

وزارة البحث العلمي والتعليم العالي

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA  
RECHERCHE SCIENTIFIQUE

جامعة عبد الحميد بن باديس مستغانم

Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem

كلية العلوم الطبيعية و الحياة

Faculté des Sciences de la Nature et de la vie

DÉPARTEMENT D'AGRONOMIE



## MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

Présenté par :

BELKHERASSANE Housna

BOUSEDRA Mostefa

Pour l'obtention du diplôme de Master en Sciences Agronomiques

**Spécialité : Technologies Avancées pour l'Agricultures de Précision**

### THÈME

**Réalisation d'une mini serre agricole automatique**

Soutenue publiquement le 04/07/2023

*Devant le jury:*

**Président :** M. MAHIOUT Djamel

MCA U. Mostaganem

**Encadreur :** M. MOUSSA Mohamed

MCB U. Mostaganem

**Examineur :** M. ABED mansour

MCA U. Mostaganem

Année Universitaire : 2022/2023

# REMERCIEMENTS

*Nous tenons à remercier avant tout, Dieu le tout Puissant de nous avoir donné tous les moyens et nous a dirigé vers ce qui est le meilleur pour nous tous ici-bas.*

*Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à **M<sup>me</sup>. Benoudnine Hadjira** et à **l'équipe du CUPAGIS** pour nous avoir donné l'opportunité de suivre un master professionnel de premier plan en Algérie. Grâce à leur encadrement, leur soutien et leur expertise, nous avons pu acquérir des compétences et des connaissances précieuses dans ce domaine innovant et stratégique.*

*Nos remerciements vont également à notre encadreur **Mr. Moussa Mohamed** de nous avoir encadrées et orientées dans ce modeste travail.*

*Nous tenons à remercier également les membres du jury : **Mr. Mahiout Djamel** et **Mr. Abed Mansour** pour nous avoir fait le plaisir d'accepter d'examiner ce travail.*

*Nous adressons nos remerciements à l'ensemble du personnel du laboratoire de la Faculté des sciences exactes et de l'informatique et particulièrement Directeur du laboratoire **Mr. Benachenho Abdelhalim** qui nous aidé beaucoup.*

*Nos derniers remerciements et ce ne sont pas les moindres, vont à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour l'aboutissement de ce travail, à l'ensemble des enseignants du cupagis et à tous les étudiants de la promotion Technologies avancées pour l'Agriculture de précision.*

## *Dédicaces*



*Je dédie ce modeste travail à:*

*Les deux êtres les plus chers au monde, pour toute leur tendresse et les sacrifices consentis à mon éducation et à ma formation.*

*Mon père et ma mère, pour leurs encouragements et leur patience.*

*A tous mes chères sœurs: Hakima , Israe*

*Chères frères: Otmane, ismaine*

*A mon binôme Mostefa et sa famille Bousedra.*

*À mes chères collègues et à tous mes amis proches.*

*À tous mes collègues de la promotion M2 Technologies Avancées pour l'Agriculture de Précision.*

**Housna**

## *Dédicaces*



*Je dédie ce modeste travail à:*

*Les deux êtres les plus chers au monde, pour toute leur tendresse et les sacrifices consentis à mon éducation et à ma formation.*

*Mon père et ma mère, pour leurs encouragements et leur patience.*

*A tous mes chères sœurs: Fatima, chahera*

*Chères frères: zineddine , Abdelhalim*

*A mon binôme Housna et sa famille Belkherassane .*

*À mes chères collègues et à tous mes amis proches.*

*À tous mes collègues de la promotion M2 Technologies Avancées pour l'Agriculture de Précision.*

**Mostefa**

## ملخص:

تستخدم زراعة الدفيئة الذكية تقنيات متقدمة لتعديل ومراقبة العوامل البيئية بدقة داخل الدفيئة. يمكن ضبط درجة الحرارة والرطوبة وتوزيع الضوء وتهوية الهواء وفقًا للمتطلبات المحددة للنباتات المزروعة.

في هذه الأطروحة، نقدم الخطوات المتخذة لتصميم وبناء دفيئة زراعية نموذجية. يتضمن التصميم مكونات إلكترونية مثل أجهزة الاستشعار لقياس العوامل المناخية والمشغلات للتحكم في درجة الحرارة والرطوبة وتوزيع الضوء والتهوية. يتم تنسيق هذه المكونات بواسطة متحكم دقيق الأردوينو.

علاوة على ذلك، نجحنا في زراعة الطماطم في الدفيئة من خلال خلق الظروف المثلى لنموها. ويعزز هذا النهج الإدارة الفعالة للموارد ويكفل استدامة الزراعة وكفاءتها.

**الكلمات المفتاحية:** الدفيئة الذكية، أجهزة الاستشعار، درجة الحرارة، الرطوبة، التهوية، الاردينو، الطماطم، الظروف المثلى، إستدامة.

## Résumé :

La culture en serre intelligente utilise des techniques avancées pour ajuster et surveiller précisément les facteurs environnementaux dans la serre. La température, l'humidité, la répartition de la lumière et la ventilation de l'air peuvent être ajustées en fonction des exigences spécifiques des plantes cultivées.

Dans ce mémoire, nous présentons les mesures prises pour concevoir et construire un modèle de serre agricole. La conception comprend des composants électroniques tels que des capteurs pour mesurer les facteurs climatiques et des actionneurs pour contrôler la température, l'humidité, la répartition de la lumière et la ventilation. Ces composants sont coordonnés par un microcontrôleur Arduino.

De plus, nous avons cultivé avec succès des tomates en serre en créant des conditions optimales pour leur croissance. Cette approche favorise une gestion efficace des ressources et assure la durabilité et l'efficacité de l'agriculture.

**Mots clés :** Serre intelligente, des capteurs, température, humidité, ventilation, arduino, tomates, conditions optimales, durabilité.

**Abstract:**

Smart greenhouse cultivation employs advanced techniques to precisely adjust and monitor environmental factors within the greenhouse. Temperature, humidity, light distribution, and air ventilation can be fine-tuned according to the specific requirements of the cultivated plants.

In this thesis, we present the steps taken to design and construct a model agricultural greenhouse. The design includes electronic components such as sensors to measure climate factors and actuators to control temperature, humidity, light distribution, and ventilation. These components are coordinated by an Arduino microcontroller.

Furthermore, we have successfully cultivated tomatoes in the greenhouse by creating optimal conditions for their growth. This approach promotes effective resource management and ensures the sustainability and efficiency of agriculture.

**Keywords:** Smart greenhouse, sensors, temperature, humidity, ventilation, Arduino, tomatoes, optimal conditions, the sustainability.

# TABLE DES MATIÈRES

Remerciement	
Dédicaces	
Résumé	
Liste de matières	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Introduction générale .....	1

## Chapitre I : généralité sur les serres agricoles

I. 1	Introduction .....	3
I. 2	Description d'une serre .....	3
I.2. 1	Définition .....	3
I.2. 2	Choix de la serre et de sa couverture .....	4
I.2. 3	Fonctionnement d'une serre .....	4
I. 3	Les différents types de serres .....	4
I.3. 1	Avantages et inconvénients des trois types de serres citées .....	5
I. 4	Aspects spécifiques d'une serre .....	6
I.4. 1	Photosynthèse .....	6
I.4. 2	Respiration.....	6
I.4. 3	Evapotranspiration .....	6
I. 5	L'intérêt de la serre .....	6
I. 6	Contrôle des conditions environnementales.....	7
I.6. 1	Contrôle de lumière .....	7
I.6. 2	Gaz carbonique .....	7
I.6. 3	Humidité de l'air .....	7
I.6. 4	Température.....	8

I. 7	Les différents Systèmes de contrôle sous serres .....	8
I.7. 1	Systèmes d'irrigation .....	8
I.7. 2	Système d'ouverture des serres .....	9
I.7. 3	Surveillance de l'environnement.....	9
I. 8	Les problèmes rencontrés sous serre .....	10
I.8. 1	Condensation de l'air.....	10
I.8. 2	Température et humidité élevées .....	10
I.8. 3	Conditions favorables aux ravageurs climatiques .....	10
I. 9	Exemples des serres agricoles .....	11
I.9. 1	Les exigences climatiques de la tomate .....	11
I. 10	Gestion irrigation.....	12
I.10. 1	Qu'est-ce que l'irrigation ? .....	12
I.10. 2	Arrosage et système d'irrigation automatique.....	12
I. 11	Conclusion.....	13

## **Chapitre II : conception et réalisation d'une mini serre agricole**

II. 1	Introduction .....	15
II. 2	Réalisation de la serre .....	15
II. 3	Principe de Fonctionnement de notre projet.....	16
II. 4	Les matériels utilisées .....	18
II. 4. 1	Microcontrôleur Arduino UNO.....	18
II. 4. 2	La platine d'expérimentation ( <i>breadboard</i> ).....	19
II. 4. 3	Les capteurs utilisées .....	19
II. 4. 4	Les actionneurs .....	23
II. 5	Autre matériels.....	25
II. 5. 1	Carte relais.....	25
II. 5. 2	L'afficheur LCD .....	25
II. 5. 3	Les leds.....	26

II. 5. 4	Alimentation.....	26
II. 6	Arduino IDE .....	27
II. 7	Brochage des différents composants.....	28
II. 8	Présentation de la serre.....	29
II. 9	Programme globale .....	32
II. 10	Application COOLTERM .....	32
II. 11	Etude socio-économique .....	33
II. 12	Conclusion.....	34

### **Chapitre III : Essai de culture la tomate dans notre mini serre**

III. 1	Introduction.....	36
III. 2	L’objectifs de notre projet.....	36
III. 3	Plantation de la tomate dans notre serre .....	36
III. 4	Maintenir les conditions de croissance.....	38
III. 4. 1	Stratégies pour prévenir la condensation de l'air .....	38
III. 4. 2	Optimisation des conditions climatiques pour la culture de tomates.....	39
III. 4. 3	Maximisation de la croissance des tomates : .....	41
III. 4. 4	Prévenir les ravageurs liés au climat .....	42
III. 5	Irrigation automatique .....	42
III. 5. 1	Equipements d’irrigation et son rôle .....	42
III. 5. 2	Optimisation de l'irrigation automatique .....	45
III. 6	Conclusion .....	45

**Conclusion générale** **47**

**Référeneces Bibliographiques**

**Annexe**

# LISTE DES FIGURES

Figure I.1 :Les trois principaux types de serres (CIPA, 2017) .....	5
Figure I.2: la tomate .....	11
Figure II.1 : La mini serre.....	15
Figure II.2 :Schéma global de notre système.....	17
Figure II.3 :Arduino uno.....	18
Figure II.4 :une plaque d'essai.....	19
Figure II.5 :Capteur d'humidité du sol.....	19
IFigure II.6 :Schéma de câblage d'un capteur humidité du sol .....	20
Figure II.7 :Le capteur de température DHT 22 .....	20
Figure II.8 :Le capteur de température DHT 11 .....	21
Figure II.9 :Schéma de câblage du DHT11 .....	21
Figure II.10 : capteur d'ultrason.....	22
Figure II.11 :Schéma de câblage d'un capteur ultrason .....	23
Figure II.12 :le ventilateur .....	23
Figure II.13 :Servomoteur.....	24
Figure II.14 :pompe d'arrosage.....	24
Figure II.15 :module relais.....	25
Figure II.16 :Afficheur LCD.....	25
Figure II.17 :Led rouge.....	26
Figure II.18 :Alimentation .....	26
Figure II.19 :Interface d'Arduino IDE (arduino.blaiseasca).....	27
Figure II.20 :Schéma de brochage des différents composants électroniques .....	28
Figure II.21 :teste de la serre.....	29
Figure II.22 :Affichage des données .....	30
Figure II.22 :l'état non active des ventilateurs.....	30
Figure II.23 :l'état active des ventilateurs .....	32
Figure II.24 :les toiles fermées.....	32
Figure II.25 :les toiles ouvertes.....	32
Figure II.26 :Relation entre Arduino IDE et CoolTerm .....	33

Figure III.1 : Semis de la tomate en plaque alvéolées .....	37
Figure III.2 : transplantation de la tomate.....	37
Figure III.3 : l'ouverture des volets .....	38
Figure III.4 : Lecture de résultat dans port série .....	39
Figure III.5 :enroulement et brulure des feuilles.....	40
Figure III.6 : Les feuilles return a l'aspect normal après la ventilation.....	41
Figure III.7 :Croissance après transplantation .....	42
Figure III.8 :l'emplacement du capteur du sol dans la serre .....	43
Figure III.9 :capteur de niveau en fonctionne de la distance .....	43
Figure III.10 :réservoir avec les équipements.....	44
Figure III.11 :filtre d'eau .....	44

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.1 : Les avantages et inconvénients de serres .....	5
Tableau I.2 : Les avantages et les inconvénients d'irrigation goutte a goutte .....	13
Tableau II.1 : Estimation du prix de revient de notre projet .....	33

# **Introduction générale**

---

L'agriculture de précision est un concept de gestion de l'agriculture moderne qui utilise des techniques numériques pour contrôler et optimiser les processus de production agricole **(Schrijver Remco, 2016)**.

Les méthodes de l'agriculture de précision reposent principalement sur une combinaison de nouvelles technologies de détection, de technologies de navigation et de localisation par satellite et de l'internet des objets **(Schrijver Remco, 2016)**.

La culture sous serre connaît depuis plusieurs années, un développement important dans tous les pays concernés par la volonté d'augmenter la qualité et la quantité des produits agricoles, destinés à la consommation alimentaire des populations et à leurs cadres de **vie (Rodríguez, 2003)**.

Les serres automatisées offrent des solutions prometteuses en permettant un contrôle précis de l'environnement de croissance des plantes. Ce mémoire d'étude se concentre sur la réalisation et la conception d'un prototype d'une serre automatique, mettant en œuvre des technologies avancées pour optimiser les conditions de culture des plantes

Dans ce cadre, ce projet de fin d'études vise la conception et la réalisation d'un prototype de mini serre automatisée, Ce travail est structuré en trois chapitres :

-Le premier chapitre présente les généralités sur les serres agricoles.

-Le deuxième chapitre détaille la conception et la réalisation d'une mini serre agricole, en abordant la structure mécanique de la serre, les composants électroniques utilisés, la programmation et le rôle des capteurs et actionneurs dans la gestion des facteurs climatiques à l'intérieur de la serre.

-Enfin, le troisième chapitre se concentre sur l'aspect pratique de notre étude, tel que l'essai de culture de la tomate et le programme final de fonctionnement de notre serre.

# Chapitre I : Généralité sur les serres Agricole

---

## I. 1 Introduction

La culture sous abris est devenue un instrument ordinaire de notre approvisionnement en produits frais. Quelle que soit l'optique choisie: économique, sociale ou écologique, la production locale apparaît plus sensée que l'importation de régions lointaines, lorsqu'il s'agit de produits cultivés de toutes façons sous abris. Cela étant, l'exploitation raisonnée des infrastructures impose, sous nos climats, le chauffage quasi continu des serres pour une production en toute saison (**Hollmuller et al, 2001**).

Dans ce chapitre, nous présenterons une vue globale sur les différents types de serres agricoles, leurs paramètres climatiques, ainsi que les différentes cultures pouvant être cultivées sous serre et les systèmes d'irrigation associés.

## I. 2 Description d'une serre

### I.2. 1 Définition

La serre est une construction destinée à abriter des cultures de plantes ornementales, légumières ou fruitières, et parfois -dans un but expérimental ou didactique- de toutes autres plantes, dans des conditions plus favorables ou plus sûres qu'en plein air (**BERNINGER, 1989**)

Ceci implique (**BERNINGER, 1989**) :

- une enveloppe transparente aux radiations nécessaires pour la vie des plantes, d'où résulte un climat modifié par rapport au climat extérieur;
- des dimensions appropriées à la culture envisagée, allant des « palmariums » aux serres basses ; - un substrat naturel ou artificiel et une alimentation en eau;
- des dispositifs permettant des échanges d'air avec l'extérieur; - éventuellement des dispositifs pour limiter les variations de paramètres comme la température ou l'humidité dans la serre, ou pour en contrôler plus précisément le climat.

Voici une autre définition plus succincte : la serre est un volume plus ou moins séparé de l'extérieur par une paroi plus ou moins transparente et perméable à l'air.

En France, la norme AFNOR/U 57001 indique : les serres de production peuvent se définir comme des « enceintes destinées à la culture et à la protection des plantes en exploitant le rayonnement solaire et dont les dimensions permettent à un homme de travailler aisément à

l'intérieur ». Ceci exclut donc les châssis et petits tunnels (chenille, tunnels nantais...) (BERNINGER, 1989).

### **I.2. 2 Choix de la serre et de sa couverture**

Les principaux critères de choix d'une serre et de sa couverture d'après (Uraban, 1997) sont les suivants:

- La transmission du rayonnement utile à la photosynthèse (elle détermine le potentiel de production).
- La solidité et la durabilité (attention aux zones comportant des risques climatiques).
- La fonctionnalité et la facilité de maintenance (elle joue un rôle dans les coûts de main-d'œuvre).
- Les économies d'énergie (quand il faut chauffer).
- Le prix.

### **I.2. 3 Fonctionnement d'une serre**

Une serre fonctionne en convertissant l'énergie lumineuse en énergie thermique. Les rayons lumineux du soleil pénètrent dans la serre, où ils sont absorbés par les plantes et les objets et convertis en chaleur. Les éléments de la serre libèrent l'énergie thermique, mais celle-ci est piégée dans la serre par le verre (ou les bâches en plastique). Les serres peuvent devenir trop chaudes, c'est pourquoi beaucoup ont des fenêtres, des événements ou des ventilateurs pour aider à libérer l'air chaud au besoin. Certains ont également des systèmes de chauffage séparés qui augmentent la température lorsque les niveaux de luminosité sont faibles (Simon, 2022).

## **I. 3 Les différents types de serres**

La serre modifie spontanément les conditions de production microclimatique. On distingue trois principaux types de structures de serre: la serre en verre, la serre multi chapelle couverte de plastique et la serre « tunnel» plastique (Uraban, 1997)



Figure I.1 Les trois principaux types de serres (CIPA, 2017)

### I.3.1 Avantages et inconvénients des trois types de serres citées

Le tableau ci-dessous récapitule les différents types de serres ainsi que leurs avantages et inconvénients (**jardinouvert**) :

Tableau I.1: Les avantages et inconvénients de serres

Types de serres	Avantage	Inconvénients
❖ Serres tunnels	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Les plus utilisées par les agriculteurs.</li> <li>• Basiques et économiques</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pas hautes et pas adaptées pour les tomates hors-sol</li> </ul>
❖ Serres plastiques Multi chapelles simple ou double paroi	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Un grand volume d'air grâce à leur hauteur optimale ainsi qu'une largeur importante pour une production intense.</li> <li>• Très isolantes.</li> <li>• Leur système d'aération avec ouverture permanente ou fermeture possible permet une ambiance saine et une aération optimale.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Manque de lumière</li> </ul>
❖ Serres verres	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Très lumineuses</li> <li>• Hauteur optimale</li> <li>• Très robustes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Plus coûteuses</li> <li>• Plus fragiles (sensibles à la grêle)</li> </ul>

## I. 4 Aspects spécifiques d'une serre

### I.4. 1 Photosynthèse

La photosynthèse est un processus de conversion d'énergie radiative en énergie chimique, transportable et réutilisable. Elle repose sur la transformation de l'oxyde de carbone et d'hydrogène à faible énergie chimique potentielle, en hydrates de carbone à énergie potentielle chimique élevée (LEBBAL, 2010).

### I.4. 2 Respiration

Les hydrates de carbone formés par la photosynthèse sont distribués dans tout l'organisme et peuvent alors être soit polymérisés en macromolécules destinées à l'élaboration des parois cellulaires, soit mis en réserve sous forme de sucre ou de graisse, soit finalement utilisés comme source d'énergie lors de synthèse d'autres substances organiques. La récupération de l'énergie chimique emmagasinée dans les hydrates de carbone s'effectue par un processus de dégradation oxydative, dénommé respiration, qui peut être considéré dans une certaine mesure comme la réaction inverse de la photosynthèse (LEBBAL, 2010).

### I.4. 3 Evapotranspiration

Les transferts d'eau du système sol-végétation dans la serre peuvent s'effectuer selon deux canaux. Soit par évaporation directe de l'eau du sol soit par transpiration des végétaux préalablement prélevée dans le sol par leurs systèmes racinaux. L'évaporation directe se produit essentiellement dans une zone de faible épaisseur située immédiatement sous la surface du sol. Les deux processus se produisent simultanément et de telle manière qu'il est difficile de les distinguer. Ils sont englobés sous le terme général d'évapotranspiration (CHIRINE, 2008)

## I. 5 L'intérêt de la serre

La serre de culture offre la possibilité de s'affranchir des contraintes climatiques extérieures (pluie, vent, froid), elle est conçue pour recréer un environnement donné (microclimat). Elle permet le chauffage de l'air et des racines, le contrôle de l'irrigation et de la fertilisation, l'enrichissement en CO<sub>2</sub> et le contrôle de l'humidité (Chelha, 2004). Elle joue un rôle économique en présentant des produits sur le marché en contre saison.

La serre permet ainsi d'obtenir une production végétale dans des conditions meilleures que celles existant naturellement par conséquent une meilleure qualité, du produit. Pour aboutir à

ces résultats, il faut répondre minutieusement aux exigences de la culture pour les différents facteurs intervenant dans sa croissance et son développement, ceci suppose la connaissance des interactions entre ces divers paramètres (BOUTERAA, 2012)

## I. 6 Contrôle des conditions environnementales

### I.6. 1 Contrôle de lumière

Le contrôle de la lumière peut concerner les actions suivantes :

#### I.6. 1. 1 Renforcement de l'éclairage

Durant les courtes journées d'hiver ou dans les zones très nuageuses, un éclairage supplémentaire est requis. Le renforcement de l'éclairage peut être réalisé par une source supplémentaire d'éclairage basé sur des lampes électriques ou par la lumière réfléchi du soleil. La lumière réfléchi est surtout important dans le cas des jardins urbains (Jayaraman, 2016)

#### I.6. 1. 2 Réduction de l'éclairage

S'il y a trop de lumière dans la serre, on peut la diminuer (Jayaraman, 2016)

### I.6. 2 Gaz carbonique

Le contrôle du gaz carbonique peut concerner l'enrichissement en CO<sub>2</sub> (méthode de la glace carbonique). Le taux de CO<sub>2</sub> peut être augmenté en utilisant des générateurs de CO<sub>2</sub>. Lors de la conception d'un système de CO<sub>2</sub>, les rendements n'augmenteront que si le CO<sub>2</sub> est le «facteur limitant». Cela signifie que si toutes les autres facteurs ne sont pas optimales (lumière, engrais, température / humidité, pH, etc.), l'augmentation de CO<sub>2</sub> n'aura pas d'effet (Kaddouri Hamza, 2013)

### I.6. 3 Humidité de l'air

Le contrôle de l'humidité peut concerner les deux actions suivantes (Ovidiu Vermesan SINTEF, 2014).

#### I.6. 3. 1 Diminuer l'humidité élevée

Ceci peut être réalisé par aérer l'air humide vers l'extérieur. À chaque fois que la température extérieure est suffisamment chaude, la ventilation vers l'extérieur peut diminuer l'humidité.

### **I.6. 3. 2 Augmenter l'humidité**

Il est possible d'augmenter l'humidité en arrosant simplement le sol et en utilisant des climatiseurs de type refroidisseur de marais. Une autre méthode consiste à utiliser un système de brumisation pour pulvériser le brouillard dans l'air. Cela aidera à refroidir la serre tout en ajoutant de l'humidité à l'air.

## **I.6. 4 Température**

Le contrôle de température peut concerner plusieurs aspects.

### **I.6. 4. 1 Refroidissement**

Le refroidissement peut être réalisé par plusieurs méthodes : par évaporation, par toile d'ombrage et par le mouvement de l'air. Le principe de refroidissement par évaporation est simple. Lorsque les ventilateurs d'extraction expulsent de l'air à l'une des extrémités de la serre, ils aspirent de l'air humide à l'autre extrémité. Le déplacement de l'air humide peut conduire une évaporation de l'eau et par conséquent une absorption de la chaleur. Le refroidissement peut être effectué en utilisant un rideau d'ombrage interne qui peut être tiré par temps nuageux et étendu (manuellement ou avec de petits moteurs) les jours ensoleillés à la demande (**Kaddouri Hamza, 2013**)

### **I.6. 4. 2 Chauffage**

On peut chauffer la serre par un petit système électrique contrôlé par thermostat. Ce système peut délivrer la chaleur uniquement lorsque cela est nécessaire. On peut également chauffer la serre en utilisant du gaz avec un chauffage central (**Kaddouri Hamza, 2013**)

## **I. 7 Les différents Systèmes de contrôle sous serres**

Il existe de nombreuses techniques utilisées pour contrôler l'environnement des serres. Dans ce qui suit, on présente certaines des techniques plus utilisées pour contrôler les facteurs environnementaux (**Benghozi, 2009**).

### **I.7. 1 Systèmes d'irrigation**

L'irrigation est l'opération consistant à apporter artificiellement de l'eau à des végétaux cultivés pour en augmenter la production, et permettre leur développement normal en cas de déficit d'eau induit par un déficit pluviométrique, un drainage excessif ou une baisse de nappe, en particulier dans les zones arides (**Kaddouri Hamza, 2013**)

Tout système d'irrigation implique les opérations de pompage, de traitement, de distribution et de entreposage / Récupération de l'eau (**Kaddouri Hamza, 2013**)

On peut distinguer plusieurs techniques d'irrigation ( (**Ovidiu Vermesan SINTEF, 2014**):

- Manuelle (arrosoir, seau...), réservée aux très petites surfaces ;
- Par écoulement de surface, sous le simple effet de la gravité, au moyen de canaux et rigoles : irrigation gravitaire appelée aussi irrigation de surface, irrigation par sillons ou «À la raie ».
- Par aspersion, technique qui consiste à reproduire la pluie ;
- Par micro aspersion, semblable à la précédente mais plus localisée donc plus économe en eau.
- Par micro irrigation ou goutte à goutte, technique économe en eau et qui permet d'éviter le ruissellement, mais présente le grave inconvénient de charger à la longue les sols en sels qui en modifient les caractéristiques.
- Par infiltration, au moyen de tuyaux poreux enterrés, variante de la technique du goutte à goutte.
- Par inondation ou submersion (c'est la technique appliquée dans les rizières; c'était aussi celle qui fertilisait l'Égypte par les crues du Nil)

### **I.7. 2    Système d'ouverture des serres**

Le système d'ouverture des serres permet d'aérer la serre afin d'ajuster la température, de l'humidité, de CO<sub>2</sub>, etc. Un système de contrôle de température peut être réalisé en utilisant un capteur de température, qui se fait "lire" par un circuit électronique, qui lui décide à partir de quelle et jusqu'à quelle température il faut maintenir ouvert (Grâce à un petit moteur et un mécanisme de transformation du mouvement (**Benghozi, 2009**)).

### **I.7. 3    Surveillance de l'environnement**

La surveillance de l'environnement et de climat intérieur et extérieur des serres est une opération important dans le cas des serres intelligentes automatisées. Elle est basée sur l'utilisation des divers capteurs à déployés à l'intérieur et à l'extérieur de la serre. Ces capteurs doivent être reliés à un système (filaire ou sans fil) de capture qui collecte en temps réel et

d'une manière permanent les données fournies par ces capteurs (**Ovidiu Vermesan SINTEF, 2014**).

## **I. 8 Les problèmes rencontrés sous serre**

### **I.8. 1 Condensation de l'air**

La condensation est un phénomène physique qui concerne le passage de l'eau, de l'état gazeux à l'état liquide. Ce phénomène apparaît lorsque l'air chargé en vapeur d'eau entre en contact avec une surface plus froide. Ainsi, lorsque l'air humide à l'intérieur de serre entre en contact avec la bâche de serre, des gouttes d'eau vont apparaître sur les parois. Une serre avec trop de condensation à l'intérieur peut avoir des répercussions néfastes sur le développement de rendement (**NADÈGE, 2022**).

### **I.8. 2 Température et humidité élevées**

Quelque facteur climatique qui influencent le climat intérieur de la serre (**Wifaya et al, 2020**):

- Les températures intérieures trop élevées en été et même parfois au printemps qui peuvent être néfastes au végétal.

-Les taux élevés d'humidité nocturne à l'intérieur de la serre qui augmentent les risques de développement de maladies fongiques

### **I.8. 3 Conditions favorables aux ravageurs climatiques**

Le milieu fermé permet de créer ou de maintenir des conditions climatiques relativement stables. Des ravageurs peuvent malheureusement profiter de cette stabilité, de l'humidité et de la température (**jardiner-autrement, 2022**)

La température et l'hygrométrie subissent moins d'écarts sous serre qu'en extérieur, ce qui en fait un climat idéal pour certains ravageurs. Sous serre, les températures hivernales ne se font pas ressentir, augmentant ainsi le nombre de générations et d'individus par génération. Cela favorise leur capacité reproductive et invasive. L'absence de prédateurs naturels et l'abondance de nourriture en font un lieu idéal pour s'installer (**jardiner-autrement, 2022**)

## I. 9 Exemples des serres agricoles

Le but majeur de notre projet est la culture de tomate, la tomate d'origine tropicale a des exigences particulières : est sensible au froid, craint beaucoup le gel, craint les vents chauds et très exigeants en température.

La tomate (*Solanum lycopersicum* L.) est une espèce de plante herbacée de la famille des solanacées, originaire du nord-ouest de l'Amérique du Sud, largement cultivée pour son fruit climactérique (**Hassan Elattir, 2003**)



Figure I.2 *La tomate*

### I.9. 1 Les exigences climatiques de la tomate

#### I.9. 1. 1 La température

La tomate cerise exige un climat relativement frais et sec pour produire une récolte abondante et de qualité. Cependant, la plante s'est adaptée à une grande diversité de conditions climatiques, allant du climat tempéré vers le climat tropical chaud et humide. La température optimale pour la plupart des variétés se situe entre 21 et 24°C. Les plantes peuvent surmonter un certain intervalle de températures, mais en-dessous de 10°C et au-dessus de 38°C, les tissus des plantes sont endommagés (**SHANKARA et al, 2005**).

#### I.9. 1. 2 La lumière

Comme pour tous les végétaux, la croissance et la production de la Tomate Cerise dépendent largement du rayonnement solaire reçu par la plante. Cette énergie agit en particulier sur la photosynthèse et la transpiration, cette dernière permet à la plante, à partir du gaz carbonique

prélevé dans l'air et de l'eau puisée dans le sol, de synthétiser des sucres ou assimilât, base de la matière sèche. L'intensité de la photosynthèse est en fonction de la quantité d'énergie reçue et de l'interception de cette lumière par le feuillage. Elle est influencée par la température, la teneur en CO<sub>2</sub> de l'air et l'ouverture des stomates (NAVEZ, 2011).

### **I.9.1.3. Eau et Humidité :**

La Tomate Cerise demande beaucoup d'eau, ce qui exige une bonne irrigation tout en évitant l'asphyxie radiculaire. Le stress causé par une carence en eau sur de longues périodes provoque la chute des bourgeons et des fleurs, ainsi que le fendillement des fruits. Les risques sont graves lorsque les averses sont très intenses. Une humidité très élevée entraîne la pourriture des fruits (LAMBERT, 2006). Les exigences climatiques de la tomate sont malheureusement celles qui favorisent le développement des bio agresseurs de la culture (GUENAOUI, 2008).

## **I. 10 Gestion d'irrigation**

### **I.10. 1 Qu'est-ce que l'irrigation ?**

« Fourniture artificielle et répartition systématique de l'eau pour l'agriculture et l'horticulture afin d'augmenter la production et améliorer sa qualité. » Il existe différents types de techniques d'irrigation qui diffèrent en fonction de la distribution sur le terrain de l'eau obtenue à partir de la source. En général, l'objectif est de fournir de l'eau à l'ensemble du terrain de manière uniforme, de sorte que chaque plante ait le volume d'eau dont elle a besoin, ni trop, ni trop peu.

### **I.10. 2 Arrosage et système d'irrigation automatique**

La notion d'arrosage automatique désigne les systèmes permettant de fournir de l'eau à des plantes en routine durant un certain temps sans intervention humaine, plutôt par aspersion, mais il peut s'agir de système de type « goutte-à-goutte ». Ce sont la temporisation et le mouvement des jets qui sont automatisés, et parfois la pression. Ces systèmes d'arrosage peuvent être pilotés localement ou à distance et de manière plus ou moins automatisée ; une énergie hydraulique et/ou électrique est souvent nécessaire pour cette automatisation (koundoul, 2020).

Pour faire simple, l'arrosage automatique désigne un ensemble de composants formant un système dont le but est d'approvisionner en eau un espace vert selon certaines conditions sans

une quelconque intervention de l'homme. Les premiers systèmes d'arrosage automatiques ont été mis au point en 1960. Ils étaient peu efficaces et très coûteux à l'époque, mais ont connu des améliorations progressives au fil des développements technologiques.

Il existe différents systèmes d'irrigation automatiques vendus sur le marché avec des fonctionnalités et qualités différentes. Parmi ces systèmes, on retrouve le système d'irrigation goutte-à-goutte.

Dans l'irrigation goutte à goutte, l'eau est livrée à la plante à faible dose entraînant ainsi l'humidification d'une fraction du sol. Ceci permet de limiter les pertes par évaporation et percolation. Elle permet aussi de réduire le développement des mauvaises herbes (**Tableau I.2**). Elle met également en œuvre des équipements fixes et légers. Dans la plupart des cas, elle exige une automatisation à travers des contrôleurs associés à des vannes volumétriques

Et/ou hydrauliques et des électrovannes (**MADREF, 2001**)

**Tableau I.2** Les avantages et les inconvénients d'irrigation goutte à goutte

Avantage	Inconvénient
<ul style="list-style-type: none"> <li>-Gain de temps, car l'arrosage se fait automatiquement.</li> <li>-Grande économie d'eau et d'engrais.</li> <li>-Forte réduction du risque d'apparition des maladies fongique.</li> <li>-Peut fonctionner parfaitement sur une culture à petite échelle comme à très grande échelle.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Toutes les plantes reçoivent exactement la même quantité d'eau.</li> <li>-Nettoyage périodique des filtres.</li> <li>-Vérification de bon fonctionnement et de raccordement de chaque goutteur au réseau d'alimentation.</li> <li>-Nettoyage intégrale de réseau en fin cycle.</li> </ul>

## I. 11 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons étudié les différents types de serres, les conditions environnementales nécessaires pour une croissance optimale des cultures, ainsi que la différente culture sous serre et la gestion irrigation associées.

Dans le prochain chapitre, nous pourrons mettre en pratique les connaissances acquises et passer à la conception de la structure mécanique ainsi que tout le système électronique de la serre.

# **Chapitre II : Conception et réalisation d'une mini serre agricole**

---

## II. 1 Introduction

Dans ce chapitre nous allons présenter les différentes étapes pour réaliser une mini-serre agricole. Nous avons commencé par la conception et la réalisation de structure mécanique de la serre ensuite nous présenterons la partie électronique avec tous les composants utilisés dans notre réalisation.

## II. 2 Réalisation de la serre

Notre idée est de réaliser une mini serre agricole avec une dimension 50cm×30 cm×30cm :

Dimension de la serre : La dimension de la serre est de 50 cm × 30 cm × 30 cm

-Matériaux utilisés :

- Couverture en verre : nous avons choisi d'utiliser du verre comme matériau de couverture en raison de sa transparence, de sa résistance aux intempéries et de sa durabilité.
- Base en fer : La base de la serre est en fer pour assurer sa stabilité.



*Figure II.1 La mini serre*

## II. 3 Principe de Fonctionnement de notre projet

La figure ci-dessus représente le schéma final de la solution ou du système proposé.

Le principe de fonctionnement d'une serre automatique repose sur l'utilisation d'une plateforme de contrôle, telle qu'Arduino, pour surveiller et réguler les conditions environnementales à l'intérieur de la serre. Dans le cadre de ce système, plusieurs capteurs sont intégrés pour mesurer différents paramètres et activer les dispositifs appropriés en fonction des données collectées.

Pour mesurer la température et l'humidité à l'intérieur de la serre, nous avons utilisé un capteur DHT11. Connecté à la carte Arduino, ce capteur fournit des informations précises sur les conditions internes. De plus, un capteur DHT22 est utilisé pour mesurer la température et l'humidité à l'extérieur de la serre, ce qui permet de prendre en compte les conditions environnantes.

Un autre élément clé est le capteur d'humidité du sol, qui permet de surveiller le niveau d'humidité du sol dans la serre. Lorsque ce capteur détecte un niveau d'humidité insuffisant, la carte Arduino déclenche automatiquement le système d'irrigation, assurant ainsi un apport en eau adéquat pour les plantes.

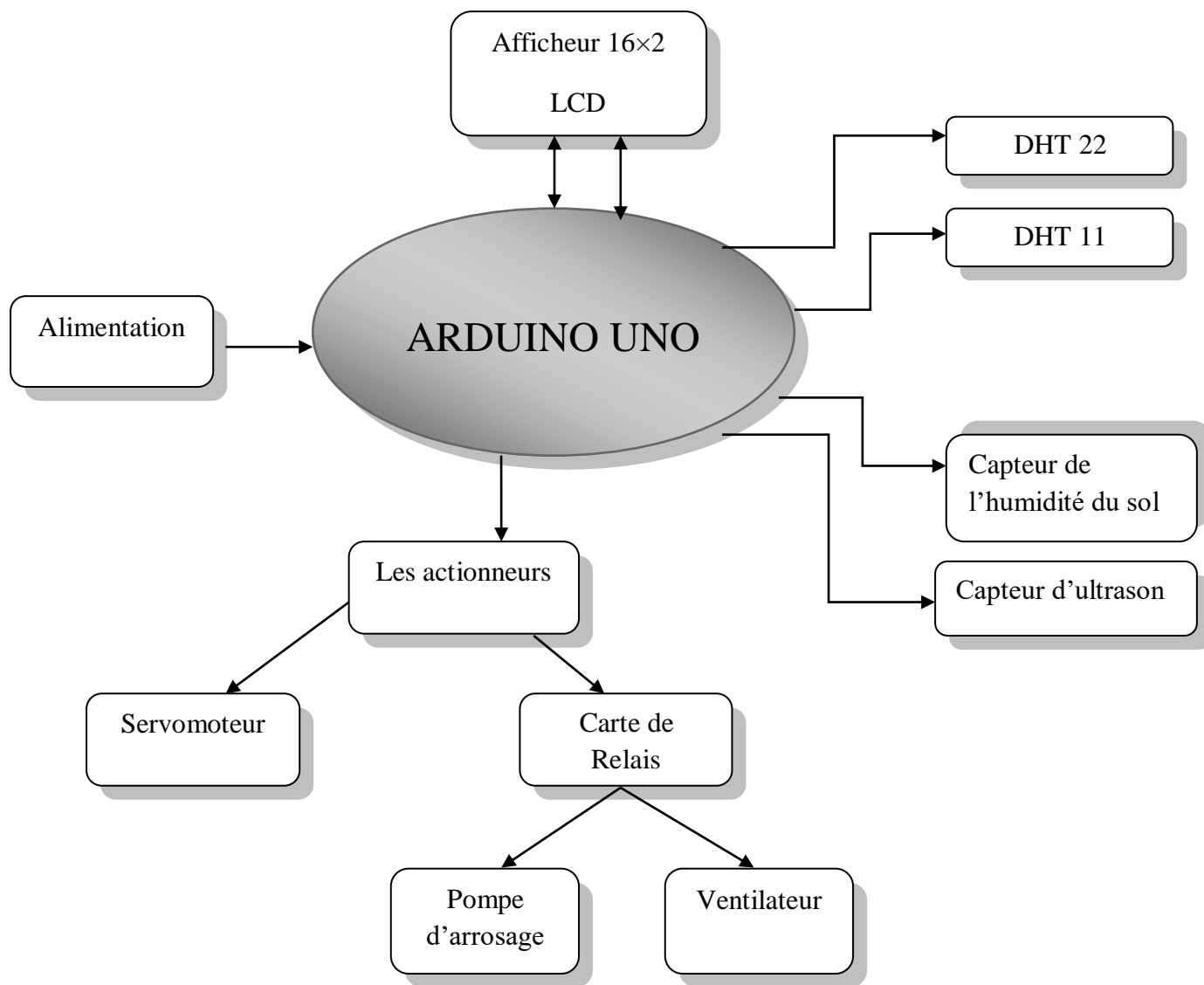
En ce qui concerne la ventilation, un ventilateur de PC est utilisé pour réguler la température à l'intérieur de la serre. La carte Arduino, basée sur les données collectées par le capteur DHT11, contrôle le fonctionnement du ventilateur pour assurer une circulation d'air adéquate et maintenir des conditions optimales pour la croissance des plantes.

De plus, la toiture de la serre est équipée d'un servomoteur contrôlé par la carte Arduino via le capteur DHT11. Lorsque des valeurs prédéfinies de température et d'humidité sont atteintes, le servomoteur actionne l'ouverture partielle de la toiture, permettant une ventilation supplémentaire et une régulation de l'humidité.

Pour surveiller le niveau d'eau du réservoir d'irrigation, un capteur ultrason est utilisé. La carte Arduino lit les données fournies par ce capteur et peut ainsi déterminer le niveau d'eau disponible. Cela permet d'assurer un approvisionnement adéquat en eau pour le système d'irrigation.

En intégrant ces capteurs et en les reliant à la carte Arduino, la serre automatique est en mesure de maintenir des conditions environnementales optimales pour la croissance des

plantes. Grâce à la programmation de la carte Arduino, les dispositifs de ventilation, d'irrigation et d'ouverture de la toiture peuvent être activés ou désactivés en fonction des données captées, offrant ainsi un environnement de culture contrôlé et favorable.



*Figure II.2 schéma global de notre système*

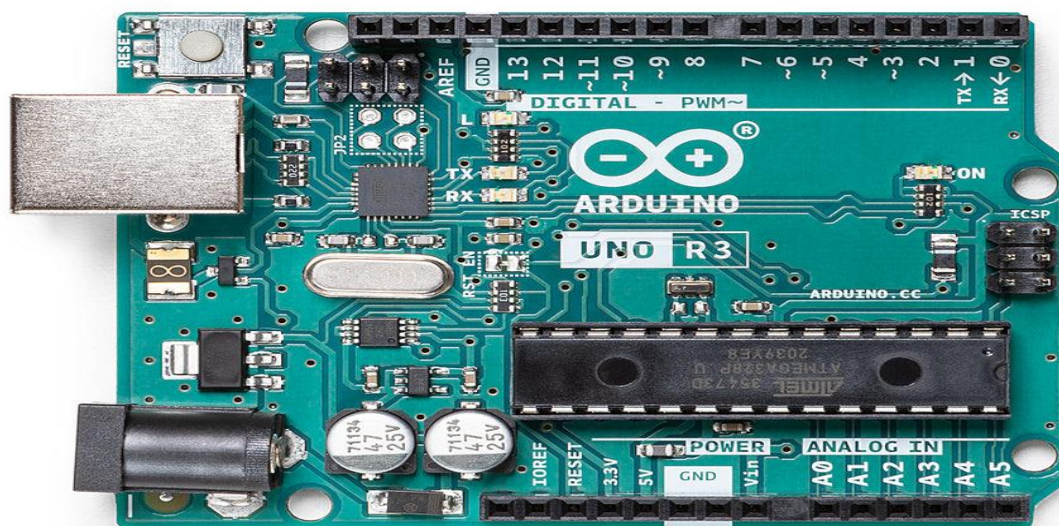
## II. 4 Les matériels utilisées

### II. 4. 1 Microcontrôleur Arduino UNO

Un microcontrôleur est un système qui ressemble à un ordinateur : il a une mémoire, un processeur, des interfaces avec le monde extérieur.

L'Arduino UNO est un module/carte de développement avec un microcontrôleur Atmel ATMEGA328P, grand public, peu onéreux, qui connaît un grand succès.

La carte Arduino constitue l'essentiel de notre projet. Nous avons utilisé une seule carte Arduino, qui est connectée aux capteurs. Sa fonction principale est de récupérer les données des capteurs, de les coder, puis de les envoyer à l'ordinateur.



*Figure II.3 Arduino uno*

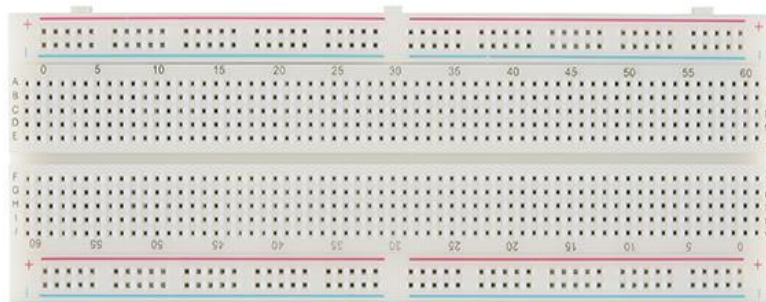
La carte Arduino se relie à un ordinateur par un câble USB. Ce câble permet à la fois l'alimentation de la carte et la communication série avec elle.

#### Caractéristique :

- Voltage : 5V
- Flash : 32 kB
- RAM : 2 kB
- Clock speed : 16MHz
- Wifi : No
- Bluetooth : No
- SD : No

### II. 4. 2 La platine d'expérimentation (*breadboard*)

Une plaque d'essai, aussi connue comme breadboard ou protoboard, est un tableau composé d'orifices électriquement connectés entre eux de façon interne. Sur cette plaque on peut insérer les éléments électroniques et les fils pour le montage et prototypage de circuits électroniques. Elle est fabriquée en deux matériaux, un isolant et un conducteur connectant électriquement les orifices entre eux et suivant un modèle horizontal ou vertical. Elle sert à créer et à tester des prototypes de circuits électroniques (**le disrupteur dimensionnel, 2020**)



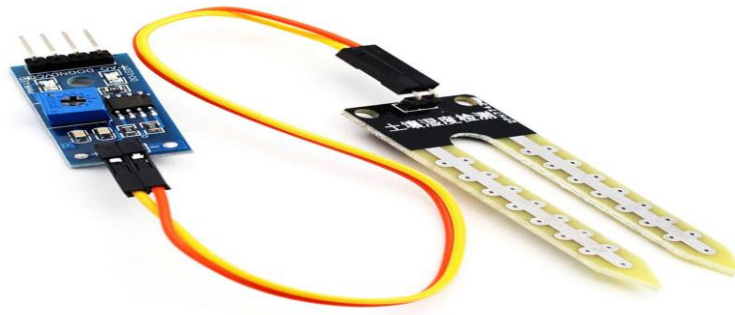
*Figure II.4* une plaque d'essai

### II. 4. 3 Les capteurs utilisés

Dans notre projet nous avons besoin d'utiliser plusieurs capteurs qui vont nous servir à contrôler la serre agricole.

#### II. 4. 3. 1 Capteur d'humidité du sol

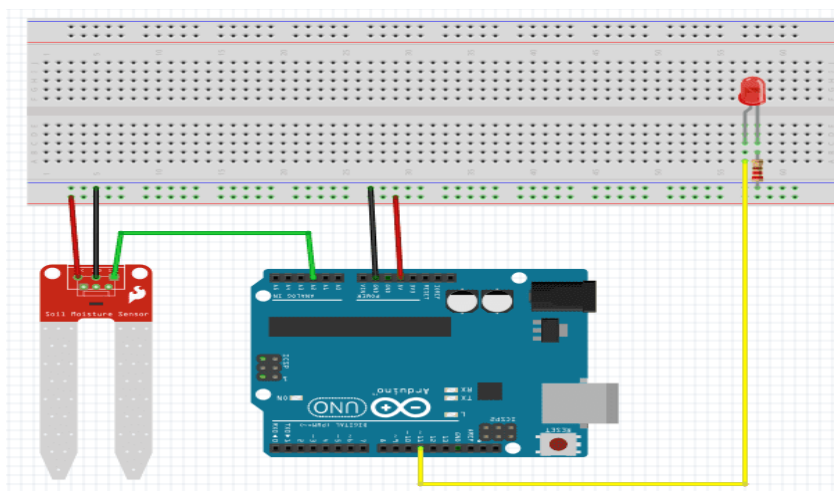
Un capteur d'humidité du sol est un dispositif électronique conçu pour mesurer le niveau d'humidité du sol. Le capteur YL-69 permet la détection de l'état du sol. S'il est humide ou sec. Les informations sont envoyées au circuit de contrôle, qui contrôle le fonctionnement ou l'arrêt de la pompe d'irrigation.



*Figure II.5* Capteur d'humidité du sol

**Caractéristiques :**

- Tension de fonctionnement: 3,3v - 5v
- Petite taille - 1,6cm \* 3cm
- Mode double sortie



*Figure II.6 Schéma de câblage d'un capteur humidité du sol*

### II. 4. 3. 2 Le capteur de température et d'humidité DHT22

C'est un capteur de température et d'humidité de l'air. Il a une bonne précision, l'intervalle, se trouve :- température: -40 à +80 °C - humidité: 0 à 100 % RH

Pour notre projet, nous avons utilisé le capteur DHT22 pour détecter le température et l'humidité à l'extérieur de la serre



*Figure II.7 Le capteur DHT 22*

**Caractéristique :**

*Alimentation: 3,3 à 6 Vcc , Consommation au repos: 50 µA, Consommation maxi: 1,5 mA*

*Plage de mesure: - température: -40 à +80 °C - humidité: 0 à 100 % RH*

### II. 4. 3. 3 Le capteur de température et d'humidité DHT11

Le capteur DHT11 permet de mesurer avec une précision plus importante la température et l'humidité à l'intérieur d'une serre, ce qui lui permet de détecter l'environnement ambiant de l'humidité et de la température à l'intérieur de la serre.

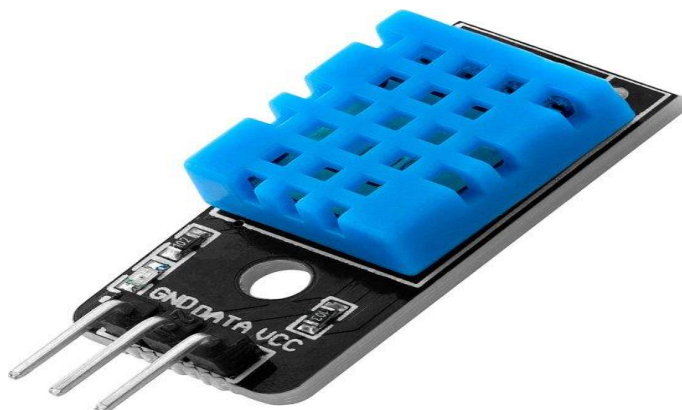


Figure II.8 Le capteur DHT 11

#### Caractéristiques :

- Alimentation +5 V (3.5 - 5.5 V).
- Température : de 0 à 50 °C, précision :  $\pm 2$  °C.
- Humidité : de 20 à 96 % RH, précision  $\pm 5\%$  RH.

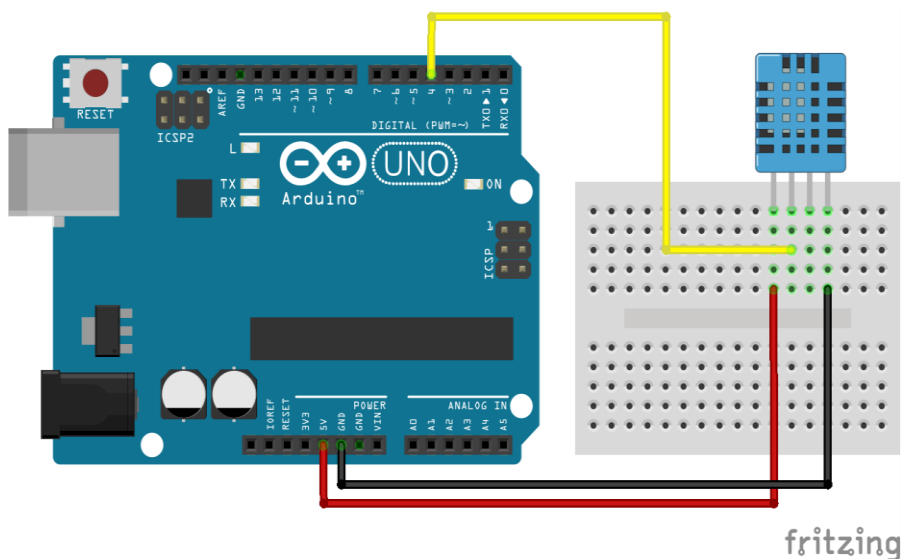


Figure II.9 Schéma de câblage du DHT11

#### II. 4. 3. 4 Le capteur d'ultrason

Le capteur ultrason permet de mesurer sans contact avec le produit. D'abord, il utilise des ultrasons pour déterminer le niveau d'un objet .le capteur ultrason détecte plusieurs types d'objets comme: -La détection de position, les supports solides, liquide ou de poudre.

-La mesure d'une distance.



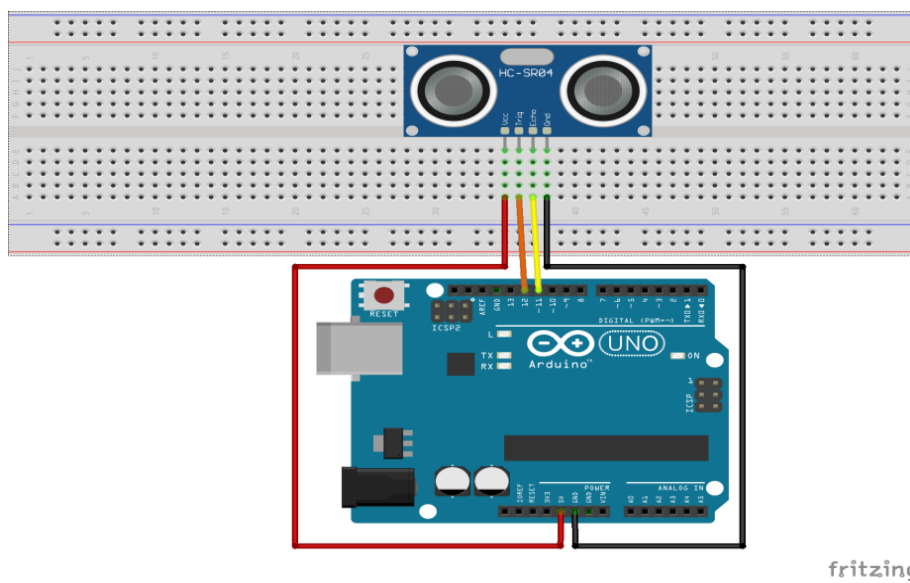
*Figure II.10 capteur d'ultrason*

Notre système utilise un capteur ultrason pour détecter le niveau d'eau dans un réservoir, ce qui permet de contrôler le fonctionnement de la pompe. Le capteur est installé au-dessus du réservoir et émet des signaux ultrasonores vers la surface de l'eau. Lorsque les signaux sont réfléchis par la surface de l'eau, le capteur mesure le temps qu'il faut pour qu'ils reviennent. En utilisant la vitesse du son dans l'air, le capteur calcule la distance entre lui-même et la surface de l'eau, ce qui permet de déterminer le niveau d'eau actuel.

Ces informations sont ensuite utilisées pour déclencher le fonctionnement de la pompe lorsque le niveau d'eau est bas, assurant ainsi un approvisionnement adéquat en eau dans le réservoir. Cette technologie de détection sans contact et de contrôle automatique de la pompe offre une solution efficace pour surveillance de niveau d'eau réel et assurer un fonctionnement fiable du système d'irrigation.

#### **Caractéristiques :**

- Tension de fonctionnement : 5V (DC)
- Consommation de courant : moins de 2 mA.
- Signal de sortie : signal électrique 5V haut niveau, 0V niveau bas.
- Angle de visée du détecteur : moins de 15 degrés.
- Distance de détection: de 2 cm à 450 cm.
- Haute précision: jusqu'à 0.3 cm.



*Figure II.11 Schéma de câblage d'un capteur ultrason*

## II. 4. 4 Les actionneurs

### II. 4. 4. 1 Ventilateur d'extraction

Pour la ventilation, nous avons utilisé deux ventilateurs (12 volts) récupérés depuis alimentation pour PC.



**Fig II.12** *le ventilateur*

#### II. 4. 4. 2 Le servomoteur

Un servomoteur est un moteur électrique équipé d'une boîte de réduction de vitesse et d'un asservissement électronique, il est prévu pour un déplacement angulaire. Nous avons utilisé les servomoteurs pour l'ouverture de toiles.



*Figure II.13 Servomoteur*

#### II. 4. 4. 3 La pompe à eau

Pour notre système, nous avons besoin d'une pompe à eau pour l'irrigation de la serre

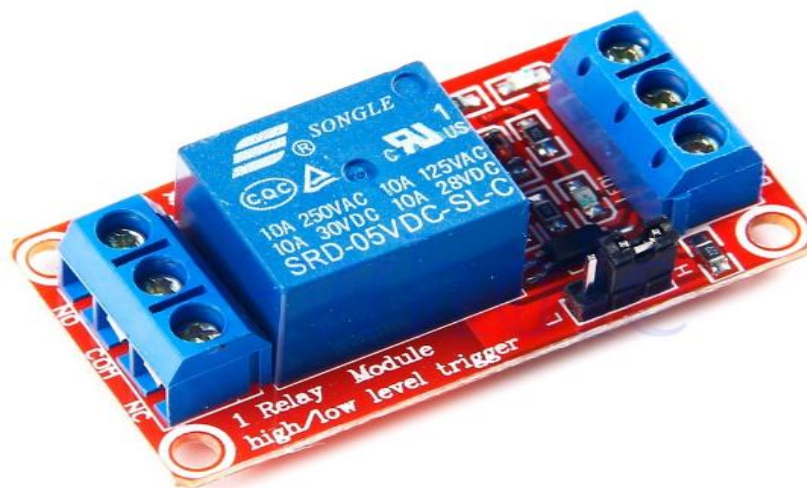


*Figure II.14 pompe d'arrosage*

## II. 5 Autre matériels

### II. 5. 1 Carte relais

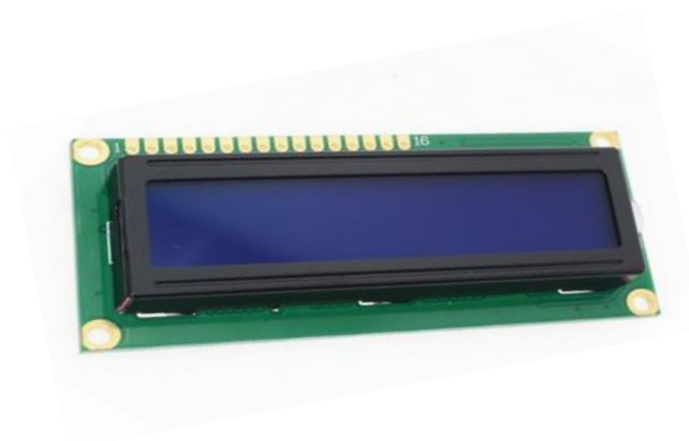
Nous avons utilisé 2 Relais de 5v qui nous permettent de contrôler divers appareils et équipements (Ventilateur, pompe à eau).



*Figure II.15 module relais*

### II. 5. 2 L'afficheur LCD

Pour notre projet, nous avons besoin l'afficheur LCD pour affiche les paramètres de température et l'humidité de l'air, l'humidité du sol et le niveau d'eau dans le réservoir



*Figure II.16 Afficheur LCD*

### II. 5. 3 Les leds

Nous avons utilisé deux leds pour indiquer le niveau du réservoir. Une led blanche est utilisée pour indiquer que le réservoir est plein, tandis qu'une led rouge indique que le réservoir est vide.



*Figure II.17 Led rouge*

### II. 5. 4 Alimentation

Pour l'alimentation, nous avons utilisé l'alimentation récupérées de l'UC du PC, lié avec une notre carte d'alimentation dispose une sortie (5 v et 12v).



*Figure II.18 Alimentation*

## II. 6 Arduino IDE

L'IDE Arduino est le logiciel qui permet de programmer les cartes Arduino donc pour commencer à utiliser l'Arduino Uno, nous allons télécharger la dernière version du logiciel Arduino. Une fois cela fait, nous aurons une fenêtre graphique qui contient un éditeur de texte et tous les outils nécessaires à l'activité de programmation. Cette console servira de relais exclusif à la communication avec notre carte Arduino, afin que nous puissions compiler des programmes et les transférer sur notre carte.



Figure II.19 Interface d'Arduino IDE (arduino.blaisepasca)

## II. 7 Brochage des différents composants

Le schéma suivant montre le brochage des différents composants électroniques que nous avons utilisés pour la réalisation de notre projet

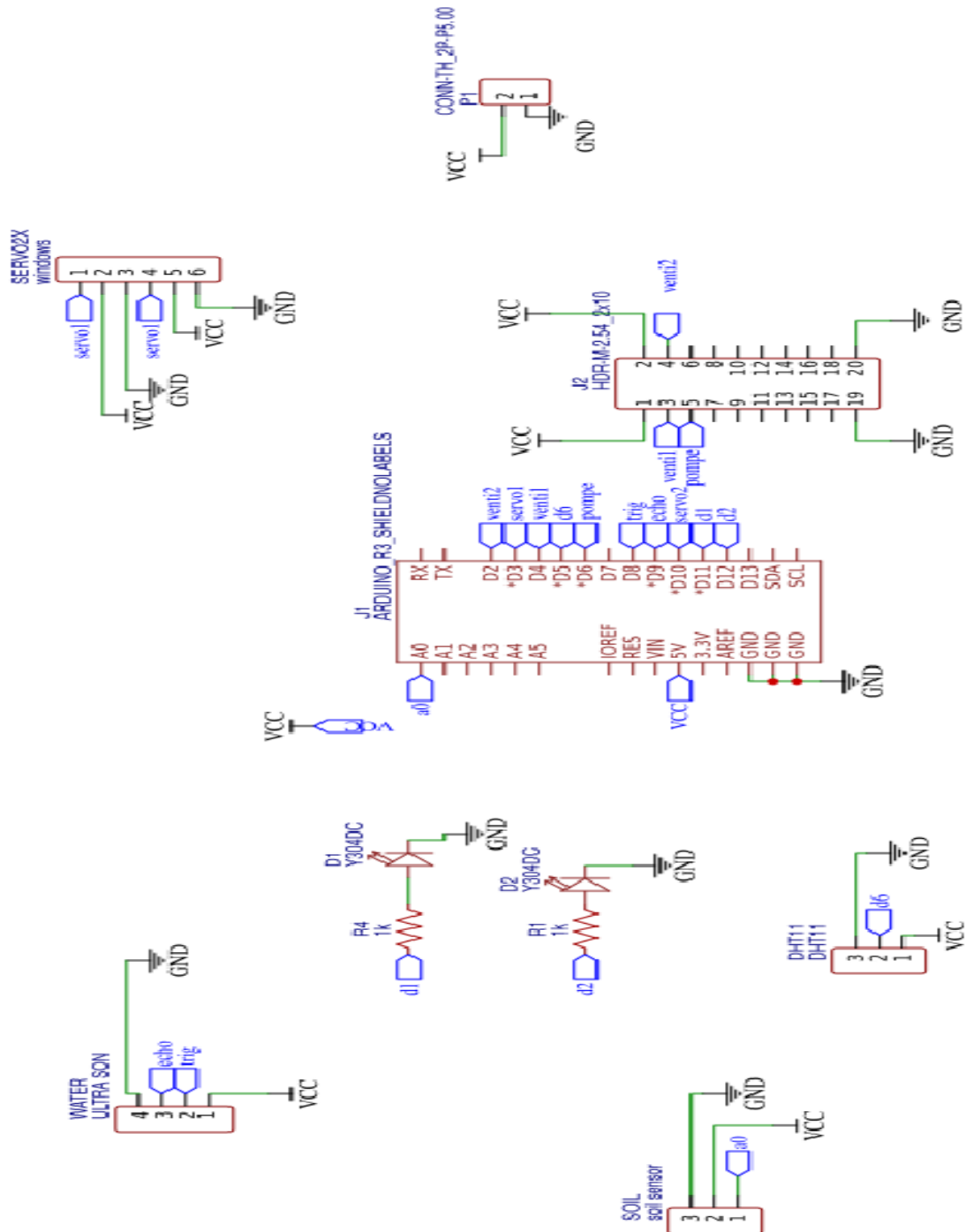
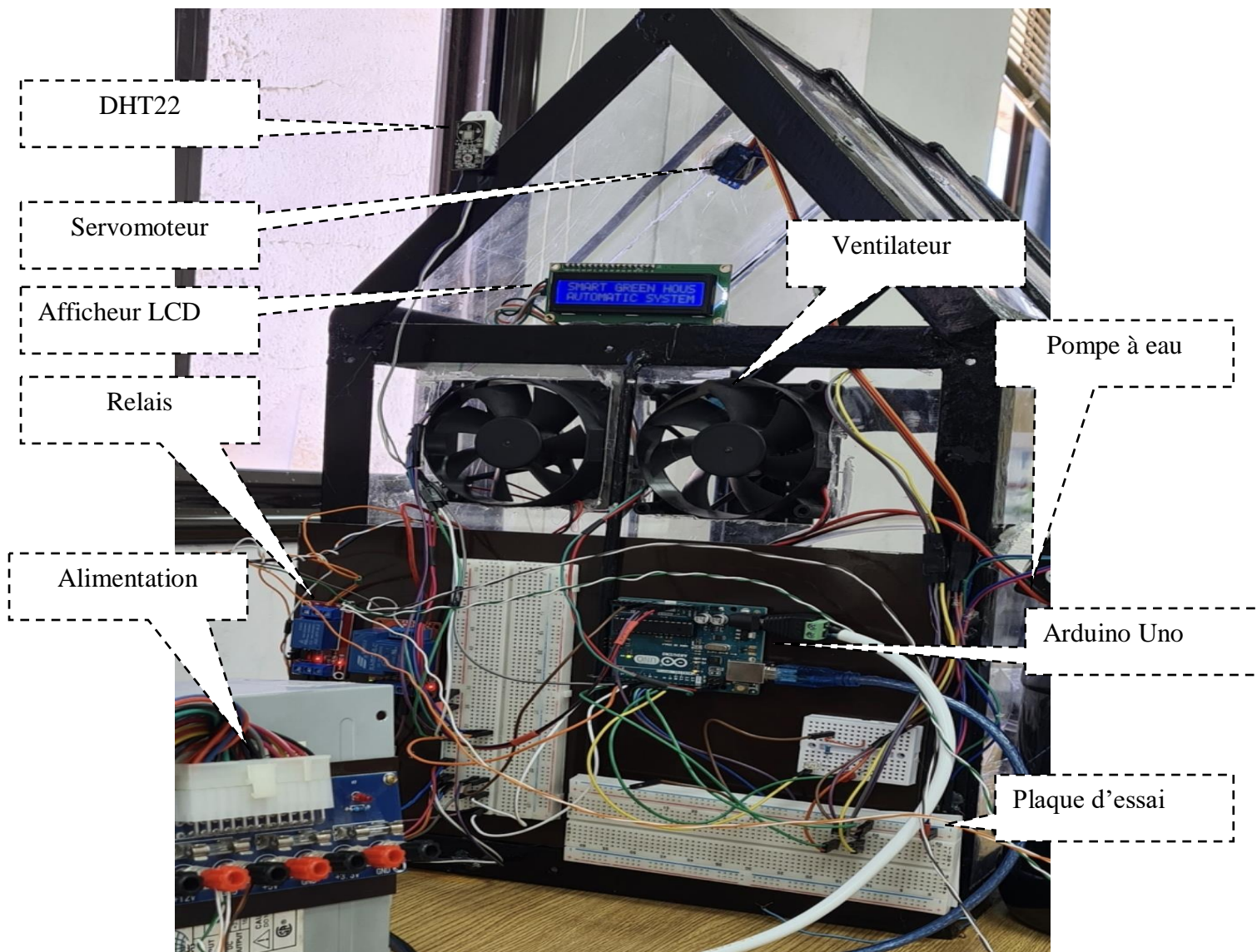


Figure II.20 Schéma de brochage des différents composants électroniques

## II. 8 Présentation de la serre

Afin de pouvoir tester le bon fonctionnement de notre système, nous avons réalisé d'une mini serre, où nous avons installé les différents capteurs (DHT11,DHT22, HC-SR04, yl-69) et actionneurs (pompe, 2 ventilateur, 2 servomoteur).

Les figures ci-dessous illustrent la mini serre avec tous les équipements ainsi que leur branchement:



*Figure II.21 teste de la serre*

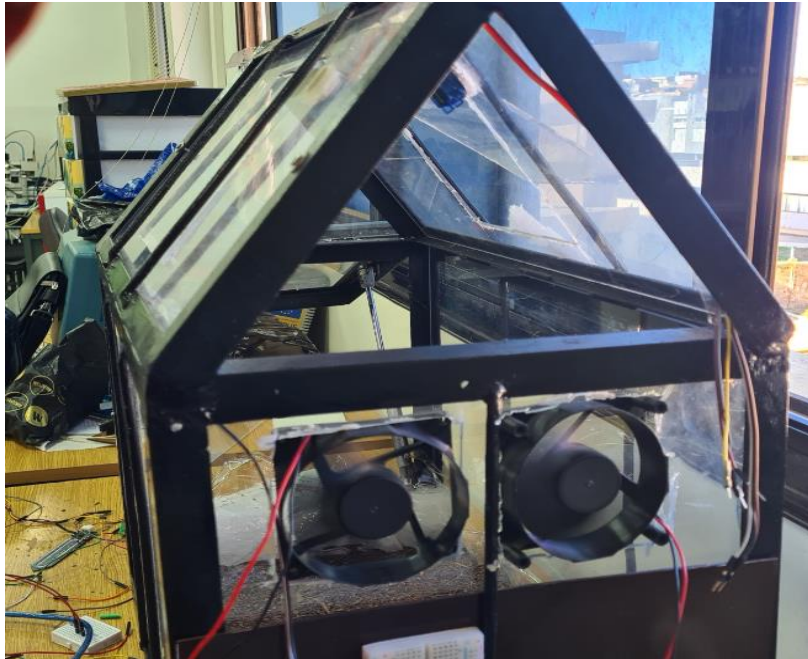
Après le teste de la seree ,Nous avons affiché les différents données des capteurs tel que l'humidité du sol(**H\_sol**) , température(**T**) et l'humidité ambiante(**H**) , niveau de reservoir(**R**) dans l'afficheur LCD .



*Figure II.22 Affichage des données*



*Figure II.22 l'état non active des ventilateurs*



*Figure II.23 l'état active des ventilateurs*



*Figure II.24 les toiles fermées*



*Figure II.25 les toiles ouvertes*

## II. 9 Programme globale

Nous avons intégré tous les sous programmes en un seul programme (cf. Annexe).

## II. 10 Application COOLTERM

CoolTerm, est une application de terminal série multiplateforme. Il permet de se connecter et de communiquer avec des appareils via des ports série. CoolTerm offre une interface utilisateur simple et propose des fonctionnalités avancées telles que la capture et l'affichage des données série, la configuration des paramètres de communication (baud rate, bits de données, parité, etc.), et la possibilité d'envoyer des commandes et de recevoir des réponses à partir du périphérique connecté.

Dans notre système, nous avons utilisé CoolTerm pour établir une connexion série avec la carte Arduino et afficher les données échangées entre la carte et notre ordinateur.

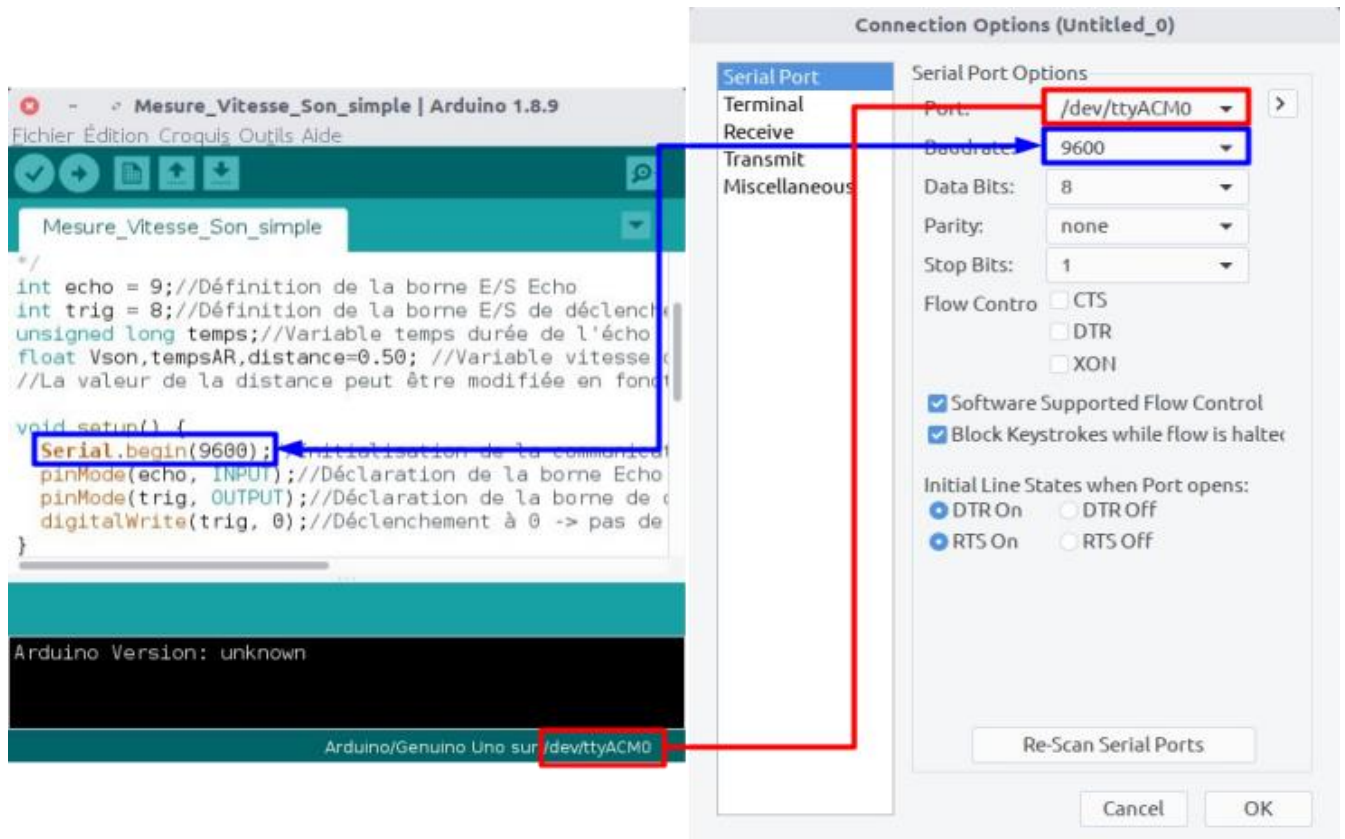


Figure II.26 Relation entre Arduino IDE et CoolTerm

## II. 11 Etude socio-économique

Tableau II.1 Estimation du prix de revient de notre projet

Composant	Quantité	Total (DA)
Arduino uno	1	3500 DA
Capteur DHT11	1	700 DA
Capteur d'humidité du sol	1	400 DA
Pompe d'arrosage	1	1600 DA
Afficheur LCD-I2C	1	1300 DA
Module Relai	2	350 DA
Capteur DHT22	1	800 DA

Ventilateur	2	0 DA
servomoteur	2	700 DA
Plaque d'essai	2	700 DA
Capteur d'ultrason	1	400 DA
Tuyau d'eau	1	200 DA
Filtre	1	1200 DA
Vanne	1	500 DA
	<b>Totale</b>	14900 DA

## II. 12 Conclusion

On a réalisé une mini-serre agricole avec des actionneurs tels que des ventilateurs, des servomoteurs et une pompe à eau, et nous avons mesuré plusieurs grandeurs : la température et l'humidité à l'intérieur et extérieur de la serre, le niveau d'eau dans le réservoir, ainsi que l'humidité du sol.

Après cette réalisation, nous passons à tester la serre en plantant des tomates en son centre et en suivant les étapes de leur croissance.

# **Chapitre III : Essai de la tomate dans notre mini serre**

---

### III. 1 Introduction

Dans ce chapitre, nous aborderons l'essai de culture réalisé dans notre mini-serre agricole. Après avoir exploré les généralités sur les serres agricoles et présenté les étapes de réalisation de notre serre dans les chapitres précédents, nous nous concentrons maintenant sur l'aspect pratique de notre étude. Nous avons choisi de cultiver la tomate dans notre serre afin d'évaluer les performances de notre structure et d'explorer les possibilités de culture sous serre pour cette plante spécifique.

### III. 2 L'objectifs de notre projet

L'objectif de notre projet :

- 1-La surveillance de la température à l'intérieur et à l'extérieur de la serre.
- 2-La surveillance en temps réel l'humidité ambiante de la serre
- 3- Le contrôle de manière précise l'humidité du sol avec l'irrigation automatique intelligente.
- 4-Assurer une bonne circulation de l'air dans la serre.
- 5-La détection la présence d'eau dans la serre.

### III. 3 Plantation de la tomate dans notre serre

La période idéale pour planter des tomates sous serre dépend du climat et des conditions locales, mais généralement, cela se situe entre la fin du printemps et le début de l'été.

Dans notre cas, nous avons procédé au semis de nos plants de tomates dans des plaques alvéolées le 30 mai 2023. Cette méthode permet de fournir un bon départ aux jeunes plants en leur offrant un environnement contrôlé et protégé.



*Figure III.1 Semis de la tomate en plaque alvéolées*

Après avoir préparé le sol de notre mini serre en creusant des trous avec suffisamment d'espace entre eux, nous avons délicatement retiré les plants de tomates des plaques alvéolées, en veillant à ne pas endommager leurs racines. Ensuite, le 18 juin 2023, nous les avons transplantés dans la serre, garantissant ainsi leur bonne croissance et développement futurs.



*Figure III.2 transplantation de la tomate (18 jours après le semis)*

Une fois les plants de tomates correctement transplantés, nous avons veillé à maintenir des conditions de croissance optimales dans notre mini serre. Cela inclut un arrosage régulier, une ventilation adéquate pour éviter l'accumulation d'humidité excessive, ainsi qu'un contrôle attentif de la température et de l'humidité.

### III. 4 Maintenir les conditions de croissance

#### III. 4. 1 Stratégies pour prévenir la condensation de l'air

- Nous maintenons un flux d'air constant et réduisons l'accumulation d'humidité grâce à notre système de ventilation automatisé.
- Nous utilisons des ventilateurs intelligents pour favoriser une circulation d'air efficace, prévenant ainsi la stagnation de l'air et réduisant les zones propices à la condensation.
- Nous contrôlons la température et l'humidité en réduisant la différence entre la température intérieure et extérieure grâce à la ventilation et à l'ouverture des volets.
- Nous utilisons un système d'irrigation intelligent pour limiter l'arrosage excessif et réduire l'introduction d'humidité excessive.

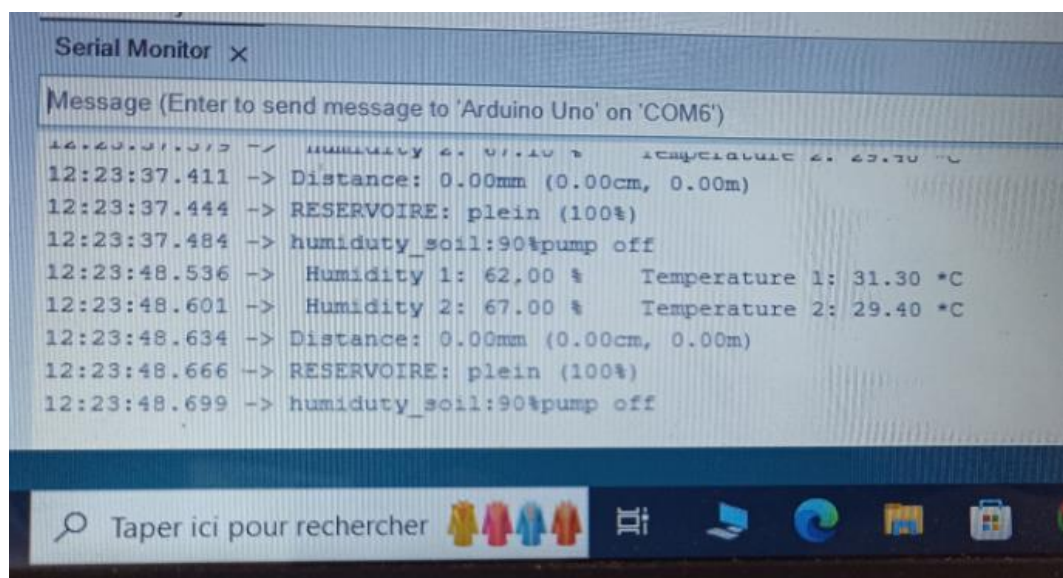


*Figure III.3 l'ouverture des volets*

### III. 4. 2 Optimisation des conditions climatiques pour la culture de tomates

Dans le cadre de notre étude sur l'optimisation des conditions climatiques pour la culture de tomates dans notre mini serre, nous avons mis en place un système de ventilation automatisé. -Avant l'installation du système, nous avons relevé une température moyenne de 35°C à l'intérieur de la serre, avec une humidité moyenne de 70%. À l'extérieur de la serre, la température moyenne était de 30°C, avec une humidité de 68%.

-Après avoir mis en place notre système de ventilation, nous avons observé des résultats prometteurs. La température moyenne à l'intérieur de la serre a diminué de manière significative, atteignant 31,5°C, soit une réduction de 3,5°C. De plus, l'humidité moyenne a également connu une baisse notable, passant de 70% à 62%, soit une diminution de 8%. Ces résultats indiquent que notre système de ventilation a été efficace pour réguler la température et l'humidité à l'intérieur de la serre.



*Figure III.4 Lecture de résultat dans port série*

Ces améliorations sont d'une grande importance pour la culture de tomates, car une température plus basse permet de prévenir le stress thermique des plantes, favorisant ainsi une croissance saine et une meilleure productivité. De même, une diminution de l'humidité contribue à éviter les problèmes liés à l'excès d'humidité, tels que les maladies fongiques.

**-Enroulement des feuilles :**

Lors de notre essai, nous avons pris la décision d'arrêter notre système de ventilation dans la serre, permettant ainsi à la température de monter de manière significative. Malheureusement, cette décision a eu des conséquences néfastes sur les plantes. Nous avons observé un enroulement des feuilles, qui est souvent le résultat d'un stress thermique causé par une température excessive. De plus, l'extrémité des feuilles a montré des signes de brûlure, probablement en raison de l'accumulation de chaleur.



*Figure III.5 enroulement et brûlure des feuilles*

Cependant, après le déclenchement de notre système de ventilation automatique, nous avons pu observer une différence significative dans les données de température entre l'intérieur et l'extérieur de la serre. Grâce aux informations affichées sur le port série, nous avons constaté que la température interne a commencé à se réguler et à revenir à des niveaux plus appropriés. De plus, nous avons remarqué que les feuilles des plantes ont progressivement repris leur aspect normal.



*Figure III.6 Les feuilles return a l'aspect normal après la ventilation*

-Cette déference exprime l'avantage du système de ventilation et l'aération pour rétablir un environnement favorable à la croissance des plantes.

### **III. 4. 3 Maximisation de la croissance des tomates :**

Après la transplantation, nous avons suivi de près la croissance physique d'une tomate en utilisant notre système de refroidissement et d'irrigation automatique. Initialement, la plante mesurait environ 5 cm de hauteur. Grâce à notre système, nous avons fourni les conditions idéales, notamment un refroidissement adéquat et un apport en eau précis. Au bout d'une semaine seulement, nous avons constaté une croissance spectaculaire, la tomate atteignant une hauteur de 15 cm. De plus, la plante était saine, avec une couleur verte vibrante. Ces résultats démontrent l'efficacité de notre système pour favoriser une croissance robuste et prometteuse des plantes, en offrant un environnement optimal pour leur développement.



*Figure III.7 Croissance après transplantation*

#### **III. 4. 4 Prévenir les ravageurs liés au climat**

En faisant circuler l'air, on évite également les conditions favorables à l'installation d'insectes nuisibles. De plus, l'aération permet de maintenir une température optimale et de réguler l'humidité dans la serre, créant ainsi un environnement moins favorable aux ravageurs et aux maladies.

### **III. 5 Irrigation automatique**

En intégrant des technologies avancées telles qu'un capteur d'humidité du sol, un réservoir d'eau avec capteur de niveau, une pompe d'irrigation, une vanne de contrôle de pression et un filtre d'eau, nous avons réalisé une réforme complète de notre approche de l'irrigation goutte-à-goutte. Ces ajouts ont été conçus dans le but d'améliorer la précision et l'efficacité de notre système d'irrigation.

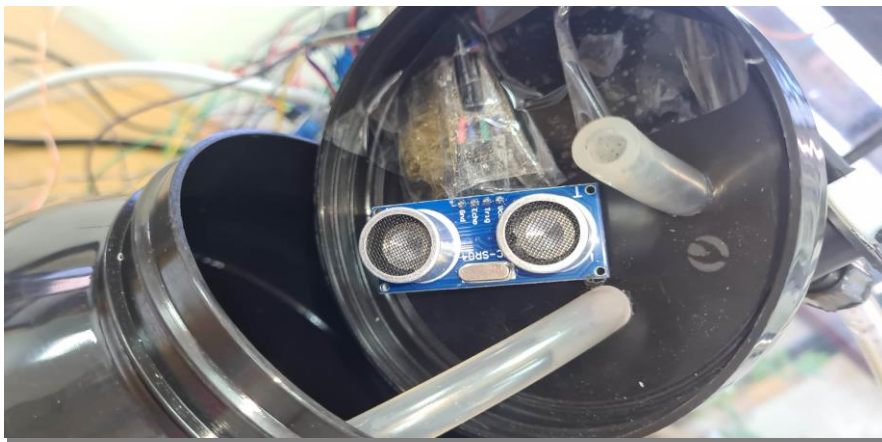
#### **III. 5. 1 Equipements d'irrigation et son rôle**

Le capteur d'humidité du sol joue un rôle crucial en mesurant le niveau d'humidité, ce qui nous permet d'ajuster l'irrigation en fonction des besoins réels des plantes. Cela évite les risques de sous-irrigation ou de sur-irrigation, optimisant ainsi l'utilisation de l'eau et favorisant une croissance saine des cultures.



*Figure III.8 l'emplacement du capteur du sol dans la serre*

-Le réservoir d'eau équipé d'un capteur de niveau nous permet de surveiller en temps réel la quantité d'eau disponible. Cela nous permet d'adopter une gestion efficace des ressources en évitant les gaspillages et en assurant une utilisation optimale de l'eau.



*Figure III.9 capteur de niveau en fonctionne de la distance*

-La pompe d'irrigation et la vanne de contrôle de pression sont des composants essentiels qui garantissent un débit et une pression ajustables. Cela assure une distribution uniforme de l'eau à travers les goutteurs, améliorant ainsi l'efficacité de l'irrigation et évitant les problèmes d'écoulement inégal.



*Figure III.10 réservoir avec les équipements*

-La pompe est équipée d'un filtre qui maintient la qualité de l'eau d'irrigation en éliminant les impuretés et les particules indésirables.



*Figure III.11 filtre d'eau*

### III. 5. 2 Optimisation de l'irrigation automatique

Pour éviter toutes les pertes d'eau, notre système est programmé pour être automatique et répondre aux besoins de culture. Un programme a été mis en place qui se base sur une petite étude de la réserve utile du sol. Nous faisons déjà une petite étude de la réserve utile du sol en utilisant un capteur d'humidité du sol. Voici les étapes que nous suivons :

- Nous préparons un petit pot en utilisant le même type de sol que celui utilisé dans notre serre.
- Nous remplissons le pot avec le sol jusqu'à une certaine hauteur.
- Ensuite, nous insérons le capteur d'humidité du sol dans le sol du pot, en nous assurant qu'il est bien enfoncé. Nous observons une lecture de 95% sur le capteur, indiquant le taux d'humidité à la saturation du sol.
- Après un certain temps de percolation de l'eau, le capteur d'humidité du sol affiche une valeur stable de 75%.
- Pour obtenir une mesure du taux d'humidité lorsque le sol est sec, nous utilisons le capteur et relevons un taux de 30%.

Ces mesures nous permettent d'évaluer les niveaux d'humidité dans le sol à différents stades, de la saturation à la sécheresse. Cela nous aide à ajuster notre système d'irrigation en conséquence. Si le taux d'humidité dépasse 75%, la pompe s'arrête pour éviter un arrosage excessif. En revanche, si le taux d'humidité descend en dessous de 30%, la pompe s'allume pour fournir l'irrigation nécessaire.

### III. 6 Conclusion

Ces résultats obtenus grâce à notre série d'essais nous ont permis de recueillir des informations précieuses pour affiner notre programme d'irrigation et de gestion de l'environnement, adapté aux besoins spécifiques de la culture de tomates. Grâce à ces données, nous avons pu développer une approche plus précise et optimisée, ce qui renforce notre confiance dans notre système. En ajustant nos pratiques d'irrigation en fonction des seuils identifiés, nous sommes en mesure de fournir la quantité d'eau nécessaire aux plantes, tout en minimisant les pertes et en réduisant les risques de stress hydrique. Cela contribue à maximiser la productivité et la qualité de nos cultures, tout en favorisant une utilisation efficace des ressources en eau.

# Conclusion générale

---

Ce mémoire a porté sur la conception et la réalisation d'une mini serre intelligente pour la culture de tomates. Nous avons abordé différents aspects allant des généralités sur les serres et la culture de tomates, jusqu'à la mise en place de notre système complet comprenant des capteurs, des dispositifs de régulation et un système d'irrigation automatique.

Dans un premier temps, nous avons introduit les concepts de base relatifs aux serres et à la culture de tomates, mettant en évidence l'importance d'un environnement contrôlé pour la croissance optimale des plantes.

Ensuite, nous avons décrit en détail l'équipement nécessaire et les étapes de conception de notre mini serre intelligente. Nous avons intégré des capteurs de température et d'humidité tels que le DHT11 et le DHT22, ainsi que des ventilateurs, des volets, un capteur d'humidité du sol et un réservoir intelligent avec système d'irrigation automatique. Ces composants ont été soigneusement sélectionnés pour surveiller et réguler les conditions environnementales de la serre.

Par la suite, nous avons réalisé des essais pratiques en cultivant des plants de tomates dans notre mini serre. Nous avons identifié les problèmes liés aux températures élevées et à l'humidité, et avons mis en place des solutions pour les résoudre. Nous avons expliqué le fonctionnement de notre système de ventilation et d'irrigation automatique, démontrant ainsi leur efficacité dans la régulation des conditions internes de la serre.

Enfin, nous avons suivi la croissance des plants de tomates en utilisant l'ensemble du système que nous avons développé. Les résultats obtenus ont confirmé les améliorations significatives apportées grâce à notre système intelligent, notamment une meilleure régulation de la température et de l'humidité, ainsi qu'une croissance plus saine des plantes.

En conclusion, notre mémoire de fin d'études a présenté avec succès la conception et la réalisation d'une mini serre intelligente pour la culture de tomates. Nous avons développé un système complet et performant, intégrant des capteurs, des dispositifs de régulation et un système d'irrigation automatique. Les résultats obtenus ont démontré l'efficacité de notre approche, ouvrant ainsi la voie à de futures recherches et développements dans le domaine de l'agriculture intelligente et durable.

Nous sommes fiers de notre contribution à l'avancement de l'agriculture assistée par la technologie, en proposant une solution pratique pour améliorer les performances de la culture des tomates dans des environnements contrôlés. Notre travail ouvre également des perspectives prometteuses pour l'industrie agricole, en favorisant une agriculture plus efficace et durable.

# Références Bibliographiques

---

## Références Bibliographiques

- Rodriguez, F. B. (2003).** A hierarchical control system for maximizing profit in greenhouse crop production. In 2003 European Control Conference (ECC) (pp. 2753-2758). IEEE.
- Schrijver Remco, K. P. (2016).** Étude de prospective scientifique" L'agriculture de précision et l'avenir de l'agriculture en Europe". 4/56
- Benghozi, S. B.-F. (2009).** L'internet des objets: quels enjeux pour l'Europe, Éd. de la Maison des sciences de l'homme.
- BERNINGER, E. (1989).** Eléments climatiques et physiologiques. paris: Institut national de la recherche recherche agronomique (INRA).
- BOUTERAA, Y. (2012).** Automatisation d'une serre agricole, Magister en Sciences Agronomiques, Ecole Nationale Supérieure D'agronomie-El Harrach.
- Chelha, M. (2004).** Les infrastructures des serres. ITCMI, Staoueli.
- CHIRINE, L. (2008).** la convection sous serres fermées et ouvertes en présence de la plante. Batna: Physique Energétique, Université El-Hadj Lakhdar.
- CIPA. (2017).** Comite International Des Plastiques En Agriculture. *Plasticulture* . N°136.
- Hassan Elattir, A. S. (2003).** Rabat: Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II.
- Hollmuller, P., Lachal, B., Jaboyedoff, P., Reist, A., J.Gil, & GEOSER, L. D. (2001).** TOCKAGE SOLAIRE A COURT TERME EN SERRES HORTICOLES. ed. in Proceedings de CISBAT'01 (pp. 391-396). Lausanne: Ecole polytechnique fédérale.
- jardincouvert.** Consulté le 06 6, 2023, sur <https://blog.jardincouvert.com/utiliser-et-entretenir-une-serre-tunnel/systeme-irrigation-serre/>
- jardiner-autrement. (2022).** Consulté le juin 6, 2023, sur <https://www.jardiner-autrement.fr/les-experiences-du-jardin-des-plantes-de-paris-la-gestion-des-ravageurs-en-milieu-ferme/>
- Jayaraman, P. e. (2016).** Internet of things platform for smart farming: Experiences and lessons learnt,Sensors.
- Kaddouri Hamza, E. Y. (2013).** une serre intelligente. ecole polytechnique d'Agadir , Agadir,Maroc.
- Benghozi, S. B.-F. (2009).** *L'internet des objets: quels enjeux pour l'Europe, Éd. de la Maison des sciences de l'homme.*
- CHIRINE, L. (2008).** *la convection sous serres fermées et ouvertes en présence de la plante.* Batna: Physique Energétique, Université El-Hadj Lakhdar.

## Références Bibliographiques

**GUENAOUI, Y. (2008)** . Nouveau ravageur de la tomate en Algérie. Première observation de *Tuta absoluta*, mineuse de la tomate invasive, dans la région de Mostaganem, au printemps . *Phytoma défense des végétaux* (617) :18-19

**Hassan Elattir, A. S. (2003)**. Rabat: Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II.

**Hollmuller, P., Lachal, B., Jaboyedoff, P., Reist, A., J.Gil, & GEOSER, L. D. (2001)**. TOCKAGE SOLAIRE A COURT TERME EN SERRES HORTICOLES. *ed. in Proceedings de CISBAT'01* (pp. 391-396). Lausanne: Ecole polytechnique fédérale.

**koundoul, C. t. (2020)**. *conception d'un système d'irrigation automatique*. Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi, Spécialité : Electronique industrielle. Université Assane SECK de Ziguinchor.

**LEBBAL, F. (2010)**. *Contribution à l'étude dynamique et thermique de l'air à l'intérieur d'une serre en verre de type Venlo dans les régions des Aurès*. Batna: Université El- Hadj Lakhdar.

**LAMBERT (L.) (2006)** . Lutte anti insectes appliquée aux tomates de serre, MAPAQ,(QC). Profil de la culture des tomates de serre au Canada Programme de réduction des risques liés aux pesticides Centre pour la lutte antiparasitaire.

**MADREF,DERD. (2001)**. Transfert de Technologie en Agriculture N°81. rabat: Bulletin réalisé à l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II.

**NADÈGE. (2022)**. *france-serres*. Consulté le 06 2, 2023, sur france-serres.com: <https://www.france-serres.com/blog/astuces/eviter-la-condensation-sous-serre>

**NAVEZ, B. (2011)**. Tomate, qualité et préférence. Ed : CTIFL, Paris, 390p 38. OOREKA. Tomate-cerise. 2019. Consulté le 08/06/2023. Dispo. Sur : <https://jardinage.ooreka.fr/plante/voir/266/tomate-cerise>

**Ovidiu Vermesan SINTEF, P. F. (2014)**. *"Internet of Things– From Research and Innovation to Market Deployment"*. 'river publishers', Norway, Belgium.

**Simon. (2022)**. *stsolutions*. Consulté le 06 2, 2023, sur stsolutions.ch/fonctionnement-d-une-serre: <https://stsolutions.ch/fonctionnement-d-une-serre>

**SHANKARA, NAIKA, ; Joep van de Jeude; Martin Hilmi ;Barbara van Dam.(2005)** .La culture de la tomate production, transformation et commercialisation,6,18,19 ;p20.

**Uraban. (1997)**. Introduction à la production sous serre. Tome II. edt.

**Wifaya et al, F. M. (2020)**. Problématique de gestion du climat en serres horticoles au Maroc.

# **Annexe**

---

**Programme globale qui gère la mini-serre :**

```

#include <DHT.h>
#define DHTPIN_1 5    // what pin we're connected to
#define DHTPIN_2 4    // what pin we're connected to
#define DHTTYPE DHT11 // DHT 11
#define DHTTYPE_2 DHT22 // DHT 22
int maxTemp = 28;    // ventilation on
int maxTemp2 = 35;  //OPEN WINDOWS
#include <Servo.h>

Servo servo1;
Servo servo2;
int pos = 0;

#define pomp 6 // POMPE_EAU
#define Venti 2 // VENTILATION
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
DHT dht_1(DHTPIN_1, DHTTYPE);
DHT dht_2(DHTPIN_2, DHTTYPE_2);
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);

/* Constantes pour les broches */
const byte TRIGGER_PIN = 8; // Broche TRIGGER
const byte ECHO_PIN = 9;   // Broche ECHO
/* Constantes pour le timeout */
const unsigned long MEASURE_TIMEOUT = 25000UL; // 25ms = ~8m à 340m/s
/* Vitesse du son dans l'air en mm/us */
const float SOUND_SPEED = 340.0 / 1000;

const int dry = 1023; // value for dry sensor
const int wet = 300; // value for wet sensor

void setup()
{
  Serial.begin(9600);

  dht_1.begin();           // Mise en route du capteur de temperature et
d'humidite
  dht_2.begin();           // Mise en route du capteur de temperature et
d'humidite
  lcd.init(); // initialize the lcd
  lcd.backlight();

```

```

////////////////////////////////////// /*
Initialise les broches
*//////////////////////////////////////
    servo2.attach(10); //fenetre droit
    servo1.attach(3); //fenetre gauche
    pinMode(Venti, OUTPUT); // Signal de sortie pour activer ou non le
ventilateur
    pinMode(11, OUTPUT); //LED ROUGE
    pinMode(12, OUTPUT); //LED WHITE
    pinMode(pomp, OUTPUT); // Signal de sortie pour activer ou non la pompe

    pinMode(ECHO_PIN, INPUT);
    pinMode(TRIGGER_PIN, OUTPUT);
    digitalWrite(TRIGGER_PIN, LOW); // La broche TRIGGER doit être à LOW au
repos

    }

void loop()
{
    lcd.clear(); // clear display ////////////////////////////////////////
DEBUT//////////////////////////////////////
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("SMART GREEN HOUSE");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("AUTOMATIC SYSTEME");
    delay(5000);

//////////////////////////////////////DHT11//////////////////////////////////////
//////////////////////////////////////

    float h_1 = dht_1.readHumidity(); // Humidité relative
    float t_1 = dht_1.readTemperature(); // Temperature en degres Celsius
    float h_2 = dht_2.readHumidity(); // Humidité relative
    float t_2 = dht_2.readTemperature(); // Temperature en degres Celsius
    lcd.print("T:");
    lcd.print(t_1);

    lcd.print(" H:");
    lcd.print(h_1);
    if(t_1 > maxTemp)
    {
        digitalWrite(Venti, HIGH);
    }
    else
    {
        digitalWrite(Venti, LOW);
    }
}

```

```

    }

    if(t_1 > maxTemp2) {

    for(pos = 0; pos < 180; pos += 1) { // goes from 0 degrees to 180 degrees, 1
    degree steps
        servo1.write(pos);           // tell servo to go to position in
variable 'pos'
        servo2.write(pos);           // tell servo to go to position in
variable 'pos'
        delay(15);                   // waits 15ms for the servo to reach the
position
    }

    } else
    {

        for(pos = 180; pos>=1; pos-=1) { // goes from 180 degrees to 0 degrees
        servo1.write(pos);           // tell servo to go to position in
variable 'pos'
        servo2.write(pos);           // tell servo to go to position in
variable 'pos'
        delay(15);                   // waits 15ms for the servo to reach the
position
    }

}

    Serial.print(" Humidity 1: ");
    Serial.print(h_1);
    Serial.print(" %\t");
    Serial.print("Temperature 1: ");
    Serial.print(t_1);
    Serial.println(" *C ");
    Serial.print(" Humidity #2: ");
    Serial.print(h_2);
    Serial.print(" %\t");
    Serial.print("Temperature #2: ");
    Serial.print(t_2);
    Serial.println(" *C ");

```

```

/*-----niveau d'eau -----
-----*/
/* 1. Lance une mesure de distance en envoyant une impulsion HIGH de 10µs sur
la broche TRIGGER */
digitalWrite(TRIGGER_PIN, HIGH);
delayMicroseconds(10);
digitalWrite(TRIGGER_PIN, LOW);

/* 2. Mesure le temps entre l'envoi de l'impulsion ultrasonique et son écho
(si il existe) */
long measure = pulseIn(ECHO_PIN, HIGH, MEASURE_TIMEOUT);
/* 3. Calcul la distance à partir du temps mesuré */
float distance_mm = measure / 2.0 * SOUND_SPEED;

/* Affiche les résultats en mm, cm et m */
Serial.print(F("Distance: "));
Serial.print(distance_mm);
Serial.print(F("mm ("));
Serial.print(distance_mm / 10.0, 2);
Serial.print(F("cm, "));
Serial.print(distance_mm / 1000.0, 2);
Serial.println(F("m"));

    if (distance_mm <40) {digitalWrite(11, LOW); digitalWrite(12, HIGH);} //
reservoir plein
    if (distance_mm >160 ) {digitalWrite(11, HIGH); digitalWrite(12, LOW);} //
reservoir vide
/* Délai d'attente pour éviter d'afficher trop de résultats à la seconde */
delay(10000);

if (distance_mm < 40) {
    // La valeur est inférieure à 40 mm, donc 100%
    Serial.println("RESERVOIRE: plein (100%");
} else if (distance_mm > 160) {
    // La valeur est supérieure à 160 mm, donc 0%
    Serial.println("RESERVOIRE: vide (0%)");
} else {
    // La valeur est comprise entre 40 mm et 160 mm, conversion en pourcentage
    int pourcentage = map(distance_mm, 160, 40, 0, 100);
    Serial.print("RESERVOIRE: ");
    Serial.print(pourcentage);
    Serial.println("%");
    lcd.setCursor(10, 1);
    lcd.print("R:");
    lcd.print(pourcentage);
    lcd.print("%");
}
}

```

```
////////////////////////////////////// SENSOR HULIDITY SOIL//////////////////////////////////////  
//////////////////////////////////////  
/  
int sensorVal = analogRead(A0);  
int percentageHumidity = map(sensorVal, wet, dry, 100, 0);  
lcd.setCursor(0, 1);  
lcd.print("H_Sol:");  
lcd.print(percentageHumidity);  
  
Serial.print("humidity_soil:");  
Serial.print(percentageHumidity);  
Serial.print("%");  
delay(60000); // chaque 10 min lecture de teneur en eau  
  
if(percentageHumidity < 30) // besoin d'eau  
{  
    Serial.println(" pump on");  
    digitalWrite(pomp,HIGH);  
}  
  
if(percentageHumidity >75) // sol saturer  
{  
    Serial.println("pump off");  
    digitalWrite(pomp,LOW);  
}  
  
}
```