'autres circonstances, la serre devient un émetteur de chaleur et les températures peuvent fortement diminuer [1.06].

Ce phénomène s'explique par plusieurs raisons :

- la nuit, les parois et la toiture échangent de la chaleur avec l'extérieur par conduction, convection et rayonnement ;
- les fuites potentielles provoquent un renouvellement d'air qui substitue à l'air chaud intérieur l'air froid de l'extérieur ;
- d'autres pertes ont également lieu par le sol par conduction et évaporation ;
- de plus, la serre ne possédant pas des parois épaisses n'est pas capable d'emmagasiner beaucoup de chaleur, on dit qu'elle possède une faible inertie thermique. Elle correspond alors à un volume dans lequel la température s'élève facilement mais en contrepartie peut rapidement diminuer.

1.5.3.1 Consigne pratique de température ambiante

Nous avons vu que la détermination des consignes de température était très délicate. En attendant de disposer de modèles élaborés prenant en considération la physiologie des plantes, les échanges de chaleur et les données économiques, on peut utiliser les valeurs consacrées par l'usage ou fournies dans la littérature. Mais ce sont en général les fournisseurs de matériel végétal qui donnent les meilleurs conseils en matière de consignes de températures [1.21].

1.5.4 L'humidité

L'humidité est la présence d'eau ou de vapeur d'eau dans l'air ambiant, elle influe sur la croissance de la plante et sur le développement des maladies.

En pratique quand on parle de la mesure de l'humidité on fait allusion au taux d'humidité exprimé en % ce qui représente l'humidité relative [1.21].

L'humidité de l'air et la température présentent une grande relation. En effet la capacité de l'air à retenir la vapeur d'eau double chaque fois que la température augmente d'une dizaine de degrés. Maintenir un niveau d'humidité et de température optimal dans une serre permet d'avoir un bon rendement de croissance.

Le contrôle de tous ces paramètres se fait via de nombreux dispositifs des plus simples au plus complexes tels que : l'ouverture des toits ouvrant, les ventilateurs extracteurs, les chauffages, les humidificateurs... [1.06].

1.5.4.1 Consigne pratique d'hygrométrie

Il n'existe pas des recommandations espèce par espèce. Tout au plus peut-on dire que [1.21]:

- Pour la phase de multiplication, humidité relative doit être supérieure à 80%.
- Pour les phases de croissance, de floraison et de fructification, la plupart des plantes s'accommodent d'une humidité relative comprise entre 60 et 80%, à l'exception des plantes vertes et du concombre qui préfèrent une hygrométrie supérieure à 70%, et des plantes succulentes (Cactées) qui préfèrent une humidité relative comprise entre 30 et 60%. La pollinisation chez la tomate requiert une humidité relative comprise entre 50 et 70%.

On peut aussi donner les conseils généraux suivants :

- Eviter les condensations.
- Eviter les hygrométries proches de la saturation (100%).

- Eviter les hygrométries inférieures à 40% chez les plantes arrosées de manière incorrecte ainsi que chez les jeunes plants qui n'ont pas encore été durcis.
- Eviter absolument les hygrométries inférieures à 20%.

1.5.4.2 La déshumidification

L'humidité de l'air est généralement exprimée en humidité relative ou déficit hydrique. On constate que la technique de déshumidification traditionnellement employée par les producteurs combine l'aération et le chauffage. Le chauffage permet d'une part de diminuer

l'humidité relative de l'air en augmentant la pression de vapeur saturante, d'autre part de faciliter l'évaluation de l'air chaud chargé humidité grâce à l'aération.

Cette technique entraîne une perte d'énergie puisqu'une partie de l'énergie dégagée par le chauffage est évaluée par l'aération (cette pratique de la déshumidification représente environ 20 à 30% des dépenses énergétiques) [1.22].

1.5.5 Le Rayonnement

Le rayonnement : échange de chaleur entre deux parois séparées par un milieu transparent. Tous les corps solides, liquides ou gazeux émettent un rayonnement de nature électromagnétique. Cette énergie est échangée directement des parois à la surface des plantes et non à l'air ambiant.

Il transmet l'énergie sans support matériel par le biais d'une onde électromagnétique solaire. Ce transfert est défini à travers l'exemple suivant d'un corps noir porté à la température T émet un rayonnement dont l'énergie rayonnée par unité' de temps et de surface est 1 (loi de Stéphane)

$$Q = \delta T^4 \quad [1.01]$$

La température est apportée par le rayonnement et l'effet de serre mais diminuée par les pertes thermiques ne permet pas d'assurer tout au long de l'année des températures optimales pour la croissance des plantes.

De plus, l'humidité à l'intérieur de la serre, dépendante des conditions climatiques de la transpiration de la culture en fonction de l'espèce considérée doit être bien maîtrisée pour ne pas limiter la croissance de la plante et éviter les risques phytosanitaires (Développement de maladies) [1.22].

1.5.6 Le gaz carbonique

Les producteurs cherchent à obtenir une teneur dans la serre en CO₂ supérieur à la normale pour maximiser l'activité de la photosynthèse, car le gaz carbonique est un facteur limitant la photosynthèse. Lorsque la teneur de CO₂ augmente, la photosynthèse augmente d'abord de façon linéaire, puis moins rapidement jusqu'à 1000 ou 1500 ppm.

Quel que soit le type des plantes, le CO₂ est un élément déterminant de la croissance. En stimulant la photosynthèse, il accroît les rendements et augmente de façon significative la qualité de la production. L'enrichissement de l'atmosphère en CO₂ peut être effectué par le rejet direct des produits de combustion de propane.

Le CO₂ peut être obtenu par la combustion de carburants tels que le gaz naturel, le propane, le kérosène ou encore directement à partir de réservoirs contenant du CO₂ à l'état pur. Chaque source a ses avantages et ses inconvénients [1.22].

1.6 Conclusion

Le choix d'une structure de serre, des équipements et de la conduite climatique est le maillon clé de la qualité de la serre-culture. Dans ce chapitre nous avons vu les types de serres agricoles les plus populaires, ensuite nous avons défini les différents composants nécessaires à la gestion efficace des paramètres climatiques sous serre. Enfin nous avons déterminé les paramètres les plus agissants sur la croissance de la culture sous serre.

L'amélioration de la gestion du climat repose sur une meilleure connaissance de la physiologie des plantes afin de déterminer ses besoins et les répercussions de l'environnement sur le fonctionnement de la culture.

CHAPITRE 2 DESCRIPTION DU SYSTEM A REALISER

2.1 Introduction

L'étude conception est une étape très importante avant d'entamer une quelconque réalisation. Pour bien concevoir un dispositif de contrôle des paramètres climatiques d'une serre agricole, il est nécessaire de bien choisir la solution technologique adéquate. Cette solution est inspirée des solutions techniques existantes utilisées dans ce domaine et vise à répondre aux besoins et aux exigences du cahier des charges fonctionnel dont les fonctions de services à assurer, se résument en contrôle et régulation des paramètres climatiques de la serre qui sont :

- ❖ Prise de température par le capteur
- ❖ Agitation régulière commande par l'arduino
- ❖ Alimentation régulière des IEDs photosynthétiques
- ❖ Assurance de protection de matériel et de l'opérateur.

2.2 Schéma synoptique

La figure 2.01 présente le schéma synoptique englobant les différents modules de base du dispositif à réaliser.

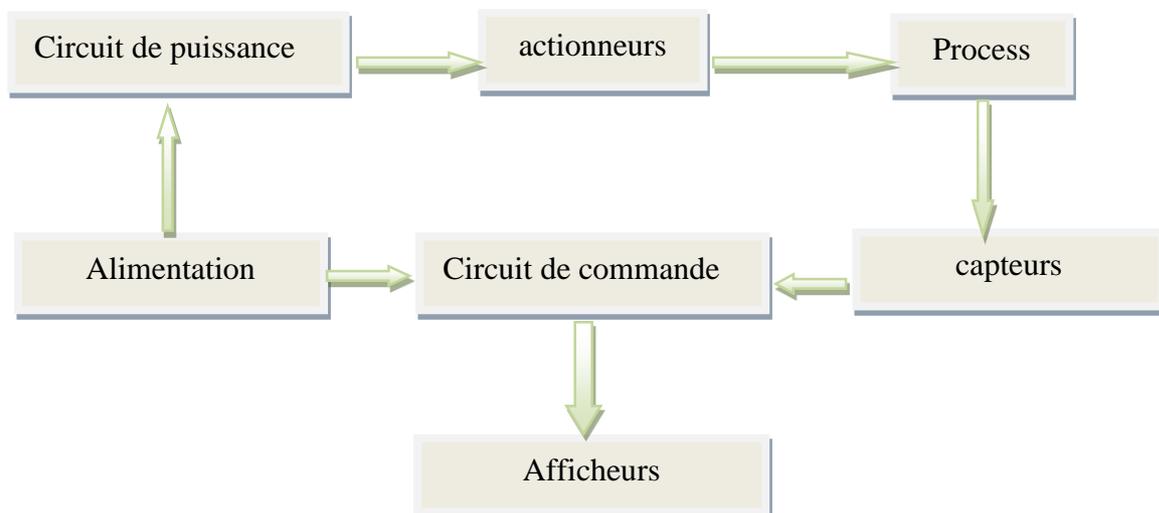


Figure 2.01 : Schéma synoptique du dispositif à réaliser.

- ❖ Un bloc d'alimentation.

- ❖ Des actionneurs (chauffage, Leds photosynthétique, etc.) agissent sur les paramètres climatiques de la serre.
- ❖ Le process qui représente notre serre prototype.
- ❖ Un circuit de puissance assurant la connexion entre l'unité de commande et les actionneurs.
- ❖ Un afficheur pour la présentation des paramètres climatiques.
- ❖ Capteur pour la mesure des paramètres
- ❖ L'unité programmable assurant la synchronisation des différentes fonctions de service :
Régulation des paramètres climatiques, acquisition des données, gestion de l'affichage,

2.3 Choix de la solution technologique

Le contrôle des paramètres climatiques d'une serre agricole nécessite des capteurs appropriés, son état doit aussi être traité par une carte de commande, qui transmet les signaux de commande aux actionneurs via une carte de puissance.

Pour le choix de la solution technologique, en premier lieu, nous entamons la partie commande puis nous passeront vers la partie puissance.

2.4 Partie commande

2.4.1 Etude des microcontrôleurs

Les microcontrôleurs sont largement utilisés pour les applications de régulation et de commande de processus [2 .01]. Un microcontrôleur comporte entre autre :

- ❖ Un microprocesseur.
- ❖ Une mémoire vive (RAM).
- ❖ Une mémoire permanente (ROM).
- ❖ Interfaces d'E/S parallèles et séries (RS232, I2C, SPI...).
- ❖ Interfaces d'E/S analogiques.
- ❖ Registres « Timers » pour la gestion du temps et d'évènements.

Pratiquement tous les fabricants de microprocesseurs (Motorola, Intel. Hitachi, Texas instrument, Expressif, etc.) Proposent une ou plusieurs gammes de microcontrôleurs :

- ❖ Les microcontrôleurs 4 bits servent essentiellement à des tâches simples. De tels microcontrôleurs sont par exemple utilisés au sein des appareils ménagers grand public (cuisinières, machines à laver ou aspirateurs ...).

- ❖ Les microcontrôleurs 8 bits sont capables de répondre à des exigences plus élevées.
- ❖ Les microcontrôleurs 32 bits sont utilisés pour la commande de machines ou le contrôle de processus lorsque les contraintes temps réel sont sévères ou lorsque les algorithmes de régulation nécessitent une puissance de calcul importante [2.02].

2.4.1.1 **Avantage des microcontrôleurs**

Par rapport au microprocesseur, l'utilisation des microcontrôleurs a plusieurs points forts parmi lesquels on peut citer:

- ❖ Une diminution évidente de l'encombrement matériel et de circuit imprimé.
- ❖ Une plus grande fiabilité du système, car le nombre des composants sera plus réduit, donc un nombre de connexion composants/supports ou composants/circuits plus réduit.
- ❖ Le microcontrôleur contribue à réduire les coûts à plusieurs niveaux, car il est moins cher que les autres composants qu'il remplace.
- ❖ Les outils de développement sont, en général, téléchargeable gratuitement sur le WEB.
- ❖ Le jeu d'instruction réduit est souple, puissant et facile à maîtriser.
- ❖ Les versions avec mémoire flash présentent une souplesse d'utilisation et des avantages pratiques indéniables.

2.4.2 **Choix du microcontrôleur**

L'une des étapes les plus importantes à la réalisation de notre projet est le choix du microcontrôleur, il est nécessaire de choisir le plus adapté à nos objectifs, Il existe beaucoup de critères de sélection dont nous devons tenir compte comme :

- ❖ Le nombre d'entrées/sorties analogiques.
- ❖ Le nombre d'entrées/sorties numériques.
- ❖ Puissance de calcul suffisamment élevée pour gérer des algorithmes en temps réel.
- ❖ Taille de la mémoire programmée (pour contenir l'ensemble du programme).
- ❖ La taille de la mémoire RAM (pour les calculs que le microcontrôleur doit effectuer).
- ❖ La mémoire EPROM (si on a besoin que certaines données soient sauvegardées si l'alimentation se coupe).
- ❖ Le prix et la disponibilité du microcontrôleur sur le marché.

2.4.2.1 **Etude comparative**

Le tableau suivant représente une étude comparative de quelques microcontrôleurs disponible sur le marché :

Type du microcontrôleur	FlashROM (en octet)	RAM (en octet)	EEPROM (en octet)	Fmax (en Mhz)	Bus de données	E/S	Boitier
PIC16F877A	8198x14	368	256	20	8bits	33	40 broches
PIC18F4550	32K	2K	256	48	8bits	35	40 broches
ATMEGA 328 (Arduino UNO)	32K	2K	1024	20	8bits	23	32 broches
ATMEGA 2560 (Arduino Méga)	256K	8K	4098	20	8bits	54	100 broches

Tableau 2.01 : Etude comparative de quelques microcontrôleurs disponibles sur le marché

Le microcontrôleur ATMEGA 328 a une puissance de calcul suffisante avec un bus de données 8 bits, une fréquence pouvant atteindre jusqu'à 16Mhz et une capacité mémoire RAM = 2K et ROM = 32K qu'ils lui permettront de gérer des algorithmes de régulation complexes avec un moyen de variable suffisante pour notre projet.

2.4.3 L'arduino

2.4.3.1 Définition

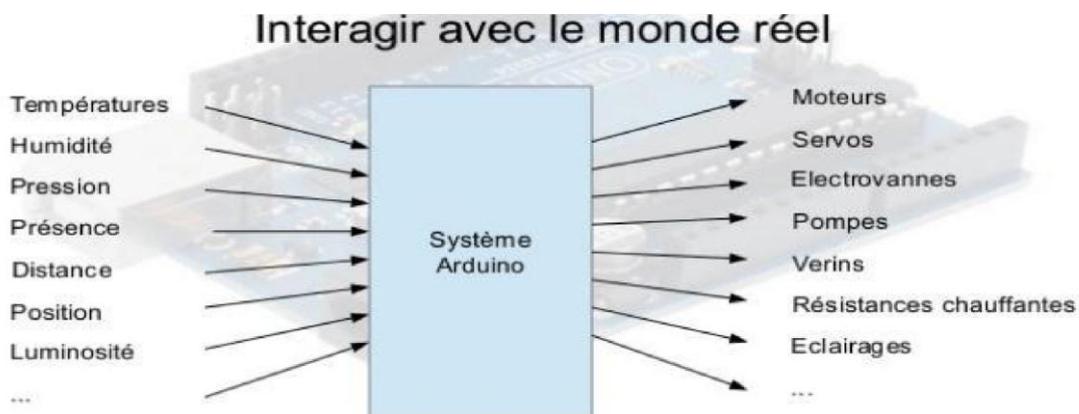


Figure 2.02 : Système Arduino

Le module Arduino est un circuit imprimé en matériel libre (plateforme de contrôle) dont les plans de la carte elle-même sont publiés en licence libre dont certains composants de la carte : comme le microcontrôleur et les composants complémentaires qui ne sont pas en licence libre. Un microcontrôleur programmé peut analyser et produire des signaux électriques de manière à effectuer des tâches très diverses. Arduino est utilisé dans beaucoup d'applications comme l'électrotechnique industrielle et embarquée ; le modélisme, la domotique mais aussi

dans des domaines différents comme l'art contemporain et le pilotage d'un robot, commande des moteurs et faire des jeux de lumières, communiquer avec l'ordinateur, commander des appareils mobiles (modélisme).

Chaque module d'Arduino possède un régulateur de tension +5 V et un oscillateur à quartz 16 MHz (ou un résonateur céramique dans certains modèles). Pour programmer cette carte, on utilise le logiciel IDE Arduino. [2.04]

Arduino est un outil permettant de construire des dispositifs qui peuvent interagir avec l'environnement qui les entoure. Tu peux t'en servir pour y relier des capteurs détectant du son, de la lumière ou des vibrations, qu'il utilisera alors pour allumer une lumière, changer sa couleur, mettre en route un moteur, et bien d'autres choses. Arduino est un système magique, qui se situe au cœur de toutes ces actions. Il collecte des informations à partir de ses capteurs, évaluant ainsi le monde réel qui l'entoure. Il prend ensuite des décisions basées sur les données recueillies et provoque en retour des actions, sous forme de sons, de lumière, ou encore de mouvement.

Arduino se présente généralement sous la forme d'une carte électronique bleue, qui a à peu près la taille de la main. Cette carte comporte des inscriptions en blanc qui permettent de repérer ses différents éléments. Tous les composants et les circuits de la carte sont visibles et accessibles.

2.4.3.2 Les gammes de la carte Arduino

Actuellement, il existe plus de 20 versions de module Arduino, nous citons quelques un afin d'éclaircir l'évaluation de ce produit scientifique et académique:

- Le NG d'Arduino, avec une interface d'USB pour programmer et usage d'un ATmega8.
- L'extrémité d'Arduino, avec une interface d'USB pour programmer et usage d'un Microcontrôleur ATmega8.
- L'Arduino Mini, une version miniature de l'Arduino en utilisant un microcontrôleur ATmega168.
- L'Arduino Nano, une petite carte programme à l'aide porte USB cette version utilisant un microcontrôleur ATmega168 (ATmega328 pour une plus nouvelle version).

- Le LilyPad Arduino, une conception de minimaliste pour l'application wear able en utilisant un microcontrôleur ATmega168.
- Le NG d'Arduino plus, avec une interface d'USB pour programmer et usage d'un ATmega168.
- L'Arduino Bluetooth, avec une interface de Bluetooth pour programmer en utilisant un microcontrôleur ATmega168.
- L'Arduino Diecimila, avec une interface d'USB et utilise un microcontrôleur ATmega168.
- L'Arduino Duemilanove ("2009"), en utilisant un microcontrôleur l'ATmega168 (ATmega328 pour une plus nouvelle version) et actionné par l'intermédiaire de la puissance d'USB/DC.
- L'Arduino Mega, en utilisant un microcontrôleur ATmega1280 pour I/O additionnel et mémoire.
- L'Arduino UNO, utilisations microcontrôleur ATmega328.
- L'Arduino Mega2560, utilisations un microcontrôleur ATmega2560, et possède toute la mémoire à 256 KBS. Elle incorpore également le nouvel ATmega8U2 (ATmega16U2 dans le jeu de puces d'USB de révision 3).
- L'Arduino Leonardo, avec un morceau ATmega3U4 qui élimine le besoin de raccordement d'USB et peut être employé comme clavier.
- L'Arduino Esplora : ressemblant à un contrôleur visuel de jeu, avec un manche et des sondes intégrées pour le bruit, la lumière, la température, et l'accélération. Parmi ces types, nous avons choisi une carte Arduino UNO (carte Basique). L'intérêt principal de cette carte est de faciliter la mise en oeuvre d'une telle commande qui sera détaillée par la suite.
- L'Arduino fournit un environnement de développement s'appuyant sur des outils open source comme interface de programmation. L'injection du programme déjà converti par l'environnement sous forme d'un code « HEX » dans la mémoire du microcontrôleur se fait d'une façon très simple par la liaison USB. En outre, des bibliothèques de fonctions "clé en main" sont également fournies pour l'exploitation d'entrées-sorties. Cette carte est basée sur un microcontrôleur ATmega 328 et des composants complémentaires. La carte Arduino contient une mémoire morte de 1 kilo. Elle est dotée de 14 entrées/sorties digitales (dont 6 peuvent être utilisées en tant que sortie PWM), 6 entrées analogiques et un cristal à 16 MHz, une connexion USB et possède un bouton de remise à zéro et une prise jack d'alimentation. La carte est illustrée dans la figure si dessous. [2.05]

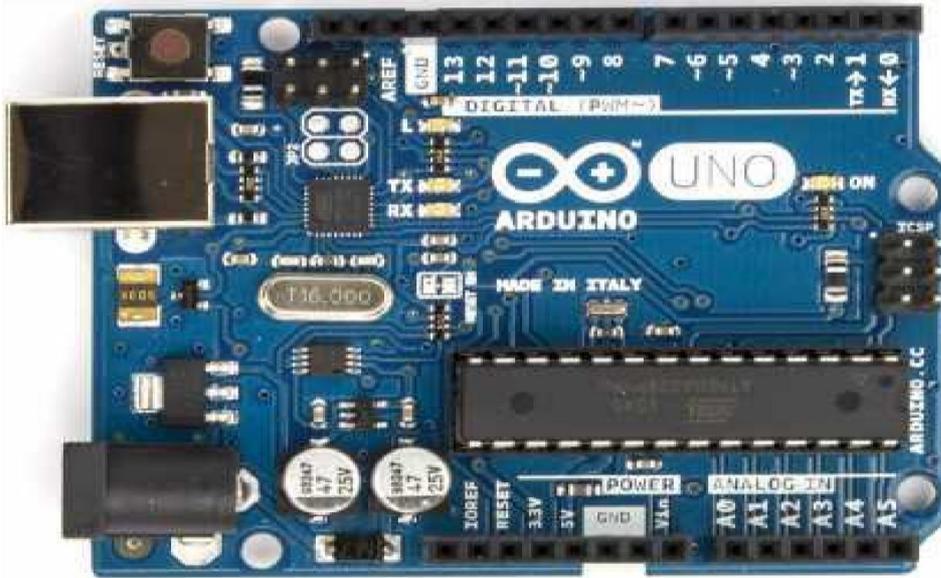


Figure 2.03 : La carte Arduino UNO

2.4.3.3 Pourquoi arduino uno

Il y a de nombreuses cartes électroniques qui possèdent des plateformes basées sur des microcontrôleurs disponibles pour l'électronique programmée. Tous ces outils prennent en charge les détails compliqués de la programmation et les intègrent dans une présentation facile à utiliser. De la même façon, le système Arduino simplifie la façon de travailler avec les microcontrôleurs tout en offrant à personnes intéressées plusieurs avantages cités comme suit:

- **Le prix (réduits)** : les cartes Arduino sont relativement peu coûteuses comparativement aux autres plates-formes. La moins chère des versions du module Arduino peut être assemblée à la main, (les cartes Arduino pré-assemblées coûtent moins de 100000Ar).
- **Multi plateforme** : le logiciel Arduino, écrit en JAVA, tourne sous les systèmes d'exploitation Windows, Macintosh et Linux. La plupart des systèmes à microcontrôleurs sont limités à Windows.
- **Un environnement de programmation clair et simple** : l'environnement de programmation Arduino (le logiciel Arduino IDE) est facile à utiliser pour les débutants, tout en étant assez flexible pour que les utilisateurs avancés puissent en tirer profit également.
- **Logiciel Open Source et extensible** : le logiciel Arduino et le langage Arduino sont publiés sous licence open source, disponible pour être complété par des programmeurs expérimentés. Le logiciel de programmation des modules Arduino est une application JAVA multi plateformes (fonctionnant sur tout système d'exploitation), servant d'éditeur

de code et de compilateur, et qui peut transférer le programme au travers de la liaison série (RS232, Bluetooth ou USB selon le module).

- **Matériel Open source et extensible** : les cartes Arduino sont basées sur les Microcontrôleurs Atmel ATMEGA8, ATMEGA168, ATMEGA 328, les schémas des modules sont publiés sous une licence créative Commons, et les concepteurs des circuits expérimentés peuvent réaliser leur propre version des cartes Arduino, en les complétant et en les améliorant. Même les utilisateurs relativement inexpérimentés peuvent fabriquer la version sur plaque d'essai de la carte Arduino, dont le but est de comprendre comment elle fonctionne pour économiser le coût.

2.4.3.4 La constitution de la carte arduino uno

Un module Arduino est généralement construit autour d'un microcontrôleur ATMEL AVR, et de composants complémentaires qui facilitent la programmation et l'interfaçage avec d'autres circuits. Chaque module possède au moins un régulateur linéaire 5V et un oscillateur à quartz 16 MHz (ou un résonateur céramique dans certains modèles). Le microcontrôleur est préprogrammé avec un bootloader de façon à ce qu'un programmeur dédié ne soit pas nécessaire. [2.06]

2.4.4 Le bus I²C

L'I²C est un bus série permettant de transmettre des informations entre divers circuits connectés sur le bus grâce à seulement trois fils :

- SDL (Serial Data Line) : ligne de données bidirectionnelle,
- SCL (Serial Clock Line) : ligne d'horloge de synchronisation bidirectionnelle.
- La masse qui doit être commune aux équipements.

Ce qui permet de réduire la complexité des circuits imprimés à réaliser [2.07].

Chaque circuit est reconnu par son adresse et peut être soit transmetteur soit receveur de l'information. On utilise un adressage sur 7 bits pour identifier les nœuds, ce qui permet (en théorie) jusqu'à 128 nœuds sur le réseau. Ces circuits peuvent être : un ordinateur, un microcontrôleur, une mémoire, un périphérique (affichage, convertisseur A/D, capteurs...) etc.

Le protocole utilisé par I2C est dit [2.07]:

- Synchrone, car on utilise un mécanisme de requête/réponse.
- Half-duplex, car on peut communiquer dans les deux sens, mais pas simultanément.
- Maître-esclaves, car seul un nœud maître peut communiquer avec les esclaves du réseau. - Multi-maitres, car plusieurs maitres peuvent être présents sur le réseau (Figure 2.05).

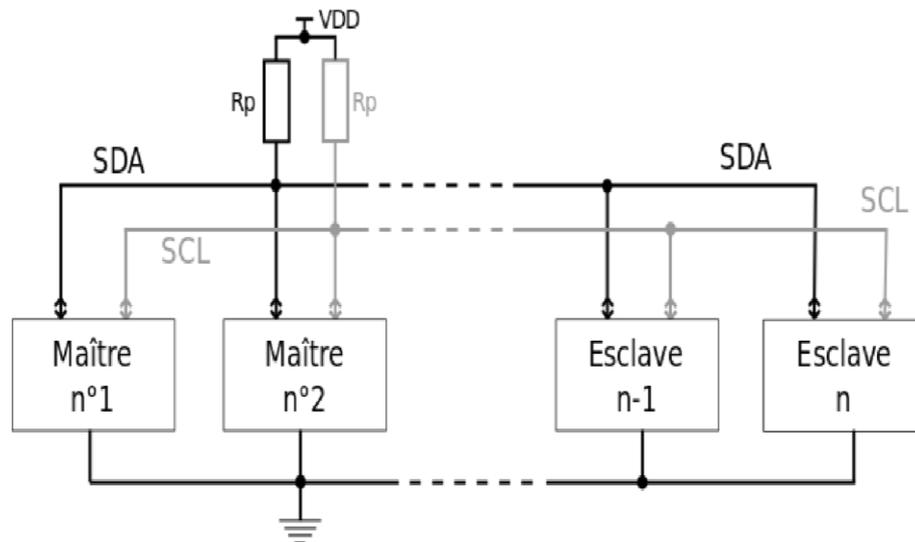


Figure 2.04 : Architecture I²C avec plusieurs maîtres et plusieurs esclaves.

2.4.5 Les ports de communications

La carte Arduino UNO a de nombreuses possibilités de communications avec l'extérieur. L'Atmega328 possède une communication série UART TTL (5V), grâce aux broches numériques 0 (RX) et 1 (TX). On utilise (RX) pour recevoir et (TX) transmettre (les données séries de niveau TTL). Ces broches sont connectées aux broches correspondantes du circuit intégré ATmega328 programmé en convertisseur USB – vers – série de la carte, composant qui assure l'interface entre les niveaux TTL et le port USB de l'ordinateur. Comme un port de communication virtuel pour le logiciel sur l'ordinateur, La connexion série de l'Arduino est très pratique pour communiquer avec un PC, mais son inconvénient est le câble USB, pour éviter cela, il existe différentes méthodes pour utiliser ce dernier sans fil:

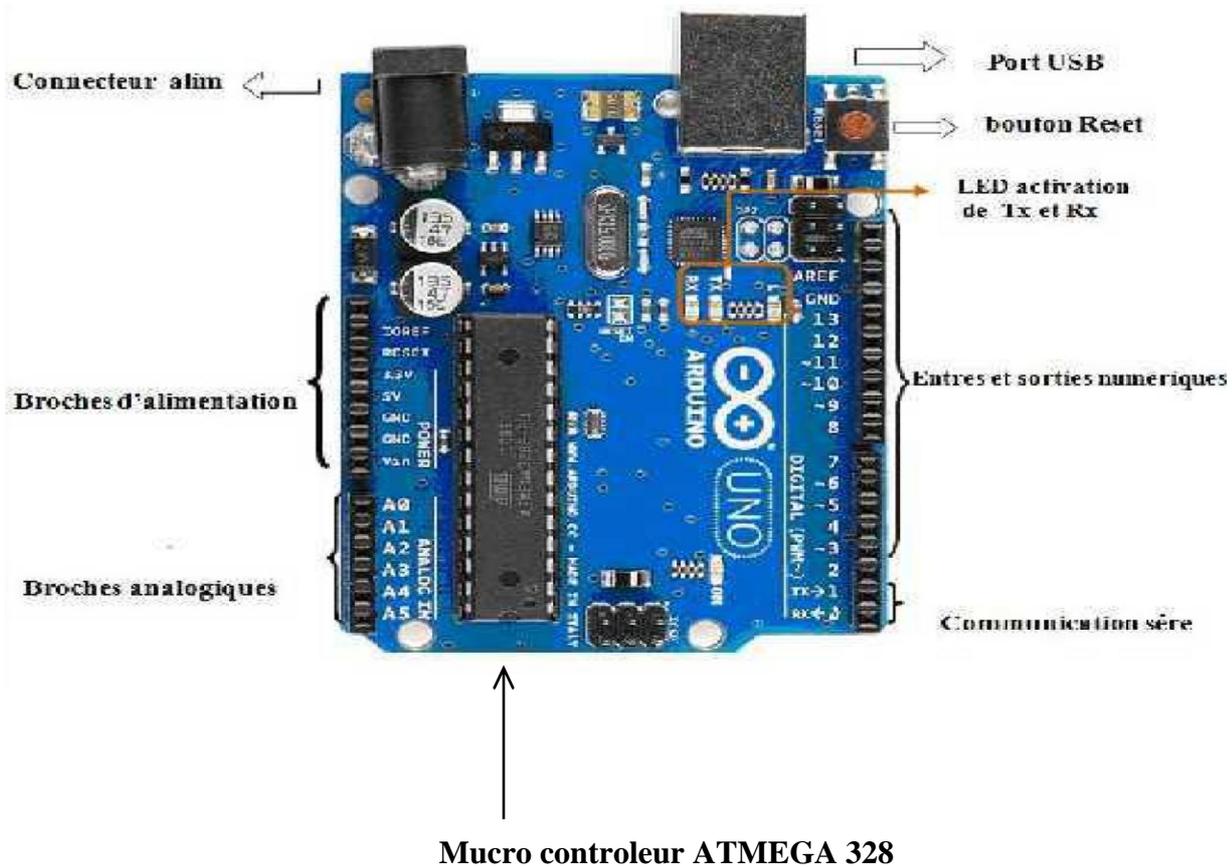


Figure 2.05 : Constitution de la carte Arduino UNO

2.4.6 Afficheur (LCD) [2.08]

Les afficheurs à cristaux liquides, autrement appelés afficheurs LCD (*Liquid Crystal Display*), sont des modules compacts intelligents et nécessitent peu de composants externes ; pour un bon fonctionnement. Ils consomment relativement peu (de 1 à 5 mA), sont relativement bons marchés et s'utilisent avec beaucoup de facilité. Plusieurs afficheurs sont disponibles sur le marché et diffèrent les uns des autres, non seulement par leurs dimensions, (de 1 à 4 lignes de 6 à 80 caractères), mais aussi par leurs caractéristiques techniques et leur tension de service. Certains sont dotés d'un rétro éclairage de l'affichage Cette fonction fait appel à des LED montées derrière l'écran du module, cependant, cet éclairage est gourmand en intensité (de 80 à 250 mA). Ils sont très utilisés dans les montages à microcontrôleur, et permettent une grande convivialité. Ils peuvent aussi être utilisés lors de la phase de

développement d'un programme, car on peut facilement y afficher les valeurs de différentes variables. Ces afficheurs marchent grâce à une alimentation. Ils existent différents types d'afficheur selon leurs caractéristiques techniques et selon leurs dimensions si on les voit de l'extérieur.

Mais généralement ils accomplissent le même rôle. Vu notre cahier de charge, on a opté pour un afficheur LCD de taille 4x20, c'est-à-dire un afficheur de 4 lignes et 20 caractères.

Le choix de ce type d'afficheur est justifié par le fait que nos besoins seront satisfaits par cet afficheur, et que sa taille est suffisante pendant l'affichage des messages qui lient le système avec l'utilisateur.

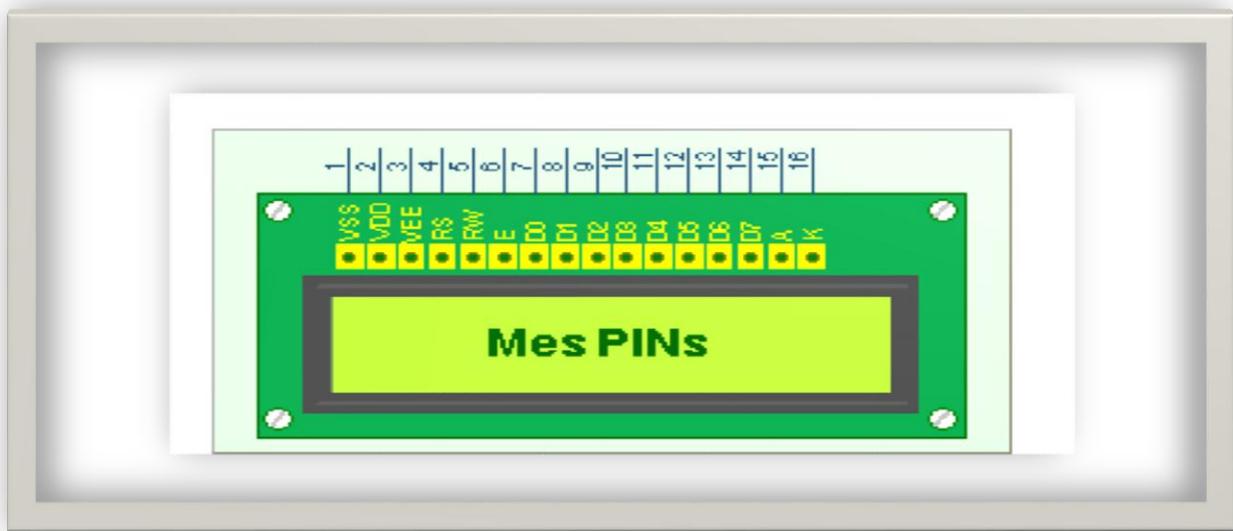


Figure 2.06 : *LCD alphanumérique*

2.4.6.2 Schéma synoptique

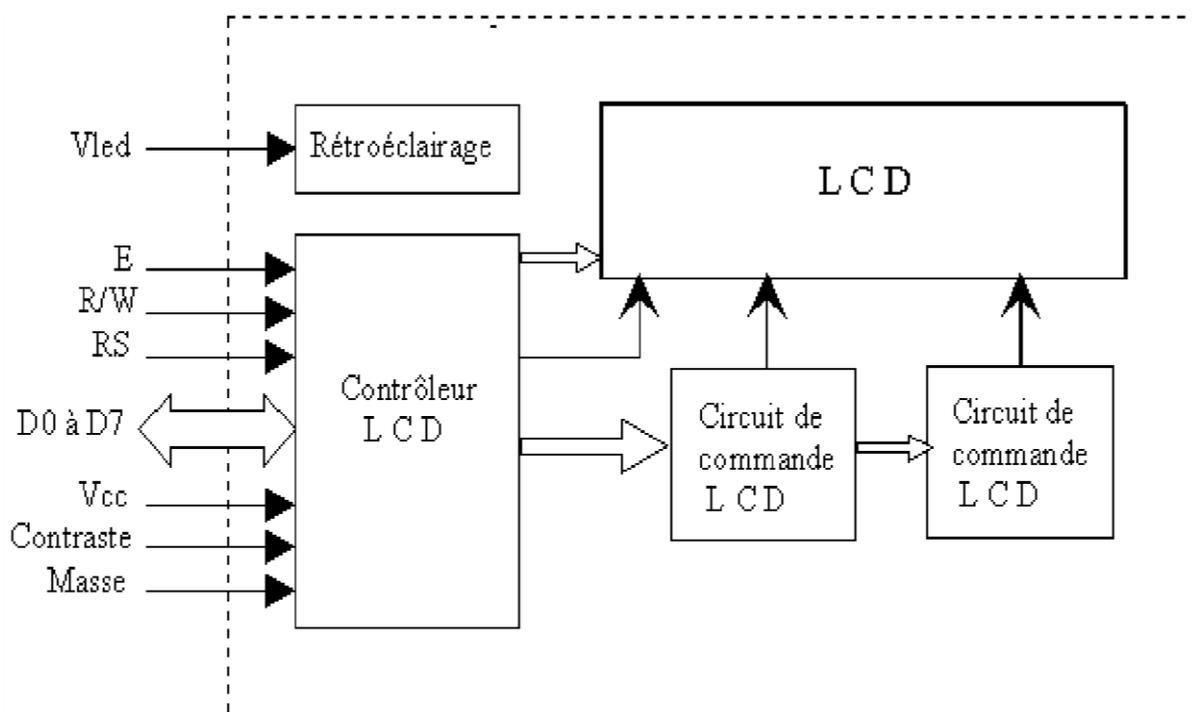


Figure 2.07 : Schéma synoptique de l'afficheur

2.4.6.3 Brochage [1.22]

La description des différentes broches est donnée comme suit :

- **VCC** : alimentation de l'afficheur LCD (5V).
- **GND** : la masse.
- **Contraste** : entrée permettant de régler le contraste de l'afficheur LCD. Il faut appliquer une tension continue réglable (entre 0V et 5V) à l'aide d'un potentiomètre.
- **Vled** : différence de potentiel permettant de commander le rétro éclairage afin d'assurer la visibilité dans l'obscurité.
- **E** : entrée de validation (ENABLE), elle permet de valider les données sur un front descendant. Lorsque E=0 alors le bus de données est à l'état haute impédance.

- **RS** : (Registre Select) cette entrée permet d'indiquer à l'afficheur si l'on souhaite réaliser une commande (RS=0) par des instructions spécifiques ou écrire une donnée (envoi du code du caractère à afficher) sur le bus (RS=1).

- R/W : entrée de lecture (R/W=1) et d'écriture (R/W=0). Lorsqu'on commande l'afficheur LCD il faut se placer en écriture.
- D7...D0 : bus de données bidirectionnel, il permet de transférer les instructions ou les données à l'afficheur LCD.

2.4.7 Définition de l'interface I2C

I2C (*Inter-Integrated Circuits*) est une technologie qui permet le fonctionnement d'un ensemble d'éléments ou de dispositifs utilisant le moins de connexions électroniques aussi efficacement que possible.

Ce bus porte parfois le nom de TWI (Two Wire Interface) ou TWSI (Two Wire Serial Interface) chez certains constructeurs.

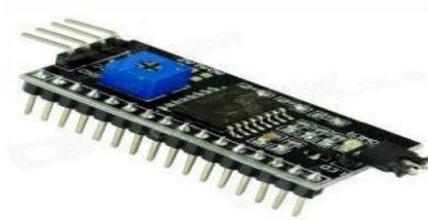


Figure 2.08 : *interface I2C*

2.4.8 Spécification sur l'interface I2C

- ❖ Compatible avec l'écran LCD 20*4.
- ❖ Tension d'alimentation : 5V.
- ❖ Poids : 5g.
- ❖ Taille : 5.5x2.3x1.4cm.
- ❖ Prix : 12000ar

2.4.9 Objectif de l'installation de l'afficheur LCD 20*4 avec interface I2C

Il existe également de petits modules permettant d'interfacer un écran LCD avec un bus I2C. Cette solution peut être intéressante si on manque désespérément de broches sur le microcontrôleur

ATMEGA328P comme dans notre projet puisqu'au lieu de monopoliser 6 à 7 broches, l'écran n'en utilisera plus que 2.

Toutefois, le module que l'on rencontre le plus souvent est construit autour du PCF8574P de NXP, un circuit permettant d'augmenter le nombre d'entrées sorties numériques via l'I2C. [2.09]

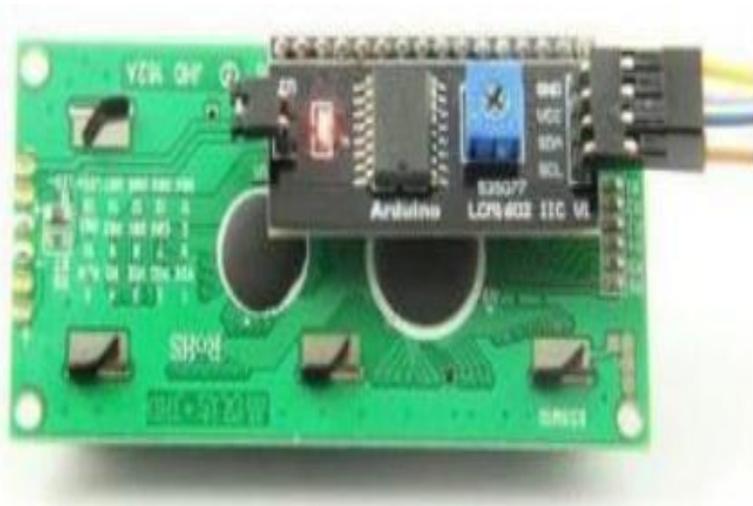


Figure 2.09 : Montage du Module I2C avec l'afficheur LCD

2.4.10 Combinaison de i2C et l'écran LCDS

Quelques étapes suffisent pour installer notre I2C sur l'écran LCD 20x4

- ❖ Soudage des 2 parties I2C + LCD

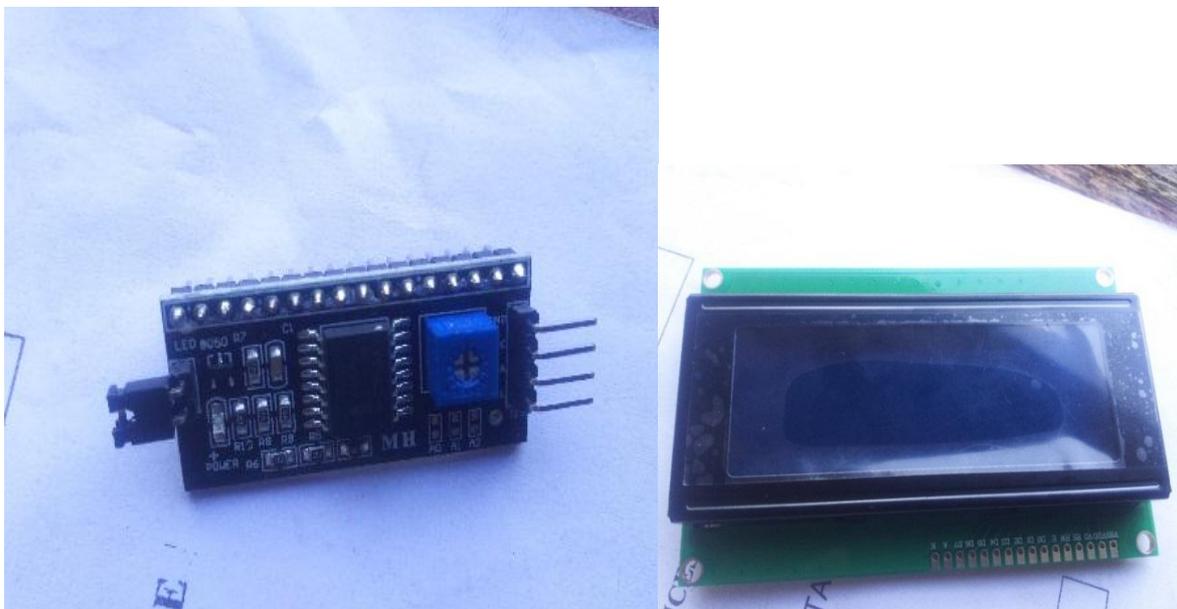


Figure 2.10 : Montage du Module I2C avec l'afficheur LCD

❖ Adressage de l'écran LCD

Il n'existe aucune indication qui montre l'adresse de l'LCD, I2C alors nous avons utilisé un code sur le logiciel Arduino pour le savoir (voir annexe 1 pour le code).

Après téléchargement l'IDE arduino nous a donné le résultat adresse LCD, I2C est **0x27** qui est l'adresse nécessaire pour l'arduino d'envoyer une information à propos du climat à l'intérieur de la serre sur l'LCD, I2C

Pour l'affichage il existe plusieurs technologies d'afficheurs, dont les afficheurs LCD ou OLED. Dans ce projet nous allons utiliser un **afficheur LCD** car c'est la solution la moins coûteuse, la communication avec le microcontrôleur se fera à l'aide d'un extenseur de port I²C. Afin d'étendre les fonctionnalités de notre microcontrôleur, nous avons configuré notre bus I²C.

2.5 Programmation du microcontrôleur

L'ATMEGA 238 peut se programmer En C, avec l'IDE Arduino.

Pour la programmation du microcontrôleur, nous allons utiliser l'environnement de développement d'Arduino car cet IDE présente beaucoup d'avantages :

- Gratuit et open-source.
- Multiplateforme (Windows, mac et linux).
- Facilité d'installation et programmation claire et intuitive.
- Disponibilité de beaucoup d'exemples de programmes et de cours.
- Disponibilité d'une grande quantité de bibliothèques qui permettent de faciliter la programmation.
- Communauté importante sur internet : forums, cours et tutoriaux.

2.6 Capteurs utilisés

2.6.1.1 Capteur de température DS18B20

Le DS18B20 permet de transformer l'effet du réchauffement ou du refroidissement en signal électrique.

Il délivre en sortie une tension proportionnelle à la température mesurée.

Ce capteur est très utilisé dans le domaine industriel, il est précis et fiable avec un coût réduit.

Le DS18B20 nécessite aucun étalonnage externe pour fournir des précisions typique de $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ à $+25^{\circ}\text{C}$ et $\pm 1^{\circ}\text{C}$ dans la plage de mesure -55°C à $+125^{\circ}\text{C}$, chaque 10mV représente un degré Celsius [2.11].

❖ ALIMENTATION du DS 18B20:

Il y a 2 méthodes pour alimenter ce circuit.

→ Soit par une alimentation extérieure entre 3V et 5V :

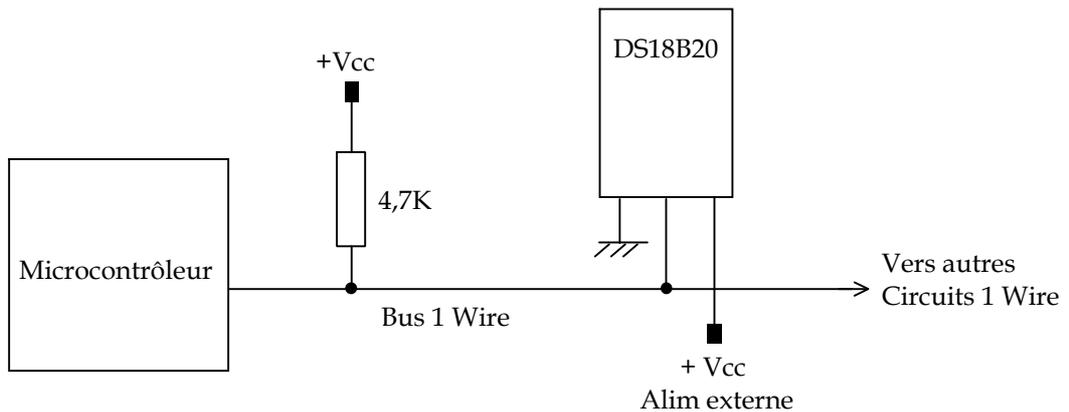


Figure 2.11 : Mode d'alimentation alimentation extérieure

→ Soit par une alimentation parasite :

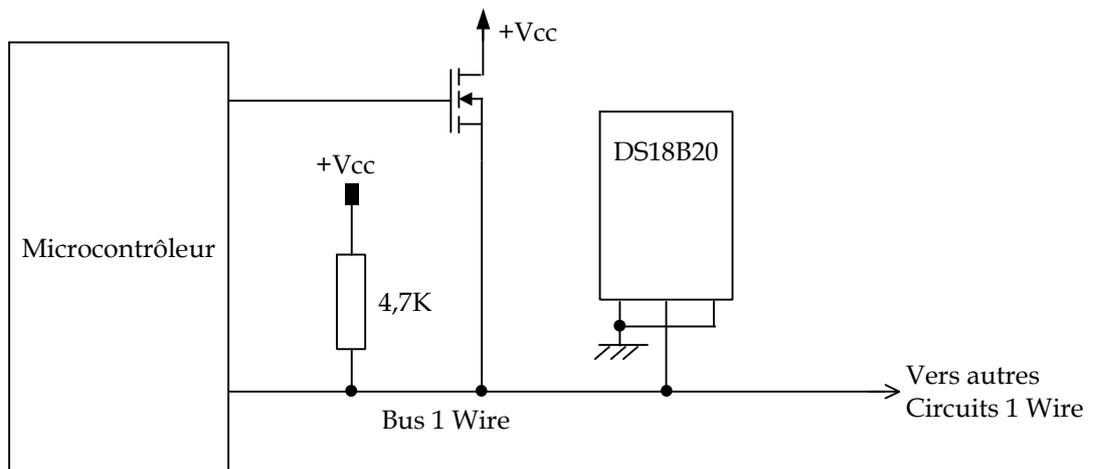


Figure 2.12 : Mode d'alimentation par une alimentation parasite

Quand le bus 1 wire est à l'état haut, une capacité interne se charge et sert de réservoir pour alimenter le circuit quand le bus est à l'état bas.

Dans ce cas la broche Vcc du circuit est raccordée à la masse. Seulement, quand le circuit est en mode conversion ou en mode écriture en EEPROM, le courant d'alimentation doit être d'au moins 1,5mA.

Dans ce cas l'alimentation parasite ne suffit plus.

Il faut pour cela mettre le bus 1 Wire directement au +Vcc. C'est ce qui sera fait par la mise en conduction du transistor MOSFET.

Cette opération devra intervenir dans les 10 μ s qui suivent l'envoi de la commande "Conversion Température" ou "Copie RAM en EEPROM". Ensuite le bus devra rester au +Vcc pendant toute la durée de la conversion de température (750 ms) ou de l'écriture en EEPROM (10ms). Aucune autre activité sur le bus 1 Wire ne peut avoir lieu pendant ce temps-là, à la différence du mode d'alimentation extérieure, où ce temps peut être mis à profit pour envoyer d'autres données sur le bus.

❖ Caractéristiques du capteur DS18B20

Tension d'alimentation	3 à 5 volts
Sensibilité	10mV/°C
Précision	$\pm 1^\circ\text{C}$
Courant au repos	60- μ A

Tableau 2.02 : Précision caractéristique du capteur DS18B20.



Figure 2.13 : Photo réel de notre capteur de température DS18B20 de notre projet.

2.6.1.2 Programmation sur l'one wire bus

Le bus 1 WIRE de DALLAS, nous permet de connecter le capteur DS18B20 sur l'arduino uno et de faire dialoguer entre eux des circuits sur un seul fil.

Ce système de bus utilise un seul maître, qui pourra dialoguer avec un ou plusieurs esclaves.

Le fil unique du bus doit être tiré au +Vcc par une résistance de 4,7K Ω . L'état repos du bus est donc un état haut.

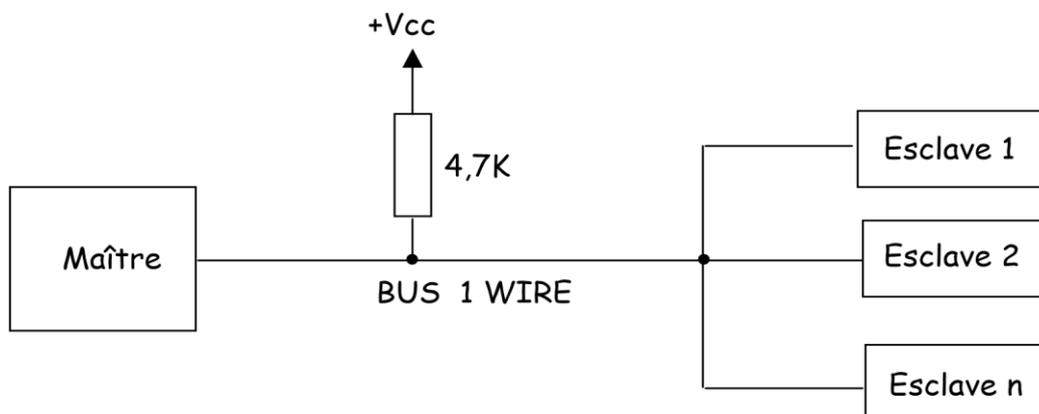


Figure 2.14 : Représentation de la fonction 1Wire [32].

Si le bus est maintenu à l'état bas plus de 480 μ s par le maître, tous les composants sur le bus sont remis à zéro. C'est le pulse d'initialisation ou de Reset.

Après un délai de 15 à 60 μ s, le ou les esclaves raccordés, forcent le bus à l'état bas pendant 60 à 240 μ s pour signaler leur présence.

2.6.1.2.2 Programmation sur l'one wire bus

L'one wire c'est une bibliothèque conçu et est téléchargeable sur le net il est conçu pour programmer le DS18D20 sur l'Arduino IDE. Afin de concevoir le régulateur de température de notre projet nous l'avons combiné avec DALLAS température afin de simplifier les nombres de codes à écrire sur l'IDE Arduino.

❖ Nous avons choisi ce capteur pour les raisons suivantes :

- Simplicité d'utilisation.
- Il ne nécessite aucun étalonnage externe.
- Précisions typique $\pm 1^{\circ}\text{C}$ dans la plage de mesure -55°C à $+125$.
- Peu coûteux.
 - Disponible sur le marché.

2.7 Partie puissance

2.7.1 Le Moteur pas-à-pas

Le moteur pas-à-pas (figure 2.16) Un moteur pas à pas est constitué de deux parties principales, un rotor et un stator. Le rotor est la partie du moteur qui tourne et fournit du travail. Le stator est la partie fixe du moteur qui abrite le rotor. Dans un moteur pas à pas, le rotor est un aimant permanent. Le stator est constitué de plusieurs bobines qui agissent comme des électroaimants lorsqu'un courant électrique les traverse. La bobine électromagnétique obligera le rotor à s'aligné sur elle lorsqu'il sera chargé.

Le stator qui est à l'origine de la circulation d'un flux magnétique longitudinal fixe, crée soit par des enroulements statiques (bobinage) soit par des aimants permanents ; à l'arrière du stator se trouve la partie porte balais et les balais assurant les contacts électriques avec le rotor. Il est aussi appelé inducteur.

- Le rotor est constitué d'un ensemble de bobines reliées à un collecteur rotatif. Le collecteur rotatif permet d'inverser la polarité du champ magnétique créé par le stator avant que celui-ci ne soit en phase avec celui créé par le rotor. Grâce à ce dispositif, les champs rotoriques et statiques sont toujours en quadrature provoquant ainsi la rotation du rotor. Les enroulements rotoriques sont aussi appelés enroulements d'induit, ou communément induit.

Dans notre projet pour avoir une vitesse réglable et ne pas détruire la culture lors de l'agitation, nous avons utilisé un moteur pas à pas dont la vitesse est programmable sur l'IDE Arduino. C'est lui qui va entrainer l'agitateur selon la commande de l'Arduino.

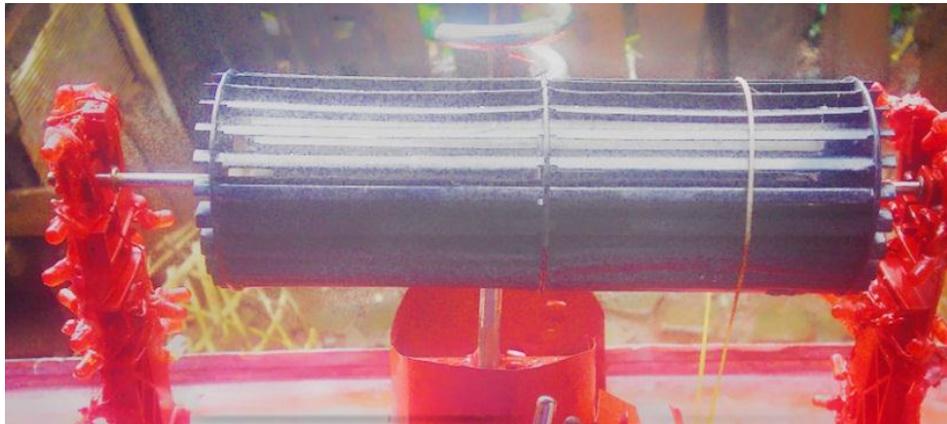


Figure 2.15 : *Image réel de l'agitateur de la serre.*



Figure 2.16 : *Stepper moteur.*

Les moteurs pas à pas présentent de nombreux avantages. Ils sont peu coûteux et faciles à utiliser. Lorsqu'il n'y a pas de courant envoyé au moteur, les steppers tiennent leur position. Les moteurs pas à pas peuvent également tourner sans limites et changer de direction en fonction de la polarité fournie.

Afin d'utiliser un moteur pas à pas il est nécessaire d'utiliser un "driver de moteur pas à pas". Ces drivers permettent de transmettre la puissance électrique au moteur afin de le faire tourner.

Généralement les drivers de moteurs pas à pas permettent de commander les moteurs en fractions de pas complet. En mode demi pas, le moteur devra alors faire 400 demis pas pour faire

un tour complet soit 0.9° par demi pas. Certains drivers permettent de faire du 16ème de pas et même du 128ème de pas, dans notre projet on a utilisé les drivers L298N.

Le drvL298N est un petit module qui permet de contrôler la rotation d'un moteur en fonction des instructions reçues de la carte de pilotage. Ils sont connectés à cette dernière, soit directement, soit par l'intermédiaire d'une interface. La puce comporte plusieurs fonctions de sécurité intégrées telles que la protection contre le court-circuit et la protection contre la surchauffe.

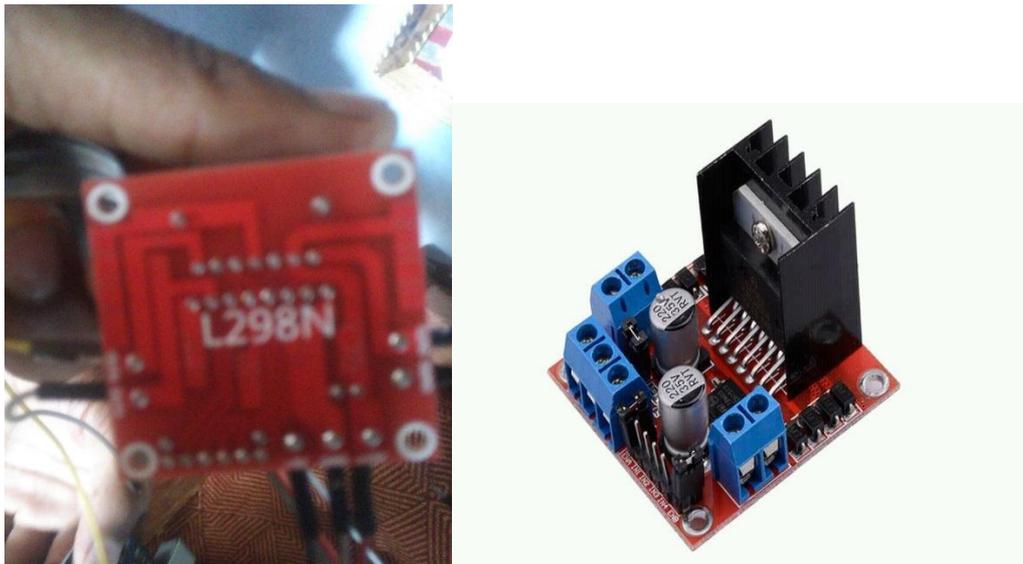


Figure 2.17 : *Le driver drvL298N*

La broche GND est connectée à la broche de terre de l'Arduino.

Les broches IN1, IN2, IN3, IN4 sont connectées sur les entres digital 8, 9, 10, 11, 12 de notre arduino Uno .

GND : Masse pour l'alimentation motrice.

A1 A2 : Première bobine du moteur pas à pas bipolaire.

B1 B2 : Deuxième bobine du moteur pas à pas bipolaire.

❖ Caractéristiques du moteur pas à pas de l'agitateur.

Tension d'alimentation	12volts
Nombre des Pôles	2
Driver	L298N
Tension d'alimentation Du driver	5 volts

Tableau 2.03 : *Caractéristique du moteur agitateur.*

❖ Nous avons choisi ce moteur pour les raisons suivantes :

- Simplicité d'utilisation.
-
- Vitesse réglable sur la programmation peut atteindre le débit idéal de la culture de capacité de 3000 L/h.
- Possède la puissance suffisante pour entrainer l'agitateur dans l'eau.
- Peu coûteux.
- Disponible sur le marché.

2.7.2 Horloge

Représenté en Fig. 2.24 ce module intègre une horloge temps réel pilotée par quartz, qui compte les heures, les minutes, les secondes pour nous faire savoir le jour de la récolte. Le circuit intégré gère les jours, les semaines, la date du mois, et les années. La correction pour les années bissextiles est valable jusqu'en 2099.



Figure 2.18 : *L'horloge temps réel de la serre.*

Une mémoire RAM locale à usage général de 31 octets est disponible pour l'utilisateur. Les échanges de données se font par un bus à trois fils de type SPI. Compatible TTL le circuit DS-1302 fonctionne dans une plage d'alimentation comprise entre 2Vcc et 5,5Vcc. Alimenté sous 2Vcc il consomme un courant qui reste très inférieur à 0,3µA.

Les données de l'horloge, du calendrier ou de la RAM peuvent être lues ou écrites octet par octet ou en mode rafales comportant un certain nombre d'octets. Le circuit est conçu pour une ambiance industrielle et fonctionne entre -40°C et +85°C.

Noter que l'interface et les protocoles de dialogue entre le DS1302 et le DS1307 sont totalement différents. Une broche spécifique est prévue pour le raccordement à une pile de secours en alimentation. Noter que l'interface et les protocoles de dialogue entre le DS1302 et le DS1307 sont totalement différents.

Une broche spécifique est prévue pour le raccordement à une pile de secours en alimentation. Comme montré sur la Fig.2.25 le petit module est complété par une LED de témoin d'alimentation +Vcc. Les Entrées / Sorties sont choisies pour pouvoir utiliser simultanément le SHIELD de l'afficheur LCD.

- Protocoles de dialogue avec le DS1302 :

Contrairement à tous les exemples trouvés sur Internet, se contenter de réunir les trois broches de pilotage aux E/S d'Arduino n'est pas suffisant.

Le fonctionnement ne devient correct que si les trois lignes de dialogue de la SPI sont drainées à l'état "1" par trois résistances de 10K Ω au +Vcc.

RESET: Cette broche nommée RST agit comme un "chip select". Pour écrire ou lire dans la "puce" du DS1302 cette ligne doit être maintenue à l'état "1" jusqu'à la fin de la lecture / écriture. Lorsque cette ligne est à l'état "0" toutes les lectures et écritures sur le DS1302 sont désactivées.

I/O: C'est la ligne de données bidirectionnelle du protocole SPI. Lorsque l'entrée RESET est haute, elle devient active. Les données série sont échangées par mots de 8 bits. Une écriture ou cycle de lecture consiste à envoyer un octet de commande, suivi d'une lecture ou d'écriture d'octets. L'octet de commande indique l'adresse à lire ou à écrire.

SCLK: Il s'agit de l'horloge de synchronisation du système. Les spécifications sur la fiche de données signalent une fréquence d'horloge de valeur maximale de 2 MHz sous une alimentation de 5Vcc. Mais certains internautes précisent qu'ils n'ont pas pu atteindre cette haute performance. La fréquence maximale d'échantillonnage semble se situer aux environs de 500 kHz.

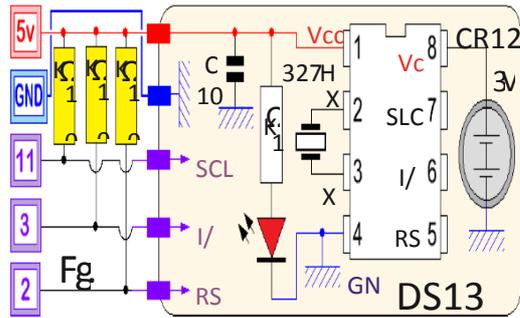


Figure 2.19 : Connecteur vu de dessous.

❖ Caractéristiques du module horloge temps réel utilisé.

Tension d'alimentation	5 volts
Model RTC	DS1302
Automation de la batterie	3 ans
Tension de la batterie	3 volts

Tableau 2.04 : Caractéristique du module horloge

❖ Nous avons choisi ce module horloge temps réel pour les raisons suivantes :

- Simplicité d'utilisation.
- Efficacité de mémorisation
- Possède une batterie durable.
- Peu coûteux.
- Disponible sur le marché

2.8 LEDs photosynthétique

Pour aider la culture pour la photosynthèse, 50 LEDs rouges (660 nm) ont été montées sur le couvercle de la serre aquarium, qui est utilisées pour l'éclairage permettant d'avoir un mélange homogène de la solution de culture.

Le tableau 1.3 présente des effets des systèmes d'éclairage sur certaines plantes.

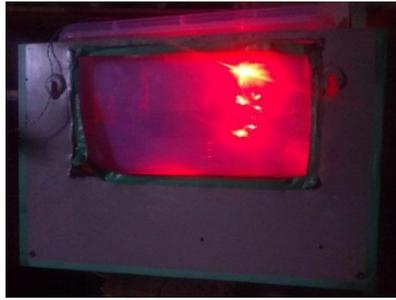


Figure 2.20 : *LEDs de photosynthèse*

2.8.2 Potentiels des LEDs comme sources d'éclairage en horticulture

Les recherches sur l'éclairage horticole montrent que les plantes sont plus sensibles à certaines longueurs d'onde du spectre lumineux [2.11], [2.12]. Ces résultats mettent en évidence l'efficacité des lumières bleue et rouge sur la croissance des plantes à cause des bandes d'absorption des chlorophylles A et B [2.13], [2.14]. Pour une question d'optimisation énergétique et d'efficacité photosynthétique, ceci a donné lieu à la fabrication de système d'éclairage basé sur ces deux couleurs. Cependant, certaines plantes ont une croissance plus élevée avec des longueurs d'onde dans le vert (autour de 540nm) [2.15]. Aussi, les cytochromes et les phototropines absorbent les UV (320-390 nm) et favorisent le phototropisme et l'ouverture des stomates [2.16]. L'approche actuelle réside dans la mise en œuvre du système d'éclairage à spectres plus larges que les sources bleues et rouges seules. L'industrie de l'éclairage horticole semble donc s'orienter vers des sources à spectre continu se rapprochant de la lumière naturelle (lumière blanche).

Les LEDs sont largement utilisées pour leurs avantages par rapport aux technologies d'éclairage traditionnel. Leur longévité, leur efficacité lumineuse élevée, leur taille et leur flexibilité promeuvent leur développement dans une large variété d'applications, notamment dans le domaine de l'agriculture [50]. Pour la croissance des plantes, les LEDs présentent trois avantages majeurs: une intensité facilement réglable, une lumière monochromatique (ce qui permet de fournir le spectre adéquat) et une production de chaleur réduite [2.0

Conditions d'éclairage	Plantes	Effets	Références
LEDs 730 nm (20 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) et 640 nm (300 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	Laitue rouge	Croissance de la biomasse et élongations des feuilles	[2.19]
LED 734 nm (160 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) et lampe fluorescente froide	Jeune laitue rouge	Décroissance de la teneur en chlorophylle de 14 % par rapport à la lampe fluo. La masse fraîche et sèche, la longueur des tiges, la longueur et largeur des feuilles croissent significativement de 28 %, 15 %, 14 %, 44 % et 15 %, resp. par rapport à la lampe fluo seule.	[2.20]

		Retarde ou inhibe la floraison de la plante comparativement aux lampes HPS avec une combinaison de longueurs [2.22] d'onde à 460 nm et 635 nm
LED 660 nm (75 %) combinée avec 460 nm (25 %)	Moutarde	
100 % LED 660 nm, 80 % de LED 660 nm + 20 % de 450 nm (45 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), 70 % de LED 660 nm + 30 % de 450 nm (45 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), 90 % de LED 660 nm + 10 % de 450 nm (45 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 60 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 75 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	Plantule de fraise Spiruline	La croissance des plants est meilleure avec 70 % de 660 nm + 30 % de 450 nm sous une intensité de 45 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ [2.23] La croissance après le transfert au sol est également meilleure après la culture in vitro avec des plantules produites sous 70 % de LED rouges et 30 % de LED bleues.
LEDs 470 nm, 505 nm et 530 nm (15 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) HPS (90 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) Eclairage de référence avec HPS (110 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	Poivron sucré	L'éclairage composé de LED 470 nm avec les lampes HPS entraîne une augmentation des zones suivantes: la surface foliaire, le poids frais et sec, et la teneur en pigments photosynthétiques des transplantations «Reda» de poivrons sucrés. Un effet positif similaire a été observé en utilisant [2.23] des LEDs supplémentaires à 455 et 505 nm. Cependant, les LEDs supplémentaires vertes à 530 nm ne présentent aucun effet sur la croissance. Elles empêchent également le développement des transplantations «Reda» de poivrons sucrés.

Tableau 2.05 : Effets de l'éclairage sur certaines plantes

Comme dans notre cas nous avons utilisé pour la photosynthèse artificielle le LED 660nm car celui-ci qui correspond bien pour la croissance de la plante de notre serre qui est la Spiruline.

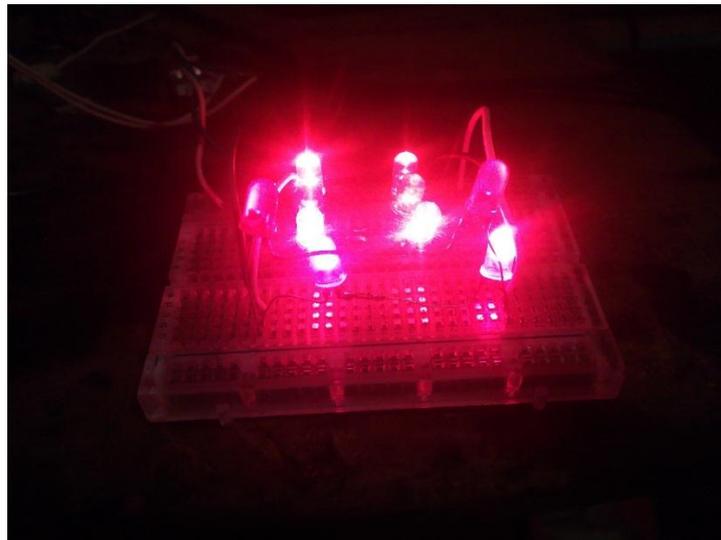


Figure 2.21 : LEDs de photosynthèse sur le banc d'essai.

❖ Caractéristiques des LEDs.

Tension d'alimentation	3 volts
couleur	Rouge
Puissance	2Wats
Nombre	50

Tableau 2.06 : Précision caractéristique Du LED utilisé.

- ❖ Nous avons choisi ce type de LEDs pour les raisons suivantes :
- Simplicité d'utilisation.

- Condition d'éclairage 660nm qui est proche de l'idéal pour la bonne croissance de la Spiruline.
- Peu coûteux.
- Disponible sur le marché.

2.8.3 Chauffage

Nous avons utilisé une résistance, qui permet de réchauffer la serre. Son principe de fonctionnement est basé sur l'action d'un contacteur électrique actionné avec un bouton poussoir commandé par l'arduino

2.8.3.1 Description de la résistance du chauffage

C'est une résistance de chauffage à eau domestique de petite taille et de faible puissance (figure 2.27), il convient parfaitement au besoin de température de notre serre aquarium, son utilisation est très simple, il suffit de l'alimenter avec une source de tension de 220V AC.

Dans notre projet l'arduino uno va le commander par un contacteur électrique en utilisant des relais à la place du bouton poussoir.



Figure 2.22 : La résistance de chauffage.

- ❖ Caractéristiques du résistance chauffante utilisée.

Tension d'alimentation	220 volts
Puissance	1000Wats

Tableau 2.07 : caractéristique de la résistance chauffante.

- ❖ Nous avons choisi cette résistance pour les raisons suivantes :

- Simplicité d'utilisation.
- Rapidité de chauffage
- Peu coûteux.
- Disponible sur le marché.

2.8.4 Le relais

Le relais (Figure 2.28) joue le rôle d'un interrupteur commandé. Un relais électromécanique est doté d'un bobinage en guise d'organe de commande. La tension appliquée à ce bobinage va créer un courant, ce courant produisant un champ électromagnétique à l'extrémité de la bobine (électro-aimant). Ce champ magnétique va être capable de faire déplacer un élément mécanique métallique monté sur un axe mobile, qui déplacera alors des contacts électriques. Dans notre projet deux de ceci NO et NF va servir à l'arduino comme bouton poussoir marche et arrêt pour activer et désactiver le contacteur.



Figure 2.23 : . Le relai utilisé dans notre projet.

Les principales caractéristiques techniques du relai utilisé dans notre projet sont :

- Signal de commande **5V** ;
- Maximum AC courant et voltage : **10A 250VAC** ;
- Maximum DC courant et voltage: **10A 30VDC** ;

- Il existe un contact normalement ouvert et un contact normalement fermé ;
- Pour que la bobine du relais soit excitée, vous devez avoir une entrée de **0** dans la broche de signal.

❖ Brochage du relai

+ : 5V source ;

-: Masse ;

S : Signale de commande en 3.3V (dans notre cas) ;

NC : normalement fermé ;

NO : normalement ouvert.

2.9 Contacteur électrique

2.9.1 Introduction

En raison de sécurité nous avons choisi d'unir deux logiques de l'automatisme dans notre projet. Il y a la logique la programmé et la logique câblé en utilisant de contacteur électrique pour but d'alimenter en puissance la résistance de chauffage de la serre.

Le contacteur est un appareil mécanique de connexion ayant une seule position de repos et une Seule position de travail.

Il est capable d'établir, de supporter et d'interrompre des courants dans les conditions normales du circuit, y compris **les conditions de surcharges en service**.

L'intérêt du contacteur est de pouvoir être commandé à distance. Il fait partie de la famille des **pré actionneurs** puisqu'il se trouve avant l'actionneur dans la Chaîne des énergies.

Un contacteur peut être actionné à partir des éléments du circuit de commande (Bouton Poussoir, Capteur, Etc...

Dans notre cas l'arduino va le commander avec le relais à la place du bouton poussoir.



Figure 2.24 : *Visuels de contacteurs.*

2.9.2 Constitution et fonctionnement

Un contacteur est composé de deux parties:

- ❖ Une partie fixe appelée «armature fixe »
- ❖ Une partie mobile appelée « armature mobile ».

Constitution

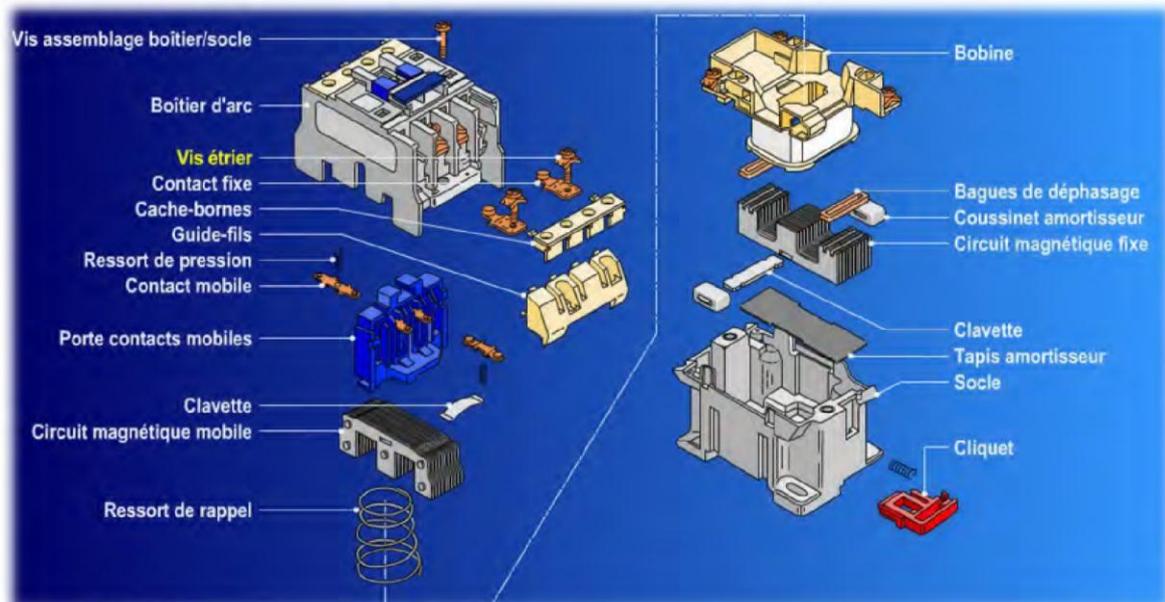


Figure 2.25 : *Vue des éléments intérieurs d'un contacteur.*

Fonctionnement

1. La bobine du contacteur peut être alimentée aussi bien par un courant alternatif que par un courant continu (de 24 à 400 V).
2. Elle génère un champ magnétique
3. La partie mobile de son armature est attirée contre la partie rigide.
4. En fonction du modèle, les contacts se ferment ou s'ouvrent alors.
5. Si la bobine n'est pas alimentée, le ressort de rappel renvoie en position initial la partie mobile de l'armature et les contacts reprennent leur position.

Ce mécanisme permet de contrôler la mise en service des appareils électriques en aval de celui-ci.

2.9.3 Symboles

Un contacteur de puissance ou auxiliaire est équipé de contact dit " F ", de contact F à Fermeture dit " F ". O à Ouverture

Ces contacts peuvent être utilisés dans la partie commande (contact auxiliaire) ou dans la partie puissance (contact de puissance) de l'installation en fonction de leurs caractéristiques Électriques.

La différence entre contact de puissance et contact auxiliaire réside dans le fait que le contact du contacteur puissance est prévu pour résister à l'apparition d'un arc électrique issu d'un fort courant, à l'ouverture ou à la fermeture du circuit. Le contact auxiliaire fait partie de la partie commande du montage dont les courants restent faibles face à la partie puissance.

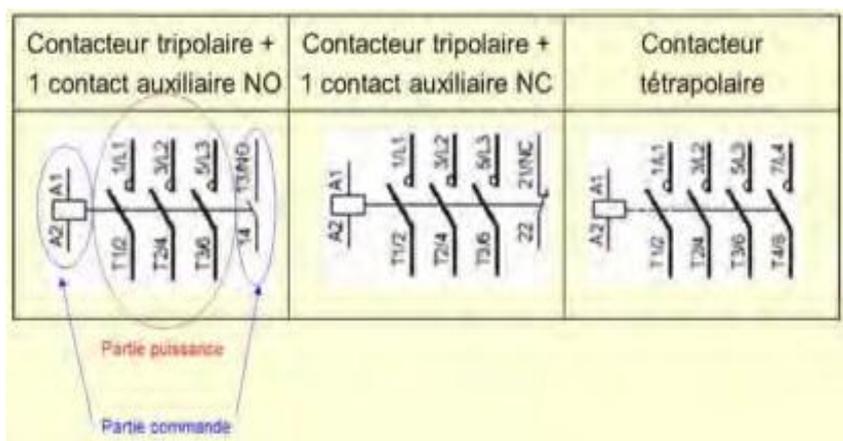


Figure 2.26 : Exemples de symboles de contacteur de puissance.

Les contacteurs sont utilisés afin d'alimenter des moteurs industriels de grande puissance et en général des consommateurs de fortes puissances. Ils possèdent un pouvoir de coupure

de coupure (P_{dc}) important et c'est pour cette capacité puissante que nous allons l'adopter pour la puissance de notre résistance.

Une partie de ses contacts peut être utilisée pour commander des éléments de puissance (Moteur, chauffage, circuit de puissance, etc...). Il est repéré KM (KM1, KMA...) aussi bien pour la bobine et les contacts.

2.9.4 Choix d'un contacteur

Éléments à prendre en compte pour le choix d'un contacteur

- ❖ La catégorie d'emploi
- ❖ Le courant d'emploi (I_e), Il est défini suivant la tension d'emploi, la fréquence et le service assignés, la catégorie d'emploi.
- ❖ La tension d'emploi (U_e) entre pôles, pour les circuits triphasés, elle s'exprime par la tension entre phases.
- ❖ La puissance consommée par le récepteur
- ❖ La valeur de la tension d'alimentation de la bobine de commande (12V à 400V; alternatif ou continu).
- ❖ Les accessoires complémentaires: Contact instantané, Contact temporisé, Dispositif de condamnation.

2.9.4.1 Choix du contacteur correspondant aux cahiers des charges de notre chauffage.

Résistance chauffante monophasé (coupure lancé)

Puissance utile de 1000W

$\cos = 1$ sous 220V, 50Hz,

Tension de commande sous 24V 50Hz

- Catégorie d'employé :

$U_e = 220V < 440V$ alternatif alors **AC1**

- Courant assigné d'emploi

$$P = U \cdot I \cdot \cos\phi \Rightarrow I = P / U \cdot \cos\phi \quad [2.01]$$

On a une charge purement résistive alors **$\cos\phi = 1$**

AN : $I = 1000 / 220 \times 1$

$$I = 4.545 \text{ A}$$

- Référence du contacteur : LC1 D12 pour l'utilisation maximale de 1 millions de cycle de manœuvre.

Selon le résultat sur la lecture de l'abaque de constructeur (Tableau 2.06) correspondant à notre calcul nous avons choisi pour notre projet un contacteur **LC1 D12** pour l'utilisation maximale de **1 millions** de cycle de manœuvre.



Choix selon la durabilité électrique, emploi en catégorie AC-1 ($U_e \leq 440\text{ V}$)

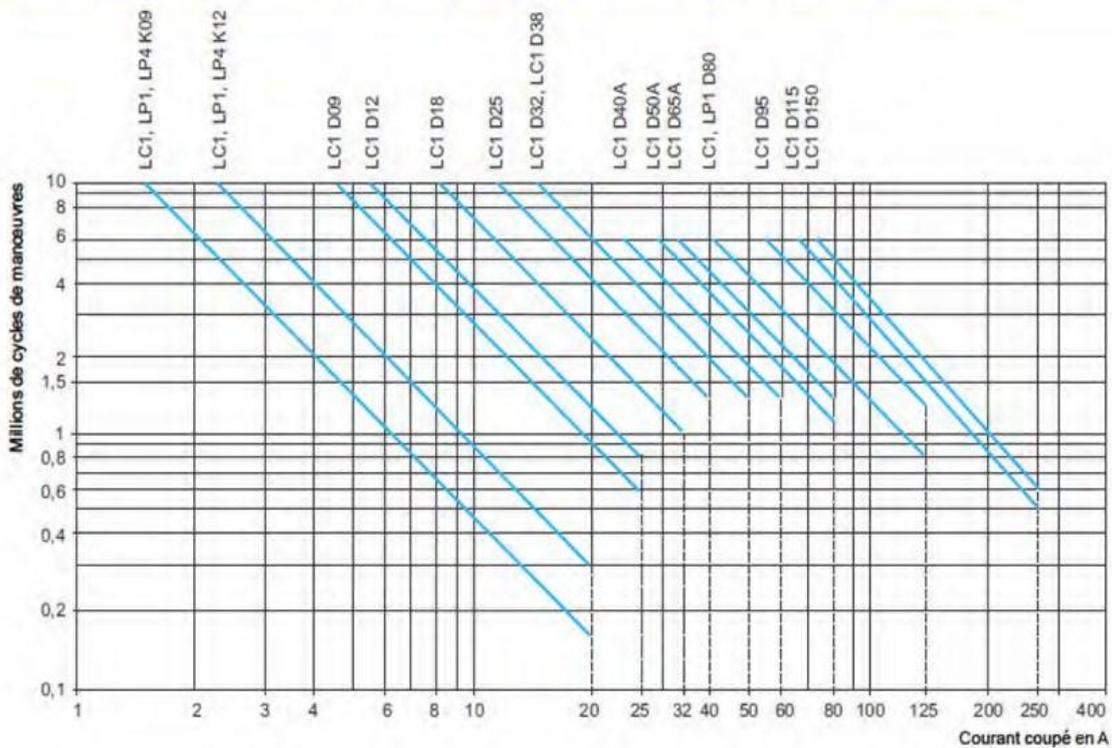


Tableau 2.08 : Exemple pour catégorie AC1.

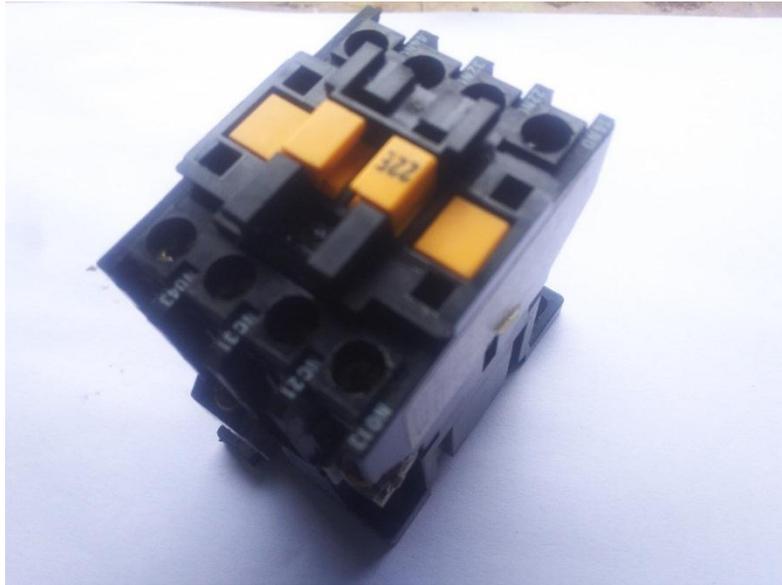


Figure 2.27 : *Le contacteur LC1 D12 de notre projet TELEMECANIQUE.*

2.9.5 L'alimentation

Nous avons besoin d'une alimentation avec les caractéristiques suivantes :

- Entrée : une tension alternative de 220V à 50Hz ;
- Sorties : trois tensions continues de 12V et 5V pour les actionneurs et 3.3V pour la partie commande.

Remarque : La sortie 220V doit fournir un courant assez élevé pour alimenter notre chauffage à résistances.

Pour la réalisation de notre projet, nous avons utilisé des alimentations différentes connectées sur le réseau du JIRAMA. Elles sont présentées selon les caractéristiques suivantes :

- ❖ Un chargeur à découpage

5voltes : Il nous sert d'alimenter l'arduino Uno et les LEDs de photosynthèse.

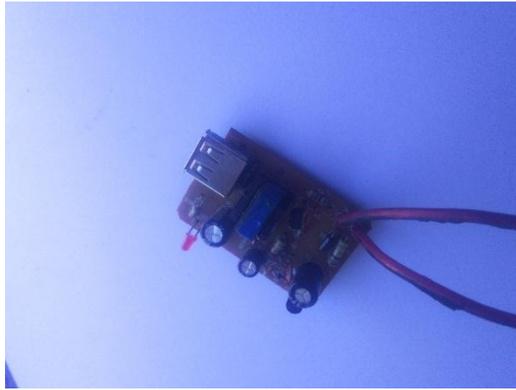


Figure 2.28 : Alimentation en 5voltes DC.

❖ la sortie de l'arduino.

3voltes : il est pris directement sur la sortie et la GND de l'arduino il sert à alimenter le capteur et la RTC.

12voltes : il est pris directement sur le réseau il sert à alimenter le moteur agitateur pas à pas.

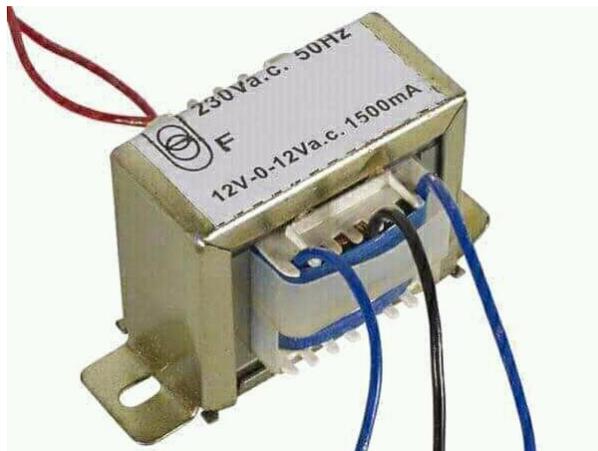


Figure 2.29 : Alimentation en 12voltes DC.

Le transformateur sur la figure (2.35) est un transformateur abaisseur de 220 v/12 AC nous. Afin d'avoir une tension de 12V DC pour les moteurs pas à pas agitateurs on a utilisé une pond avec 4 diodes.

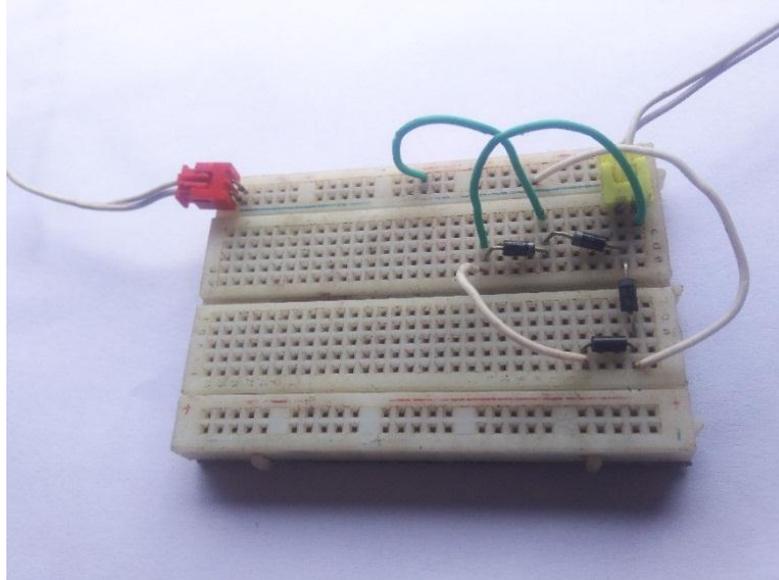


Figure 2.30 : La pond à diodes sur le banc d'essaye.

2.10 Protection de l'armoire électrique et du réparateur.

Tout circuit doit comporter à son origine un dispositif de sectionnement et sur la phase, un dispositif de protection contre surintensités : Surcharges et Court-circuit.

Dans la réalisation de notre projet il ne faut pas oublier que nous avons réalisé une serre agricole de culture aquatique sous aquarium contrôlé par beaucoup de composants électrique. Il faut donc prendre en compte une sécurisation maximum de l'installation avec l'implantation des dispositifs de protection a l'installation qui sont : Le disjoncteur, le relais thermique, les fusibles.

2.10.1 Protection contre le cours circuit

2.10.1.1 Le disjoncteur

Un disjoncteur est un appareil électrique destinée à assurer la protection contre le cours circuits d'une installation électrique comme dans notre cas nous avons utilisé un disjoncteur GV1- M08.

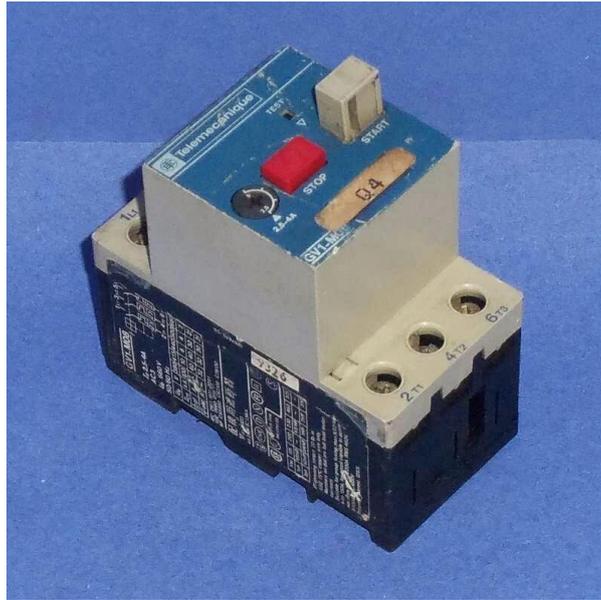


Figure 2.31 : Le disjoncteur GV1- M08 DU TELEMECANIQUE.

❖ Caractéristiques du disjoncteur utilisé.

Réf.	GV1-M08
Puissance couper a 220 v (en kW)	0.75
Calibre (A)	2.5 à 4
Puissance couper a 380 v (en kW)	1.5

Tableau 2.09 : caractéristique du disjoncteur.

❖ Nous avons choisi ce disjoncteur pour les raisons suivantes :

- Simplicité d'utilisation.
- Efficacité et rapidité de coupure
- Peu coûteux.

- Disponible sur le marché.

2.10.2 Protection contre le cours circuit

2.10.3 Les fusibles

Dans notre projet, dans l'armoire électrique les fusibles ou coupes circuits permettent à la fois la protection contre les cours circuits et contre les surcharges pour les circuits ne permettent pas de pointes de courant importantes.



Figure 2.32 : Les fusibles SOCOMEC.

- ❖ Caractéristiques du disjoncteur utilisé.

taille	10,3 x 38 mm
Type	aM
calibre	10A
h	120kA

Tableau 2.10 : Caractéristique des fusibles.

- ❖ Nous avons choisi ce module horloge temps réel pour les raisons suivantes :
 - Simplicité d'utilisation.
 - Agit rapidement même sur une ligne
 - Peu coûteux.
 - Disponible sur le marché.

2.10.4 Protection contre la surcharge

2.10.4.1 Les relais thermiques

Utilisable en courant continu et en alternatif, ils sont destinés à assurer une protection thermique contre les surcharge faible et prolonger. Dans notre cas il assurera la même fonction dans l'armoire électrique de la serre.

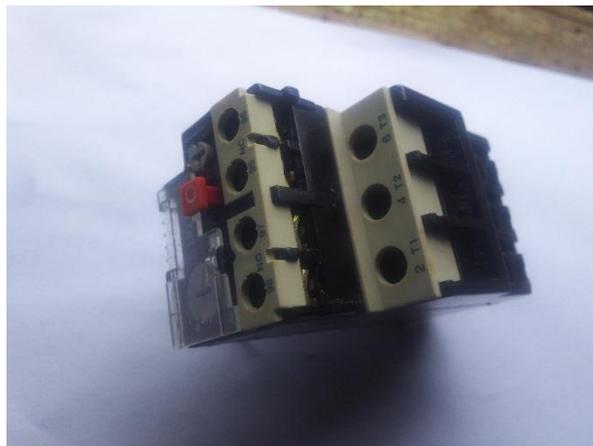


Figure 2.33 : Le relais thermique de la serre agricole.

- ❖ Caractéristiques du relais thermique utilisé.

Classe	10
Température d'utilisation	-25°C à +55°C
réf.	LR2-D1303
Zone de réglage (A)	0,25-0,4

Tableau 2.11 : caractéristique du relais thermique.

❖ Nous avons choisi ce relais thermique pour les raisons suivantes :

- Simplicité d'utilisation.
- A monté sur le contacteur
- Peu coûteux.
- Disponible sur le marché

2.11 Conclusion

La conception d'un projet peut être faite de plusieurs manières pour répondre à un même cahier des charges. Le choix de la solution adéquate est primordial et est fonction de plusieurs critères.

Pour concevoir le dispositif de commande de la serre agricole pour la culture de la spiruline, nous avons opté pour la réalisation d'une armoire de commande autour de l'Arduino Uno possède principalement le microcontrôleur ATMEGA 328. La puissance de calcul de ce microcontrôleur est largement suffisante pour gérer des algorithmes de régulation complexes ainsi que les commandes de toutes les préactioneurs.

Grace au bus I²C nous avons proposé des solutions qui nous permettront de gagner des ports sur le sorti de l'Arduino, avec la possibilité d'ajouter un affichage LCD ainsi que le Module horloge temps réel pour nous faire savoir le jour de la récolte.

Le composant électronique et électrique de la serre agricole étant choisi, on va entamer la réalisation proprement dite et teste expérimental du système dans le prochain chapitre.

CHAPITRE 3 REALISATION DU PROJET PROPUREMENT DITE

3.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons en premier lieu, les différentes étapes de construction du prototype, du montage de la structure jusqu'au placement des capteurs et actionneurs ainsi que la carte de commande des protections et l'alimentation.

En second lieu nous allons interpréter les résultats des tests expérimentaux réalisés et obtenus avec et sans contrôle climatique.

En dernier lieu nous allons entamer une étude socioéconomique afin de déterminer le cout de revient de notre projet. Nous terminerons par la présentation des organigrammes fonctionnels de l'armoire de commande de l'aquarium.

3.2 Réalisation de l'aquarium

3.2.1 Construction de l'aquarium

Nous avons conçu la structure de notre aquarium est fait par la combinaison des deux parties indépendants.

- Une partie fixe pour rôle de supporter la totalité des actionneurs et aussi pour supporter la cuvette qui contient la culture (section 20x20) [fig. 5.01].



Figure 3.01 : *représente la structure immobile de l'aquarium*

→ Une partie mobile constituée par une cuvette de 40Litres qui a pour rôle de la contenance de la culture



Figure 3.02 : Représente la partie mobile de l'aquarium

Remarque : *Pour quoi mobile ?*

Quand l'afficheur indique que le jour de récolte est arrivé il suffit d'arrêter l'alimentation de la machine ouvrir l'aquarium et ensuite sortir la cuvette et en suite récupérer les récolter. En suite laver la cuvette et remettre à nouveau des semences et des engrais suffisant pour une nouvelle saison et le cycle ré commence.

Les deux parties réunies nous donne notre serre sous forme d'aquarium avec l'intervention des actionneurs commander par les commande de l'armoire fait un milieu proche de l'idéale pour la croissance rapide et efficace de la spiruline.

3.2.2 Armoire électrique

Nous avons utilisé une armoire de commande de dimension (60x40cm) elle a assuré la sécurité des dispositifs électrique et supporte le plaque de commande ainsi que les appareils de protection (figure V.2).



Figure 3.03 : Armoire électrique de commande de l'aquarium

3.2.3 Montage des capteurs et actionneurs

Nous avons installé les capteurs (DS18B20 température sensor, STC 9200, module RTC horloge temps réel) les actionneurs (50Leds, Moteur pas à pas 12, Afficheur LCD 20x4, etc.), l'éclairage et l'alimentation (Figure 5.04).



Figure 3.04 : *Les actionneurs et capteur e la serre*

3.2.4 Montage de la partie électrique

La figure 3.05 présente la partie électrique de notre serre, elle contient :

La carte de commande

- Arduino uno
- Contacteur électromécanique
- Relais
- ❖ L'alimentation.
 - Transformateur 12V avec circuit de redressement pour l'alimentation en puissance du moteur pas à pas.
 - Alimentation de 220V pour la résistance chauffante
 - Alimentation de 5V continu pour les Led photosynthétique
 - Alimentation de 5V continu pour le cœur du circuit qui est un Arduino Uno de 5V.

❖ Protection

→ Relais thermique

→ Disjoncteur

→ Fusible

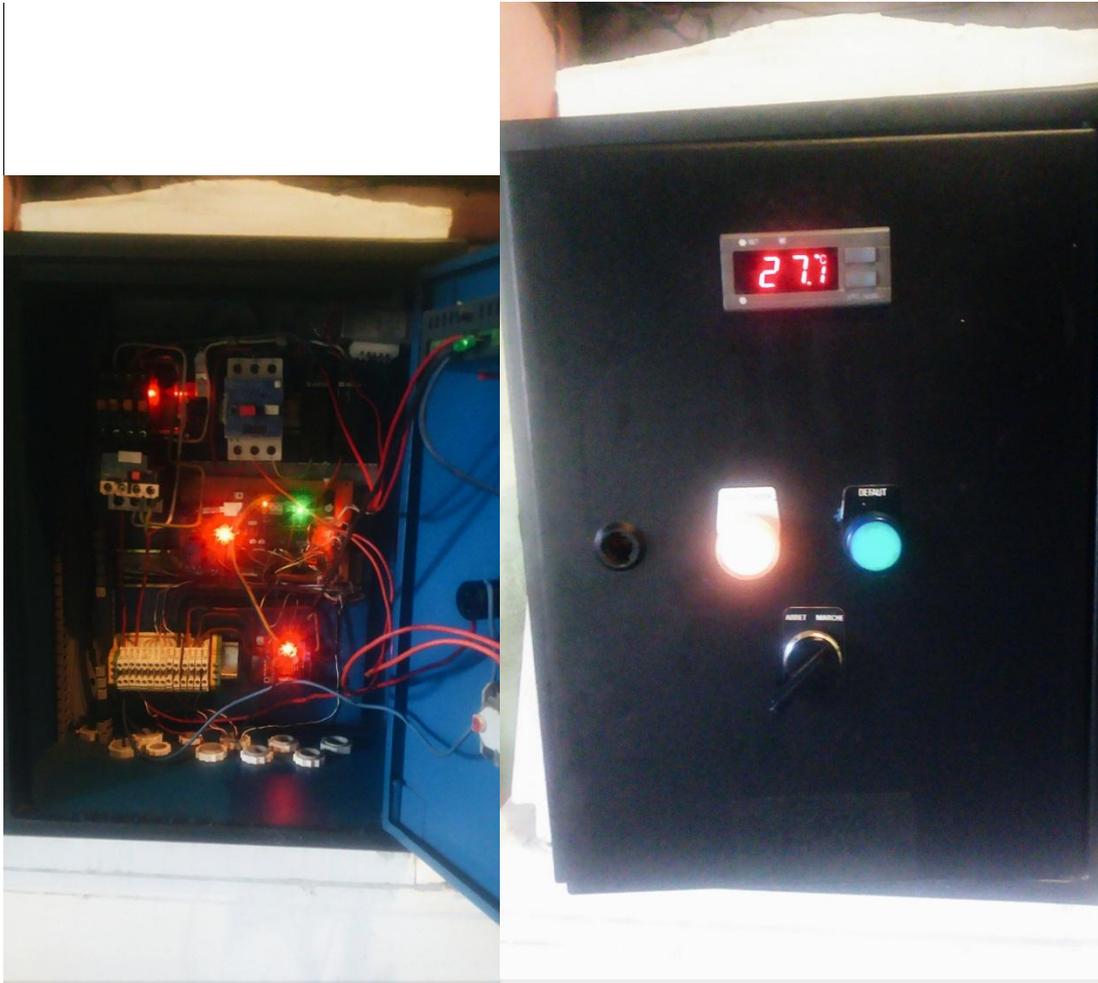


Figure 3.05 : Armoire électrique de commande de la serre aquarium

3.3 Organigramme générale du système

3.3.1 Organigramme de la carte de commande

La figure 5.06 présente l'organigramme du programme principal de la carte de commande.

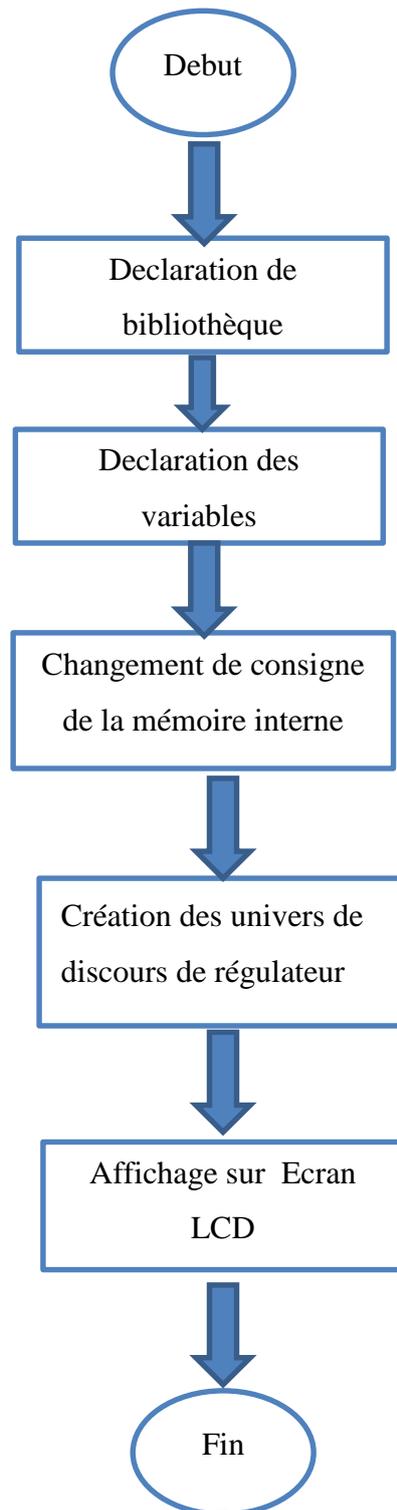


Figure 3.06 : *L'organigramme du programme*

Lors de la mise sous tension de la carte de commande, le programme commence par la déclaration des bibliothèques, l'initialisation des variables et le chargement des consignes de régulation depuis la mémoire interne, ces consignes sont ensuite utilisées pour créer les univers de discours du régulateur flou ainsi que les états marche/arrêt du régulateur TOR. Après la phase d'initialisation, le programme fonctionnera.

3.4 Schéma électrique

La première figure (figure 5.07) présente le schéma de commande et le brochage des relais de commandes et la deuxième figure (figure 5.08) montre le schéma du coter puissance de la résistance chauffante.

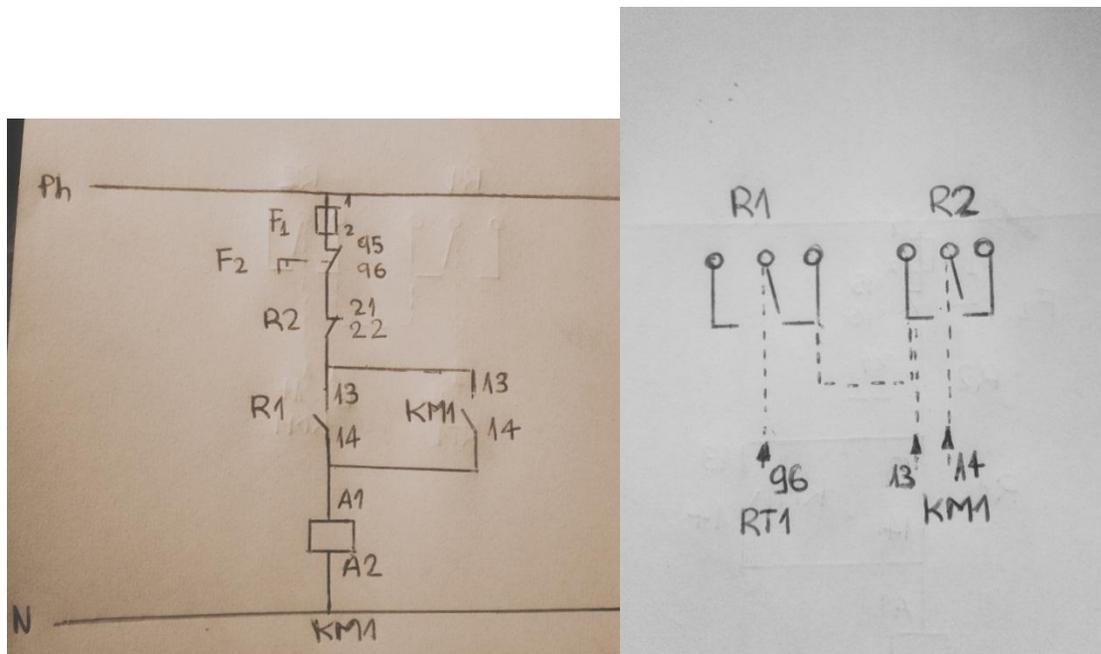


Figure 3.07 : Schéma de commande de la résistance chauffante

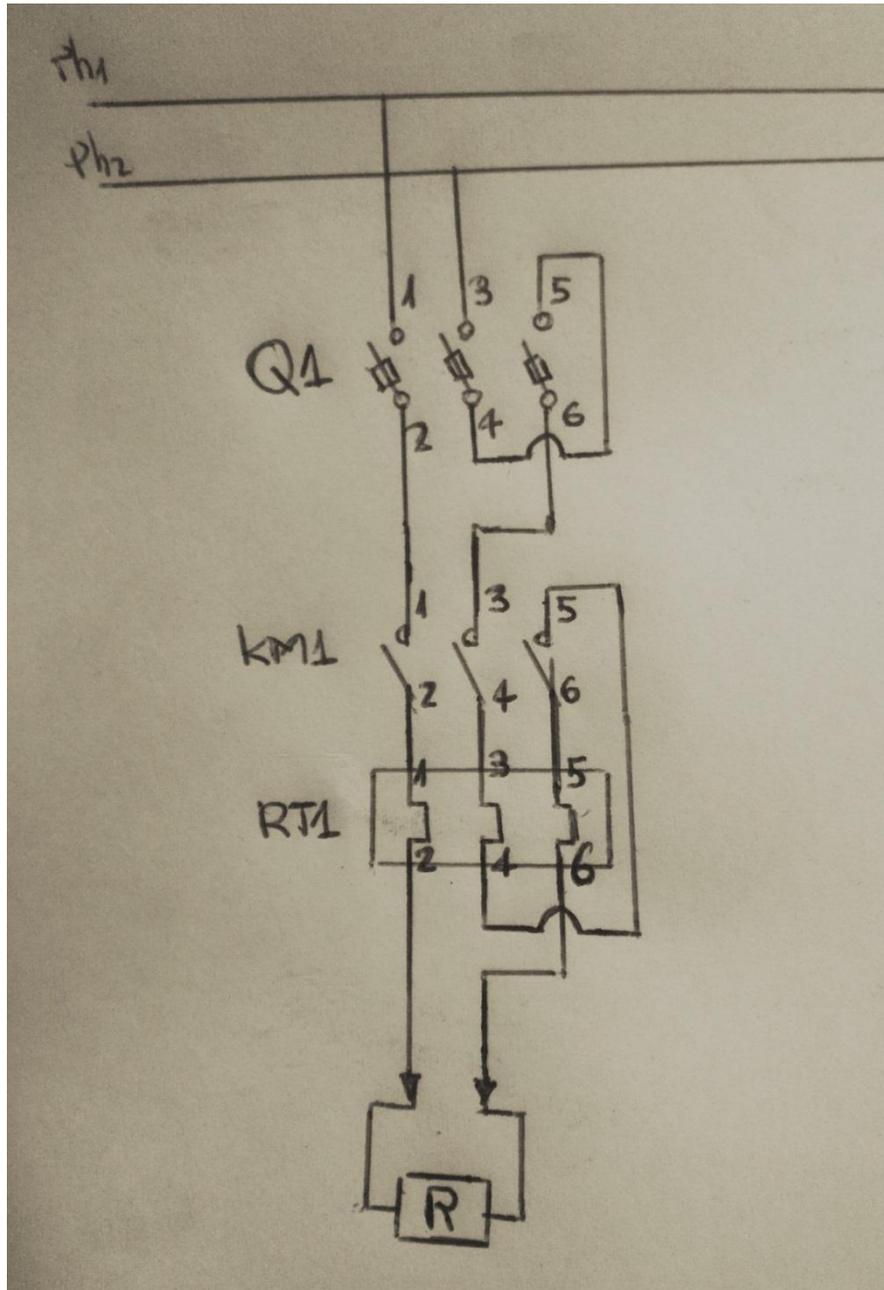


Figure 3.08 : Schéma de puissance de la résistance chauffante

3.4.2 Fonctionnement

- Activation du relais R1
- Fermeture du contacteur KM1 (13 -14)
- Auto alimentation de KM1
- Arrêt par intervention de R2

Remarque : Le commande de R1 mis en marche de résistance et R2 mis en arrêt de la résistance pourai se faire manuellement en remplant les relais par des boutons poussoirs, mais pour notre cas qui est une régulateur de température il est nécessaire d'utiliser le mode automatique par l'Arduino.

3.5 La carte de commande

3.5.1 Les composants constituant la carte de commande :

- Un ATMEGA328
- Un module i2C
- Un module RTC Horloge temps réel.
- Des PIN de connexion malles femelles
- 2 relais

3.5.2 Schéma de câblage de la carte de commande

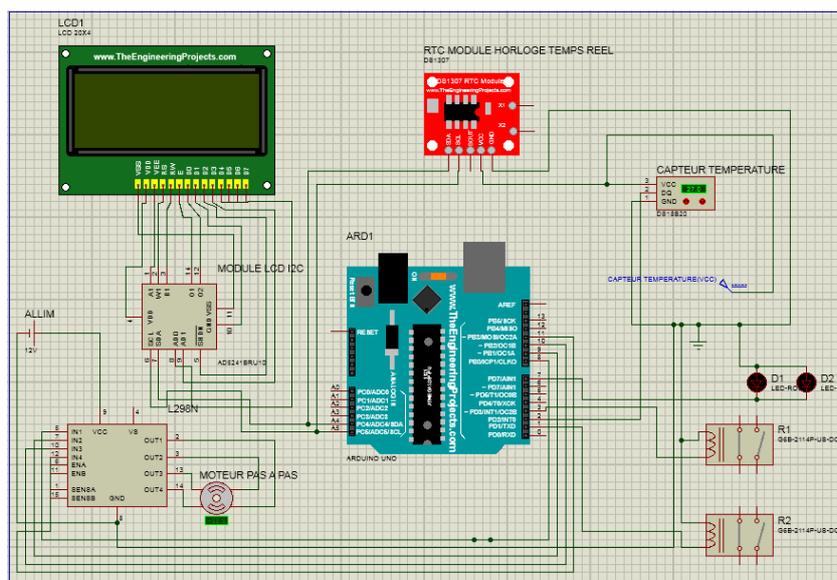


Figure 3.09 : Schéma de câblage de la carte de commande

3.6 Le projet final

La figure 3.10 présente une description des différents composants de La serre agricole aquarium après assemblage:

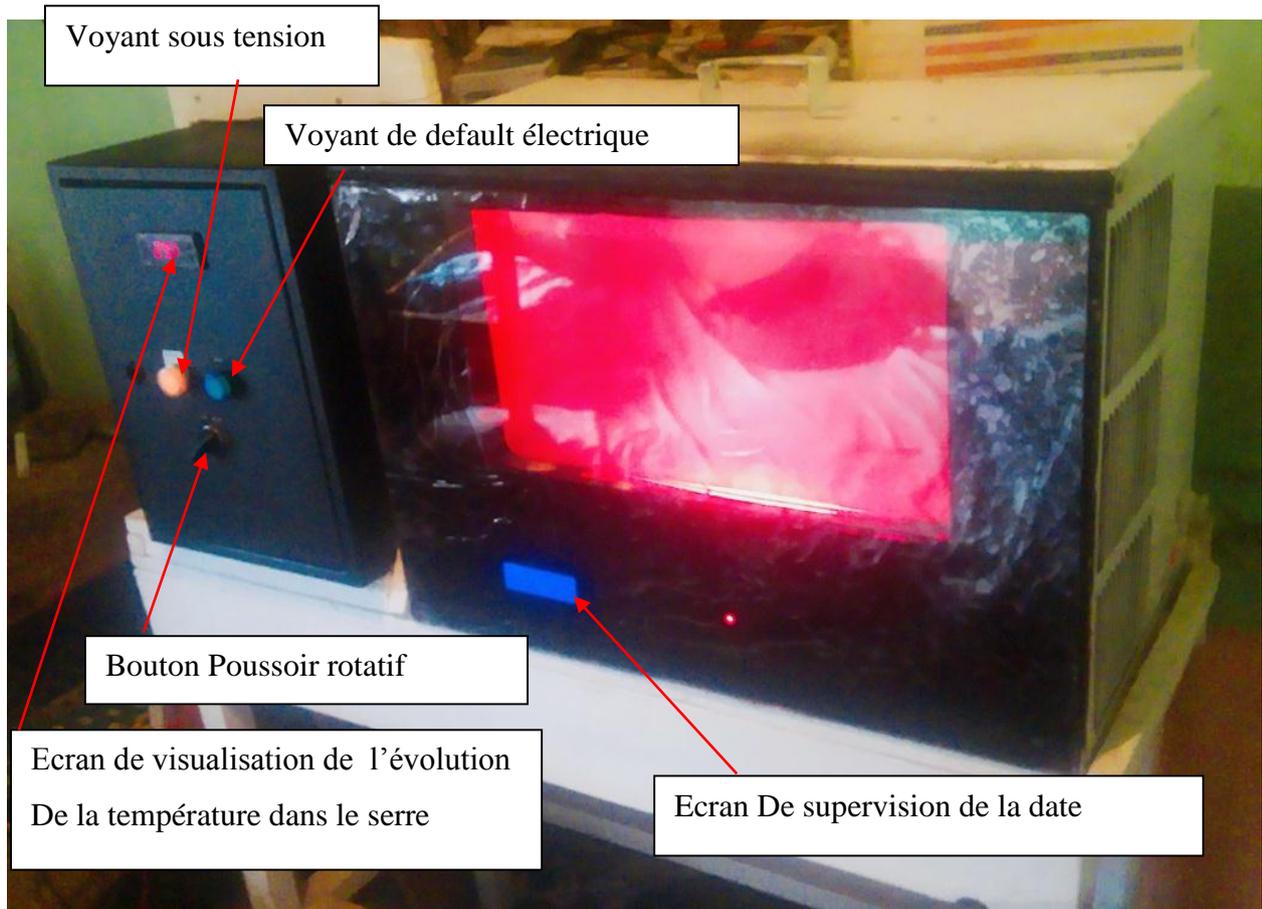


Figure 3.10 : Description des différents composants de La serre

3.7 Evaluation des performances du système

Afin de tester le bon fonctionnement et les performances de notre système, nous avons réalisé deux enregistrements de 24h dans les conditions réelles avec et sans contrôle climatique.

3.7.1 Evolution des paramètres climatique sans control

La figure 3.11 et la figure 3.12 présentent l'évolution des paramètres climatiques températures intérieure. Cet enregistrement a été effectué le 20/06/2020.

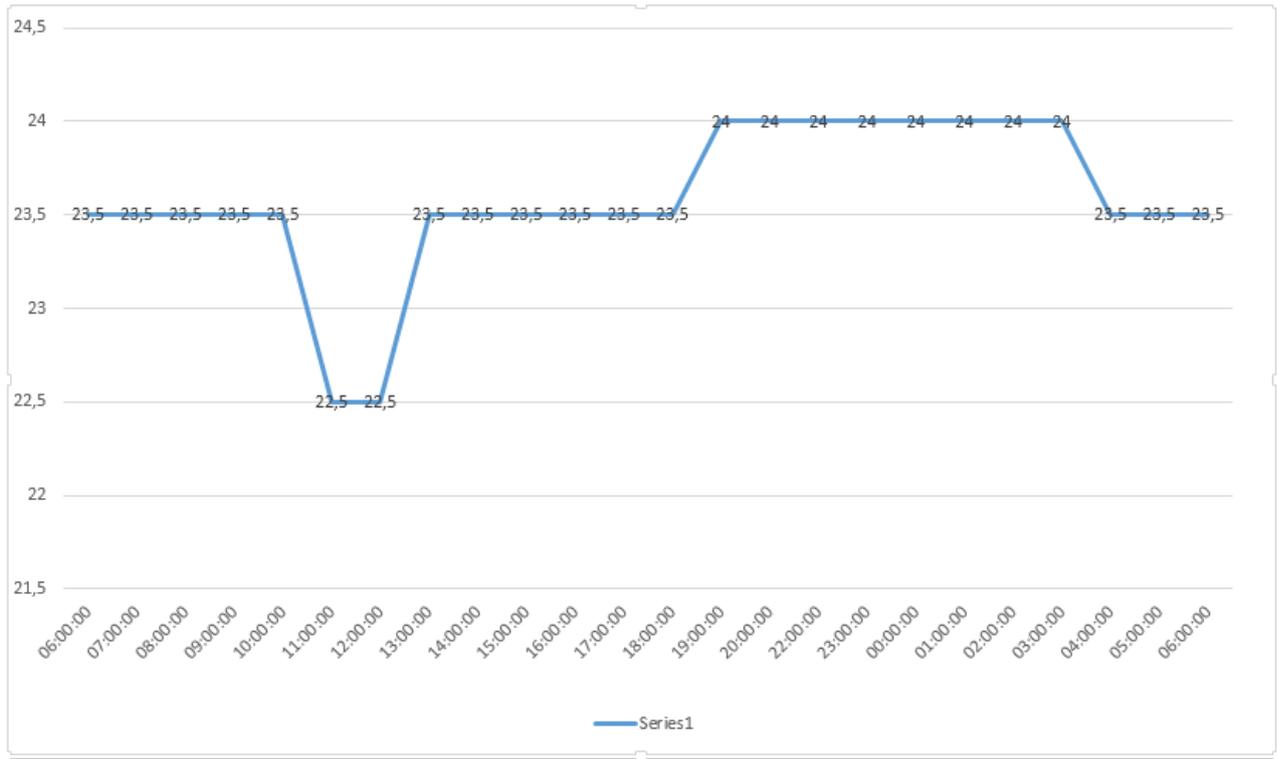


Figure 3.11 : Evolution de la température intérieure sans contrôle

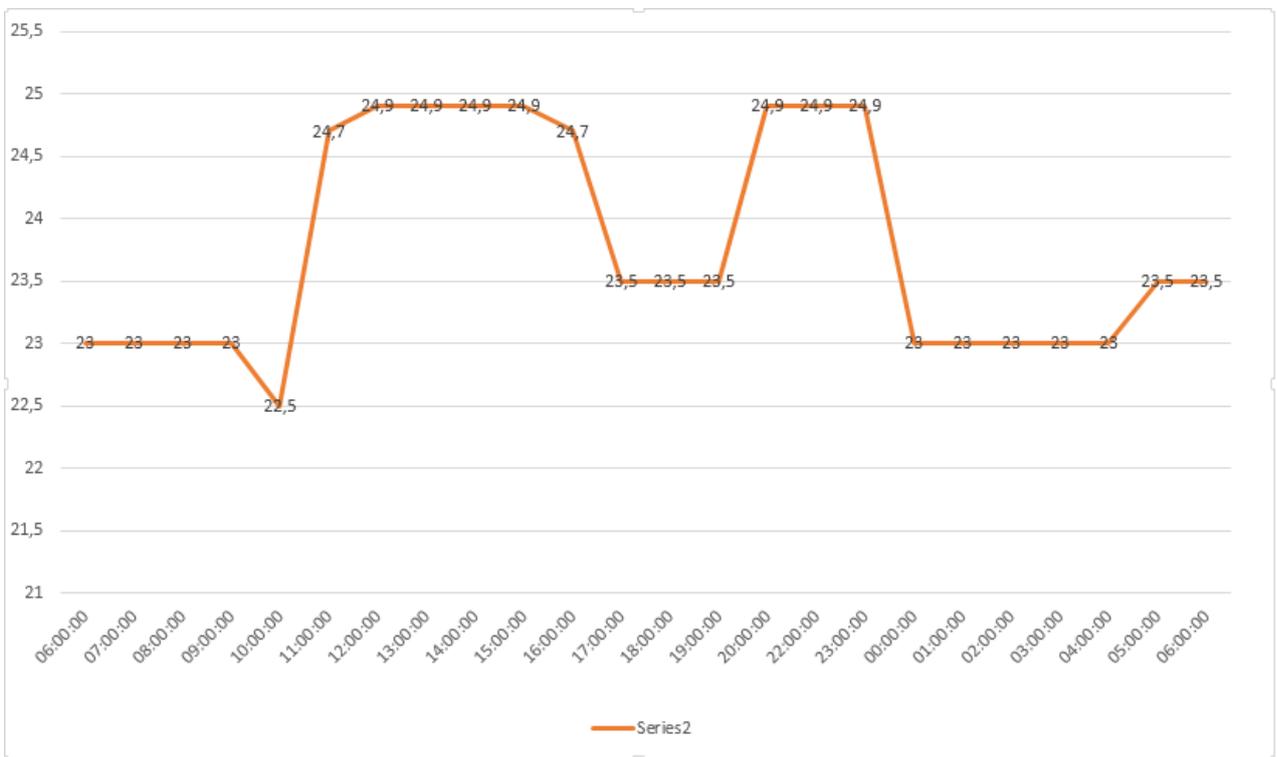


Figure 3.12 : Evolution de la température extérieure de la serre

Interprétation :

1) Durant le cycle jour et nuit (entre 06 :00 et 06 :00 du lendemain), Durant ce même cycle, la température interne est complètement différent à la consigne.

2) Durant le début du cycle jour, l'augmentation de la température. A partir de 10 :00, la température augmente jusqu'à dépasser l'intervalle de consigne.

Sans contrôle ni la température à l'intérieure ni à l'extérieure ne répond à la besoin de la spiruline

3.7.2 Evolution des paramètres climatique avec contrôle

Dans cet enregistrement (figure 3.13), nous évalueront les commandes réalisées durant les cycles jour et nuit. Nous allons le comparer avec l'enregistrement sans contrôle. Cet enregistrement a été effectué le 07/11/2020.

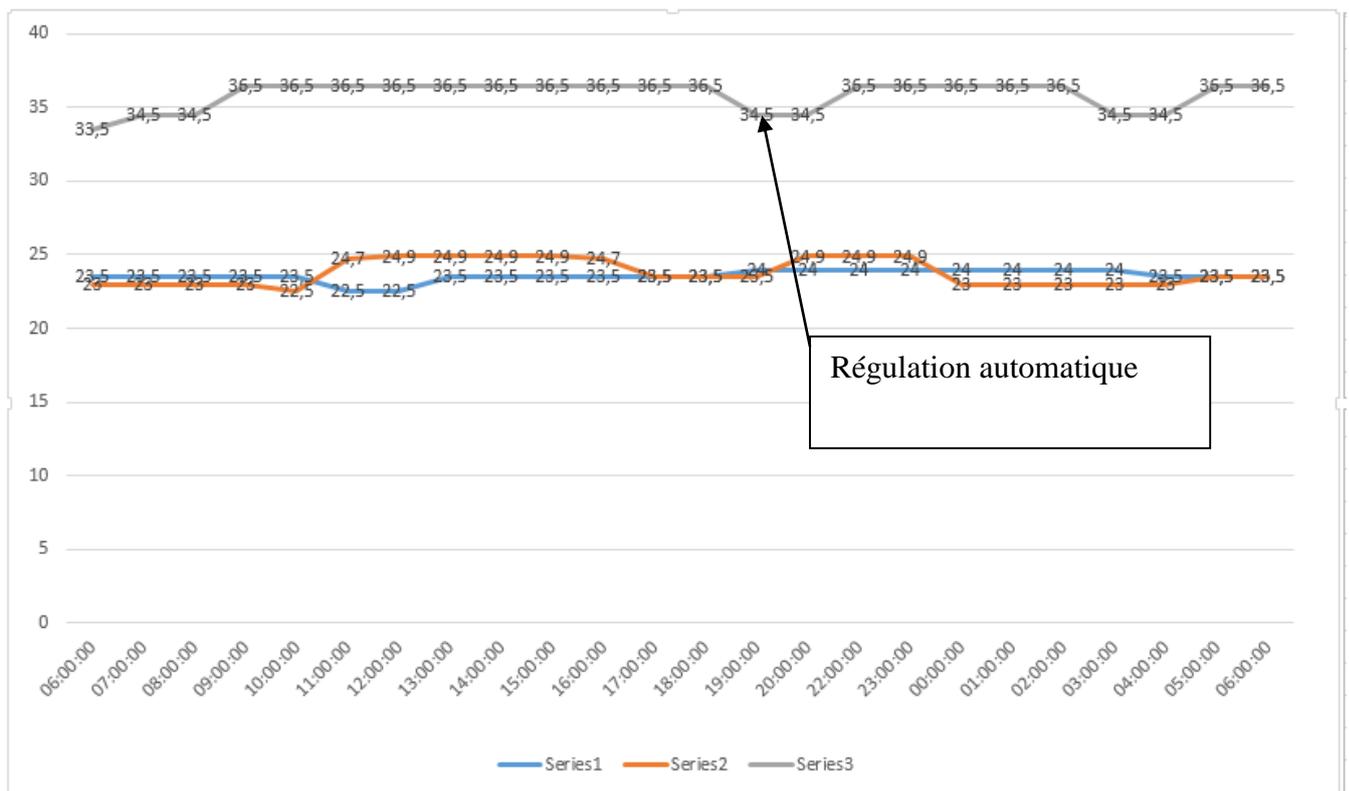


Figure 3.13 : Evolution de la de la régulation de température de la serre

3.8 Etude socioéconomique

Pour estimer le coût de fabrication de la plateforme de commande ainsi que la serre agricole, nous avons fait une étude socioéconomique afin d'estimer le prix de fabrication :

Tableau 3.01 : Etude socioéconomique

Composant	Prix unitaire (Ar)	Quantité	Total (Ar)
ARDUINO UNO	50000	1	5000
RELAIS	12000	2	24000
I2C	6000	1	6000
DIJONCTEUR	20000	1	20000
CONTACTEUR	60000	1	60000
RELAIS THERMIQUE	30000	1	30000
DRIVER PAS A PAS	15000	1	15000
BORNIER	1000	14	14000
ECRAN LCD	30000	1	30000
STC	20000	1	20000
RTC	8000	1	8000
BP	1000	1	2000
VOYANT	1000	2	2000
LED	100	50	5000
RESISTENCE	4000	1	4000
		TOTAL	245000

D'après le tableau, le prix d'achat est de 245000ARIARY,

3.9 Conclusion

Après la phase de montage de la structure et l'installation des équipements à l'intérieur et à l'extérieur de la serre, nous avons pu constituer une base de données climatique. A partir des résultats obtenus des tests sur les conditions réels, nous avons constaté que la commande appliquée sur le système donne des résultats satisfaisants.

Puis, nous avons réalisé avec un organigramme fonctionnel qui décrit le fonctionnement global de notre système.

Enfin, nous avons conclu ce chapitre avec une étude socioéconomique afin de déterminer le cout de réalisation, ce cout parait acceptable compte tenu des résultats obtenus.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Afin d'augmenter la qualité et la quantité des produits agricoles issue de la culture sous serres et de faire face à un marché très concurrentiel, il est nécessaire d'avoir un contrôle climatique optimal.

Pour cela, nous avons développé une Etude, Réalisation d'une Plateforme pour l'automatisation et le contrôle climatique d'une serre pour agriculture de spiruline gérée par une armoire électrique intelligente. Elle est composée d'une partie électronique constituée d'une carte de commande ARDUINO UNO enfin, nous avons décrit le fonctionnement global de notre système par un organigramme fonctionnel. Nous avons conclu ce chapitre par une étude socioéconomique afin de déterminer le coût de revient de notre projet.

Ce travail nous a permis de mettre à l'épreuve d'une part et d'améliorer d'autre part nos connaissances théoriques et pratiques en électronique, électrotechnique, mécanique et informatique. De plus, il a été une source de découverte de plusieurs domaines d'études tels que : l'agriculture

Pour terminer, rêvons un peu du futur. On vit actuellement dans le monde de l'énergie renouvelable il serait possible d'utiliser de l'énergie photovoltaïque dans notre projet.

ANNEXES

Annexe 1 : CODE DE SCAN DE I2C

Il suffit de brancher l'I2C, LCD sur le pin A4, A5 de l'Arduino après téléversement du programme le port série nous montre l'adresse de notre I2C, LCD (Fig 3.11).

```
#include <Wire.h>

void setup()
{
  Wire.begin();

  Serial.begin(9600);
  while (!Serial); // Miandry
  Serial.println("\nI2C Scanner");
}

void loop()
{
  byte error, address;
  int nDevices;

  Serial.println("Scanning...");

  nDevices = 0;
  for(address = 1; address < 127; address++ )
  {
    Wire.beginTransmission(address);
    error = Wire.endTransmission();

    if (error == 0)
    {
      Serial.print("I2C device found at address 0x");
      if (address<16)
        Serial.print("0");
      Serial.print(address,HEX);
      Serial.println(" !");

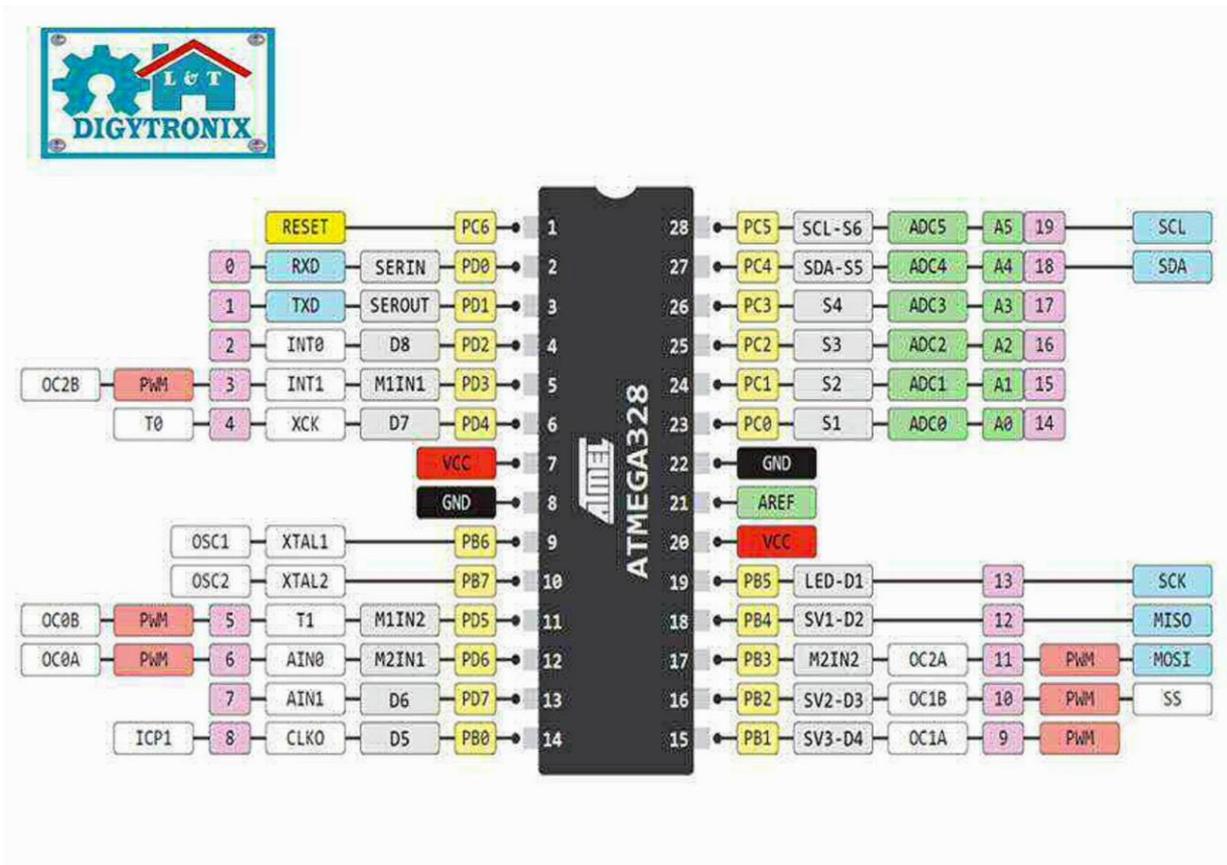
      nDevices++;
    }
    else if (error==4)
    {
      Serial.print("Unknown error at address 0x");
      if (address<16)
        Serial.print("0");
      Serial.println(address,HEX);
    }
  }
  if (nDevices == 0)
    Serial.println("No I2C devices found\n");
  else
    Serial.println("done\n");

  delay(5000); // wait 5 seconds for next scan
}
```

Code de scan de l'Adresse de l'LCD, I2C

Annexe 2 : Le microcontrôleur ATMEGA328P de l'Arduino UNO

La figure 2.02 représente la structure externe du microcontrôleur ATMEGA328P. Structure Externe de l'ATMega328P de l'Arduino uno



Description des pins :

- ❖ PC, PB et PD sont les PORT C, B, et D. Les PORTD et B sont configurés comme entrées digitales, et le PORTC est configuré comme entré analogique.
- ❖ RESET- Un niveau bas sur cette broche effectue un reset du microcontrôleur
- ❖ RXD et TXD: Entrée et Sortie des données de l'interface de communication USART
- ❖ VCC, AVCC: Alimentation positive du microcontrôleur et du convertisseur Analogique / Digital respectivement
- ❖ GND : Alimentation négative du microcontrôleur La masse.
- ❖ T0, T1: Source d'horloge externe du Compteur/Timer 0, 1
- ❖ XCK : Source d'horloge externe pour L'USART quand il est utilisé en mode synchrone
- ❖ T1 : Source d'horloge externe du compteur/timer 1
- ❖ AIN0, 1 : Entrée respectivement positive et négative du comparateur analogique.
- ❖ INT0, 1, 2 : Entrée d'interruption externe N°0,1et 2.

- ❖ XTAL1, 2 Entrée et Sortie d'horloge externe
- ❖ TOSC1, 2 : broche de quartz pour horloge externe du Timer2.
- ❖ INT0, 1: Entrée d'interruption externe "0" et "1".
- ❖ AIN0, 1 : Entrée positive et négative du comparateur analogique.
- ❖ ICP1 : Unité de capture pour le Timer/compteur1.
- ❖ OC0, 1, 2 : Sortie lors d'une comparaison réussie pour le Compteur/Timer0, 1, 2, soit pour le mode PWM, il est suivi par A ou B qui désigne les registre OCR0A, B, les registre OCR1A, B et le registre OCR12, ou du mode PWM.
- ❖ ADC5-0 : Entrée du signal analogique du convertisseur Analogique / Digital, il possède six entrées disposée sur le PORTC.
- ❖ AREF Référence de tension externe pour le convertisseur Analogique / Digital.
- ❖ SCK : Sortie d'horloge de synchronisation en mode SPI maitre, entrée horloge en mode esclave.
- ❖ MOSI : Sortie des données en mode SPI maitre, entrée en mode esclave.
- ❖ MISO : Entrée des données en mode SPI maitre, sortie en mode esclave.
- ❖ SS : Entrée pour sélection du mode esclave de la SPI.
- ❖ SCL : Signal d'horloge de l'interface de communication 2 fils (I2C)
- ❖ SDA : Signal de données de l'interface de communication 2 fils (I2C).

Annexe 3 : Code de l'LCD, I2C

```

#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 20, 4); /

void setup()
{
  lcd.init(); /
  // ...
}

```

Annex4 : l'interface de l'IDE Arduino avec le programme de notre microcontrôleur.

```

Fichier Edition Croquis Outils Aide
LCD_TEMP_horloge_RTC$
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include "RTClib.h"
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,20,4);

RTC_DS3231 rtc; // variable n ilay rtc
char daysOfTheWeek[7][12] = {"D","L","M","M","J","V","S"};

// variable n ilay regulateur
int r1 = 3;
int r2 = 4;

float temperature = 0;
int lowerLimit =34;
int higherLimit = -06.4;
#define ONE_WIRE_BUS 2

OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
DallasTemperature sensors(&oneWire);

void setup(void)
{
  // setup n ilay rtc
#ifdef ESP8266
  while (!Serial);
#endif
  if (! rtc.begin())

```

Annexe 5: la structure de programme avec Dallas en One wire

<pre> temp Arduino 1.8.4 Fichier Edition Croquis Outils Aide temp #include <OneWire.h> #include <DallasTemperature.h> int resistance = 3; float temperature = 0; int lowerLimit =25; int higherLimit =30; #define ONE_WIRE_BUS 2 OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS); DallasTemperature sensors(&oneWire); void setup(void) { Serial.begin(9600); sensors.begin(); pinMode(resistance,OUTPUT); } void loop(void) { </pre>	<pre> Serial.print("T"); sensors.requestTemperatures(); Serial.println("DONE"); temperature = sensors.getTempCByIndex(0); digitalWrite(resistance, LOW); Serial.print("La temperature est"); Serial.print(temperature); if(temperature <=lowerLimit){ Serial.println("resistance en marche"); digitalWrite(resistance, LOW); } else if(temperature > lowerLimit && temperature < higherLimit){ Serial.println("resistance en marche"); digitalWrite(resistance, LOW); } else if(temperature >=lowerLimit){ Serial.println("resistance en arret"); digitalWrite(resistance,HIGH); } delay(500); </pre>
--	--

REFERENCES

- [1.01] L. Multigner, « Effets retardés des pesticides sur la santé humaine », Environ. Risques Santé, vol. 4, no3, p. 187-194, 2005.
- [1.02] F. Rodrigues, M. Berenguel, M. Arahall, "A hierarchical control system for maximizing profit in greenhouse crop production," Proceeding in European Control Conference ECCO3, Cambridge, UK, 2003.
- [1.03] M. Trigui, S. Barrington, L. Gauthier, Structures and environment, "A strategy for greenhouse climate control," part i : model development. Journal of agricultural engineering research 78(4), p. 407-412, 2001.
- [1.04] K. Mesmoudi, "Etude Expérimentale et Numérique de la Température et de l'Humidité de l'Air d'un Abri Serre Installé dans les Haut Plateaux d'Algérie, Région des Aurès," Thèse de Doctorat Physique Énergétique, option énergétique Université de Batna, 2010.
- [1.05] C.A, Hermez, "Gestion des paramètres bioclimatiques dans les serres agricoles," Thèse d'Ingénieur en Instrumentation électronique, Université des Sciences et de la technologie Houari Boumediene USTHB, 2011.
- [1.06] Y. Bouteraa, "Automatisation d'une serre agricole," Magister en Sciences Agronomiques, Ecole Nationale Supérieure D'agronomie-El Harrach, 2012.
- [1.07] M. Kechir, H. Mahfoudi, "Acquisition et transmission sur bus CAN des paramètres bioclimatiques d'une serre agricole," mémoire de master, Université des Sciences et de la technologie Houari Boumediene USTHB, 2012.
- [1.08] Rapport de la société nationale d'Horticulture de France et l'Association des journalistes de jardin de d'Horticulture, "Serre tunnel," 2014. [En ligne]. Disponible : <http://www.gerbeaud.com/jardin/amenagement/serre-tunnel,1128.html>
- [1.09] Catalogue de la Société ULMA-Agricola, "Serres-multi chapelle," 2008. [En ligne]. Disponible:
https://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos_y_documentos/1381/Serresmulti_chapelle-ULMA-Agricola.pdf
- [1.10] Rapport de la société de marketing euro-serre, « les serres », 2016. [En ligne]. Disponible :
http://www.serre-jardin.com/img/cata_euro_serre_2016.pdf
- [1.11] R. Haxaire, J. C. Roy, T. Boulard, M. A. Lamrani, A. Jaffrin, "Etude numérique et expérimentale de la ventilation par convection naturelle dans une serre," In Colloque annuelSFT, p. 64-69, 1998.
- [1.12] Rapport de la société ULMA-Agricola, "l'équipement des serres," [En ligne]. Disponible : <http://www.ulmaagricola.com/fr/serres/equipements>

- [1.13] R. Cadiergues, "L'éclairage Artificiel," Guide RefCad nR27. A, 2012. [En ligne]. Disponible : <http://media.xpair.com/auxidev/nR27a.pdf>
- [1.14] J.P. Goure, L'optique dans les instruments: Généralités, Lavoisier, 2011. [En ligne]. Disponible : http://www.canna.fr/eclairage_pour_mes_plantes
- [1.15] T.R. Bel hadj, "Conception d'un anémomètre à fil chaud à large bande passante, " thèse de doctorat, École de technologie supérieure, 2016. [En ligne]. Disponible : http://espace.etsmtl.ca/1675/1/BEL_HADJ_TAHER_Rafik.pdf
- [1.16] M. Leroy, "La mesure au sol de la température et des précipitations," La Météorologie, vol. 8, no. 39, p. 52, 2002.
- [1.17] A. Cerqueus, M. Sevaux, H. Kerhascoet, J. Laurent. « Modélisation de la girouette d'un voilier : expérimentation avec LocalSolver », Université Bretagne-Sud, Lab-STICC, Lorient, 2016. [En ligne]. Disponible : <http://www-labsticc.univ-ubs.fr/~sevaux/Publications/p-cerqueus-16-slides.pdf>
- [1.18] Rapport de l'unité d'affaire de la compagnie Premier Tech Horticulture, "Capteurs d'humidité volumétrique," juillet 2016. [En ligne]. Disponible : <http://www.pthorticulture.com/fr/zone-du-savoir/capteurs-dhumidite-volumetrique/>
- [1.19] Catalogue de la Société SES AUTOMATION, "Catalogue Instrumentation," 2015 – 2016.[En ligne]. Disponible : http://www.ses-automation.fr/_document/catalogue-ses-automation-2015-2016.pdf
- [1.20] Rapport de la société VAISALA, "Les technologies de capteurs infrarouges et leur impact sur la précision de la mesure du CO2 dans les applications CVC," 2014. [En ligne].Disponible:<http://www.vaisala.com/Vaisala%20Documents/Technology%20Descriptions/HVAC-CO2Measurement-Accuracy-B211311FR-A.pdf>
- [1.21] R. Salazar, A. Rojano, I. Lopez, "A Model for the Combine Description of the Temperature and Relative Humidity Regime in the Greenhouse," Ninth Mexican International Conference on Artificial Intelligence, novembre 2010.
- [1.22] Y. El afou, "Contribution au contrôle des paramètres climatiques sous serre". Thèse de Doctorat Université Lille 1, 2014.
- [2.01] LAOUAR BACHIR AYACHI AMOR Hamza. Etude et Réalisation d'une Commande Domotique par ARDUINO Via Infrarouge. Master. Electrotechnique Industrielle. UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA.2017.
- [2.02] Rapport de la société nationale d'Horticulture de France et l'Association des journalistes de jardin de d'Horticulture, "Serre tunnel," 2014. [En ligne]. Disponible : <http://www.gerbeaud.com/jardin/amenagement/serre-tunnel,1128.html>
- [2.03] Rapport de la société de marketing euro-serre, « les serres », 2016. [En ligne]. Disponible : http://www.serre-jardin.com/img/cata_euro_serre_2016.pdf

- [2.04] R. Haxaire, J. C. Roy, T. Boulard, M. A. Lamrani, A. Jaffrin, "Etude numérique et expérimentale de la ventilation par convection naturelle dans une serre," In Colloque annuelSFT, p. 64-69, 1998.
- [2.05] Rapport de la société ULMA-Agricola, "l'équipement des serres," [En ligne]. Disponible : <http://www.ulmaagricola.com/fr/serres/equipements>
- [2.06] R. Cadiergues, "L'éclairage Artificiel," Guide RefCad nR27. A, 2012. [En ligne]. Disponible : <http://media.xpair.com/auxidev/nR27a.pdf>
- [2.07] J.P. Goure, L'optique dans les instruments: Généralités, Lavoisier, 2011. [En ligne]. Disponible : http://www.canna.fr/eclairage_pour_mes_plantes
- [2.08] Rapport de la société VAISALA, "Les technologies de capteurs infrarouges et leur impact sur la précision de la mesure du CO2 dans les applications CVC," 2014. [En ligne]. Disponible:<http://www.vaisala.com/Vaisala%20Documents/Technology%20Descriptions/HVAC-CO2-Measurement-Accuracy-B211311FR-A.pdf>
- [2.09] R. Salazar, A. Rojano, I. Lopez, "A Model for the Combine Description of the Temperature and Relative Humidity Regime in the Greenhouse," Ninth Mexican International Conference on Artificial Intelligence, novembre 2010.
- [2.10] A. Schmid and R. Holzer, Microcontro[^] leurs: cours et travaux pratiques: destine aux étudiants de deuxième année en section de microtechnique "Microcontro[^] leurs-2007". Lausanne: EPFL, 2007.
- [2.11] A. Bouisfi et Y. Belrhali, "Etude en simulation d'une régulation thermique par logique floue". Université Sidi Mohamed Ben Abdellah Fès, 2009.
- [2.12] M.S. Aït Cheikh, B. Hadj Aïssa, A. Malek et M. Becherif, "Mise au point d'une régulation floue pour serre agricole à énergie solaire". Revue des Energies Renouvelables Vol. 13 N°3 2010.
- [2.13] GitHub de la bibliothèque eFLL. [En ligne]. Disponible : <https://github.com/zerokol/eFLL>
- [2.14] Description du model « Thermal Model of a House ». [En ligne]. Disponible : https://www.mathworks.com/examples/simulink/mw/simulink_product-sldemo_househeatthermal-model-of-a-house
- [2.15] Documentation du Fuzzy logic Toolbox. [En ligne]. Disponible : <https://fr.mathworks.com/help/fuzzy/>
- [2.16] Documentation Simulink. [En ligne]. Disponible : <https://www.mathworks.com/help/simulink/>
- [2.17] P. Atelin, Wi-Fi réseaux sans fil 802.11. St Herblain: Éd. ENI, 2008.
- [2.18] J. C. C. Dordoigne, TCP/IP et les protocoles Internet. Nantes: Éditions ENI, 2004.
- [2.19] A. Cazes and Delacroix Joë lle, Développer une application web. Malakoff: Dunod, 2016. Documentation du Raspberry Pi. [En ligne]. Disponible :

<https://www.raspberrypi.org/documentation/>

- [2.20] M. Grinberg, Flask Web Development Developing Web Applications with Python. Sebastopol, CA: OReilly & Associates, 2014.
- [2.21] Documentation du logiciel Apache 2. [En ligne]. Disponible :<http://httpd.apache.org/docs/2.2/fr/>

FICHE DE RENSEIGNEMENTS

Nom : RAZAFINDRAJOA
Prénoms : Tsitohaina Andriamparany
Adresse de l'auteur : LOT : 0508B83 Ambohimahazo Antsirabe
Téléphone : 034 92 803 11
E-mail : rztsitohaina@gmail.com



Titre du mémoire: ETUDE, REALISATION D'UNE PLATEFORME POUR L'AUTOMATISATION ET LE CONTROLE CLIMATIQUE D'UNE SERRE POUR AGRICULTURE DE SPIRULINE GERER PAR UNE ARMOIRE ELECTRIQUE INTELLIGENTE.

Nombre de pages : 81

Nombre de tableaux : 12

Nombre de figures : 69

Encadreur pédagogique : Mr. RASAMIMANANA François De Salle

Téléphone : 034 06 333 34

Mail: frarasam@yahoo.com