

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université Mouloud Mammeri de Tizi –Ouzou



FACULTE DE GENIE ELECTRIQUE ET D'INFORMATIQUE  
DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE

***Mémoire de Fin d'Etude***  
***En Vue de l'obtention du Diplôme***  
***De Master Professionnel***

**Filière** : Génie électrique

**Spécialité** : Electronique Industrielle

**Thème :**

**Contrôle des paramètres  
climatiques d'une serre agricole**

**Encadré par :**

Mr ZIRMI

**Réalisé par :**

Mr TOUCHERIFT IDRIS

Mr TAIEB HAMID

**Promotion 2017-2018**

# **Remerciements**

***Nous voudrions présenter nos remerciements à notre encadreur « ZJRMJ ».***  
***Nous voudrions également lui témoigner notre gratitude pour sa patience et son soutien qui nous a été précieux afin de mener notre travail à bon port.***

***Veuillez trouver dans ce travail le témoignage de mon respect, mon admiration et ma gratitude pour la qualité de la formation que vous nous prodiguée.***

***JDRJS, HAMJD***



## *Je dédie ce mémoire*

### ***A mes très chers parents***

#### ***Mouhand, Ouiza***

Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices que vous avez consenti pour mon instruction et mon bien être.

Je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous me portez depuis mon enfance et j'espère que votre bénédiction m'accompagne toujours.

Que ce modeste travail soit l'exaucement de vos vœux tant formulés, le fruit de vos innombrables sacrifices, bien que je ne vous en acquitterai jamais assez.

Puisse Dieu, le Très Haut, vous accorder santé, bonheur et longue vie et faire en sorte que jamais je ne vous déçoive.

### ***A mes chers et adorables frères et sœurs,***

En témoignage de mon affection fraternelle, de ma profonde tendresse et reconnaissance, je vous souhaite une vie pleine de bonheur et de succès et que Dieu, le tout puissant, vous protège et vous garde.

### ***A mes amis de toujours,***

En souvenir de notre sincère et profonde amitié et des moments agréables que nous avons passés ensemble. Veuillez trouver dans ce travail l'expression de mon respect le plus profond et mon affection la plus sincère.

***HAMJD***



## *Je dédie ce mémoire*

***A la mémoire de mes très chers parents***

***AKIJ, FERROUDJA***

Aucune dédicace, aucun mot ne pourrait exprimer à votre juste valeur la gratitude et l'amour que je vous porte.

Vous m'avez beau encourager que j'aie plus loin que possible dans mes études mais le bon dieu nous a séparé prématurément avant même mon premier couronnement universitaire.

Aujourd'hui, Je mets entre vos mains, le fruit de longues années d'études, de vos sacrifices, de votre amour, tendresse et de longs jours d'apprentissage.

Loin de vous, vos prières, votre soutien et votre encouragement m'ont toujours donné de la force pour persévérer et pour prospérer dans la vie.

Chaque ligne de cette thèse chaque mot et chaque lettre vous exprime la reconnaissance, le respect, l'estime et le merci d'être mes parents.

***Que vos âmes reposent en paix***

***A mes deux sœurs Dahbia et Fathia,***

Vous m'avez toujours soutenu et vous continuez à le faire. Je vous considère beaucoup plus comme mes parents que comme des sœurs et je ne trouverais les mots pour vous exprimez mes reconnaissances, mon affection la plus sincère et de mon attachement le plus profond.

Inchallah je serai toujours votre fierté, votre papa, votre ami et votre frère bien aimé.

***JDRJS***

# Liste des abréviations

---

## Liste des abréviations

### A

ADC: **A**nalog to **D**igital **C**onverter

### C

CPU : **C**entral **P**rocessing **U**nit

### E

EEPROM **E**lectrically-**E**rasable **P**rogrammable **R**ead-**O**nly **M**emory

### G

GND: The Ground ou la mass

### H

HR : **h**umidité **r**elative

### I

I2C: **I**nter **I**ntegrated **C**ircuit

IDE : **I**ntegrated **D**evelopment **E**nvironment

Impulsion PWM : largeur d'impulsion modulée

### L

LCD : **L**iquid **C**rystal **D**isplay ou afficheur à cristaux liquide

LDR : light-dependent resistor ou cellule photoconductrice

LED light-emitting diode

### R

RAM : **R**andom **A**ccess **M**emory ou mémoire à accès direct

RCSF : **R**éseau de **C**apteur **S**ans **F**il

RTC: **R**eal **T**ime **C**lock ou horloge temps reel

### S

## Liste des abréviations

---

SRAM : Static **R**ead **A**ccess **M**emory

**SPI** : **I**nterface **S**érie **P**ériphérique: **S**erial **P**eripheral **I**nterface **B**us

### **T**

TWI : **T**wo **W**ire **I**nterface

### **V**

VCC: **V**oltage ***C**ommon **C**ollector*

VDD: **V**oltage **D**rain **D**rain

VSS: **V**oltage **S**ource **S**ource

# Liste des figures et tableaux

---

## Liste des figures

Fig.1 : Les trois principaux types de serres agricoles.....	3
Fig.2 : Architecture d'un réseau de capteurs sans fil.....	4
Fig.3 : Structure d'un capteur sans fil.....	5
Fig.4 : Culture de tomate.....	8
Fig.5 : Culture des courgettes.....	10
Fig.6 :1ère étape pour l'arrosage.....	12
Fig.7 :2ème étape pour l'arrosage.....	12
Fig.8 :3ème étape pour l'arrosage.....	12
Fig.9 :4ème étape pour l'arrosage.....	13
Fig.10: Schéma récapitulatif de l'arrosage goutte à goutte.....	13
Fig.11 : La déshumidification un processus nécessaire à une bonne croissance des plantes...	16
Fig.12 : Organigramme des paramètres pour la gestion d'air dans la serre.....	21
Fig.13 : Organigramme des paramètres pour la gestion du sol dans la serre.....	22
Fig.14 : Le capteur LM35.....	23
Fig.15 : Architecture du potentiomètre.....	25
Fig.16 : Organigramme pour la commande de la luminosité.....	26
Fig.17 : Capteur LDR.....	26
Fig.18 : Circuit du capteur LDR.....	27
Fig.19 : Organigramme pour la commande du Gaz CO2.....	28
Fig.20 : Le capteur de GAZ.....	29
Fig.21 : Schéma fonctionnel global du système utilisé pour gérer le climat des serres.....	31
Fig.22 : Exemple du microcontrôleur.....	33

## Liste des figures et tableaux

---

Fig.23 : Carte Arduino Uno.....	35
Fig.24 : Courant continu.....	35
Fig.25 : Courant alternatif.....	35
Fig.26 : figure illustrant l'utilisation de la SRAM.....	39
Fig.27 : Brochage de la carte Arduino Uno (Cliquer pour élargir).....	40
Fig.28 : Principe de fonctionnement d'une carte Arduino.....	42
Fig.29 : L'espace de travail d'ISIS Proteus 7.....	47
Fig.30 : la barre de menus d'ISIS Proteus.....	48
Fig.31 : Zone d'édition des schémas.....	49
Fig.32 : Espace pour vue d'ensemble du schéma.....	49
Fig.33 : Icône permettant de sélectionner l'objet.....	49
Fig.34 : Espace permettant de charger les composants.....	51
Fig.35 : Fenêtre permettant de saisir les dimensions des feuilles.....	53
Fig.36 : Fenêtre permettant de saisir les paramètres des composants.....	54
Fig.37 : Fenêtre permettant de modifier l'orientation d'un paramètre des composants.....	55
Fig.38 : Réseau de température d'air.....	55
Fig.39 : Réseau d'humidité du sol.....	56
Fig.40 : Réseau de lumière.....	57
Fig.41 : Réseau de CO2.....	57
Fig.42 : Réseau d'horloge.....	58
Fig.43 : Vue globale du schéma avant introduction du programme.....	59
Fig.44 : Etapes de déroulement du programme sous Arduino.....	60
Fig.45 : Résultat de la première simulation.....	70

## Liste des figures et tableaux

---

Fig.46 : Résultat de la deuxième simulation.....	71
Fig.47 : Résultat de la troisième simulation.....	72
Fig.48 : Résultat de la quatrième simulation.....	73

### Liste des tableaux

Tableau.1: Les capacités mémoire de l'Arduino en fonction des microcontrôleurs.....	38
Tableau.2 : Placement des connexions.....	52
Tableau.3 :Significations des différentes icônes.....	55

**SOMMAIRE**

<b>Introduction.....</b>	<b>i</b>
<b>Chapitre I : Les serres agricoles et leurs exigences climatiques</b>	
<b>Préambule</b>	
I.1.Les serres agricoles et leurs intérêts .....	2
I.1.1.Classification des serres.....	3
I.2.Les équipements d'une serre.....	4
I.2.1. réseau de capteurs.....	4
I.2.1.1. Du capteur au réseau de capteurs.....	4
I.2.1.2. Structure d'un capteur sans fil.....	5
I.2.1.3.Intégration du réseau de capteurs dans le domaine de l'agriculture.....	6
I.3.Mise en place des serres.....	7
I.4.Exemples des serres agricoles.....	7
I.4.1.La culture de tomate sous serre.....	7
I.4.2.La culture de courgette sous serre.....	9
I.5.Système d'arrosage sous serre.....	11
I.6.Intérêt de la détermination du microclimat.....	13
I.6.1.La température ambiante.....	14
I.6.1.1.L'effet de serre.....	14
I.6.1.2.Chauffer pour maintenir une température ambiante.....	14
I.6.2.L'humidité relative de l'air (L'hygrométrie).....	15
I.6.2.1.Consignes pratiques d'hygrométrie.....	15
I.6.2.2.La déshumidification un remède utile pour régler l'humidité.....	15

## SOMMAIRE

---

I.6.3.Lumière et rayonnement solaire.....	16
I.6.4.Le gaz carbonique.....	17
<b>Conclusion.....</b>	<b>17</b>
 <b>Chapitre II : Contrôle et gestion climatique de la serre.</b>	
<b>Préambule</b>	
II.1.Gestion du climat.....	19
II.1.1.Gestion de température et d’humidité.....	19
II.1.1.1.Réseaux de capteurs utilisés.....	20
II.1.1.1.a. Consignes exigées et solutions.....	21
II.1.1.1.b. Capteur de température LM35.....	23
II.1.1.1.c. Capteur d’humidité POT-hg.....	24
II.1.2.Gestion de la lumière.....	25
II.1.2.1.Réseau de capteur utilisé.....	25
II.1.2.1.a. Consigne exigée et solution.....	25
II.1.2.1.b. Capteur LDR.....	26
II.1.3.Gestion du taux de CO2.....	28
II.1.3.1.Réseau de capteur utilisé.....	28
II.1.3.1.a. Consigne exigée et solution.....	28
II.1.3.1.b. Capteur MQ-2.....	29
<b>Conclusion.....</b>	<b>31</b>
 <b>Chapitre III : Description du microcontrôleur utilisé.</b>	
<b>Préambule</b>	
III.1.Définition du microcontrôleur.....	33

## SOMMAIRE

---

III.2.Microcontrôleur Arduino.....	34
III.2.1.Carte Arduino Uno.....	34
III.2.1.1.Les mémoires de la carte ARDUINO UNO.....	36
II.2.1.1.a. La mémoire FLASH.....	37
II.2.1.1.b. La mémoire SRAM.....	37
II.2.1.1.c. La mémoire EEPROM.....	38
III.2.1.2. Les ports d'entrée et de sortie.....	39
III.2.1.2.a. Brochage de la carte Uno.....	40
III.2.1.2.b. Alimentation.....	41
III.2.1.3. L'unité centrale.....	42
III.2.2. Communication.....	43
III.2.3.Programmation.....	43
III.2.4.Caractéristiques Mécaniques.....	44
<b>Conclusion.....</b>	<b>44</b>

### Chapitre IV : Simulation du projet

#### Préambule

IV.1. <b>Partie1</b> : Présentation du logiciel de simulation « ISIS Proteus ».....	46
IV.1.1.Espace de travail.....	47
IV.1.1.a Gestion d'un PROJET.....	50
IV.1.2.Edition d'un schéma.....	50
IV.1.2.1.Chargement de composants.....	50
IV.1.2.2.Placement d'un composant ou d'un objet.....	51
IV.1.2.3. Connexion.....	51
IV.1.2.4. Edition d'un schéma.....	53

## SOMMAIRE

---

IV.2. <b>Partie2</b> : Création des quatre réseaux de capteurs.....	55
IV.2.1.Création du réseau de capteur utile pour la gestion de la température d'air.....	55
IV.2.2.Création du réseau de capteur utile pour la gestion de l'humidité du sol.....	56
IV.2.3.Création du réseau de capteur utile pour la gestion de la lumière.....	57
IV.2.4.Création du réseau de capteur utile pour la gestion du taux de CO2.....	57
IV.2.5.Création d'une horloge pour conditionner les paramètres par rapport au jour et la nuit.....	58
IV.2.6.Vue global de la carte réalisé avant l'introduction du programme (intégration de l'afficheur LCD LM044L).....	59
IV.3. <b>Partie3</b> : Programmation sous Arduino.....	59
IV.3. 1.Structure globale du.....	59
IV.3.2.Déroulement du programme.....	60
IV.3.3.Le programme complet en langage Arduino pour la serre de tomate.....	60
IV.4. <b>Partie4</b> : Résultat de simulation pour les deux serres.....	70
IV.4. 1.la simulation est faite pour la serre des tomates, le 28/06/2018 à 17 h: 03 min.....	70
IV.4. 2.la simulation est faite pour la serre des tomates, le 28/06/2018 à 22 h: 26 min.....	71
IV.4. 3.la simulation est faite pour la serre des courgettes, le 16/04/2018 à 10 h: 12 min.....	72
IV.4. 4.la simulation est faite pour la serre des courgettes, le 28/06/2018 à 23 h: 04 min.....	73
<b>Conclusion.....</b>	<b>74</b>
<b>Conclusion.....</b>	<b>ii</b>

### Introduction

De nos jours, nous trouvons des légumes, des fruits, des fleurs et des plantes hors saison ; hors de leurs cycles physiologiques. Ils ne peuvent se manifester normalement que si des conditions favorables et particulières sont réunies et bien gérées.

La culture sous serre est un monde de production intensive qui exige que les facteurs de production soient maximisés afin d'assurer une rentabilité. Dans toutes les serres, ils existent toujours des périodes pendant lesquelles, la température, l'humidité, la lumière ainsi que le Co<sub>2</sub> à l'intérieur de la serre deviennent extrêmement dangereux pour la plante. Ceci arrive à cause de l'incapacité de l'homme à avoir des jugements précis et rapides.

Dans ce sens, nous proposons un dispositif piloté par la carte Arduino qui joue un rôle régulateur des paramètres microclimatiques. Dès que certains paramètres sont en dessous ou en dessus d'une limite fixée préalablement (consignes) une action adéquate est générée et cela en l'appliquant dans une serre de fruit (tomate), et une serre de légume (courgette). La description du travail réalisé est sanctionnée par un mémoire structuré en quatre chapitres :

Le premier chapitre comporte une présentation générale des serres agricoles en se basant sur les tomates et les courgettes ainsi que leurs exigences climatiques.

Le deuxième chapitre présente le système utilisé pour le contrôle et la gestion climatique en se basant sur des réseaux de capteurs.

Le troisième chapitre est consacré à une étude microcontrôleur Arduino, en détaillant ses buts, son architecture et ses caractéristiques.

La partie centrale de notre travail est présentée dans le quatrième chapitre. Elle a pour objectif la réalisation du système voulu pour le contrôle et la gestion microclimatique des serres de tomate et courgette. Nous allons d'abord décrire le logiciel que nous avons utilisé dans le cadre de notre application. Il s'agit du logiciel « ISIS Proteus » qui est le logiciel de simulation des circuits électronique. Ensuite, nous allons présenter notre carte suivie de la présentation des résultats de la simulation. Enfin, nous allons couronner notre travail par une conclusion.

---

## *CHAPITRE I:*

# *Les serres agricoles et leurs exigences climatiques*

---

**Préambule**

La culture sous serre connaît un grand essor sans précédent depuis plusieurs années, il s'agit essentiellement du déploiement et de la sophistication des systèmes de production sous serre, dans le but d'augmenter la qualité et la quantité des produits agricoles, rationaliser la consommation d'énergie ainsi que la gestion du planning de production.

Si nous analysons, lors de ces dernières années, les structures socio-économiques dans les pays méditerranéens se sont rapidement et profondément transformées. Ces changements se sont accompagnés de modification dans les habitudes alimentaires, qui se caractérise par une augmentation de la consommation des fruits et légumes dont la demande est continue toute l'année. Pour s'adapter et répondre efficacement à cette demande, les systèmes de production ont du évoluer, notamment vers une plus grande maîtrise des conditions de production microclimatique.

Ce présent chapitre apportera d'une manière générale sur les différents types et équipements des serres agricoles et en particulier on étudiera la culture des tomates et des fraises, ainsi que leurs exigences climatiques pour assurer une production réussite, en les maintenant aux voisinages des consignes tout en s'affranchissant des paramètres climatiques externes.

**I.1. Les serres agricoles et leurs intérêts**

Une serre est une structure destinée en général à la production agricole qui peut être parfaitement close (limitée par une paroi transparente) protégée de certains effets indésirables du climat extérieur, créant alors un micro climat, pour une meilleure gestion des besoins des plantes , pour en accélérer la croissance ou pour les produire indépendamment des saisons .

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 CO<sub>2</sub> et le contrôle de l'humidité. Elle joue un rôle économique en présentant des produits sur le marché en hors saison. Elle permet ainsi d'obtenir une production végétale dans des conditions meilleures que celles existantes naturellement et ce par une meilleure qualité du produit [1].

I.1.1. Classification des serres

Une serre peut être construite avec des matériaux de récupération ou même avec divers matériaux et selon différentes formes (l'armature de serre : des structures en acier, aluminium et en bois .les panneaux de serre : le verre horticole, trempé et le verre polycarbonate alvéolaire ou transparent). [2]

On distingue trois principaux types appartenant à trois grandes familles de serres : **Les serres tunnels, les serres chapelles et les serres jardin.**



		
<p style="text-align: center;"><b>Serres tunnels</b></p> <p>formées de plusieurs grands arceaux métalliques, recouverts d'un film souple en plastique transparent, ce qui donne la forme d'un tunnel.</p>	<p style="text-align: center;"><b>Serres multi-chapelles</b></p> <p>dans cette structure, les différentes pièces sont parfaitement assemblées grâce à des joints vissés qui simplifient le montage. Elles ont une grande capacité d'adaptation aux dimensions et aux caractéristiques du terrain.</p>	<p style="text-align: center;"><b>Serre de jardin</b></p> <p>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.</p>

Fig.1 : Les trois principaux types de serres agricoles.

## I.2. Les équipements d'une serre

Une serre agricole se compose principalement de :

### I.2.1. Réseau de capteurs

Un capteur est un dispositif destiné à effectuer des tâches de télédétection. La télédétection est définie comme la mesure ou l'acquisition d'informations sur les propriétés d'un objet, un phénomène ou un matériel par l'intermédiaire d'un capteur qui peut ne pas avoir de contact avec l'objet étudié. Il convertit par la suite les paramètres ou les événements du monde physique en signaux qui peuvent être mesurés et analysés.

**I.2.1.1. Du capteur au réseau de capteurs :** Un réseau de capteurs sans fil est un type particulier de réseau Ad-hoc Mobile. Il est composé d'un grand nombre de nœuds (dispositifs de détection) qui communiquent entre eux via des transmissions sans fil.

Chaque nœud possède la capacité de collecter des données et de les transmettre à une station de base (Fig.2).

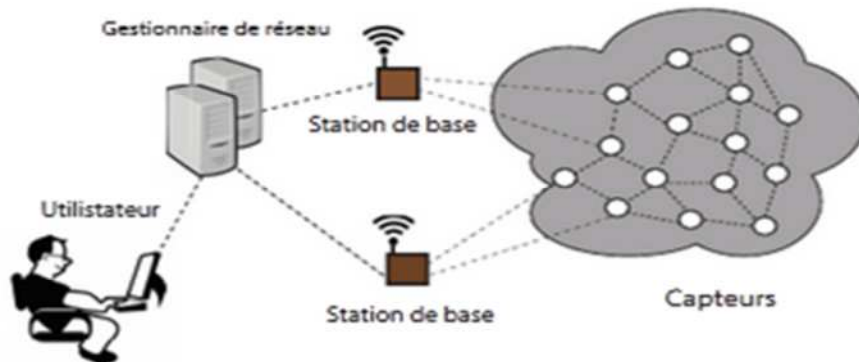


Fig.2 : Architecture d'un réseau de capteurs sans fil.

Un réseau de capteurs est composé d'un grand nombre de nœuds à forte densité déployés dans une zone de détection, avec une ou plusieurs stations de base qui se trouvent à l'intérieur de la zone ou à proximité. La station de base communique avec les capteurs via des requêtes ou des commandes, et les capteurs communiquent entre eux via des communications sans fil. Ils participent à l'accomplissement de la tâche de détection et d'envoi des données à la station de base. Dans les réseaux de capteurs, l'énergie consommée pour la communication est beaucoup plus élevée que celle nécessaire à la détection ou au calcul. Par exemple, la transmission d'un seul bit de données est équivalente à 800 instructions.

**I.2.1.2. Structure d'un capteur sans fil :** Un capteur sans fil est un dispositif souvent capable d'effectuer un certain nombre de traitements tel que la collecte d'informations et la communication avec d'autres capteurs dans le réseau. Il est composé de plusieurs unités (Fig.3).

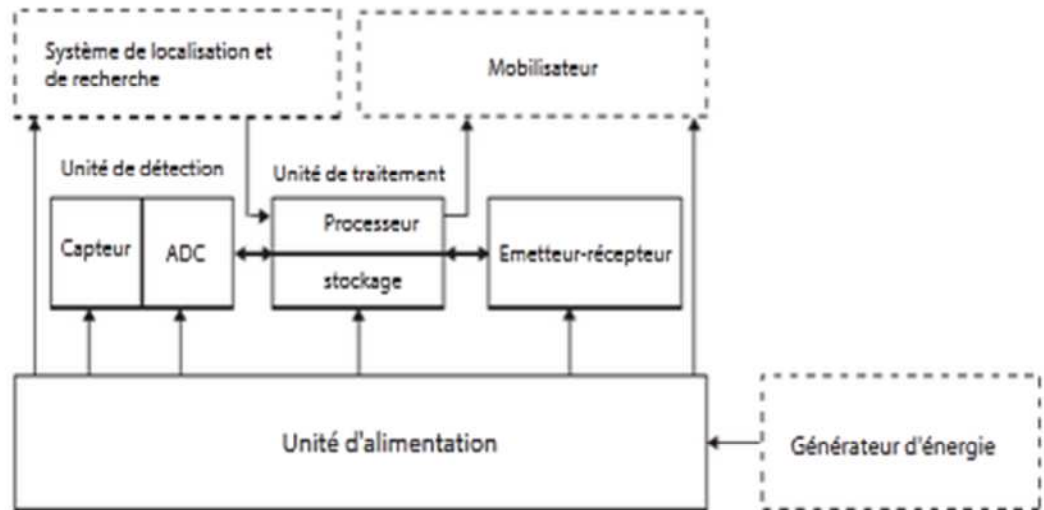


Fig.3 : Structure d'un capteur sans fil.

- ➔ **Unité de traitement :** Elle contient un microcontrôleur qui gère les données provenant des autres capteurs et qui décide par la suite de la destination et du temps nécessaire pour les envoyer. Il peut exécuter différents programmes et les basculer entre différents modes de fonctionnement (actif, inactif, sommeil) pour économiser l'énergie du capteur.
- ➔ **Unité de stockage :** Elle est constituée d'une mémoire flash pour stocker temporairement les données, et d'une mémoire vive statique SRAM3 pour stocker les valeurs intermédiaires des capteurs et les paquets reçus des autres nœuds. La vitesse de lecture/écriture et le temps d'accès aux données, qui sont des facteurs importants, doivent être pris en compte pour assurer une faible consommation d'énergie (Matin, 2012). Par exemple, un capteur MicaZ possède une mémoire flash de 128 Kb et une mémoire EEPROM4 de 4Kb.
- ➔ **Unité de détection :** Elle est composée d'un dispositif de détection pour détecter les paramètres de l'environnement telles que la température, la pression, la lumière, l'humidité, etc., et d'un convertisseur analogique-numérique. L'unité de détection contrôle la consommation d'énergie du capteur en ajustant la consommation du convertisseur analogique-numérique. Elle fournit une détection constante et une détection périodique. Généralement, la détection périodique consomme moins

d'énergie que la détection constante. Dans une détection périodique, l'acquisition de données est cyclique. Les capteurs acquièrent de nouvelles mesures après un intervalle de temps, alors que dans une détection constante, les capteurs détectent en permanence les phénomènes physiques, et la fréquence de détection est limitée par les capacités matérielles du capteur.

➡ **Unité d'émission/réception** : Elle permet d'envoyer les données à travers un émetteur radio muni d'une antenne suivant une fréquence, pour les récupérer par la suite sur d'autres nœuds. L'unité émettrice/réceptrice du capteur peut être un dispositif passif ou actif. La plupart du temps, la radio est en écoute de messages entrants, sinon elle se met en veille pour réduire la consommation d'énergie du capteur.

➡ **Unité d'alimentation** : Elle est constituée d'une batterie et d'un convertisseur DC-DC5. Un convertisseur DC-DC est alimenté par des batteries. Sa fonction principale est de fournir l'énergie au capteur et également de réguler sa tension de sortie. La circulation du courant dans le convertisseur DC-DC est élevée, ce qui peut amener à des pertes importantes en énergie, réduisant considérablement le rendement global du système.

### **I.2.1.3. Intégration du réseau de capteurs dans le domaine de l'agriculture**

Les capteurs peuvent être utilisés pour détecter et surveiller un certain nombre de paramètres physiques : **la lumière, l'humidité, la pression, la température, la composition du sol, de l'air ou de l'eau**, etc. L'avantage principal des capteurs est qu'ils peuvent être déployés dans plusieurs environnements avec un faible coût. Les réseaux de capteurs sans fil peuvent améliorer de nombreuses applications : la médecine, l'agriculture, les transports, le contrôle de processus industriels et de l'armée.

- ✓ Les RCSF peuvent améliorer le domaine de l'agriculture. Ils offrent un support important qui permettra la gestion précise des ressources, le suivi de développement des maladies, la prédiction du moment adéquat de la récolte. Ils ne nécessitent qu'un coût d'installation réduit, et sont faciles à déployer sur le terrain, puisque la mise en place des capteurs ne demande pas un câblage spécial. Les capteurs collectent des données sur les cultures

et la qualité du sol et les transmettent à une station centrale présente dans la ferme.

Dans la suite de ce projet, nous étudierons l'utilisation des RCSF dans les serres agricoles pour gérer la culture de tomate ainsi que la fraise.

### I.3.Mise en place des serres

Le choix du site d'implantation des serres est essentiel. L'ensoleillement et le potentiel de production sont beaucoup plus faibles dans les régions septentrionales que dans les régions méditerranéennes ,et ils sont plus dans ces dernières que sous les tropiques.il est bon de se rappeler que la différence de rayonnement journalier cumulé entre les régions du nord et du sud est beaucoup plus marquée en hiver qu'en été ;les régions du nord ont une vocation naturelle pour la production estivale de qualité ,par contre les régions du sud ont l'avantage en hiver.

Il faut enfin garder à l'esprit que l'objectif de la production sous serre ,comme de toute production ,n'est pas d'atteindre le rendement maximal de produits de qualité mais de générer la marge la plus élevée possible .D'autres considérations que l'ensoleillement entrent donc en ligne de compte à l'heure du choix du site d'implantation d'une serre, comme la proximité des marchés, le contexte socioéconomique ,l'environnement scientifique et technique.

### I.4.Exemples des serres agricoles

Parmi les cultures sous serres les plus réussites en Algérie, on cite la culture de tomate et des fraisiers qui sont le but majeurs de notre projet.

#### I.4.1.La culture de tomate sous serre

La tomate est d'origine tropicale (Amérique latine).elle a des exigences particulières : sensible au froid, craint beaucoup des gel et le vent chaud et elle est très exigeante en température.

La tomate est une plante annuelle, dont le fruit est une baie .cette dernière est rouge, parfois jaune ou orangée, de forme ronde ou plus ou moins allongée.les fruits sont de grosses baies qui contiennent une grande quantité de petites graines blanches ,plates ,réniformes, feutrées lorsqu'elles sont sèches.



Fig.4 : Culture de tomate.

❖ Les exigences climatiques de la tomate :

✓ **Température** : la température est le facteur le plus déterminant dans la production de la tomate .Celle ci réagit énormément aux variations thermiques.

- Les basses températures (<10°C) ralentissent la croissance et le développement des plantes entraînant la formation d'un feuillage abondant au détriment de la production. Une température basse peut entraîner aussi des ramifications des bouquets, difficultés de nouaison et formation des fleurs fasciées.
- Au dessous de 17°C, le pollen germe mal, surtout si l'humidité est faible. par contre, les températures élevées favorisent la croissance de la plante au détriment de l'inflorescence qui peut avorter. la persistance d'un temps chaud et sec peut entraîner un allongement anormal du pistil, rendant ainsi une autopollinisation difficile.
- Au dessus de 30°C, le pigment responsable de la couleur rouge de fruit ne se forme plus. C'est le pigment  $\beta$  carotène qui se forme donnant ainsi une coloration jaune-orange au fruit.
- Donc les températures optimales sont :  
Températures diurnes (jour) : 20-25°C.  
Températures nocturnes (nuit): 13-17°C.  
Températures du sol : 14-18 °C.

Cependant, sous les conditions algériennes, ces valeurs sont difficiles à réaliser, malgré l'utilisation des abris-serres. La culture de tomate qui s'étale sur une période

de production d'environ 10 mois passe au minimum 3mois sous des conditions défavorables (températures basses). Une mauvaise aération et le manque d'étanchéité Peuvent accentuer la mauvaise maîtrise de la température à l'intérieur des abri-serres.

- ✓ **Humidité relative (HR):** Une humidité relative de 75% est jugée optimale. Elle permet d'avoir des fruits de bons calibres, et sans défaut de coloration.

Une HR trop élevée, couplée à une température élevée, entraîne une végétation luxuriante .Elle favorise aussi le développement des maladies .L'aération matinale permet de réduire l'humidité de l'air et élimine des petites gouttelettes de condensation qui se forment sur la paroi du plastique. En cas de temps sec, l'irrigation peut augmenter l'HR. En période de production, l'HR reste généralement proche de l'optimum sauf dans le cas d'un vent chaud et sec, où l'HR abaisse en dessous de seuil.

L'humidité nocturne : 75% ; L'humidité diurne : 85%.

- ✓ **Lumière :** La lumière est un facteur écologique fondamental. Elle intervient dans de nombreux phénomènes physiologiques, notamment la photosynthèse.

La tomate est une culture neutre à la photopériode. Cependant, elle est exigeante en énergie lumineuse et un manque peut inhiber l'induction florale. La réduction de la lumière baisse le pourcentage de germination du pollen. En temps couvert la déhiscence des anthères est mauvaise. En revanche, le déficit de lumière est compensé par les températures élevées sous les serres.

La transmission de la lumière est fonction du type de plastique utilisé. Elle est de 70% pour le plastique anti-UV et de 65% pour le plastique infrarouge (thermique). Cette transmission diminue lors de la 2<sup>ème</sup> année d'usage, en raison des saletés et des dépôts de poussière. Dans ce cas un lavage du plastique en 2<sup>ème</sup> année est conseillé pour améliorer son efficacité.

#### I.4.2.La culture de courgette sous serre

Dans la serre, les courgettes sont des légumes les plus faciles à cultiver. Quelques mois après le semis, la récolte peut déjà débuter. Ce légume se prépare de mille et une manières. Il est largement utilisé dans la cuisine méditerranéenne. La courgette se plaît à l'abri, en terre bien drainée mais fraîche, à exposition

ensoleillée. Incorporez au sol beaucoup de matière organique telle que du fumier bien décomposé, afin de conserver l'humidité souterraine. Arrosez copieusement.

La plante de courgette, se distingue par sa croissance touffue, son port étalé et sa hauteur d'environ 50 cm. La cueillette de ses fruits, de couleurs variés, se fait de juillet à début octobre.

La courgette peut aussi se cultiver en pot, dans un balcon ou dans le jardin comme un légume. C'est une culture productive, très prolifique et peu exigeante.

Grâce à ses fleurs jaunes et ses grandes feuilles, la courgette peut être notamment cultivée comme plante décorative.

Le cycle de production de la courgette est annuel. Sa culture peut occuper le terrain jusqu'à 160 jours.



Fig.5 : Culture des courgettes.

On peut trouver sur le marché de la semence une multitude de variétés de courgette qui s'apprêtent à une culture en pot ou dans le jardin. On rencontre, en effet, des variétés avec des fruits semblables aux cornichons et des variétés avec des fruits ronds. Elles peuvent aussi avoir des fruits de forme cylindrique, aplatie ou allongée. Les couleurs varient généralement du vert foncé au vert clair uniforme ou strié. On peut également se procurer des variétés à cycle précoce, semi-précoce ou tardif.

La Black Forest est l'une des rares variétés grimpantes. La plante peut atteindre une hauteur de 2 mètres. Elle produit des courgettes allongées de couleur vert. Elles peuvent être récoltées très jeunes (mini-courgettes).

❖ Les exigences climatiques de la courgette :

- ✓ **Température** : La culture de la courgette prospère dans un climat tempéré et chaud. Elle n'est pas exigeante en température (moins que les autres cucurbitacées comme le melon, la pastèque et le concombre) et peut éventuellement s'adapter aux climats relativement frais.

Les températures optimales, minimales et maximales sont les suivantes:

- La température de sol est de 12°C (nuit) , 25°C (jour) ;
  - La température optimale est de 20-22°C le jour et de 17-18°C la nuit.
- ✓ **Eau et humidité**: Pour la culture de la courgette, l'humidité de l'air doit être comprise entre 65 et 80%. Des humidités très élevées favorisent le développement des maladies foliaires et pénalisent la floraison.

Les besoins en eau d'irrigation pour la courgette sont normaux durant le stade de germination et deviennent importants et constant par la suite.

La teneur élevée des fruits en eau (95%) indique que la culture de la courgette est très exigeante en eau. Cependant, un apport excessif en eau empêche la germination et peut produire l'asphyxie racinaire. Par ailleurs, un déficit hydrique peut provoquer la déshydratation des tissus, la réduction de la croissance végétative et une fécondation déficiente à cause de la chute des fleurs.

- ✓ **Lumière** : La courgette est très exigeante en lumière. C'est pour cette raison qu'une insolation élevée se répercute favorablement sur le rendement.

### I.5.Système d'arrosage sous serre

En dissolvant les sels minéraux contenus dans le sol, l'eau apporte aux plantes les éléments nécessaires à leur croissance. Chacune a ses propres besoins, qu'il faut satisfaire sous peine de la voir dépérir. A l'approche de l'été, cet effort devient critique car l'eau est bien moins disponible "naturellement" (baisse des pluies, humidité ambiante plus faible...).Pour faire face à ces problèmes, plusieurs systèmes ont été utilisés dont on cite le système goutte à goutte.

L'irrigation par goutteurs ou asperseurs consiste à apporter à chaque plante exactement la quantité d'eau qui correspond à ses besoins.

Le bénéfice premier de ce type d'arrosage est l'économie d'eau, car la diffusion de l'eau est maîtrisée et très localisée.

- ✓ **Etape 1 : Installation d'un programmeur**

Si nous considérons un schéma d'arrosage simple, alors un programmeur avec une voie d'arrosage suffira. S'il s'agit d'une grande zone à irriguer il faut opter pour un programmeur 4, 6 ou 8 voies. Le programmeur va venir se visser directement au robinet d'arrivée d'eau de la serre. A la sortie du programmeur il faut raccorder un tuyau d'arrosage.



Fig.6 :1ère étape pour l'arrosage.

### ✓ Etape 2 : Installation d'un régulateur

Une fois avoir installé le programmeur puis le morceau de tuyau d'arrosage, il est nécessaire de raccorder un régulateur.

Le régulateur permet de gérer la pression de l'eau qui va être diffusée dans les tuyaux. Si la pression est trop forte, l'eau peut éjecter les goutteurs.



Fig.7 :2ème étape pour l'arrosage.

### ✓ Etape 3 : Mise en place de goutteurs

Pour un arrosage localisé il faut opter pour des goutteurs réglables 360°, des micros jets ou des asperseurs.

Le débit des goutteurs réglables est facilement ajustable par rotation du chapeau.

Le goutteur micro jet distribue uniformément l'eau en larges gouttelettes permettant une grande résistance au vent.

Le goutteur asperseur s'adapte facilement pour les massifs en demi-cercle, plein cercle ou centre de bande.



Fig.8 :3ème étape pour l'arrosage.

✓ **Étape 4 : Fermeture de votre voie d'arrosage**


<p>Afin de finaliser l'installation il faut installer un bouchon de fin de ligne. Il sera le dernier élément du système d'irrigation goutte à goutte.</p>	
---	---

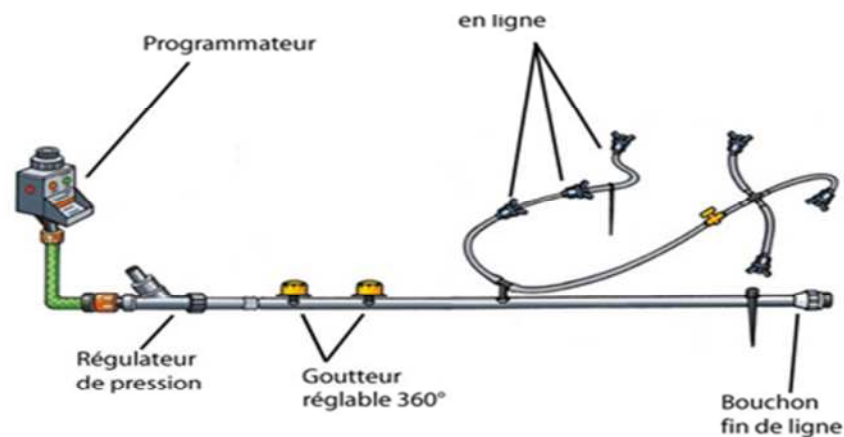
Fig.9 :4<sup>ème</sup> étape pour l'arrosage.❖ **Schéma simplifié d'un arrosage goutte à goutte**

Fig.10: Schéma récapitulatif de l'arrosage goutte à goutte.

## I.6. Intérêt de la détermination du microclimat

L'évolution des modes de consommation a eu un impact sur la production des fruits et légumes mais aussi des plantes et des fleurs. Les consommateurs actuels souhaitent que ces produits soient disponibles tout au long de l'année quelle que soit leur période de production et même leur région d'origine. Ainsi, la tomate en frais est passée d'un produit de saison à un produit disponible toute l'année. Pour les cultures ornementales, des plantes d'origine tropicale sont aujourd'hui cultivées un peu partout. De plus, la demande en fleurs est forte en hiver lors des fêtes alors que la saison est défavorable. Cette évolution a d'autre part permis aux serristes de vendre des produits précoces et d'obtenir une plus grande valeur ajoutée.

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. Plusieurs paramètres influencent la croissance des plantes et sont à maîtriser :

**I.6.1.La température ambiante :** chaque espèce demande une température optimale de croissance qui peut atteindre 18 à 20°C (notamment en culture maraîchère et pour certaines plantes en pot d'origine exotique).

La température ambiante joue un rôle important pour les fonctions vitales de la plante : la photosynthèse, la transpiration, la circulation de la sève ...Par exemple, en production de tomate et des courgettes, la température influence fortement le calibre du fruit, la coloration et la forme. La température optimale pour la photosynthèse de la tomate varie entre 20 et 25°C, et les températures optimales pour les courgettes en serre sont comprises entre 17 et 18° C la nuit et 20 et 22° C pendant la journée, en ornement, les différentes espèces ont des températures de croissance optimale très variables. En dessous ou au dessus de ce seuil de température, la qualité des plantes est plus ou moins dépréciée.

Le maintien d'une température ambiante nécessite l'utilisation d'un système de chauffage. Au départ, l'intérêt des productions sous serre qui permet une augmentation conséquente de la température grâce au rayonnement solaire. Or, à certains moments (la nuit et les journées sans soleil), la serre devient un émetteur de chaleur et les températures peuvent fortement y diminuer.

Pour pallier ces déperditions thermiques et répondre aux exigences des consommateurs actuels, différents systèmes de chauffage sont mis en place.

**I.6.1.1.L'effet de serre :** 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 ( $\Delta T$ ) multipliée par le nombre d'heure pendant lesquelles cette différence existe (h).

**Effets de serre =  $\Delta T.h$**

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.

**I.6.1.2.Chauffer pour maintenir une température ambiante :** selon les productions maraîchères, la consigne de température de nuit souhaitée dans la serre peut varier 13 à 17°C la nuit pour la tomate et entre 17 et 18°C pour la courgette. La température dépend des choix du producteur (l'objectif de production, la variété...).

En horticulture ornementale, la température de consigne varie selon les espèces et le stade de développement. Par exemple, certaines plantes ont juste besoin d'être protégées du gel, la température de consigne est alors comprise entre 0 et 8°C. D'autres espèces demandent des températures moyennes (entre 8 et 15°C) pour que le cycle de culture et la qualité soient maîtrisés.

Enfin, des espèces ont de forts besoin en température (entre 15 et 18 à 20°C), généralement ce sont des plantes issues de pays de climat chaud. De plus, comme pour les productions légumières et fruitières, la température appliquée dépend des objectifs du producteur.

**I.6.2.L'humidité relative de l'air (L'hygrométrie) :** le degré hygrométrique de l'air dans une serre est inversement proportionnel à la température de l'air. L'élévation de cette dernière engendre automatiquement une chute de l'humidité relative si la quantité d'eau est restée constante.

**I.6.2.1.Consignes pratiques d'hygrométrie :** il n'existe pas de recommandations espèce par espèce. On peut dire que :

Pour la phase de multiplication, l'humidité relative doit être supérieur à 80% ;

Pour la phase 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 succulente qui préfèrent une humidité relative comprise entre 30 et 60%. La pollinisation chez la tomate demande une humidité comprise entre 75 et 85%, et celle de la courgette entre 65 et 80%.

**I.6.2.2.La déshumidification un remède utile pour régler l'humidité :** 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 (**Fig.11**).

Cette technique entraîne une perte d'énergie puisqu'une partie de l'énergie dégagée par le chauffage est évacuée par l'aération (cette méthode représente environ 20 à 30% des dépenses énergétiques).

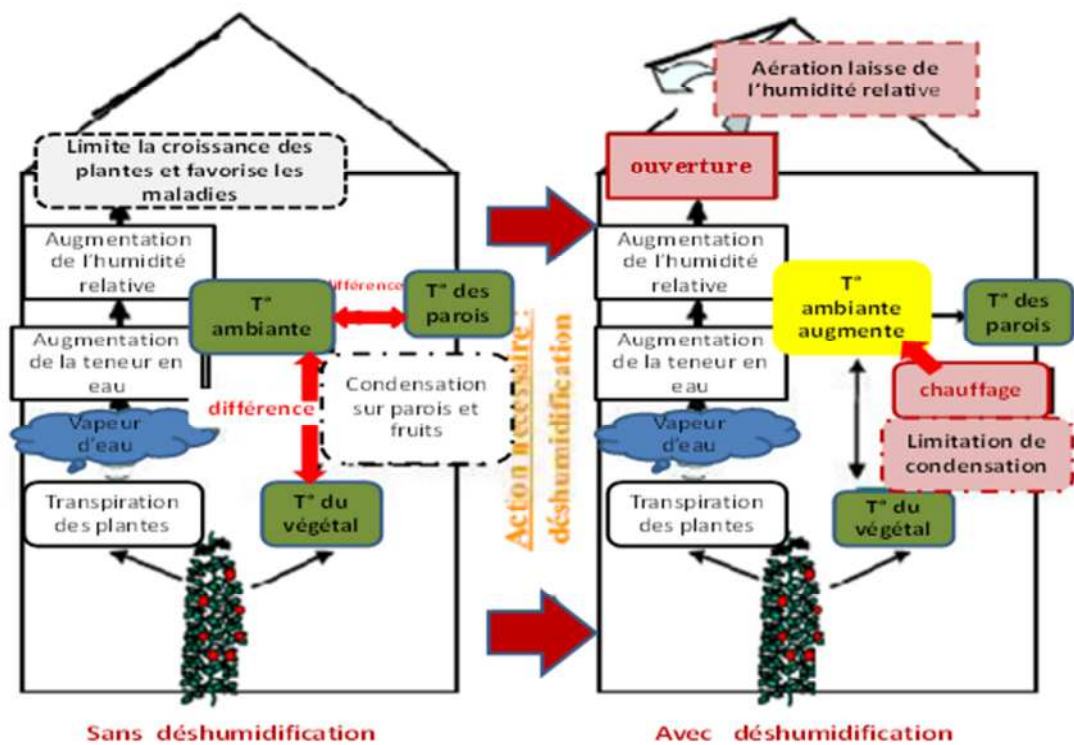


Fig.11 : La déshumidification un processus nécessaire à une bonne croissance des plantes.

**I.6.3.Lumière et rayonnement solaire :** le rayonnement (solaire ou artificiel) active la photosynthèse des cultures et permet d'obtenir une bonne qualité des plantes et des fruits produits. L'utilisation de la lumière artificielle pour une croissance optimale des plantes entraîne une consommation d'énergie électrique. La gestion de l'hygrométrie fait appel aujourd'hui à une technique de déshumidification où le chauffage et l'aération ont lieu simultanément.

La culture sous serre permet de bénéficier de la luminosité naturelle avec la possibilité de rallonger la photopériode par des lumières artificielles tout en gardant le contrôle des conditions hygrométriques. Elle permet notamment de rallonger la période où l'on peut cultiver certains végétaux, ou de les cultiver certains végétaux, ou de les cultiver en dehors des régions où on les trouve originellement.

**I.6.4.Le gaz carbonique :** le gaz carbonique est un facteur limitant de la photosynthèse, les producteurs cherchent à obtenir une teneur de CO<sub>2</sub> dans la serre supérieure à la normale pour maximiser l'activité photosynthétique.

Le gaz carbonique contenu dans l'air est un autre facteur influençant la photosynthèse. « Lorsque la teneur en CO<sub>2</sub> augmente, la photosynthèse augmente d'abord de façon linéaire puis moins rapidement ».

La concentration en CO<sub>2</sub> de l'air influence la photosynthèse de la plante. sous réserve de lumière et de température suffisante, l'enrichissement de l'atmosphère en CO<sub>2</sub> accroît la matière sèche de tous les organes de la plante. Elle permet une augmentation du calibre et de la proportion des assimilats dans les fruits.

Enfin, le CO<sub>2</sub> accélère la croissance, les fleurs sont plus nombreuses et la qualité des fleurs coupées est améliorée.

## **Conclusion**

Il s'agit d'une technologie moderne de production contre saison à l'aide d'un contrôle climatique et de l'utilisation de matières améliorant la productivité. L'usage des serres multi-chapelle permet également d'assurer des conditions de croissance optimales, de mieux organiser la profession, de combattre les parasites et les maladies.

Dans ce chapitre introductif nous avons présenté des généralités sur les serres agricoles commençant par les types les plus populaires, ensuite les différents composants nécessaires à la gestion efficace des paramètres climatiques sous serre. Enfin nous nous sommes basés sur la culture sous serre de tomate et des fraises en déterminant les paramètres et les exigences climatiques agissant sur leurs croissances.

---

***CHAPITRE II:***  
*Contrôle et gestion climatique  
de la serre*

---

## Préambule

Afin de garantir un meilleur produit alimentaire, l'intervention technologique dans le domaine de l'agriculture est devenue importante et quasi nécessaire. La serre de culture, était une technique agricole qui permet d'avoir une meilleure qualité du produit même hors saison et qui dépend de multiples paramètres tels que la température et l'humidité ; Cependant elle ne présentait pas jusqu'ici de résultats parfaits du point de vue qualité. Ceci est dû au fait que ces paramètres ne sont pas calibrés à des valeurs optimales permettant une meilleure production soit dans la qualité gustative du produit soit dans sa pigmentation.

L'intervention technologique qui est le sujet de ce projet de fin d'études se trouve dans le fait de calibrer et optimiser les variables d'entrées de la serre de culture.

**Problématique** : Il s'agit de concevoir deux types de serres de production : l'une des fruits (tomates), l'autre des légumes (courgettes). La carte à concevoir doit permettre le réglage des paramètres (température, humidité, lumière et le taux de CO<sub>2</sub>) selon le type de serre ainsi que le paramétrage des données climatiques à l'aide de différents réseaux de capteurs relatifs à chaque entrée et Arduino qui ramènera ces paramètres à leurs valeurs optimales ce qui va garantir enfin une meilleure production sous serre avec une qualité améliorée.

### II.1.Gestion du climat

La maîtrise du climat est la raison d'être des serres ; on peut créer un environnement idéal pour la croissance des plantes.

**II.1.1.Gestion de température et d'humidité** : l'humidité de l'air est directement liée à la température régnant dans la serre. Plus elle est élevée, plus l'air peut être humide. Dans ce cas le réseau de capteur qu'on utilise jouera le rôle d'un régulateur de température et d'humidité: système qui régule la température de certaines zones en allumant et éteignant les appareils de chauffage et de refroidissement en fonction de la température et de l'humidité extérieure. Il peut être connecté au ventilateur, chauffage... Ces appareils seront allumés et éteints selon les besoins. L'unité de chauffage automatique abordée dans cet article est basée sur le contrôleur Arduino.

**II.1.1.1. Réseaux de capteurs utilisés :** comme on a cité précédemment, l'humidité et la température sont proportionnelles : si l'une est élevée l'autre aussi et ainsi de suite, dans ce cas il suffit de gérer l'une d'elle pour assurer la stabilité de l'autre dans la serre.

- ❖ **Réseau de capteur de température d'air :** en ce qui concerne l'air dans la serre il suffit de gérer sa température durant le jour et la nuit, et le réseau de capteur utilisé est structuré autour de :
  - Capteur de température de l'air LM35 ;
  - Ampoule (représentant le chauffage) ;
  - Moteur (représentant le ventilateur ou toute unité de refroidissement) ;
  - Microcontrôleur Arduino (voir chapitre III).
  
- ❖ **Réseau de capteur de l'humidité du sol :** concernant le sol, il suffit de gérer le taux d'humidité privilégiant dans le sol de la serre, pour ceci le réseau utilisé est structuré autour de :
  - Capteur d'humidité de sol POT-HG ;
  - Ampoule (représentant le chauffage) ;
  - Moteur (représentant le ventilateur ou toute unité de refroidissement) ;
  - Microcontrôleur Arduino.
  
- **Principe :** Le capteur de température LM35 et celui d'humidité POT-HG détectent la température et l'humidité ambiantes (d'air et du sol respectivement), et fournissent une lecture au contrôleur. En fonction de la température et de l'humidité captée, le contrôleur décide quels appareils doivent être allumés. En allumant les dispositifs de chauffage / refroidissement appropriés, la température et le taux d'humidité seront maintenues dans une plage spécifique.

### II.1.1.1.a. Consignes exigées et solutions

**Température :** Pour la serre de la tomate prenons : 20-25°C comme températures du jour, 13-17°C comme températures de nuit. Le contrôle se fait comme suit :

- si durant le jour la température d'air captée est en dessus de 25°C, le microcontrôleur déclenche le ventilateur pour assurer l'aération ; si non si la température d'air captée est en dessous de 20°C, le microcontrôleur déclenche le chauffage.
- si durant la nuit la température d'air captée est en dessus de 18°C, le microcontrôleur déclenche le ventilateur pour assurer l'aération ; si non si la température d'air captée est en dessous de 14°C, le microcontrôleur déclenche le chauffage.

D'autre part, pour la serre des courgettes, les températures exigées sont : 17°C-18°C pour la nuit, 20-22°C durant le jour (suivre la même procédure de contrôle).

#### ➤ Organigramme des paramètres à commandés

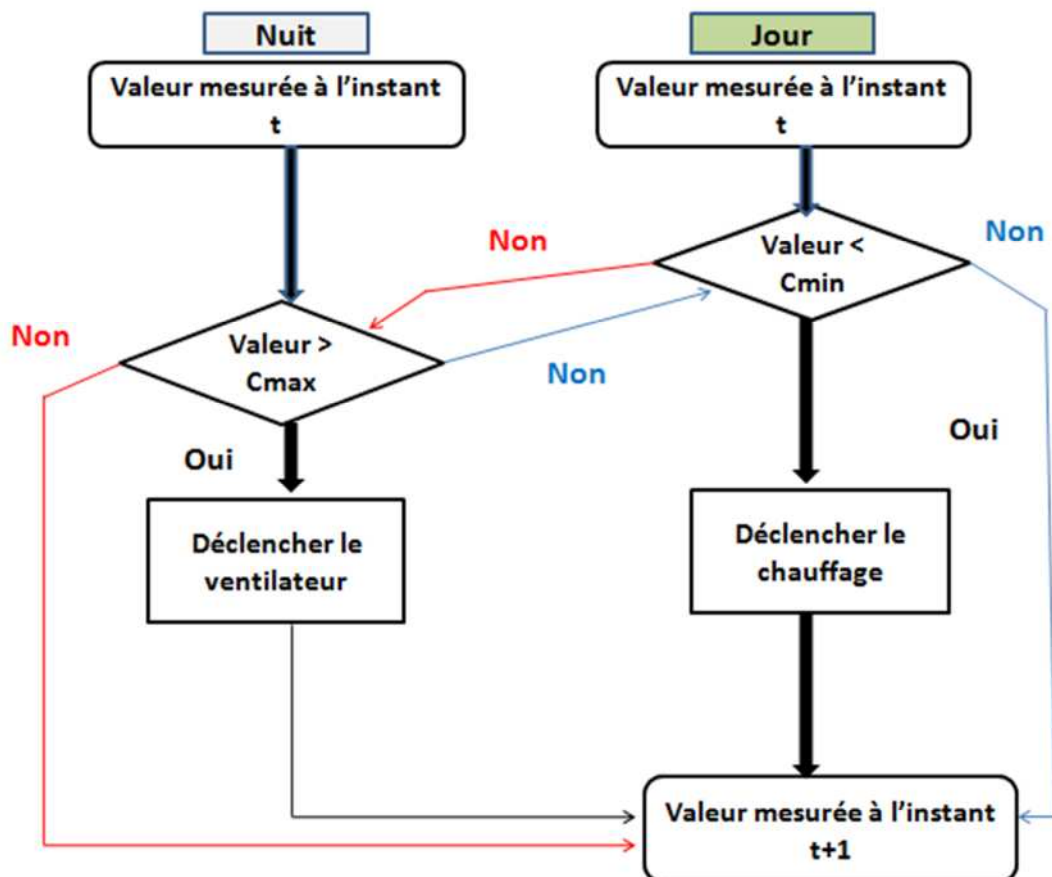


Fig.12 : Organigramme des paramètres pour la gestion d'air dans la serre.

**Humidité** : Pour la serre de la tomate, prenons 75 % comme humidité relative optimale nocturne permise pour l'air et le sol, et 85% comme humidité relative optimale diurne permise pour l'air et le sol. Le contrôle se fait comme suit :

- si durant le jour l'humidité d'air captée est en dessus de 85%, le microcontrôleur déclenche le ventilateur pour assurer l'aération ; si non si l'humidité d'air captée est en dessous de 85%, le microcontrôleur déclenche le chauffage.
- si durant la nuit la température d'air captée est en dessus de 75%, le microcontrôleur déclenche le ventilateur pour assurer l'aération ; si non si la température d'air captée est en dessous de 75%, le microcontrôleur déclenche le chauffage pour maintenir la valeur exigée. Et c'est pareil pour l'humidité du sol captée.

Pour la serre des courgettes l'humidité de l'air et celle du sol est 65% (nuit) et 80% (jour), (suivre la même procédure que celle des tomates).

➤ **Organigramme des paramètres à commandés**

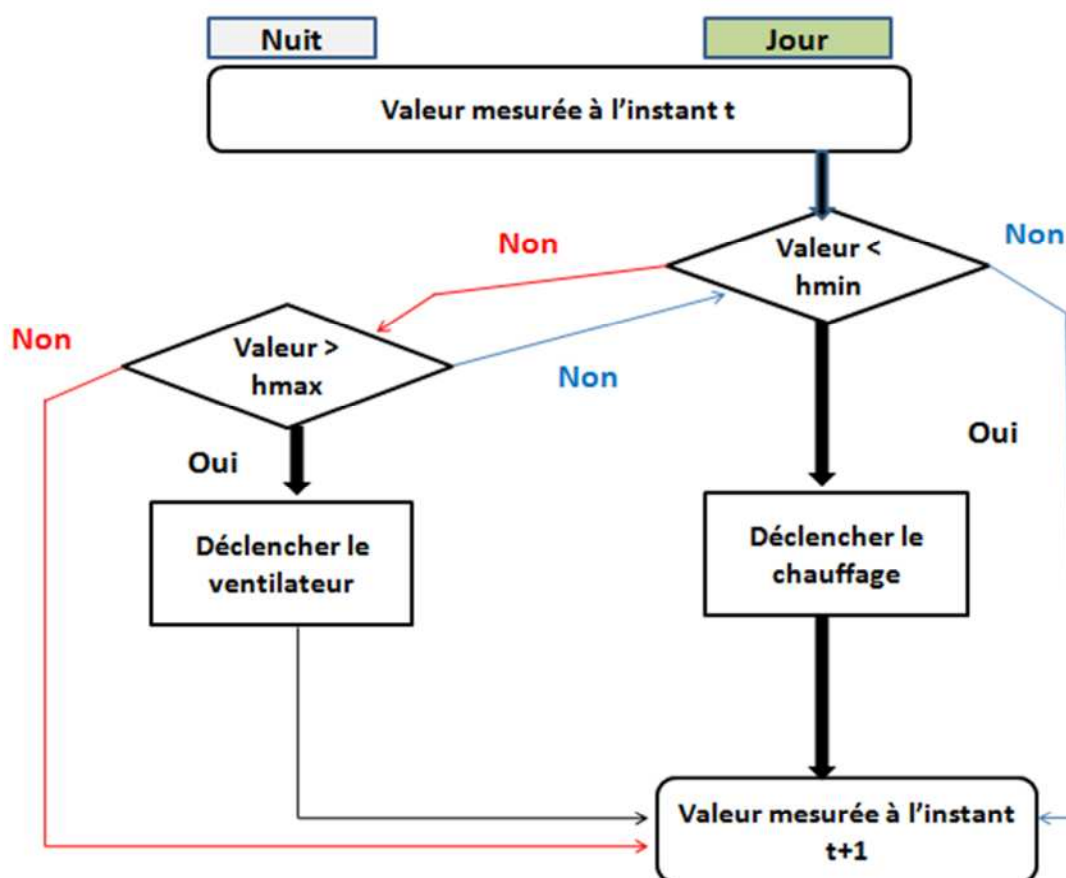


Fig.13 : Organigramme des paramètres pour la gestion du sol dans la serre.



**II.1.1.1.c. Capteur d'humidité POT-hg :** le potentiomètre est le dispositif à trois bornes utilisé pour mesurer les différences de potentiel en faisant varier manuellement les résistances. La tension connue est attirée par la cellule ou toute autre source d'alimentation. Le potentiomètre utilise la méthode comparative qui est plus précise que la méthode de déviation. Donc, il est principalement utilisé dans les endroits où une plus grande précision est requise ou où aucun courant ne coule de la source sous test. Le potentiomètre est utilisé dans le circuit électronique, notamment pour contrôler le volume.

❖ **Caractéristiques du potentiomètre:** les caractéristiques majeures du potentiomètre sont :

- ✓ Le potentiomètre est très précis car il travaille sur la méthode de comparaison plutôt que sur la méthode du pointeur de déflexion pour déterminer les tensions inconnues.
- ✓ Il mesure le point zéro ou le point d'équilibre qui ne nécessite pas de puissance pour la mesure.
- ✓ Le fonctionnement du potentiomètre est libre de la résistance de la source car aucun courant ne circule à travers le potentiomètre lorsqu'il est équilibré.

❖ **Construction du potentiomètre :** La construction du potentiomètre est catégorisée en deux parties. Ce sont les pièces coulissantes et non coulissantes. Le contact glissant est un essuie-glace appelé. Le mouvement des contacts glissants est soit translatore soit rotatif. Un potentiomètre utilise à la fois les mouvements de translation et de rotation. Un tel type de potentiomètre utilise la résistance sous la forme d'une hélice, et par conséquent ils sont appelés héliports.

Le potentiomètre a trois bornes, les deux bornes sont connectées à la résistance, et la troisième borne est connectée à l'essuie-glace qui est mobile avec le fil. A cause de ce fil mobile, le potentiel variable est prélevé. Le troisième terminal est utilisé pour contrôler la résistance variable. Le potentiel de la troisième borne est contrôlé en

changeant le potentiel d'application à la fin de la résistance. Le corps du potentiomètre est composé d'un matériau résistif et le fil est enroulé dessus.

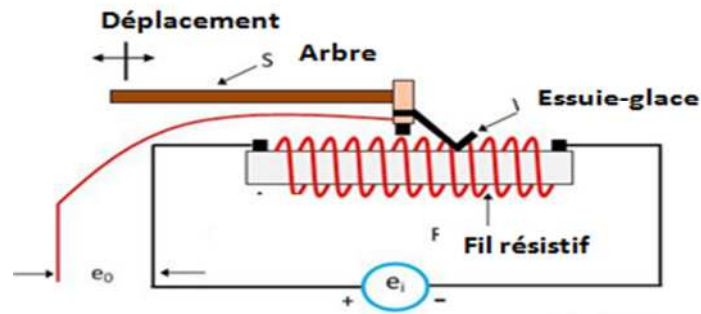


Fig.15 : Architecture du potentiomètre.

**II.1.2.Gestion de la lumière :** la lumière a une forte influence sur la croissance des plantes. Comme on a cité dans le premier chapitre, la tomate ainsi que la courgette sont exigeantes en lumière pour une bonne croissance. Pour mettre en évidence les besoins en lumière des deux serres, on a pensé à intégrer un réseau de capteur.

**II.1.2.1.Réseau de capteur utilisé :** il est structuré autour de :

- Capteur LDR ;
  - Une torche (présente la lumière dans notre réalisation);
  - Microcontrôleur Arduino ;
  - LED.
- **Principe :** Dans ce cas le réseau de capteur qu'on utilise jouera le rôle d'un régulateur de lumière, en se basant sur une photorésistance LDR, une torche qui joue le rôle de la lumière et une LED.

La commande de la LED est faite à l'aide du capteur LDR.

**II.1.2.1.a. Consigne exigée et solution :** quand la torche est proche, le LDR est activé (état normal : présence de lumière), alors que dans le cas où la torche est éteinte, le LDR est dans l'obscurité (absence de lumière), et dans ce cas il faut intégrer une lumière artificielle qui est la LED dans notre projet.

Lorsque le LDR est allumé, la LED reste éteinte et lorsque le LDR s'éteint, la LED s'allume pour assurer la luminosité dans la serre.

➤ Organigrammes à paramètres commandés pour les deux serres:

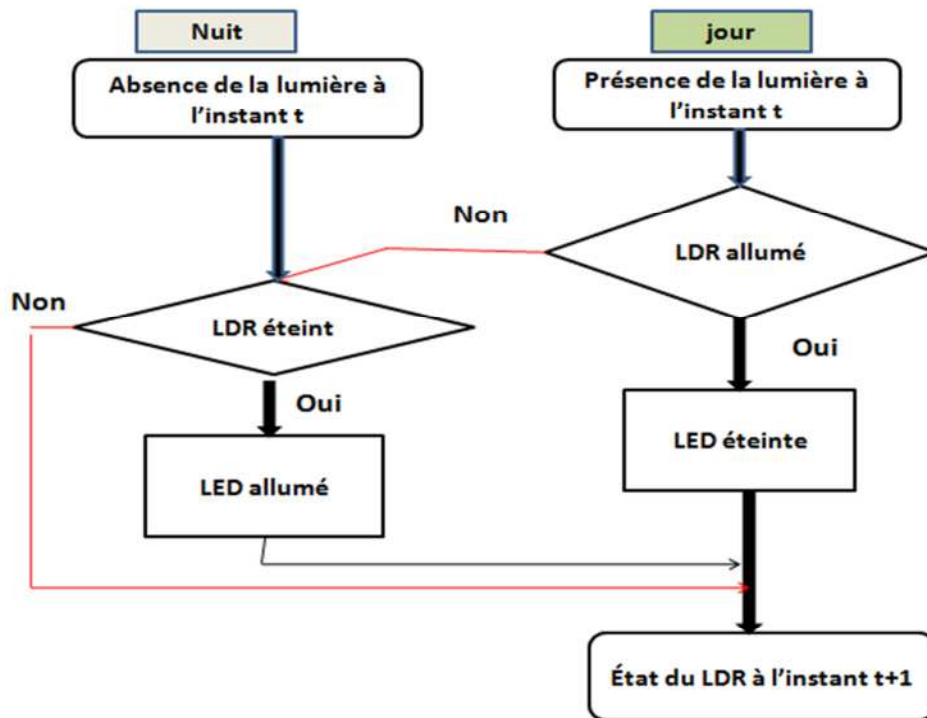


Fig.16 : Organigramme pour la commande de la luminosité.

**II.1.2.1.b. Capteur LDR :** LDR est une abréviation de la résistance dépendante de la lumière. Il est également connu comme photorésistance ou photocellule.

Son symbole est montré dans la figure ci-dessous:

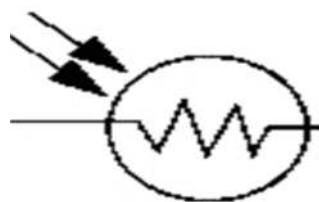


Fig.17 : Capteur LDR.

Le capteur LDR est utilisé pour la détection de la lumière. En interne, il possède une résistance sensible à la lumière, comme indiqué dans le symbole.

Chaque fois que la lumière tombe sur le capteur LDR, sa résistance commence à diminuer et quand il fait sombre, sa résistance commence à augmenter. En utilisant la valeur de la résistance, on peut facilement détecter s'il y a de la lumière ou non.

Il est normalement utilisé dans les interrupteurs activés par la lumière. Par exemple, les réverbères automatiques, qui s'allument quand il fait nuit et s'éteignent automatiquement quand il fait jour. Dans ces réverbères, les capteurs LDR sont utilisés.

**Fonctionnement du capteur LDR :** Comme on a cité dans ce qui précède, le LDR a une résistance interne très sensible à l'intensité de la lumière et qui varie en fonction de celle-ci. Donc, une chose est assez claire que le capteur LDR est un capteur analogique. Cela nous donne des valeurs différentes en fonction de l'intensité lumineuse qui y tombe.

Jetons un coup d'œil sur le circuit le plus simple du capteur LDR, qui est montré dans la figure ci-dessous:

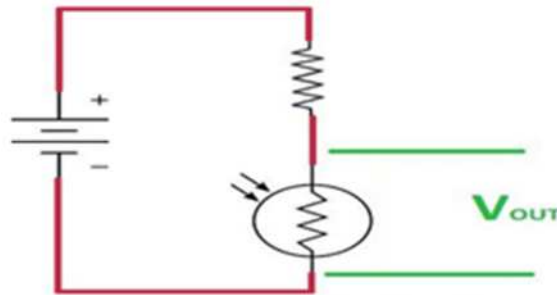


Fig.18 : Circuit du capteur LDR.

En vérifiant l'image ci-dessus, on constate qu'une résistance a été placée en série avec le capteur LDR et une source de tension appliquée à travers eux.

Quand la lumière tombera sur le capteur LDR, sa résistance passera à BASSE et en retour la tension à travers le LDR sera aussi FAIBLE et comme le LDR viendra dans l'obscurité, la résistance ira HAUTE et en retour la tension ira aussi HAUTE.

C'est le phénomène de fonctionnement le plus simple du capteur LDR. Maintenant, si on utilise le capteur LDR avec un microcontrôleur alors ce qu'on doit faire est simplement de donner cette connexion intermédiaire de la résistance et LDR au microcontrôleur.

**II.1.3.Gestion du taux de CO<sub>2</sub> :** le CO<sub>2</sub> est l'une des deux matières premières (l'autre étant l'eau) qui sont nécessaires pour la photosynthèse. Ainsi, le CO<sub>2</sub> est effectivement la "nourriture" qui soutient la quasi-totalité des fruits et légumes c'est le cas des deux serres utilisées dans notre étude. Pour aboutir à ceci, on a pensé à intégrer un réseau de capteur pour assurer l'existence du Co<sub>2</sub> dans les serres.

**II.1.3.1.Réseau de capteur utilisé :** il est structuré autour de :

- MQ3 Module de capteur de gaz ;
- LED ;
- Ampoule (représentant le chauffage) ;
- Microcontrôleur Arduino ;

➤ **Principe :** Le capteur MQ-2 détecte le CO<sub>2</sub>, et fournit une lecture à la LED, puis au contrôleur. En fonction du taux de CO<sub>2</sub> capté et l'état de la LED, le contrôleur décide s'il allume le chauffage ou l'éteint.

**II.1.3.1.a. Consigne exigée et solution :** le capteur MQ-2 est actif pour détecter le CO<sub>2</sub> : Si la LED est allumée ceci indique la présence du CO<sub>2</sub>, si non si la LED est éteinte ce la indique l'absence du gaz carbonique et dans ce cas il faut déclencher le chauffage pour un délai précis à fin de fournir le CO<sub>2</sub>.

➤ Organigrammes à paramètres commandés pour les deux serres:

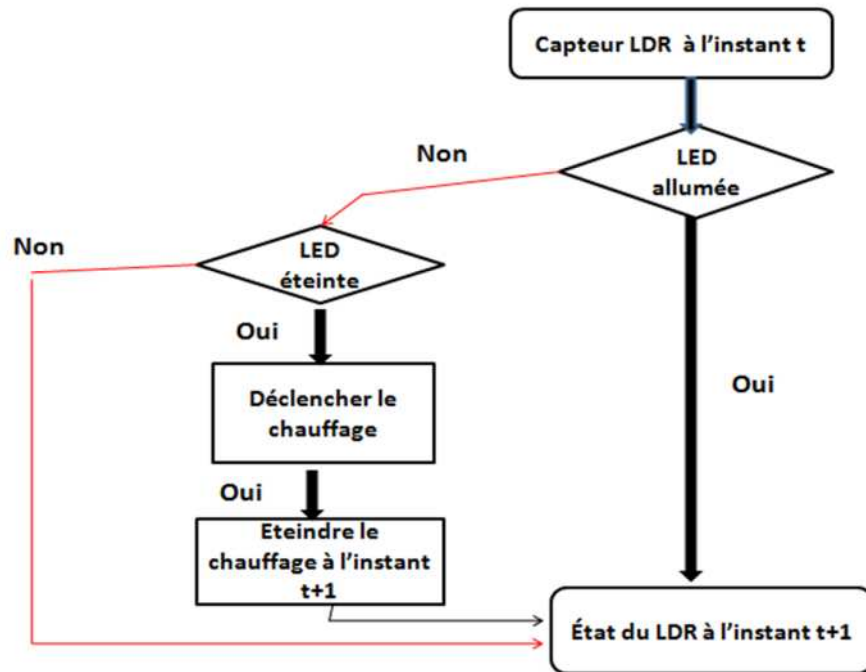


Fig.19 : Organigramme pour la commande de luminosité.

**II.1.3.1.b. Capteur MQ-2 :** Le MQ-2 est un capteur qui permet de détecter le gaz ou la fumée à des concentrations de 300 ppm à 10000 ppm. Après calibration, le MQ-2 peut détecter différents gaz comme le CO<sub>2</sub>, GPL (LPG), l'i-butane, le propane, le méthane, l'alcool, l'hydrogène ainsi que les fumées. Il est conçu pour un usage intérieur à température ambiante.

Le MQ-2 doit être alimenté en 5V pour le capteur physico-chimique puisse atteindre sa température de fonctionnement. Il dispose d'une sortie analogique et d'un réglage de la sensibilité par potentiomètre.

Ce capteur est très sensible avec un temps de réponse très rapide.

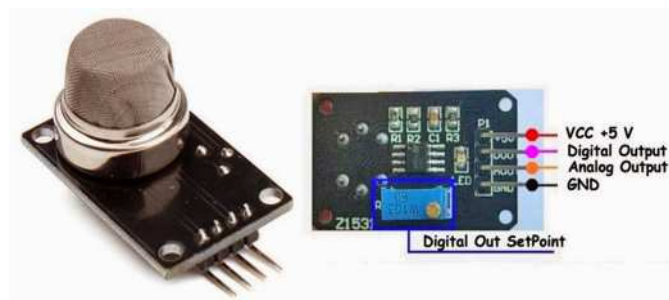


Fig.20 : Le capteur de GAZ.

- **Caractéristiques :**

- Type d'interface : Analogique ;
- Alimentation : 5V ;
- Connectique : 1-Sortie, 2-GND, 3-VCC ;
- Large panel de détection;
- Réponse rapide et haute sensibilité ;
- Circuit de contrôle simple ;
- Système stable à longue durée de vie;
- Dimensions : 40x20mm.
- Puissance: 800mw en chauffe

Il possède 2 type de sorties.

- Une sortie analogique, dont la tension de sortie varie en fonction de la concentration globale d'élément détecté (tous les gaz à la fois)
- Une sortie numérique, réglable à l'aide d'un potentiomètre à l'arrière du composant. L'utilisateur règle le seuil de détection du module, et ce dernier se déclenche si la concentration dépasse le seuil.

**A noter :** cependant que ce composant peut nécessiter une alimentation séparée 5V pour fonctionner correctement.

La sortie 5V du régulateur de l'Arduino n'est souvent pas assez puissante pour alimenter le capteur.

## Conclusion

La régulation des paramètres climatiques qui règnent à l'intérieur de la serre demande, tout d'abord, l'acquisition de ses différents paramètres grâce à des dispositifs d'instrumentation industrielles « capteurs » qui convertissent les grandeurs physiques en tensions électriques avant d'entamer par la suite la régulation. Cette régulation est effectuée par l'intermédiaire d'un dispositif de commande qui tend à optimiser les valeurs captées et qui est régi par le type de programmation (ARDUINO). Le fonctionnement global du système part du principe d'un enchaînement des différents rôles effectués par les différents blocs qui sont liés entre eux par des connexions caractéristiques (connecteurs, fils électrique et bus).

En effet, ses différents blocs sont présentés tout d'abord par une carte de capteurs qui collectent les informations issues du milieu serriste, ensuite l'information qui a subi la variation sera transmise par la suite au bloc de gestion de tâche qui gère cette variation et applique à sa sortie les instructions nécessaires qui vont assurer la régulation de ce paramètre par une injection de cette commande à la terminale effectrice trouvant dans les circuits de commande.

- Ce schéma fonctionnel résume les différents blocs du système utilisé pour la gestion climatique des deux serres étudiées :

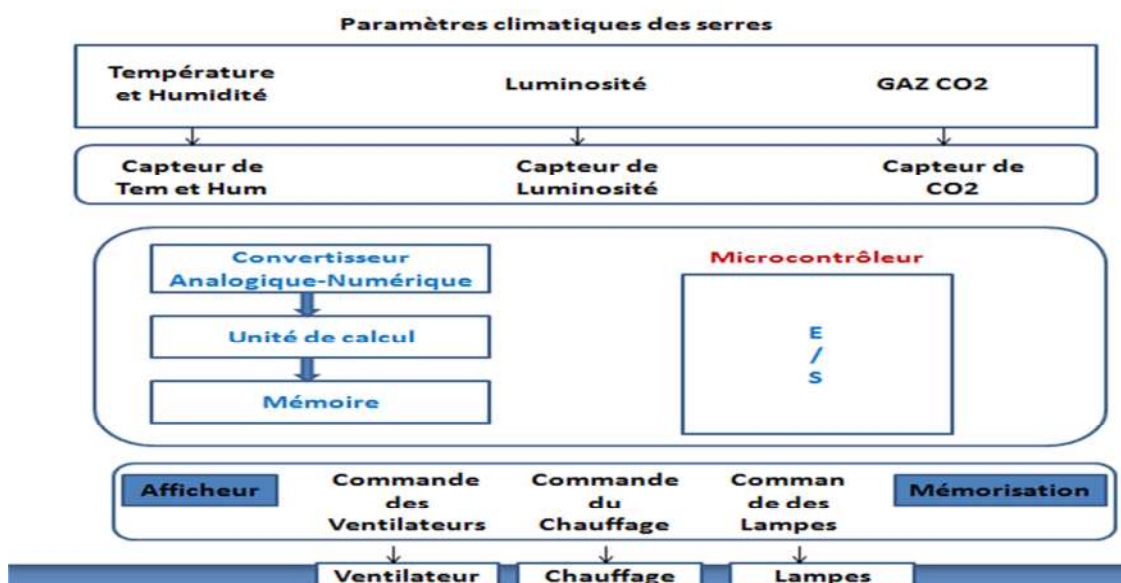


Fig.21 : Schéma fonctionnel global du système utilisé pour gérer le climat des serres.

---

***CHAPITRE III:***  
*Description de*  
*microcontrôleur utilisé*

---

## Préambule

Cette partie est consacrée pour la présentation du microcontrôleur Arduino qui est le type utilisé dans la réalisation de notre projet. On présentera un petit aperçu sur les microcontrôleurs, en se basant sur L'arduino uno, son architecture interne, son brochage et sa communication avec d'autres supports.

### III.1.Définition du microcontrôleur

En électronique, c'est le "cerveau" de l'appareil qui en possède un. En le programmant, il est capable de prendre des décisions, faire des calculs, compter le temps, gérer l'USB etc. C'est un circuit imprimé qui exécute des instructions et coordonne tous les composants du système. Cependant, il ne faut pas confondre microcontrôleur et microprocesseur. Le microprocesseur, est un processeur dont les composants ont été suffisamment miniaturisés pour être regroupés dans un unique circuit intégré.

Fonctionnellement, le processeur est la partie d'un ordinateur qui exécute également les instructions et traite les données des programmes. Mais alors qu'a de plus un microcontrôleur? : Il possède de multiples avantages. Il est tout d'abord moins cher et consomme moins qu'un microprocesseur. De plus le microprocesseur a besoin de multiples éléments externes pour fonctionner comme de la mémoire, des périphériques, une horloge etc. Les microcontrôleurs améliorent l'intégration et le coût d'un système à base de microprocesseurs en rassemblant ces éléments essentiels dans un seul circuit intégré.

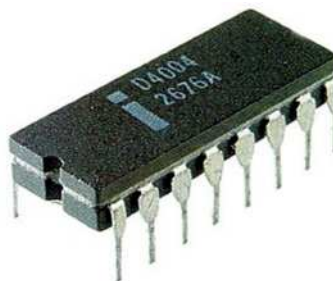


Fig.22 : Exemple du microcontrôleur.

## III.2.Microcontrôleur Arduino

L'arduino est un circuit imprimé en matériel libre sur lequel se trouve un microcontrôleur qui peut être programmé. Les avantages de cette carte sont qu'elle est peu coûteuse, elle facilite les montages électriques, elle possède un environnement de programmation clair et simple et on peut effectuer des tâches très diverses comme la domotique (le contrôle des appareils domestiques - éclairage, chauffage...), qui est le but de notre pratique, le pilotage d'un robot, etc. Nous appelons cela: "une carte magique".

Le système Arduino, nous donne la possibilité d'allier les performances de la programmation à celles de l'électronique. La carte Arduino est programmable dans un langage similaire au C.

La carte Arduino, que ce soit une Uno ou une Nano est composée de plusieurs éléments, dont le principal est le microcontrôleur ATmega328. Cette dernière comporte trois éléments principaux : - L'unité centrale (CPU) - Les mémoires (ROM et RAM) - Des ports d'entrée et sortie. Elle dispose :

- de 14 broches numériques d'entrées/sorties (dont 6 peuvent être utilisées en sorties PWM (largeur d'impulsion modulée) ;
- de 6 entrées analogiques (qui peuvent également être utilisées en broches entrées/sorties numériques) ;
- d'un quartz 16Mhz ;
- d'une connexion USB ;
- d'un connecteur d'alimentation jack ;
- d'un connecteur ICSP (programmation "in-circuit") ;
- et d'un bouton de réinitialisation (reset).

Elle contient tout ce qui est nécessaire pour le fonctionnement du microcontrôleur; Pour pouvoir l'utiliser et se lancer, il suffit simplement de la connecter à un ordinateur à l'aide d'un câble USB (ou de l'alimenter avec un adaptateur secteur ou une pile, mais ceci n'est pas indispensable, l'alimentation étant fournie par le port USB).

### III.2.1.Carte Arduino Uno

"Uno" signifie un en Italien .L'Uno est la carte de base Arduino. Elle sera la plus adaptée pour effectuer des montages simples comme nous voulons faire. C'est une plateforme basée sur une interface entrée/sortie. C'est-à-dire que la carte va pouvoir

recevoir des informations (d'un capteur comme dans notre exemple), les traiter à l'aide du microcontrôleur, et renvoyer des instructions à divers composants (comme un moteur, ventilateur...).

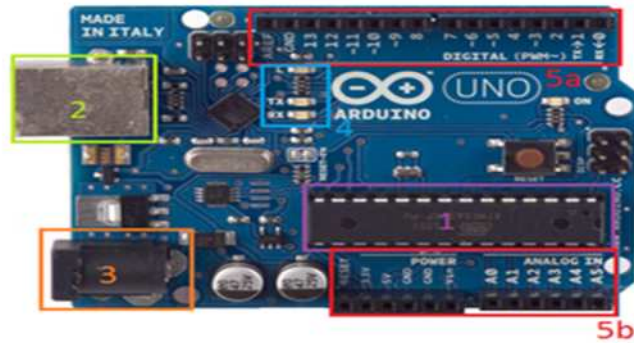


Fig.23 : Carte Arduino Uno.

Le **1**, c'est le cerveau de notre carte. Le microcontrôleur va recevoir le programme, le stocker dans sa mémoire, puis l'exécuter. Grâce à ce programme, il va être capable de faire diverses actions comme: faire clignoter une LED, afficher des caractères sur un écran, envoyer des données à un ordinateur...

Le **2** et le **3** concernent l'alimentation de l'arduino. Il faut savoir qu'en électronique, on utilise la plupart du temps du courant continu : le courant continu est un courant qui circule toujours dans le même sens (du + vers le -). De plus son intensité est constante au cours du temps. Au contraire le courant alternatif (celui qui sort des prises) est un courant qui change de sens. De même son intensité varie au cours du temps.

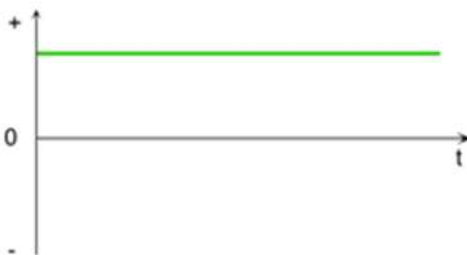


Fig.24 : Courant continu.

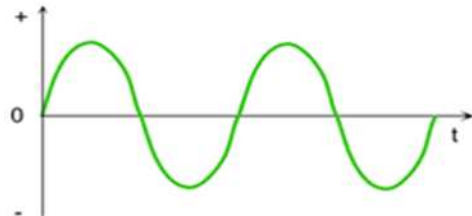


Fig.25 : Courant alternatif.

Le courant continu sera donc plus adapté pour nos montages électroniques qui demandent une quantité d'énergie électrique précise et fixe au cours du temps.

L'arduino doit être alimenté sous 5v, et plus particulièrement le microcontrôleur. Elle peut être alimentée en 5v par un port USB (2) ou bien par une alimentation externe comprise entre 7v et 12v (3) comme par exemple une pile 9v. La tension est ensuite réduite par un régulateur afin de fournir seulement 5v au microcontrôleur. Ceci est très important car il arrive parfois de "bruler" tous ses composants à cause d'un problème d'alimentation.

Les 3 petits points blancs (4) sont les seuls composants programmables sur la carte. Ce sont en réalité des LED. L'une d'entre elle sert à tester le matériel. À l'aide d'un code simple on peut la faire clignoter. Les deux autres s'allument quand on charge un programme, ou que celui-ci transmet des données.

Les broches sur les côtés de la carte sont les éléments les plus intéressants (5a et 5b). Comme la carte ne possède pas de composants qui peuvent être utiles pour un programme (à part la LED de test) il est nécessaire de les rajouter. Et c'est là qu'intervient toute la puissance de l'Arduino, la carte est complètement modulable. C'est à dire que l'on peut par exemple brancher à la carte une LED, un chauffage, un ventilateur, un écran, etc.

La différence entre 5a et 5b vient du fait que les broches 5a seront utilisées comme sorties. En revanche les broches 5b sont utilisées comme entrées. C'est à partir d'elles (notamment d'A0 à A5) que le microcontrôleur va recevoir des informations, comme par exemple un capteur qui signale la présence d'une température ambiante. Le microcontrôleur pourra donc réagir en fonction de cette information et envoyer au chauffage l'ordre de s'arrêter. Le reste des pins d'entrées sont utiles à l'alimentation externe de l'arduino.

### **III.2.1.1. Les mémoires de la carte ARDUINO UNO**

La mémoire est l'un des principaux composants d'un ordinateur ou d'un microcontrôleur comme l'Atmega, cœur de l'arduino.

Dans les microcontrôleurs Arduino, comme dans la plupart des équipements informatiques, on trouve deux types de mémoire :

- la mémoire vive (mémoire de programme) ;
- la mémoire morte (mémoire de données).

La mémoire vive nécessite d'être reliée au courant pour garder les informations alors que la mémoire morte peut conserver des données sans alimentation. On appelle aussi ces mémoires, mémoire de programme et mémoire de données. On peut stocker des informations dans la carte sur la mémoire morte en écrivant des programmes, ou en accédant directement à elle grâce à la fonction EEPROM.

L'ATmega 328 a 32Ko de mémoire FLASH pour stocker le programme (dont 0.5Ko également utilisés par le bootloader). L'ATmega 328 a également 2ko de mémoire SRAM (volatile) et 1Ko d'EEPROM (non volatile - mémoire qui peut être lue à l'aide de la librairie EEPROM).

Nous allons examiner en ce qui suit les 3 types de mémoires disponibles au sein d'un Arduino uno, leurs capacités et leurs rôles afin d'en comprendre les nuances et usages.

Les principales caractéristiques d'une mémoire sont :

- sa capacité de stockage en kilooctet (ko –  $2^{10}$  octets) ou en gigaoctet (Go –  $2^{30}$  octets) pour un pc de bureau ;
- sa vitesse en lecture et écriture (mégaoctet par seconde : Mb/s) ;
- sa capacité à conserver les données dans le temps avec ou sans alimentation électrique ;
- son nombre de cycle d'écriture avant obsolescence.

Les 3 types de mémoires qui coexistent au sein d'un arduino Uno à base **ATmega328** sont :

**II.2.1.1.a. La mémoire FLASH** : Peu coûteuse cette mémoire sert à stocker les programmes et les exécuter, c'est une mémoire qui perdure après arrêt de l'alimentation. Rapide, elle est donnée pour une capacité de 1 000 000 de cycles. L'atmega 328 en est doté de 32 kilos (d'où la référence 32..8).

**II.2.1.1.b. La mémoire SRAM** (Static Read Access Memory) : Coûteuse mais rapide, cette mémoire sert à stocker des données temporaires (les variables du programme par exemple). C'est une mémoire volatile. L'arduino uno en possède seulement 2kilos.

**II.2.1.1.c. La mémoire EEPROM** : (Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory ou mémoire morte effaçable électriquement et programmable)

Elle permet le stockage par le programme de données persistantes, peu coûteuse, mais lente, l'atmega 328 en possède 1 kilooctet. Cette mémoire s'use plus rapidement, sa capacité est de 100 000 cycles d'écriture. Cette mémoire permettra aux programmes de stocker des données de log ou des états devant être conservés de manière pérenne (après arrêt de l'alimentation).

La lecture d'une mémoire ne « l'use pas », seul les cycles d'écriture contribuent à son usure progressive. Le tableau ci-dessous présente les capacités mémoire de l'Arduino en fonction du microcontrôleur utilisé.

Arduino	Processor	Flash	SRAM	EEPROM
UNO, Uno Ethernet, Menta, Boarduino	Atmega328	32K	2K	1K
Leonardo, Micro, Flora, 32U4 Breakout, Teensy, Esplora	Atmega 32U4	32K	2.5K	1K
Mega, MegaADK	Atmega2560	256K	8K	4K

Tableau.1: Les capacités mémoire de l'Arduino en fonction des microcontrôleurs.

- **Utilisation de la mémoire Flash :** Lors de la compilation du code, l'IDE donne une indication sur la mémoire Flash utilisée par le programme. Si on dépasse la capacité du microcontrôleur on sera immédiatement informé.
- **Utilisation de la SRAM :** Le microcontrôleur organise cette mémoire pour stocker des données d'usages différents, l'espace est découpé en 3 zones non « fixes » pour :
  - Conserver les valeurs des variables statiques ou globales. Cette zone est la « static data / **données statiques** ». Elle est stockée en « fin de mémoire » ;
  - stocker les variables temporaires, déclarées en cours d'exécution du programme. On parle du Heap ou **Tas**. Cette zone occupe une place croissante, elle se situe juste après la zone allouée aux variables statiques ;
  - stocker les appels de fonctions, les interruptions, cette zone appelée stack ou **pile** va grossir à partir du début de la mémoire.

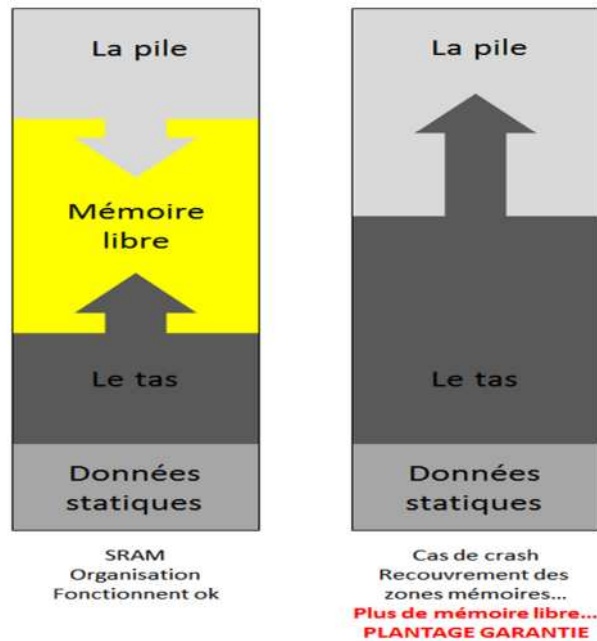


Fig.26 : figure illustrant l'utilisation de la SRAM.

**Attention** : la Sram est très limitée (2ko) et aucun contrôle n'est fait pour empêcher le débordement de ces zones entre elles.

Si cela se produit on aura droit à **un crash de l'application** sans plus d'informations. Ce crash sera de plus relativement aléatoire et risque de se traduire par un comportement complètement incohérent et anarchique de programme.

- **Utilisation de l'EEPROM** : C'est à nous de gérer cette mémoire en spécifiant les octets à écrire dans les adresses mémoire. Pas de mauvaise surprise sauf erreur de programmation, nous pouvons aussi vérifier par une relecture que l'adresse mémoire où nous avons écrit est encore valide, si ce n'est pas le cas chaque relecture donnera un nombre aléatoire (rappel : durée de vie d'une adresse mémoire EEPROM : 100 000 cycles).

**III.2.1.2. Les ports d'entrée et de sortie** : Notre microcontrôleur peut maintenant effectuer des opérations, et stocker des résultats, mais il devra aussi communiquer avec le monde extérieur. Par exemple : lorsqu'il reçoit une information d'un bouton poussoir ou qu'il envoie une information à une LED. Ce sont les ports d'entrée et sortie situés sur les côtés de la carte qui servent à cette fin.

### III.2.1.2.a. Brochage de la carte Uno

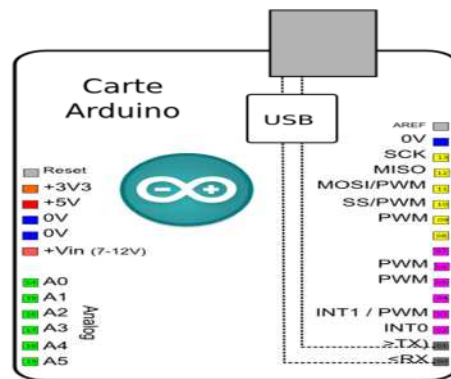


Fig.27 : Brochage de la carte Arduino Uno (Cliquer pour élargir).

**Entrées et sorties numériques :** Chacune des 14 broches numériques de la carte UNO qu'on a démontré dans ce qui précède (numérotées des 0 à 13) peut être utilisée soit comme une entrée numérique, soit comme une sortie numérique, en utilisant les instructions **pin Mode()**, **digital rite()** et **digital Read()** du langage Arduino. Ces broches fonctionnent en 5V. Chaque broche peut fournir ou recevoir un maximum de 40mA d'intensité et dispose d'une résistance interne de "rappel au plus" (pull-up) (déconnectée par défaut) de 20-50 KOhms. Cette résistance interne s'active sur une broche en entrée à l'aide de l'instruction **digitalWrite** (broche, **HIGH**).

De plus, certaines broches ont des fonctions spécialisées :

- **Communication Série:** Broches 0 (RX) et 1 (TX). Utilisées pour recevoir (RX) et transmettre (TX) les données séries de niveau TTL. Ces broches sont connectées aux broches correspondantes du circuit intégré ATmega8U2 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.
- **Interruptions Externes:** Broches 2 et 3. Ces broches peuvent être configurées pour déclencher une interruption sur une valeur basse, sur un front montant ou descendant, ou sur un changement de valeur. Voir l'instruction **attachInterrupt()** pour plus de détails.
- **Impulsion PWM (largeur d'impulsion modulée):** Broches 3, 5, 6, 9, 10, et 11. Fournissent une impulsion PWM 8-bits à l'aide de l'instruction **analogWrite()**.

- **SPI (Interface Série Périphérique):** Broches 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK). Ces broches supportent la communication SPI (Interface Série Périphérique) disponible avec la librairie pour communication SPI. Les broches SPI sont également connectées sur le connecteur ICSP qui est mécaniquement compatible avec les cartes Mega.

**I2C:** Broches 4 (SDA) et 5 (SCL). Supportent les communications de protocole I2C (ou interface TWI (Two Wire Interface - Interface "2 fils"), disponible en utilisant la librairie Wire/I2C (ou TWI - Two-Wire interface - interface "2 fils") .

**LED:** Broche 13. Il y a une LED incluse dans la carte connectée à la broche 13. Lorsque la broche est au niveau HAUT, la LED est allumée, lorsque la broche est au niveau BAS, la LED est éteinte.

**Broches analogiques :** La carte Uno dispose de 6 entrées analogiques (numérotées de 0 à 5), chacune pouvant fournir une mesure d'une résolution de 10 bits (càd sur 1024 niveaux soit de 0 à 1023) à l'aide de la très utile fonction [analogRead\(\)](#) du langage Arduino. Par défaut, ces broches mesurent entre le 0V (valeur 0) et le 5V (valeur 1023), mais il est possible de modifier la référence supérieure de la plage de mesure en utilisant la broche AREF et l'instruction [analogReference\(\)](#) du langage Arduino.

**Note :** les broches analogiques peuvent être utilisées en tant que broches numériques : elles sont numérotées en tant que broches numériques de 14 à 19.

Autres broches

Il y a deux autres broches disponibles sur la carte :

**AREF :** Tension de référence pour les entrées analogiques (si différent du 5V). Utilisée avec l'instruction [analogReference\(\)](#).

**Reset :** Mettre cette broche au niveau BAS entraîne la réinitialisation (= le redémarrage) du microcontrôleur. Typiquement, cette broche est utilisée pour ajouter un bouton de réinitialisation sur le circuit qui bloque celui présent sur la carte.

**III.2.1.2.b. Alimentation :** Les broches d'alimentation sont les suivantes :

- **VIN :** La tension d'entrée positive lorsque la carte Arduino est utilisée avec une source de tension externe (à distinguer du 5V de la connexion USB ou autre source 5V régulée). Vous pouvez alimenter la carte à l'aide de cette broche, ou, si

l'alimentation est fournie par le jack d'alimentation, accéder à la tension d'alimentation sur cette broche.

- **5V** : La tension régulée utilisée pour faire fonctionner le microcontrôleur et les autres composants de la carte (pour info : les circuits électroniques numériques nécessitent une tension d'alimentation parfaitement stable dite "tension régulée" obtenue à l'aide d'un composant appelé un régulateur et qui est intégré à la carte Arduino). Le 5V régulé fourni par cette broche peut donc provenir soit de la tension d'alimentation VIN via le régulateur de la carte, ou bien de la connexion USB (qui fournit du 5V régulé) ou de tout autre source d'alimentation régulée.
- **3V3** : Une alimentation de 3.3V fournie par le circuit intégré FTDI (circuit intégré faisant l'adaptation du signal entre le port USB de votre ordinateur et le port série de l'ATmega) de la carte est disponible : ceci est intéressant pour certains circuits externes nécessitant cette tension au lieu du 5V). L'intensité maximale disponible sur cette broche est de 50mA.

**GND** : Broche de masse (ou 0V).

**III.2.1.3. L'unité centrale** : L'unité centrale, aussi appelée Central Processing Unit (CPU) est l'élément primordial du microcontrôleur. C'est le CPU qui décode les instructions, les exécute et gère les relations entre les mémoires et les ports d'entrée et de sortie.

On peut donc structuré le fonctionnement de l'Arduino comme suit :

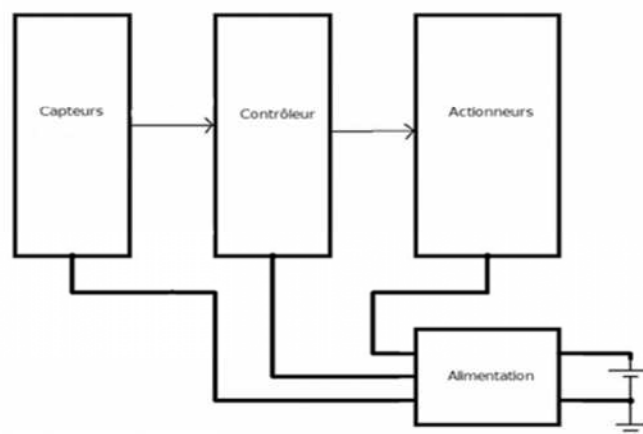


Fig.28 : Principe de fonctionnement d'une carte Arduino.

### III.2.2. Communication

La carte Arduino Uno dispose de toute une série de facilités pour communiquer avec un ordinateur, une autre carte Arduino, ou avec d'autres microcontrôleurs. L'ATmega 328 dispose d'une UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter ou émetteur-récepteur asynchrone universel en français) pour communication série de niveau TTL (5V) et qui est disponible sur les broches 0 (RX) et 1 (TX). Un circuit intégré ATmega8U2 sur la carte assure la connexion entre cette communication série vers le port USB de l'ordinateur et apparaît comme un port COM virtuel pour les logiciels de l'ordinateur. Le code utilisé pour programmer l'ATmega8U2 utilise le driver standard USB COM, et aucun autre driver externe n'est nécessaire. Cependant, sous Windows, un fichier .inf est requis.

Le logiciel Arduino inclut une fenêtre terminal série (ou moniteur série) sur l'ordinateur et qui permet d'envoyer des textes simples depuis et vers la carte Arduino. Les LEDs RX et TX sur la carte clignote lorsque les données sont transmises via le circuit intégré USB-vers-série et la connexion USB vers l'ordinateur (mais pas pour les communications série sur les broches 0 et 1).

Une librairie Série Logicielle permet également la communication série (limitée cependant) sur n'importe quelle broche numérique de la carte UNO.

L'ATmega 328 supporte également la communication par protocole I2C (ou interface TWI (Two Wire Interface - Interface "2 fils") et SPI :

Le logiciel Arduino inclut la librairie Wire qui simplifie l'utilisation du bus I2C.

Pour utiliser la communication SPI (Interface Série Périphérique), il faut utiliser la librairie pour communication SPI.

### III.2.3. Programmation

La carte Arduino Uno peut être programmée avec le logiciel Arduino. Il suffit de sélectionner "Arduino Uno" dans le menu Tools > Board (en fonction du microcontrôleur présent sur la carte).

Le microcontrôleur ATmega328 présent sur la carte Arduino Uno est livré avec un bootloader (petit programme de démarrage) préprogrammé qui permet de transférer le nouveau programme dans le microcontrôleur sans avoir à utiliser un matériel de programmation externe. Ce bootloader communique avec le microcontrôleur en utilisant le Protocol original STK500.

La source du code pour le circuit intégré ATmega8U2 est disponible. L'ATmega8U2 est chargé avec un bootloader DFU qui peut être activé en connectant le cavalier au dos de la carte (près de la carte de l'Italie) et en réinitialisant le 8U2.

#### III.2.4. Caractéristiques Mécaniques

Les longueurs et largeurs maximales de la Uno sont respectivement 6.86 cm et 5.33 cm, avec le connecteur USB et le connecteur d'alimentation Jack s'étendant au-delà des dimensions de la carte. Quatre trous de vis permettent à la carte d'être fixée sur une surface ou dans un boîtier. Noter que la distance entre les broches 7 et 8 est de 0.16 pouces, et non un multiple des 0.1 pouces séparant les autres broches.

### Conclusion

En effet, le microcontrôleur ARDUINO est "une carte magique", elle facilite les montages électriques, en possédant un environnement de programmation clair et simple et effectue des tâches très diverses, et dans notre pratique elle présente l'élément majeur du montage ce qui nous permet de gérer le climat des deux serres étudiées.

---

***CHAPITRE IV:***  
*Simulation du projet*

---

## Préambule

Pour une réalisation d'un circuit électronique, l'étape de simulation est primordiale avant la mise en œuvre du circuit. Pour se faire, ils existent plusieurs logiciels de simulation tel que : EasyEDA, PartSim et ISIS proteus.

Dans ce projet de fin d'étude nous allons utiliser le logiciel «ISIS proteus version : 7.7.SP2» qui est l'outil de simulation le plus récent et utilisé par les électroniciens. Il nous permettra de créer, planifier, dimensionner, et réaliser des liaisons électriques entre les différents composants du circuit.

Notre travail consiste à :

- Créer 4 réseaux de capteurs pour contrôler et gérer les quatre facteurs climatiques de la serre en introduisant pour chaque réseau ses propres paramètres;
- Les relier à un seul microcontrôleur (carte Arduino uno) ;
- Décrire les étapes du programme sous Arduino, puis le compiler.
- Simulation du circuit réalisé.

### IV.1. Partie1 : Présentation du logiciel de simulation « ISIS Proteus »

Afin de réaliser la carte, on a choisi l'environnement (ISIS) qui nous aide pour la simulation. Ce logiciel, de sa bibliothèque vaste, nous facilite le choix des composants par une simple manipulation.

Proteus Professional est une suite logicielle destinée à l'électronique. Développé par la société Labcenter Electronics, les logiciels incluent dans Proteus Professional permettent la CAO (Construction Assistée par Ordinateur) dans le domaine électronique. Deux logiciels principaux composent cette suite logicielle: (ISIS, ARES, PROSPICE) et VSM. Cette suite logicielle est très connue dans le domaine de l'électronique. Outre la popularité de l'outil, Proteus Professional possède d'autres avantages :

- Pack contenant des logiciels facile et rapide à comprendre et utiliser ;
- Le support technique est performant ;
- L'outil de création de prototype virtuel permet de réduire les coûts matériel et logiciel lors de la conception d'un projet.

- ✓ **ISIS** : Le logiciel ISIS de Proteus Professional est principalement connu pour éditer des schémas électriques. Par ailleurs, le logiciel permet également de simuler ces schémas ce qui permet de déceler certaines erreurs dès l'étape de conception. Indirectement, les circuits électriques conçus grâce à ce logiciel peuvent être utilisés dans des documentations car le logiciel permet de contrôler la majorité de l'aspect graphique des circuits.
- ✓ **ARES** : Le logiciel ARES est un outil d'édition et de routage qui complète parfaitement ISIS. Un schéma électrique réalisé sur ISIS peut alors être importé facilement sur ARES pour réaliser le PCB (Printed circuit board) de la carte électronique. Bien que l'édition d'un circuit imprimé soit plus efficace lorsqu'elle est réalisée manuellement, ce logiciel permet de placer automatiquement les composants et de réaliser le routage automatiquement.

#### IV.1.1.Espace de travail :

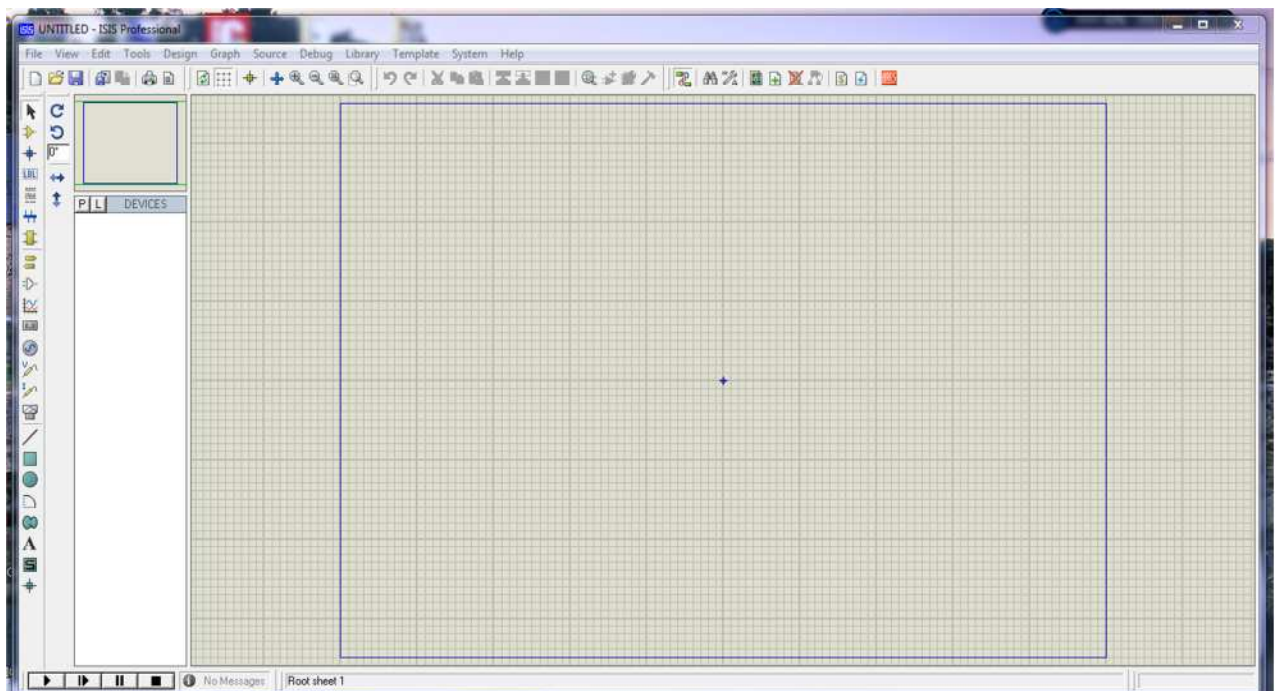


Fig.29 : L'espace de travail d'ISIS Proteus 7.

- **Barre de menus** : Cette barre permet de gérer le travail (ouverture, sauvegarde, impression, mode d'affichage, etc.).

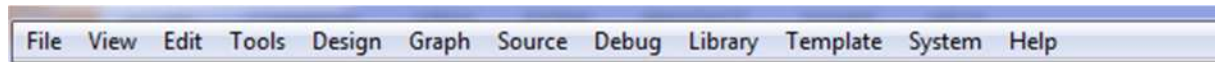


Fig.30 : la barre de menus d'ISIS Proteus.

- **Barres d'outils de commande** : Ces barres fournissent un accès équivalent aux commandes des menus. Elles peuvent être masquées par la commande "Barre d'outils" du menu "Affichage".

**Commandes Fichier/Projet.****Commande d'Affichage.****Commande Edition / Bibliothèque.****Commandes Outils.**

- **Barre d'outils de sélection de mode** : Cette barre permet de sélectionner un outil parmi les 3 modes d'édition disponibles.

**Mode Principal.****Mode gadgets.****Mode graphique.**

- **Barre d'outils d'orientation** : Cette barre permet d'afficher et de contrôler la rotation et la réflexion d'un objet placé ou à placer.



- **Zone d'édition des schémas** : Cet espace rectangulaire correspond à la zone de travail effectif. Tous vos schémas apparaîtront dans cette zone et seront visualisés avec le coefficient d'agrandissement ou de réduction choisi.

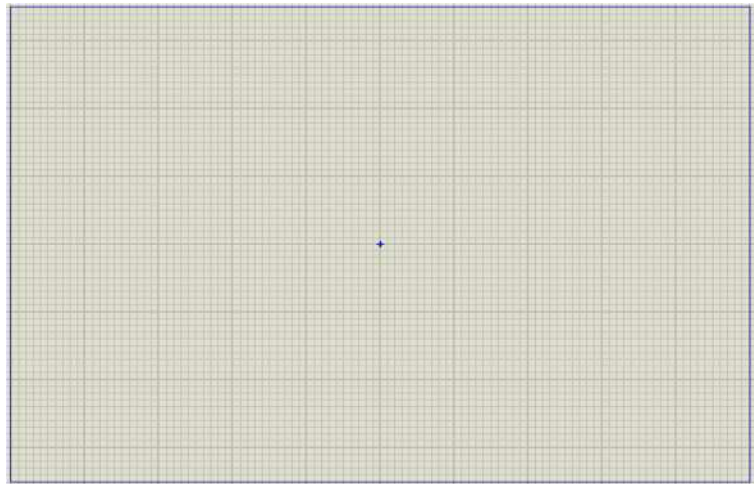


Fig.31 : Zone d'édition des schémas.

- **Vue d'ensemble du schéma** (cadre extérieur) : et de positionnement (cadre intérieur) Elle montre une représentation simplifiée de la totalité du dessin. Le cadre bleu marque le contour de la feuille, alors que le cadre vert montre la zone du schéma actuellement visible dans la fenêtre d'édition. Dans cette fenêtre, apparaît également l'aperçu d'un objet sélectionné pour un placement.

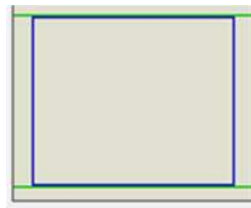





Fig.32 : Espace pour vue d'ensemble du schéma.

- **Sélecteur d'objets** : Le sélecteur d'objets liste les différents éléments, selon le mode de travail choisi. Les types d'objets qui peuvent y apparaître sont les composants, les terminaux, les pattes, les symboles graphiques, les marqueurs, les graphes.




Fig.33 : Icône permettant de sélectionner l'objet.


### IV.1.1.a Gestion d'un PROJET

- Création d'un projet : Menu Fichier Nouveau Projet ou appuyer sur l'icône .
- Ouverture d'un projet : Menu Fichier Ouvrir projet ou appuyer sur l'icône .
- Enregistrement d'un projet : Menu Fichier Enregistrer projet sous.
- Sauvegarde d'un projet : Menu Fichier Enregistrer projet ou appuyer sur l'icône .

### IV.1.2. Edition d'un schéma

**IV.1.2.1. Chargement de composants:** Avant de commencer un projet, vous devez d'abord pré-charger et mettre en attente les différents composants que vous comptez utiliser. Il est néanmoins possible de les charger plus tard. Les composants disponibles sont regroupés dans des bibliothèques classées par thèmes. Pour charger un composant :

Cliquer sur l'icône "Composant"  de la barre d'outils de sélection de modes.

- Appuyer sur la touche **P** du sélecteur d'objet .

La fenêtre "Pickdevices" apparaît : Dans le cas où vous ne connaissez pas la catégorie où se trouve le composant désiré, il suffit de taper son nom ou quelques lettres dans la zone "Mots clés" afin que l'application sélectionne certaines catégories susceptibles d'accueillir le composant recherché. Une fois ce choix fait ou si vous connaissez la catégorie, il suffit de: Sélectionner la catégorie, Cliquer sur l'objet, son aperçu apparaît dans la fenêtre de droite, Double-cliquer sur l'objet désiré pour le charger.

Celui-ci sera ajouté dans la liste "Device" du sélecteur d'objets. Une fois tous les objets chargés, fermer la fenêtre "PickDevices".

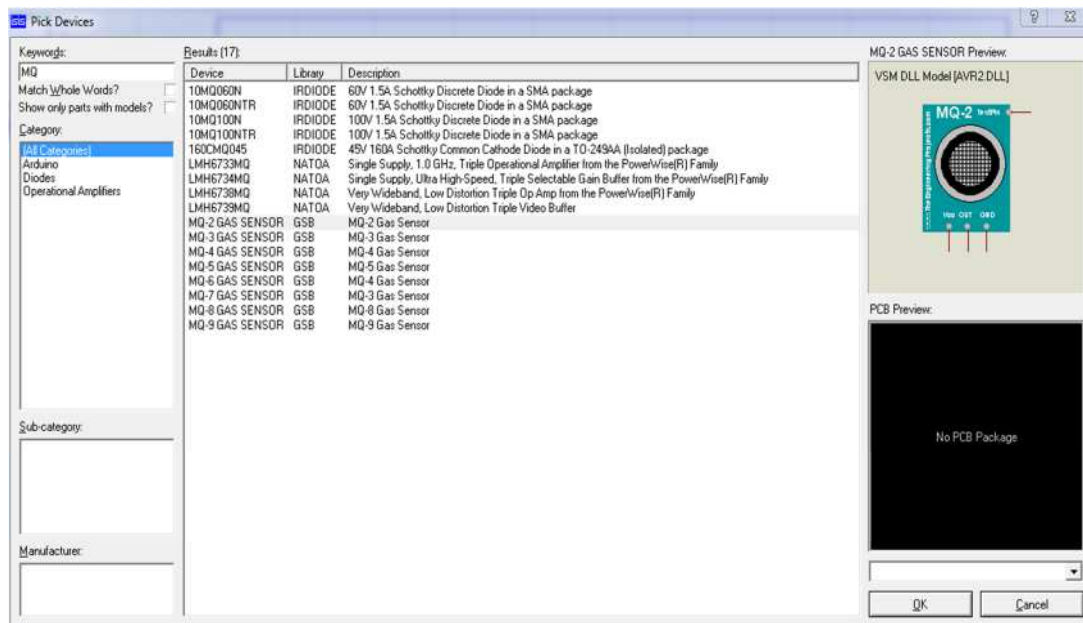


Fig.34 : Espace permettant de charger les composants.

#### IV.1.2.2.Placement d'un composant ou d'un objet :

- Cliquer sur l'icône désirée de la barre d'outils de sélection de mode.
- Choisir, dans le sélecteur d'objet, le composant ou l'objet à placer, celui-ci apparaît dans la fenêtre vue d'ensemble et peut être orienté suivant les besoins grâce aux boutons de la barre outils d'orientation.
- Positionner le curseur dans la zone d'édition et cliquer sur le lieu de placement du composant ou de l'objet.

#### IV.1.2.3. Connexion

Placement des connexions : ISIS supporte 2 types de connexion : manuelle ou automatique. Pour faciliter la connexion, vérifiez que l'option Auto-routeur de connexions du menu Outils est cochée.

Connexion manuelle	Connexion automatique
<p>-Placer le curseur sur l'extrémité de la patte à connecter.</p> <p>-Le pointeur se transforme en un crayon.</p> <p>-Cliquer pour valider le point de départ.</p> <p>-Déplacer le curseur et valider chaque changement de direction par un clic jusqu'à atteindre le point d'arrivée.</p> <p>-Pour arrêter la pose d'une connexion, il suffit d'appuyer sur la touche Echap.</p>	<p>-Placer le curseur sur l'extrémité de la patte à connecter. Le pointeur se transforme en un crayon.</p> <p>-Cliquer pour valider le point de départ.</p> <p>-Placer directement le curseur sur le point d'arrivée, puis cliquer.</p> <p>-La liaison est faite automatiquement.</p> <p>Ce mode est plus rapide.</p>

Tableau.2 : Placement des connexions.


**b) Suppression des connexions :**

- Cliquer droit sur la connexion à effacer ;
- Cliquer sur "Delete wire" ;

**c) Modification de tracé d'une connexion :**

- Sélectionner le fil par un clic droit ;
- Cliquer en gardant appuyé le bouton gauche de la souris sur le lieu à modifier, puis glisser vers la nouvelle position ;
- Répéter autant de fois que nécessaire l'étape précédente.

**d) Label de connexion :** ISIS offre la possibilité de nommer les connexions; Pour cela :

- Cliquer sur l'icône "Label de fil"  de la barre d'outils de sélection de mode.
- Cliquer sur le fil, la fenêtre "Edit WireLabel" apparaît
- Saisir le nom de la connexion dans la zone "Chaîne"
- Choisir l'orientation du texte à l'aide des cases des zones "Rotation" et "Justifier" La case "Auto-Sync" permet d'affecter le même nom à tous les fils connectés au fil

sélectionné.

- Cliquer sur OK.

#### IV.1.2.4. Edition d'un schéma

##### a) Définition de la zone de travail :

- Menu "Système" Définir taille des feuilles... La fenêtre "Sheet Size Configuration" apparaît ;
- Cocher le format de la feuille désirée ;

**Note :** Les formats proposés sont tous en orientation paysage. Pour une orientation portrait ou une autre dimension de feuille, cocher la case User et saisir les dimensions de la feuille dans les cases correspondantes.

- Cliquer sur OK.

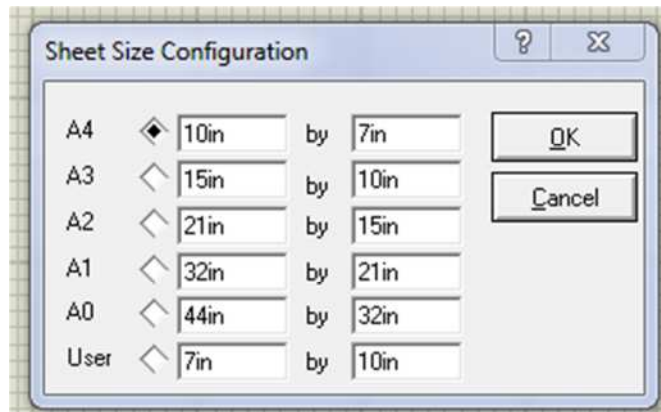


Fig.35 : Fenêtre permettant de saisir les dimensions des feuilles.

- ##### b) Edition des paramètres d'un composant :
- Chaque composant possède des paramètres (référence, valeur, paramètres de simulation, empreintes) qu'il est possible de visualiser ou de modifier.
- Pour faire apparaître ces derniers, sélectionner le composant, puis cliquer sur celui-ci. La fenêtre "Edition Composant" apparaît ;
  - Saisir le repère du composant dans zone "Référence" ;
  - Saisir la valeur du composant dans zone "Valeur " ;
  - Pour masquer ces renseignements, cocher la case "Hidden" (Caché).

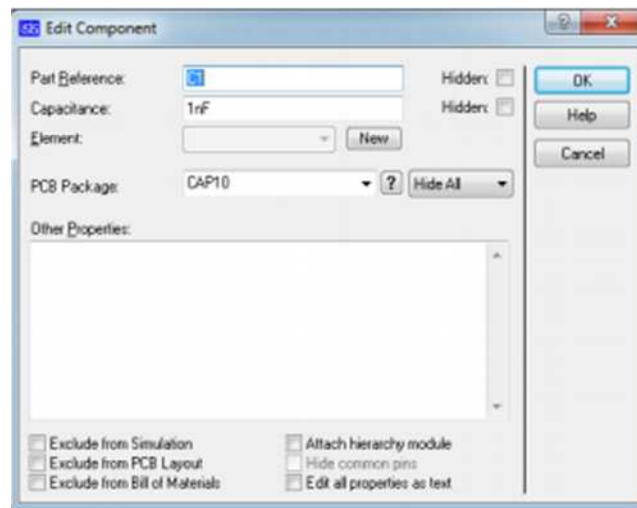


Fig.36 : Fenêtre permettant de saisir les paramètres des composants.

- c) **Déplacement des paramètres d'un composant** : Pour déplacer le repère ou la valeur d'un composant, sélectionner le composant, puis cliquer sur le paramètre à déplacer et déplacer la souris en maintenant le bouton gauche appuyé.
- d) **Orientation des paramètres d'un composant** : Pour modifier l'orientation d'un paramètre d'un composant, sélectionner le composant puis cliquer sur le paramètre concerné. La fenêtre "Edit Part Id" apparaît, Sélectionner l'onglet Label, Cocher alors les cases des zones "Rotation" et, "Justifier" pour obtenir la position désirée. Cliquer sur OK.



Fig.37 : Fenêtre permettant de modifier l'orientation d'un paramètre des composants.

❖ Table des icônes :
























MODE PRINCIPAL		MODE GADGETS		MODE GRAPHIQUE	
	Composants		Terminal		Ligne
	Point de jonction		Patte de composant		Rectangle
	Label de fil		Graphe		Cercle
	Script de texte		Cassette		Arc
	Bus		Générateurs		Chemin
	Sous circuit		Sonde de tension		Texte
	Édition		Sonde de courant		Symbole
			Appareils		Marqueur origine

Tableau.3 :Significations des différentes icônes.

IV.2. Partie2 : Création des quatre réseaux de capteurs

IV.2.1.Création du réseau de capteur utile pour la gestion de la température d'air

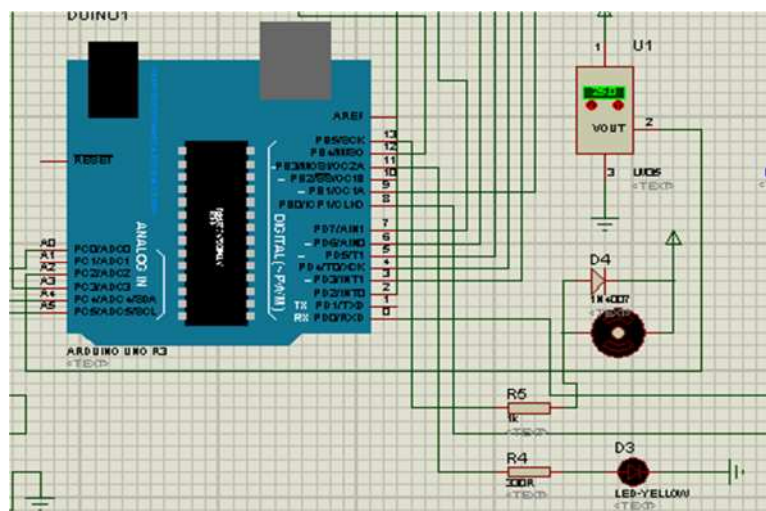


Fig.38 : Réseau de température d'air.

- La pîne 2 du capteur LM35 est configurée en entrée, en la branchant à la pîne A2 de la carte Arduino ;
- Le chauffage (qui est présenté par la LED jaune) est configuré en sortie en le branchant d'abord en série avec une résistance de 330K (pour la sécurité), et par la suite à la pîne 11 de la carte Arduino ;
- Le ventilateur (qui est présenté par le moteur) est configuré aussi en sortie, en le plaçant tout d'abord en parallèle avec la diode de redressement 1N4007 qui est très utile dans la gestion de moteur : elle permet de gérer les ordres ON et OFF du moteur (elle présente une chute de tension de l'ordre de 0.7V quand le courant est de 50 mA, et une chute de tension de 1.1V quand le courant est de 1A), et qui seront par la suite branché en série avec la résistance de 1K et tout ceci est branché à la pîne 13 de l'Arduino.

#### IV.2.2.Création du réseau de capteur utile pour la gestion de l'humidité du sol

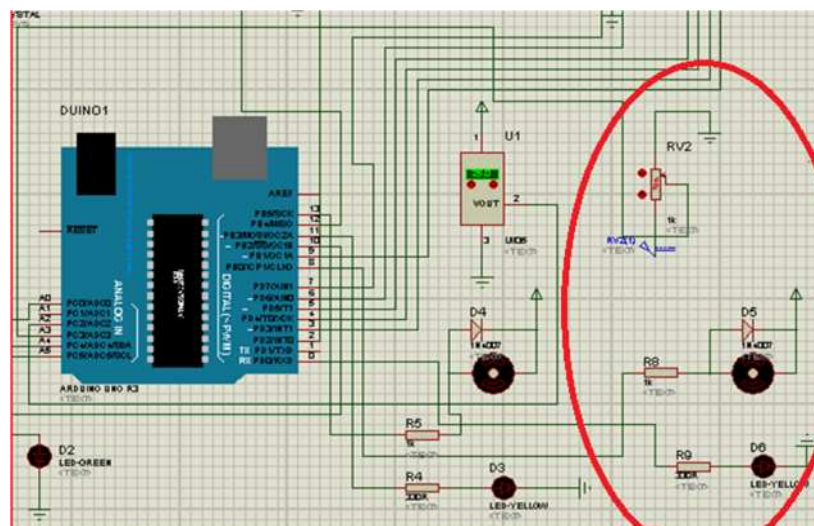


Fig.39 : Réseau d'humidité du sol.

- Le capteur d'humidité appelé POT-HG qui est présente par RV2 dans le schéma est configuré en entrée, en le branchant avec la pîne A3 de l'Arduino ;
- Le moteur (qui présente le ventilateur) est configuré en sortie, il est placé en parallèle avec la diode 1N4007 puis en série avec la résistance de 1K, qui est à son tour branché à la pîne 8 de l'Arduino ;
- Le chauffage (présenté par le LED jaune) est configuré en sortie : il est placé en série en série avec la résistance de 330K qui est à son tour branché vers la pîne 0 de l'arduino.

## IV.2.3.Création du réseau de capteur utile pour la gestion de la lumière

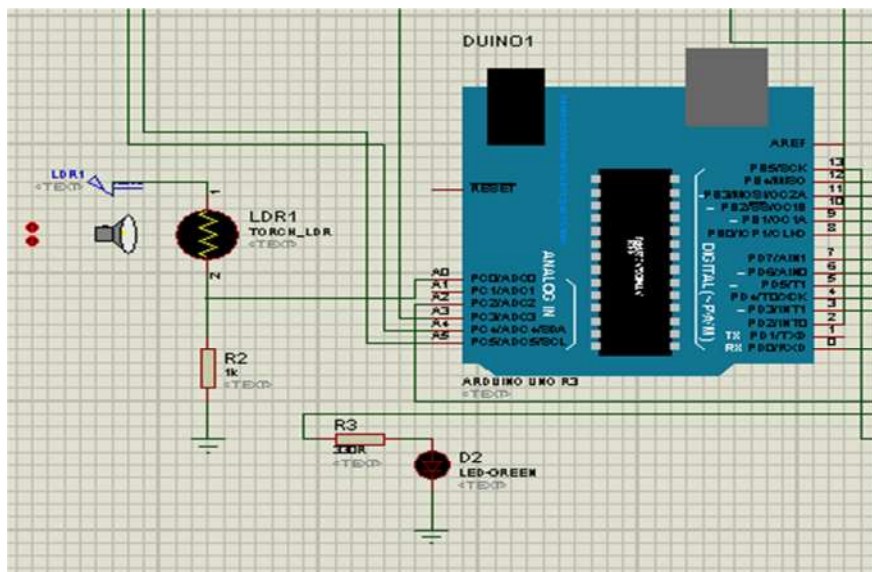


Fig.40 : Réseau de lumière.

- Le capteur LDR possède une torche qui présente la lumière, il est configuré en entrée en branchant sa pîne 2 avec une résistance de1K puis vers la pîne A0 de l'Arduino ;
- La lampe (présenté par la LED verte) est configuré en sortie, elle est placée en série avec la résistance de 330K qui est à son tour branchée vers la pîne 10 de l'Arduino.

## IV.2.4.Création du réseau de capteur utile pour la gestion du taux de CO2

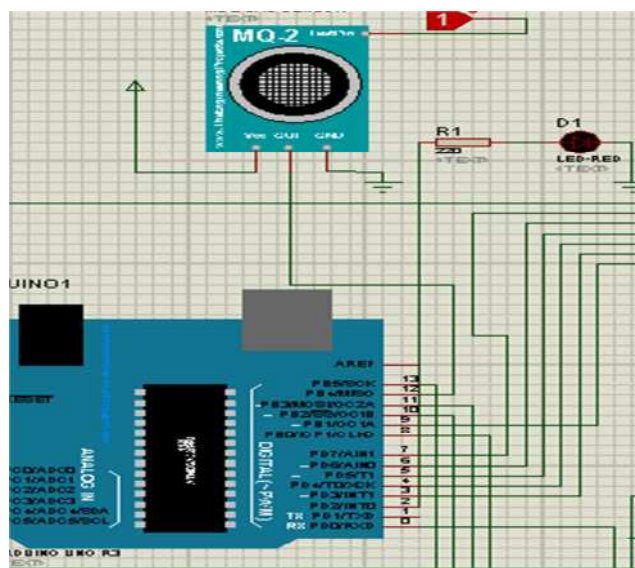


Fig.41 : Réseau de CO2.

- Le capteur MQ-2 est configuré en sortie, sa pine de sortie (OUT) est branchée vers la pine 12 de l'Arduino, et sa pine (TestPin) est branchée avec une bascule logique qui commande l'absence et la présence du CO2 dans la serre : quand la bascule vaut 1 cela implique la présence du CO2, et si elle vaut 0 cela implique l'absence du CO2 ;
- Le chauffage (présenté par la LED rouge) est configuré en sortie en la plaçant en série avec la résistance de 220 ohms puis vers la pine 2 de l'Arduino.

#### IV.2.5.Création d'une horloge pour conditionner les paramètres par rapport au jour et la nuit

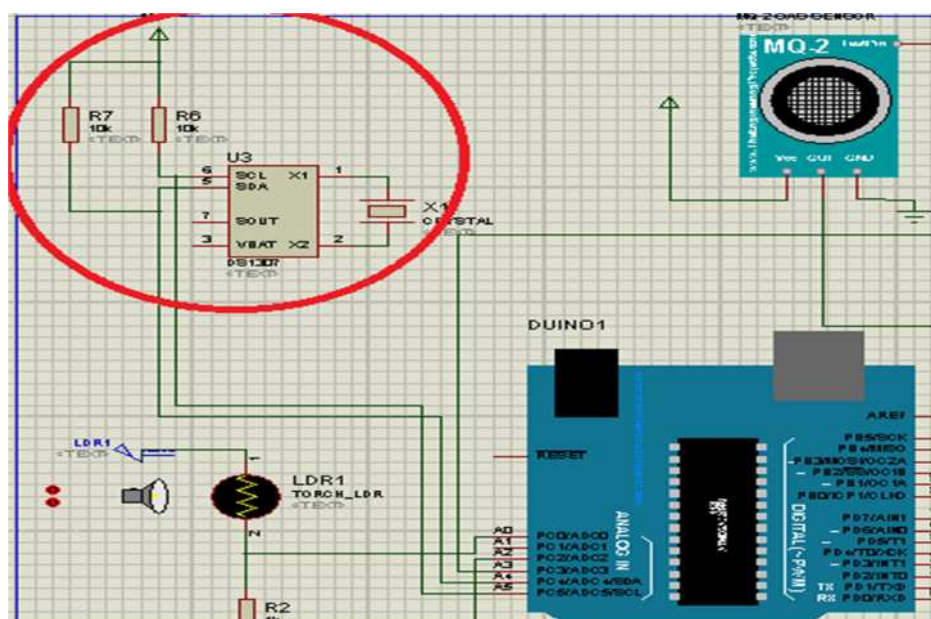


Fig.42 : Réseau d'horloge.

- L'horloge est configurée en entrée, en branchant sa pine 6(SCL) avec une résistance de 10K qui sera à son tour branché vers la pine A5 de l'Arduino, et sa pine 5(SDA) branchée avec une résistance de 10K qui est branchée vers la pine A4 de l'Arduino ;  
NB : Les deux résistances sont alimentées par 5V (comme c'est montré dans la figure (Fig.42) ;
- L'horloge DS1307 utilise un Crystal quartz d'une fréquence de 32.768KHz (comme celle utilisée dans une montre), ce dernier est placé entre les bornes 1 (X1) et 2(X2) du DS1307 ;

### IV.2.6. Vue globale de la carte réalisé avant l'introduction du programme (intégration de l'afficheur LCD LM044L)

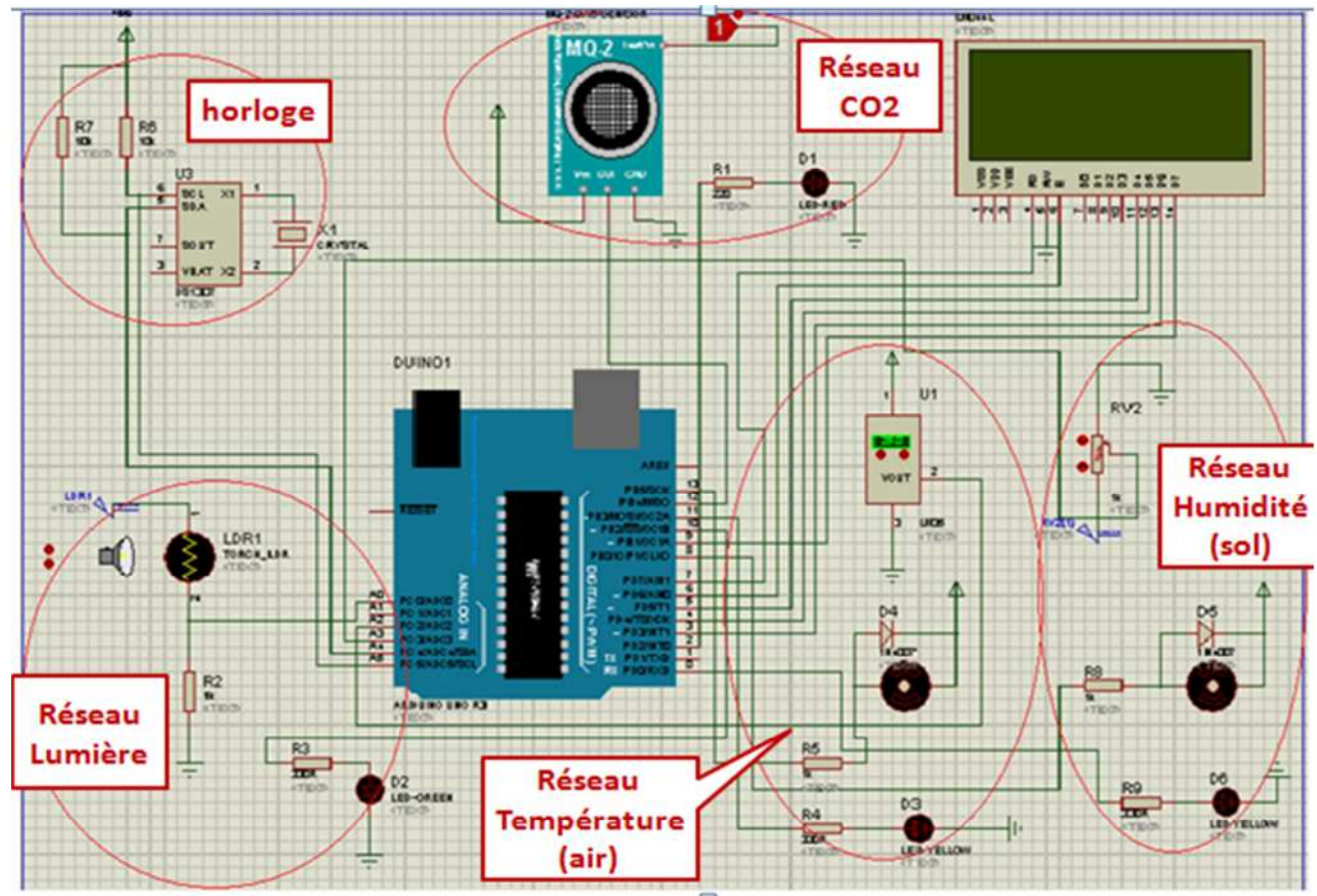


Fig.43 : Vue globale du schéma avant introduction du programme.

- Le circuit des deux serre est le même en apparence, il diffère juste dans le programme.

## IV.3. Partie3 : Programmation sous Arduino

### IV.3. 1. Structure globale du programme : un programme sous Arduino comprend :

- Une partie entête déclarative : c'est la partie de déclaration des variables et constantes et des bibliothèques utilisées dans le programme ;
- une partie « configuration » qui ne sera exécutée qu'une fois [fonction `setup()` ] ;
- une partie constituée d'une boucle sans fin que le programme répètera à l'infini [fonction `loop()` ]: c'est le cœur du programme.

**IV.3.2.Déroulement du programme** : Le programme se déroule de la façon suivante :

- Après avoir pris en compte les instructions de la partie déclarative,
- puis après avoir exécuté la partie configuration [fonction setup( )],
- le programme bouclera sans fin [fonction loop ( )], exécutant de façon répétée le code compris dans la boucle sans fin.

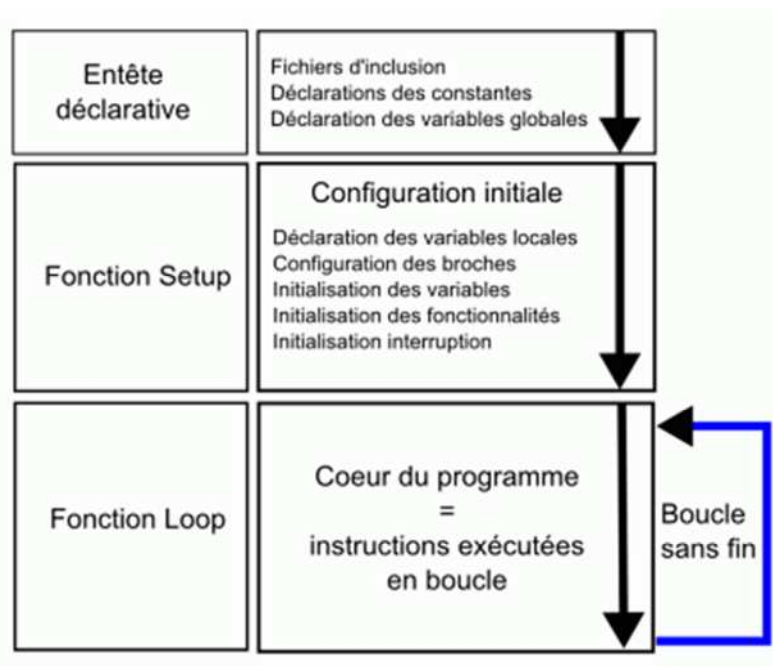


Fig.44 : Etapes de déroulement du programme sous Arduino.

**IV.3.3.Le programme complet en langage Arduino pour la serre de tomate**

```

***** Entête déclarative *****
// --- Inclusion des bibliothèques utilisées ---

#include <RTClib.h>

#include <Wire.h>

// #include "RTClib.h"

#include <LiquidCrystal.h>

LiquidCrystal lcd(7, 6, 5, 4, 3, 9);

```

```
RTC_DS1307 RTC;
```

```
#define gas_Pin 12
```

```
// --- Déclaration des variables et constantes ---
```

```
int gas_value ;
```

```
int A=0;
```

```
int B=0;
```

```
int sensorpin1=A2;
```

```
int sensorpin2=A3;
```

```
int fan1= 13;
```

```
int fan2= 8;
```

```
long mV1;
```

```
long hum1;
```

```
long med1;
```

```
int min_temp=20;
```

```
int max_temp=25;
```

```
int min1_temp=13;
```

```
int max1_temp=17;
```

```
int MIN_temp=14;
```

```
int MAX_temp=18;
```

```
int min_h=5;
```

```
int max_h=19;
```

```
***** FONCTION SETUP = Code d'initialisation *****
```

```
void setup() {  
  
  // initialize serial communication at 9600 bits per second:  
  
  Serial.begin(9600);  
  
  Wire.begin();  
  
  RTC.begin();  
  
  lcd.begin(20,4);  
  
  // --- Configuration des pines en sorties ---  
  
  //pinMode(13,OUTPUT);  
  
  //digitalWrite(13,LOW);  
  
  
  if (! RTC.isrunning())  
  
  {  
  
    Serial.println("RTC is NOT running!");  
  
    // following line sets the RTC to the date & time this sketch was compiled  
  
    RTC.adjust(DateTime(__DATE__, __TIME__));  
  
  }  
  
  
  pinMode (2,OUTPUT);  
  
  pinMode(fan1,OUTPUT);  
  
  pinMode(fan2,OUTPUT);  
  
  pinMode (11,OUTPUT);
```

---

```
pinMode (10,OUTPUT);

pinMode (0,OUTPUT);

} // fin de la fonction setup()

//***** FONCTION LOOP = Boucle sans fin*****

void loop() {

    A= analogRead(sensorpin1);

    B= (A/2);

    med1 = analogRead (sensorpin2);

    mV1= map (med1, 0, 1023, 100,0);

    hum1 = (mV1);

    // -----Programme du capteur de CO2:-----

    gas_value = digitalRead (gas_Pin);

    Serial.print(gas_value);

    if (gas_value==1){

        digitalWrite (2,LOW);

        Serial.print(gas_value);

        Serial.print("LOW VALUE");

        delay(1);

        lcd.setCursor(0, 1);

        lcd.print("TAUX CO2 dispo");

    }
```

---

```
else{

    digitalWrite (2,HIGH);

    Serial.print("HIGH VALUE");

    lcd.setCursor(0, 1);

    lcd.print("TAUX CO2 indispo");

    }

    delay(10);

    // -----Fin du programme du capteur de CO2:-----

//----- Programme du capteur de lumière LDR : -----

    int sensorValue = analogRead(A0);

    // print out the value you read:

    Serial.println(sensorValue);

    if (sensorValue<15)

    {

        digitalWrite(10,HIGH);

    }

    if (sensorValue>15){

        digitalWrite(10,LOW);
```

```
} //----- Fin du programme du capteur de lumière LDR : -----  
  
delay(1);  
  
//-----Programme pour l'horloge-----  
  
lcd.setCursor(0, 0);  
  
if (now.hour()<10)  
  
lcd.print('0');  
  
lcd.print("Time-");  
  
if(now.hour()>12)  
  
{  
  
lcd.print(now.hour(), DEC);  
  
}  
  
else  
  
{  
  
lcd.print(now.hour(), DEC);  
  
}  
  
lcd.print(':');  
  
if (now.minute()<10)  
  
lcd.print('0');  
  
lcd.print(now.minute(), DEC);  
  
lcd.print(':');  
  
if (now.second()<10)
```

```
lcd.print('0');

lcd.print(now.second(), DEC);

lcd.setCursor(0, 3);

// -----TEST pour la température de l'air:-----

int valeur_brute = analogRead(A2);

float temperature_celcius = valeur_brute * (5.0 / 1023.0 * 100.0);

Serial.println(temperature_celcius);

lcd.setCursor(2, 2);

lcd.print(" T d'air:");

lcd.setCursor(10, 2);

lcd.print(temperature_celcius);

lcd.print("C");

//-----1)- Pour le jour :-----

if((now.hour())>= min_h) && ( now.hour() <= max_h)

{

if (B < min_temp){

digitalWrite(11,HIGH);}

if (B < min_temp){

digitalWrite(fan1,HIGH);} } //-----1)- Fin du test pour le jour :-----
```

```
//-----2)- Pour la nuit :-----  
  
if((now.hour())>= min_h) && ( now.hour() <= max_h)  
  
{  
  
if (B > max_temp)  
  
{  
  
digitalWrite(fan1,LOW);}  
  
if (B > max_temp){  
  
digitalWrite(11,LOW);}  
  
}  
  
if((now.hour() < min_h) & ( now.hour() > max_h))  
  
{  
  
if (B < min1_temp){  
  
digitalWrite(11,HIGH);}  
  
if (B < min1_temp){  
  
digitalWrite(fan1,LOW);  
  
}}  
  
if((now.hour() < min_h) & ( now.hour() > max_h))  
  
{  
  
if (B > max1_temp)
```



```

lcd.print(hum1);

lcd.print("%");

delay(500);

//-----FIN DU TEST POUR L'humidité DE SOL-----

}

} // fin de la fonction loop()

```

#### IV.4. Partie4 : Résultat de simulation pour les deux serres

IV.4. 1. la simulation est faite pour la serre des tomates, le 28/06/2018 à 17 h: 03 min :

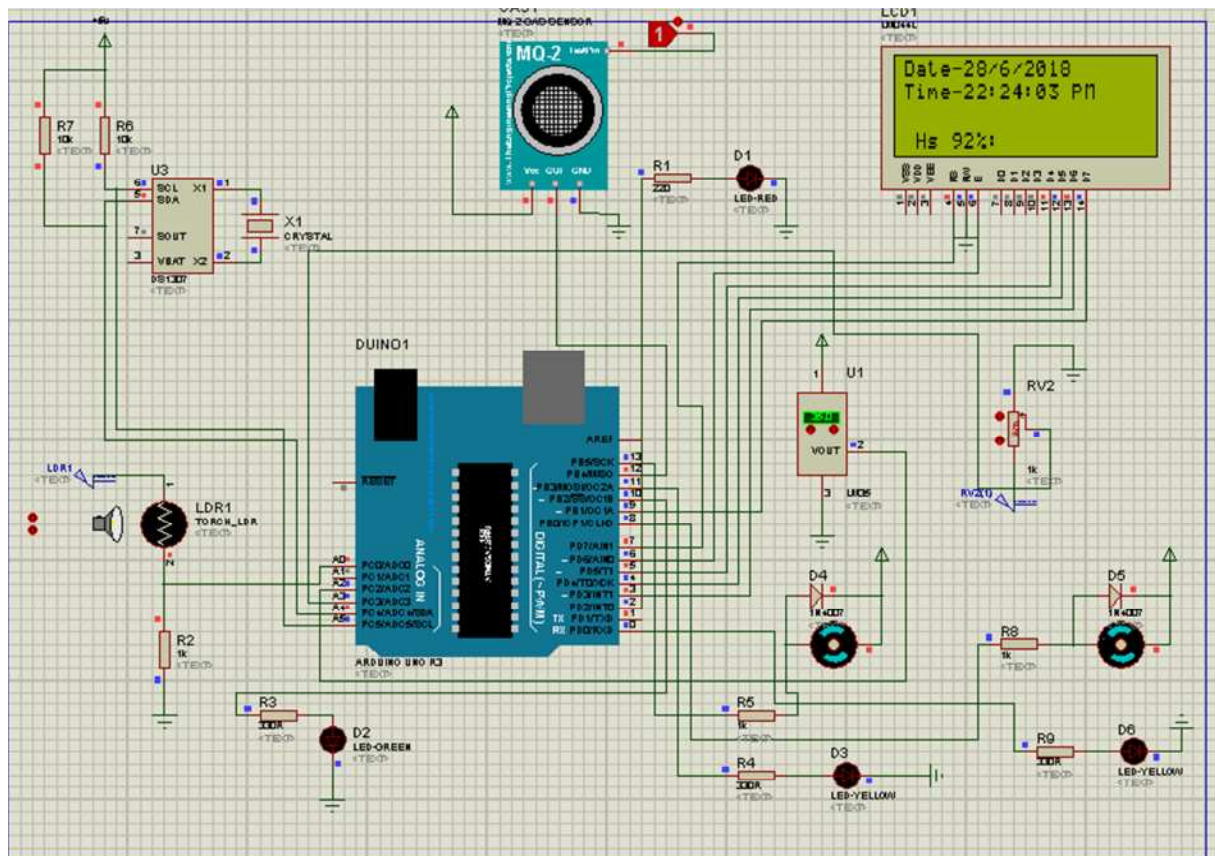


Fig.45 : Résultat de la première simulation.

#### ✓ Interprétation des résultats :

- Pour la gestion de la lumière: dans ce cas la torche est allumée (présence de lumière dans la serre), donc la lampe (led green) est éteinte ;



✓ **Interprétation des résultats :**

- Pour la gestion de la lumière: dans ce cas la torche est éteinte (absence de lumière dans la serre), donc la lampe (LED green) est allumée ;
- Pour la gestion du CO2 : la bascule logique vaut 0 (absence du CO2 dans la serre), donc le chauffage (LED red) est allumé ;
- Pour la gestion de la température d'air : la température d'air captée par le LM35 est 16°C (selon l'horloge l'heure est > 19h donc la température d'air conçue pour cette serre est entre 13 et 17°C) et  $13^{\circ}\text{C} < 16 < 17^{\circ}\text{C}$  ce qui implique que le ventilateur et le chauffage (LED yellow) sont éteints ;
- Pour la gestion de l'humidité du sol : L'humidité captée vaut 56%, cette valeur est inférieure à 85% ce qui implique l'allumage du chauffage (LED yellow).

IV.4. 3.la simulation est faite pour la serre des courgettes, le 16/04/2018 à 10 h: 12 min :

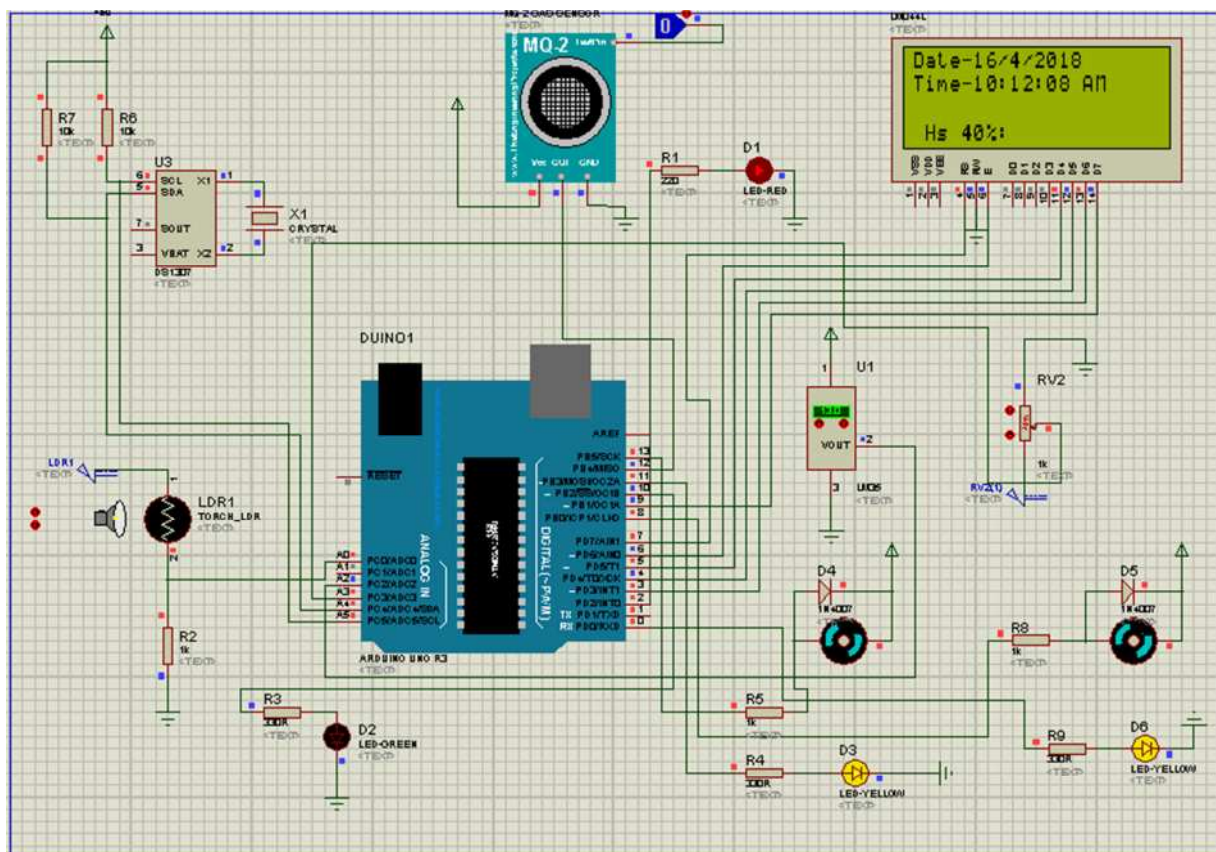


Fig.47 : Résultat de la troisième simulation.

✓ **Interprétation des résultats :**

- Pour la gestion de la lumière: dans ce cas la torche est allumée (présence de lumière dans la serre), donc la lampe (led green) est éteinte ;
- Pour la gestion du CO2 : la bascule logique vaut 1 (présence du CO2 dans la serre), donc le chauffage (LED red) est éteinte ;
- Pour la gestion de la température d'air : la température d'air captée par le LM35 est 13°C (selon l'horloge l'heure est < 19h : la température d'air conçue pour cette serre est entre 20 et 22°C) donc 13°C < 20°C et par conséquent le chauffage est allumé.
- Pour la gestion de l'humidité du sol : L'humidité captée vaut 40%, cette valeur est inférieure à 80% donc le chauffage est allumé et le ventilateur (LED yellow) est éteint.

IV.4. 4.la simulation est faite pour la serre des courgettes, le 28/06/2018 à 23 h: 04 min :

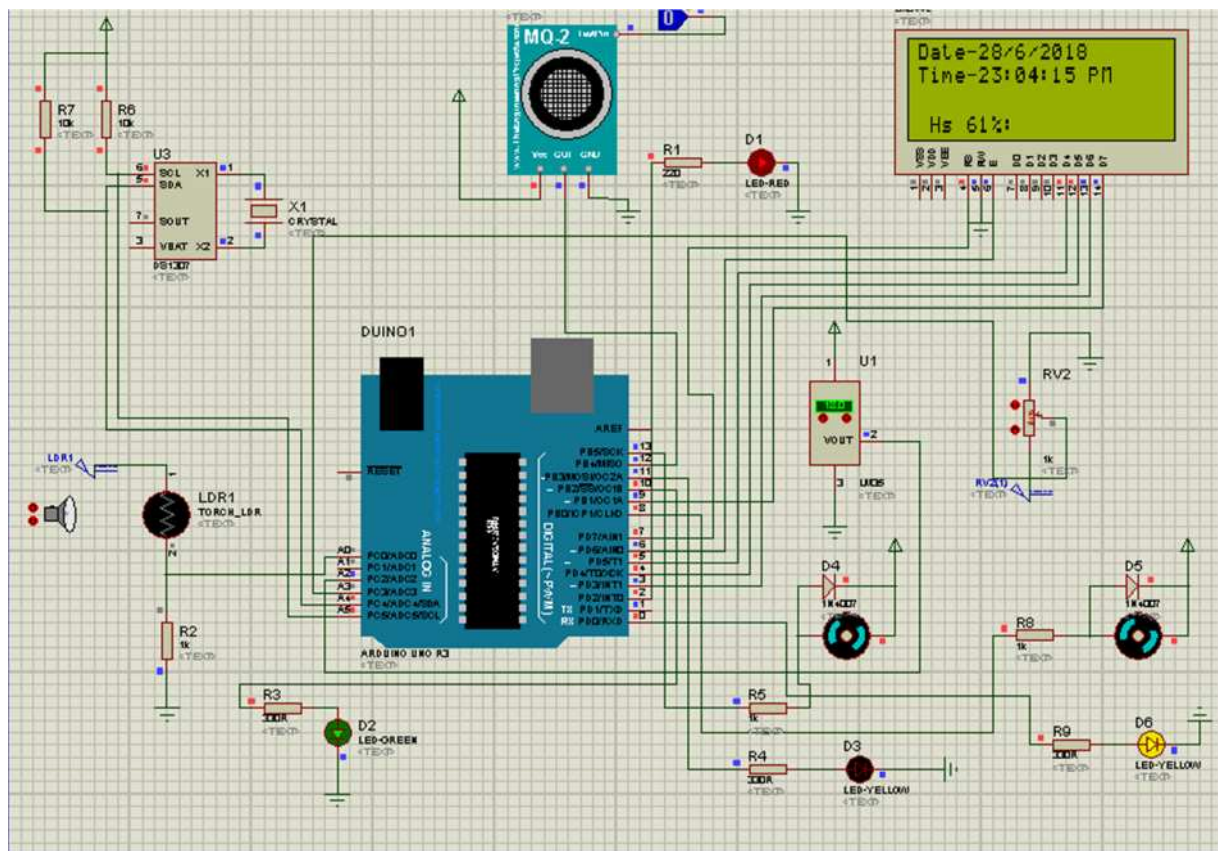


Fig.48 : Résultat de la quatrième simulation.

**✓ Interprétation des résultats :**

- Pour la gestion de la lumière: dans ce cas la torche est éteinte (absence de lumière dans la serre), donc la lampe (LED green) est allumée ;
- Pour la gestion du CO<sub>2</sub> : la bascule logique vaut 0 (absence du CO<sub>2</sub> dans la serre), donc le chauffage (LED red) est allumé ;
- Pour la gestion de la température d'air : la température d'air captée par le LM35 est 17°C (selon l'horloge l'heure est > 19h donc la température d'air conçue pour cette serre est entre 17 et 18°C) ce qui implique que le ventilateur et le chauffage (LED yellow) sont éteints ;
- Pour la gestion de l'humidité du sol : L'humidité captée vaut 61%, cette valeur est inférieure à 65% ce qui implique l'allumage du chauffage (LED yellow).

**Conclusion**

Nous avons étudié dans ce chapitre les étapes à suivre pour simuler deux types de serres agricoles « tomate et courgette », en se basant sur quatre réseaux de capteur qui sont liés à un seul microcontrôleur qui est la carte Arduino.

Les circuits réalisés dans ce projet nous permettent de contrôler et gérer le climat des deux serres automatiquement sans l'interruption de l'être humain.

### Conclusion

L'objet de ce projet était de réaliser un système de régulation des paramètres de deux types de serres de culture (tomate et courgette). En effet, la culture sous serre ne parvenait pas à donner une récolte qui soit de bonne qualité à cause des variations du climat interne de la serre qui influence ce genre de culture. C'est pourquoi on a opté pour la réalisation d'un système basé sur des réseaux de capteurs qui permettra d'optimiser ces paramètres climatiques afin d'améliorer par la suite la qualité et la productivité pour la culture serriste.

A travers les résultats que nous avons obtenus après simulation et réalisation du circuit électronique, nous pouvons dire que l'objectif qui nous a été fixé au départ est atteint. Néanmoins, ce travail peut être modifié (en utilisant par exemple le capteur DHT11 ou DHT22 qui est un capteur de température et d'humidité en même temps, ou par intégration du WIFI pour simulation à distance et également la gestion de plusieurs serres en même temps en intégrant des boutons par exemple...) comme il peut être amélioré afin d'atteindre d'autres objectifs et de satisfaire d'autres exigences et répondre ainsi aux besoins des agriculteurs dont la concurrence devient de plus en plus agressive, et à laquelle ces derniers doivent faire face en assurant une bonne gestion du climat dans la serre.

## Références bibliographiques

---

### Références bibliographiques

- [1] Y. Bouteraa, "Automatisation d'une serre agricole, " Magister en Sciences Agronomiques, Ecole Nationale Supérieure D'agronomie-El Harrach, 2012.
- [2] 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](http://www.serre-jardin.com/img/cata_euro_serre_2016.pdf).
- [3] Rapport de la société ULMA-Agricola, "l'équipement des serres," [En ligne]. Disponible : <http://www.ulmaagricola.com/fr/serres/equipements>.
- [4] Astalaseven Eskimon et olyte, " Arduino pour bien commencer en électronique et en programmation ", Licence Creative Commons BY-NC-SA 2.0, Dernière mise à jour le 4/08/2012.
- [5] Becky Stewart, "À l'aventure avec ARDUINO, Découvre Arduino et l'électronique grâce à 9 aventures trépidantes !. ".
- [6] "Carte Arduino", [en ligne].Disponible : [http:// www.editions-eyrolles.com/go/arduino](http://www.editions-eyrolles.com/go/arduino).