



وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
جامعة عبد الحميد بن باديس مستغانم  
Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem  
كلية العلوم والتكنولوجيا  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département de Génie Électrique



N° d'ordre : M ...../GE/2024

## MEMOIRE

Présenté pour obtenir le diplôme de  
**MASTER EN ELECTRONIQUE**  
Option : électronique des systèmes embarqués

Par

DJEMIL PACHA Fairouz

Et

EL-HOUAT Belkacem Ahmed

### Conception d'un système d'irrigation intelligent

Soutenu le 26/06/2024

Devant le jury composé de :

Présidente :	Mme. MIMI Malika	Prof	Université de Mostaganem
Examinatrice:	M <sup>elle</sup> BENDANI Djazia	MAA	Université de Mostaganem
Encadreur :	Mr. Benaouali Mohamed	MAA	Université de Mostaganem
Co-Encadreur :	Mr. ARBAOUI Mohamed	MCA	Université de Mostaganem
Co-Encadreur :	Mr. BENTOUMI Mohamed	MCA	Université de Mostaganem
Co-Encadreur :	Mr Benouali abdelhak	MAA	Université de Mostaganem

Année Universitaire 2023/2024

## Remercîment

*Nous tenons à remercier sincèrement nos encadreurs :*

*« M. BENOUALI Mohamed », « M. BENTOUMI Mohamed »,  
« M. BENOUALI Abdelhak » et « M. ARBAOUI Mohamed » et  
d'avoir accepté de nous dirigerait pour tous les conseils et  
informations qu'ils Nous ont fournis.*

*Nous remercions les membres du jury pour cet honneur  
qu'ils nous font en jugeant cette humble œuvre.*

*Enfin, nous n'oublions pas nos enseignants qui ont*

*Supervisé notre enseignement tout au long du cycle d'études, et un  
grand merci également à tous ceux qui ont contribué directement ou  
indirectement à l'aboutissement de ce travail.*

## Dédicaces

Nous tenons à dédier ce travail à nos chers parents qui n'ont jamais cessé de formuler des prières à notre égard, de nous soutenir et de nous épauler pour que nous puissions atteindre nos objectifs.

À nos sœurs et nos amis, pour leur soutien moral et leurs

conseils précieux tout au long de nos études.

À tous ceux qui nous ont encouragés tout au long de notre

cursus.

## ملخص

التكنولوجيا الجديدة، ولا سيما إنترنت الأشياء (IoT) ، تُحدث تحولاً في الزراعة التقليدية. تقترح هذه الأطروحة وتختبر نظامًا ذكيًا قائمًا على إنترنت الأشياء لمراقبة والتحكم في البيئة الزراعية بهدف زيادة الإنتاج، وتحسين استهلاك المياه والطاقة، وتقليل جهود المزارعين. يستخدم النظام شبكة من أجهزة الاستشعار منخفضة التكلفة المثبتة في دفيئة لجمع بيانات في الوقت الفعلي حول درجة الحرارة ورطوبة التربة، ويتم نقل هذه المعلومات عبر الواي فاي. تُرسل هذه البيانات إلى وحدة معالجة (ESP32) عبر اتصال سلكي. يمكن للمستخدمين مراقبة والتحكم في البيئة الزراعية عن بُعد باستخدام واجهة Arduino Cloud. يركز المشروع على تصميم وتنفيذ نظام ذكي لإدارة الري الآلي في دفيئة زراعية. ينقسم هذا النظام إلى جزئين رئيسيين: الجزء التشغيلي (الدفيئة والمحصول المزروع) والجزء التحكم (النظام الإلكتروني القابل للبرمجة). يتطلب الجزء التشغيلي قياس درجة الحرارة ورطوبة التربة، بينما يتولى الجزء التحكم، السهل الاستخدام والمتصل بالإنترنت، إدارة الري والتهوية في الدفيئة. باختصار، يطور هذا المشروع جهازًا قائمًا على إنترنت الأشياء للزراعة في الدفيئات، يقيس درجة الحرارة ورطوبة التربة ويتحكم في الري والتهوية، بهدف تحسين الإنتاجية وكفاءة الطاقة

الكلمات المفتاحية : serre, irrigation, esp32, IoT, Arduino Cloud

## **Résumé**

L'agriculture traditionnelle est en pleine transformation grâce aux nouvelles technologies, notamment l'Internet des Objets (IoT). Ce projet propose et teste un système intelligent basé sur l'IoT pour surveiller et contrôler un environnement agricole, avec pour objectifs d'augmenter la production, d'optimiser la consommation d'eau et d'énergie, et de réduire les efforts des agriculteurs.

Le système utilise un réseau de capteurs à faible coût installé dans une serre pour recueillir des données en temps réel sur la température et l'humidité du sol, communiquant ces informations via wifi. Ces données sont transmises à une unité de traitement (ESP32) via une communication série. Les utilisateurs peuvent surveiller et contrôler l'environnement agricole à distance à l'aide de l'interface Arduino Cloud.

Le projet se concentre sur la conception et la réalisation d'un système intelligent de gestion automatique de l'irrigation d'une serre agricole. Ce système se divise en deux parties principales : la partie opérative (la serre et le produit cultivé) et la partie commande (le système électronique programmable). La partie opérative nécessite la mesure de la température et de l'humidité du sol, tandis que la partie commande, simple d'utilisation et connectée à Internet, gère l'irrigation et la ventilation de la serre.

En résumé, ce projet développe un dispositif IoT pour l'agriculture en serre, mesurant la température et l'humidité du sol et contrôlant l'irrigation et la ventilation, afin d'améliorer la productivité et l'efficacité énergétique.

***Mot clé*** : serre, irrigation, esp32, IoT, Arduino Cloud

## **Abstract**

Traditional agriculture is undergoing significant transformation thanks to new technologies, particularly the Internet of Things (IoT). This project proposes and tests an intelligent system based on IoT to monitor and control an agricultural environment, with goals of increasing production, optimizing water and energy consumption, and reducing farmers' efforts.

The system uses a network of low-cost sensors installed in a greenhouse to collect real-time data on temperature and soil humidity, transmitting this information via WiFi. These data are sent to a processing unit (ESP32) through serial communication. Users can remotely monitor and control the agricultural environment using the Arduino Cloud interface.

The project focuses on designing and implementing a smart system for automatic irrigation management in a greenhouse. This system is divided into two main parts: the operative part (the greenhouse and the cultivated product) and the control part (the programmable electronic system). The operative part requires measuring temperature and soil humidity, while the user-friendly control part connected to the internet manages irrigation and ventilation in the greenhouse.

In summary, this project develops an IoT device for greenhouse agriculture, measuring temperature and soil humidity and controlling irrigation and ventilation to enhance productivity and energy efficiency.

***Key word:*** serre, irrigation, esp32, IoT, Arduino Cloud

## Table des matières

Remercîment .....	i
Dédicaces .....	ii
ملخص.....	iii
Résumé.....	iv
Abstract .....	v
Table des matières.....	vi
Liste des figures .....	viii
Liste des Tableaux.....	x
Liste d'abréviation : .....	xi
Introduction générale : .....	1
Chapitre I : Généralités sur les serres intelligentes et l'irrigation intelligente .....	2
I-1 Introduction .....	2
I-2 Historique de serre intelligente.....	2
I-3 Les types de serre : .....	3
I-4 Avantages et inconvénients de la serre intelligente.....	5
I-5 Irrigation intelligente .....	8
I-5-1 Systèmes traditionnels d'irrigation .....	9
I-5-2 Apparition des systèmes automatisés :.....	9
I-5-3 Introduction de la technologie IoT :.....	9
I-5-4 Utilisation de l'analyse de données : .....	9
I-5-5 Systèmes basés sur la demande :.....	9
I-5-6 Gestion à distance et applications mobiles : .....	9
I-5-7 Utilisation de la télédétection :.....	9
I-5-8 Les conditions climatiques selon le stade végétatif [8]:.....	13
I-6 Conclusion .....	14
Chapitre II : Architecture matérielle et logicielle .....	15
II-1 Introduction : .....	15
II-2 Partie commande : .....	15
II-2-1 L'unité de traitement :.....	16
II-2-1-1 Les caractéristiques de esp 32 : .....	17
II-2-2 Les capteurs .....	18
II-2-2-1 Le capteur de température .....	18

## Table des matières

---

II-2-2-2 Les caractéristiques :	18
II-2-2-3 La communication one_wire :	19
II-2-2-4 Les principes fondamentaux de la communication One-Wire :	19
II-2-2-5 Le capteur d'humidité	20
II-2-2-6 Caractéristiques :	20
II-2-2-7 LDR	21
II-2-2-8 Caractéristiques :	21
II-2-2-9 Fonctionnement :	21
II-2-3 Les actionneurs	22
II-2-3-1 La pompe	22
II-2-3-2 Le Ventilateur	22
II -3- Partie logicielle	24
II-4 Conclusion	25
Chapitre III : implémentation du système	26
III-1 Introduction :	26
III-2 Cahier de charges :	26
III-3 Description de système	27
III-4 Organigramme du programme implémenté dans l'ESP32	28
III-5 Les données utilisées dans notre projet	32
III-6 Description détaillé du fonctionnement	32
A -Mode Manuel	32
B- Mode Automatique	32
III-7 Partie configuration du Cloud :	33
III-7-1 Description des étapes de conception d'un IHM sur PC sous ArduinoIoT Cloud :	34
III-7-2 Les étapes de la configuration du Cloud :	34
III-8 Présentation de la maquette de la serre :	36
III-9 Explication du Système proposé	37
III-10 Résultats de tests	38
III-11 Conclusion	39
Conclusion générale et perspectives	40
Références Bibliographiques :	42

## Liste des figures

Figure 1 : une serre intelligente de tomate .....	2
Figure 2: Irrigation intelligente .....	10
Figure 3: Irrigation goutte à goutte .....	11
Figure 4 : différent type des plantes considères en irrigation intelligente .....	13
D'un point de vue matériel, un système automatique est composé de trois éléments essentiels : de capteurs, d'actionneurs et d'une unité de traitement. La Figure 5 présente le schéma bloc de notre système de commande réalisé dans notre projet .....	15
Figure 6 : schéma bloc du système de commande .....	15
Figure 7 : schéma de câblage de notre système .....	16
Figure 8:ESP 32 .....	17
Figure 9: le capteur DS18B20.....	18
Figure 10: schéma de relier DS18B20 avec $\mu$ P .....	20
Figure 11: capteur d'humidité de sol .....	21
Figure 12: LDR .....	22
Figure 13: la pompe .....	22
Figure 14: ventilateur .....	23
Figure 15: relais.....	23
Figure 16:IOT Arduino Cloud .....	25
Figure 17 : Structure générale du système proposé .....	27
Figure 18 : schéma globale de la serre et le système d'irrigation .....	28
Figure 19 : Organigramme du programme implémenté dans l'ESP32 .....	29
Figure 20 : Organigramme du mode automatique .....	30
Figure 21 : Organigramme du mode manuel .....	31
Figure 22 : schéma bloc de partie logicielle.....	33
Figure 23 : interface IHM via ArduinoIoT Cloud.....	34
Figure 24 : Exemple d'inscription sur le Cloud.....	34
Figure 25 : Exemple de définition des variables .....	35
Figure 26 : Création d'un tableau de bord .....	35
Figure 27 : création de la liaison .....	36
Figure 28 : inetrface finale .....	36
Figure 29 : Présentation de la serre .....	37
Figure 30 : l'installation de la serre et circuit du câblage .....	38

## Liste des figures

---

Figure 31 : Résultats du contrôle de climat et le contrôle d'irrigation en mode automatique .....	39
Figure 32 : Résultats du contrôle de climat et le contrôle d'irrigation en mode manuel	39

## Liste des Tableaux

Tableau 1 : les types de serre .....	3
Tableau 2 : les types de serre (suite) .....	4
Tableau 3 : les types de serre (suite & fin).....	5
Tableau 4 : les avantages et les inconvénients de la serre intelligente.....	5
Tableau 5 : les types d'irrigation.....	7
Tableau 6: Les conditions climatiques de tomate en Algérie .....	13
Tableau 7: récapitulatif de la durée du cycle de la tomate en fonctions des différentes étapes culturales et biologiques de la plantes .....	14
Tableau 8 : les pins de chaque composant .....	16
Tableau 9 : Tableau descriptive des différentes variables .....	31
Tableau 10 : Les conditions climatiques de tomate en Algérie .....	32

### Liste d'abréviation :

IOT	Internet of thing
WIFI	Wireless Fidelity
LDR	Light Dependent Resistor
PC	Personnel computer
H	Humidité
T	Température
Humid_moy	Humidité moyenne
Temp_moy	Température moyenne
PLC	contrôleur logique programmable
DO	Digital output
AO	Analogue output
IHM	Interface homme machine
LED	Light emitting diode
IA	Intelligence artificielle

---

## **Introduction générale :**

L'automatisation des systèmes d'irrigation de serre est devenue un élément crucial dans le paysage agricole moderne en raison de ses nombreux avantages en termes d'efficacité, de rendement et de durabilité. Ce mémoire vise à placer cette recherche dans son contexte général, en mettant en évidence les défis actuels de la gestion des serres et la nécessité croissante de développer des approches automatisées pour optimiser la production agricole. Les serres offrent un environnement contrôlé pour la culture des plantes, mais la gestion manuelle des paramètres tels que l'irrigation et la ventilation peut s'avérer complexe et propice aux erreurs. L'automatisation offre une solution prometteuse en permettant le contrôle précis de ces paramètres, en temps réel et de manière adaptative, en utilisant des capteurs et des systèmes de contrôle intelligents.

Les objectifs de ce projet sont multiples et ambitieux. Il s'agit de concevoir une serre de tomates capable de créer un environnement agricole optimal grâce à un système d'irrigation intelligent. Cela permettra de maximiser le rendement tout en minimisant la consommation d'eau par le contrôle des paramètres tels que la température, l'humidité ambiante et l'humidité du sol. Cela implique la mise en place d'une architecture de système intégré basée sur l'ESP32, un microcontrôleur largement utilisé pour ses capacités de traitement et de connectivité. Cette architecture doit permettre la surveillance en temps réel les conditions environnementales telles que la température et l'humidité, ainsi que le contrôle des opérations d'irrigation et de ventilation.

Enfin, l'évaluation des performances du système constituera une étape cruciale, avec des critères tels que l'efficacité d'irrigation, la croissance des tomates et la réduction des coûts opérationnels.

Ce mémoire est constitué comme suit :

Dans le chapitre 1 on va présenter les généralités sur les serres intelligentes et la culture de la tomate.

Dans le chapitre 2 on trouvera l'architecture matérielle et logicielle

Enfin, dans le chapitre 3 présente l'implémente de notre système d'irrigation intelligente et on termine par une conclusion et des perspectives ;

## **Chapitre I : Généralités sur les serres intelligentes et l'irrigation intelligente**

### **I-1 Introduction**

L'agriculture intelligente présente l'application de technologie avancée pour améliorer l'efficacité, la durabilité et la productivité, pour cela il y a la serre intelligente. On va réaliser une serre de tomate pour créer un environnement agricole optimale par l'irrigation intelligente pour maximiser le rendement et minimiser la consommation d'eau par le contrôle des paramètres (température, humidité ambiante et humidité de sol) [1].



*Figure 1 : une serre intelligente de tomate*

### **I-2 Historique de serre intelligente**

Dans les années 2000, la technologie agricole intelligente a vu le jour. Cependant, les premiers systèmes de surveillance et de contrôle automatisés commencent à émerger dans l'agriculture, permettant aux agriculteurs de surveiller et de réguler les conditions environnementales à distance.

#### **Les années 2010 : Essor des serres intelligentes.**

Une avancée dans les capteurs, l'automatisation et l'Internet des objets (IoT) conduit au développement de serres intelligentes. Ces serres intègrent des capteurs pour mesurer des paramètres tels que la température, l'humidité, la lumière et les niveaux de nutriments du sol.

#### **Au milieu des années 2010 : Intégration de l'intelligence artificielle**

L'intelligence artificielle (IA) commence à être intégrée aux systèmes de serre intelligente pour améliorer la prise de décision et l'efficacité opérationnelle. Les modèles prédictifs basés sur l'IA aident à anticiper les besoins des plantes et à optimiser les ressources.

**La période 2010-2015 : la croissance des startups agritech**

De nombreuses startups spécialisées dans l'agriculture intelligente commencent à émerger. Elles développent des technologies pour rendre les serres plus efficaces en utilisant des données en temps réel, des algorithmes et des systèmes de contrôle automatisés.

**Années 2018-2020 : Adoption accrue**

Les agriculteurs commencent à adopter massivement les technologies de serre intelligente en raison de la promesse d'une production plus durable, d'une utilisation efficace des ressources et d'une augmentation de la productivité.

**2020-2024 : Développements continus**

Les recherches et les développements se poursuivent pour améliorer la précision des systèmes de serre intelligente. L'intégration de technologies telles que la robotique agricole, les drones et les systèmes de gestion agricole contribue à rendre ces serres encore plus sophistiquées.

**I-3 Les types de serre :**

Il existe plusieurs types de serres, dont chacune a été conçue pour répondre aux besoins spécifiques en matière de culture et d'environnement.

*Tableau 1 : les types de serre*

Type	Description	Image
<b>Serres en verre</b>	Ces serres utilisent des panneaux en verre pour couvrir la structure. Le verre permet une excellente transmission de la lumière, mais peut être plus coûteux et moins isolant que d'autres matériaux.	

Tableau 2 : les types de serre (suite)

Type	Description	Image
<b>Serres en polycarbonate</b>	Les serres en polycarbonate utilisent des feuilles de polycarbonate double paroi pour l'enveloppe. Ce matériau offre une bonne isolation tout en permettant une transmission de la lumière adéquate. Il est également plus léger et moins cher que le verre.	
<b>Serres en film plastique</b>	Ces serres utilisent un film plastique comme matériau de couverture. Les films plastiques modernes sont conçus pour être durables, offrir une bonne isolation et permettre une transmission de la lumière appropriée. Les serres en film plastique sont souvent plus abordables que celles en verre ou en polycarbonate.	
<b>Serres à structure tunnel</b>	Ces serres ont une forme en arc et sont souvent utilisées pour des cultures saisonnières ou des cultures spécifiques. Elles sont généralement moins coûteuses et plus faciles à déplacer ou à démonter.	

Tableau 3 : les types de serre (suite & fin)

Type	Description	Image
<b>Serres à structure gothique</b>	La structure de ce type de serre présente une forme de demi-cercle ou de dôme, ce qui améliore la circulation de l'air et permet une meilleure résistance aux vents forts. Elles sont souvent utilisées dans des régions soumises à des conditions climatiques difficiles.	
<b>Serres hydroponiques</b>	Ces serres sont spécialement conçues pour la culture hors sol, où les plantes poussent sans sol, souvent suspendues dans des solutions nutritives. Elles peuvent utiliser différents types de matériaux de couverture. Le choix du type de serre dépend des besoins spécifiques de la culture, du climat local, des ressources disponibles et des objectifs de production. Chaque type de serre présente des avantages et des inconvénients	

#### I-4 Avantages et inconvénients de la serre intelligente

Le tableau suivant représente les avantages et les inconvénients de la serre intelligente qui nous sert à prendre en considération dans cette étude.

Tableau 4 : les avantages et les inconvénients de la serre intelligente

Les avantages	Les inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Contrôle précis de l'environnement</b> Les serres intelligentes utilisent des</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Coût initial élevé</b> La mise en place d'une serre</li> </ul>

capteurs et des systèmes automatisés pour contrôler précisément les conditions environnementales telles que la température, l'humidité, la lumière et la qualité de l'air. Cela permet d'optimiser les conditions de croissance pour les plantes, ce qui peut améliorer considérablement les rendements.

- **Utilisation efficace des ressources**

En contrôlant les paramètres environnementaux, les serres intelligentes permettent une utilisation plus efficace de l'eau, des nutriments et de l'énergie. Par exemple, l'irrigation peut être optimisée en fonction des besoins réels des plantes, réduisant ainsi le gaspillage d'eau.

- **Protection contre les conditions météorologiques défavorables**

Les serres offrent une protection contre les conditions météorologiques extrêmes telles que le gel, le vent fort, la grêle et les fortes pluies. Les serres intelligentes peuvent anticiper ces conditions et prendre des mesures pour protéger les cultures, réduisant ainsi les pertes de récolte.

- **Culture toute l'année**

En contrôlant l'environnement à l'intérieur de la serre, il est possible de cultiver des plantes toute l'année, indépendamment des saisons ou des conditions météorologiques extérieures. Cela permet d'obtenir des rendements plus élevés et une production constante.

- **Protection contre les ravageurs et les maladies**

Les serres offrent une protection physique contre les ravageurs et les maladies, et l'utilisation de technologies intelligentes peut permettre une détection précoce des problèmes et une intervention rapide pour les traiter.

- **Optimisation de l'espace**

Les serres permettent une utilisation efficace de l'espace en maximisant la densité de plantation. De plus, les systèmes de culture verticale et hydroponique peuvent être utilisés pour augmenter encore la productivité.

- **Qualité et uniformité des produits**

intelligente, avec tous les capteurs, systèmes automatisés, et technologies avancées, peut entraîner des coûts initiaux élevés. Les agriculteurs doivent investir dans des équipements spécialisés et des technologies de pointe.

- **Maintenance complexe**

Les systèmes intelligents peuvent nécessiter une maintenance complexe et régulière. Les agriculteurs doivent être formés pour utiliser et entretenir les technologies, et la panne d'un composant peut affecter le fonctionnement global du système.

- **Dépendance technologique**

Les serres intelligentes dépendent fortement de l'électricité, des logiciels et de la connectivité réseau. En cas de panne de courant, de problèmes logiciels ou de perte de connexion, le fonctionnement de la serre peut être compromis.

- **Besoin de compétences spécialisées**

Les agriculteurs doivent acquérir des compétences spécialisées pour utiliser efficacement les technologies intelligentes. Cela peut nécessiter une formation approfondie et une adaptation aux nouvelles méthodes de gestion agricole.

- **Obsolescence rapide des technologies**

Les avancées rapides dans le domaine des technologies agricoles peuvent rendre les équipements existants obsolètes relativement rapidement. Cela peut nécessiter des mises à niveau fréquentes pour rester à jour.

- **Impact environnemental des composants électroniques**

La fabrication et l'élimination des composants électroniques peuvent avoir un impact environnemental négatif. La gestion appropriée des déchets électroniques est essentielle pour minimiser cet impact.

<p>En contrôlant les conditions de croissance, les serres intelligentes peuvent produire des produits de meilleure qualité et plus uniformes. Cela peut être particulièrement important pour les cultures de haute valeur telles que les fruits et légumes de serre.</p> <p>Réduction de l'empreinte environnementale : En réduisant les besoins en eau, en énergie et en intrants agricoles, les serres intelligentes peuvent contribuer à réduire l'empreinte environnementale de l'agriculture, tout en augmentant la durabilité globale du système agricole.</p>	
--	--

La serre intelligente a des systèmes embarqués différents, et parmi ces systèmes, on a le système d'irrigation.

Tableau 5 : les types d'irrigation

Type	Description	Image
<p><b>Irrigation de surface</b></p>	<p>Il y a trois principaux types d'irrigation de surface : le système de bassin, le système de bordure et le système de sillon.</p> <p>Tous ces systèmes impliquent l'inondation et l'irrigation des champs avec de l'eau. Ce système achemine l'eau vers les cultures par des canaux, des bassins ou des sillons. Bien qu'il s'agisse d'un système d'irrigation bon marché, il nécessite un terrain plat et bien nivelé ainsi qu'une grande disponibilité d'eau[12]</p>	
<p><b>Irrigation par aspersion</b></p>	<p>L'eau est pulvérisée sous forme de gouttelettes fines à travers des tuyaux ou des canalisations. C'est l'un des systèmes d'irrigation les plus courants pour les pelouses, les jardins et certaines cultures agricoles[12].</p>	

<p><b>Irrigation goutte-à-goutte</b></p>	<p>L'eau est fournie directement à la base de chaque plante par des tuyaux ou des tubes perforés. Cette méthode permet une utilisation plus efficace de l'eau en réduisant les pertes par évaporation.</p>	
<p><b>Irrigation à pivot central</b></p>	<p>Elle comprend l'irrigation goutte-à-goutte et d'autres méthodes où l'eau est appliquée directement autour de la zone racinaire des plantes. Elle minimise les pertes d'eau en ciblant spécifiquement les zones où les plantes en ont besoin.</p>	
<p><b>Irrigation sous pression</b></p>	<p>Utilise une pompe pour maintenir l'eau sous pression dans le système d'irrigation, permettant une distribution plus uniforme de l'eau sur le terrain.</p>	
<p><b>Irrigation par sub-irrigation</b></p>	<p>L'eau est appliquée sous la surface du sol, permettant une absorption directe par les racines des plantes. Cette méthode est souvent utilisée dans les serres.</p>	
<p><b>Irrigation par canaux</b></p>	<p>L'eau est acheminée à travers des canaux ou des fossés pour être distribuée sur les champs. C'est une méthode traditionnelle qui peut encore être utilisée dans certaines régions</p>	

### 1-5 Irrigation intelligente

L'irrigation intelligente est une approche moderne de gestion de l'eau dans l'agriculture qui vise à optimiser l'utilisation de l'eau en utilisant des technologies et des données pour

prendre des décisions éclairées. Voici un aperçu de l'évolution et des principaux aspects de l'irrigation intelligente [2] :

#### **1-5-1 Systèmes traditionnels d'irrigation**

Historiquement, l'irrigation reposait souvent sur des méthodes traditionnelles telles que l'irrigation par inondation, le goutte-à-goutte simple, ou des systèmes basés sur des calendriers fixes. Ces méthodes peuvent souvent être inefficaces en termes d'utilisation de l'eau.

#### **I-5-2 Apparition des systèmes automatisés :**

Dans les années 1990 et au début des années 2000, l'automatisation des systèmes d'irrigation commence à gagner en popularité. Des minuteries programmables et des capteurs basiques sont utilisés pour améliorer la précision de l'irrigation.

#### **I-5-3 Introduction de la technologie IoT :**

Au fil du temps, l'Internet des objets (IoT) est devenu une partie intégrante de l'irrigation intelligente. Des capteurs connectés surveillent en temps réel des paramètres tels que l'humidité du sol, la température, la météo et d'autres données cruciales.

#### **I-5-4 Utilisation de l'analyse de données :**

L'analyse de données et l'intelligence artificielle sont de plus en plus intégrées pour traiter les informations collectées par les capteurs. Cela permet d'optimiser les plans d'irrigation en fonction des besoins spécifiques des cultures et des conditions environnementales.

#### **I-5-5 Systèmes basés sur la demande :**

Les systèmes d'irrigation intelligente passent de calendriers fixes à des modèles basés sur la demande. Cela signifie que l'irrigation est déclenchée en fonction des besoins réels des plantes plutôt que selon un calendrier prédéfini ; la figure 2 nous montre l'aspect d'Irrigation intelligente.

#### **I-5-6 Gestion à distance et applications mobiles :**

Les agriculteurs peuvent désormais surveiller et contrôler leurs systèmes d'irrigation à distance via des applications mobiles. Cela permet une gestion plus flexible et réactive, améliorant l'efficacité de l'irrigation [4].

#### **I-5-7 Utilisation de la télédétection :**

Certains systèmes d'irrigation intelligents intègrent des données de télédétection provenant de satellites pour évaluer les conditions des cultures sur de vastes étendues et adapter les pratiques d'irrigation en conséquence [6].

L'irrigation intelligente contribue à économiser l'eau, à optimiser la production agricole et à réduire les coûts. En utilisant des technologies avancées, les agriculteurs peuvent prendre des décisions plus informées pour gérer efficacement la ressource vitale qu'est l'eau.



*Figure 2: Irrigation intelligente*

Avec les conditions climatiques, on doit choisir le type d'irrigation correspond pour donner une production de qualité.

Dans notre serre, on utilise l'irrigation goutte à goutte (voir figure 3) :

L'irrigation goutte à goutte est une méthode d'irrigation précise et efficace qui permet de fournir de l'eau directement aux racines des plantes de manière contrôlée. Plutôt que de disperser l'eau sur l'ensemble de la surface du sol, l'irrigation goutte à goutte délivre l'eau directement là où elle est nécessaire [12].

Cette technique repose sur un système de tuyaux, de tubes et de gouteurs positionnés stratégiquement autour des plantes. Ces gouteurs peuvent être ajustables pour réguler le débit d'eau en fonction des besoins spécifiques de chaque plante. L'eau est acheminée depuis une source centrale (comme un réservoir d'eau ou un système d'approvisionnement en eau) à travers les tuyaux vers les gouteurs, qui distribuent ensuite l'eau de manière contrôlée.



*Figure 3: Irrigation goutte à goutte*

### Avantages

- ✓ **Économie d'eau** : L'irrigation goutte-à-goutte est très efficace dans l'utilisation de l'eau, car elle délivre directement l'eau aux racines des plantes, réduisant ainsi les pertes par évaporation et limite l'humidification inutile du sol entre les plantes.
- ✓ **Économie d'énergie** : Ce système nécessite moins d'énergie que d'autres méthodes, car il utilise des pressions d'eau plus basses, ce qui réduit les besoins en pompes.
- ✓ **Optimisation de l'irrigation** : La précision de l'irrigation goutte-à-goutte permet d'ajuster facilement la quantité d'eau fournie à chaque plante en fonction de ses besoins spécifiques. Cela permet d'optimiser la croissance des cultures.
- ✓ **Réduction des maladies** : En fournissant de l'eau directement à la base des plantes sans mouiller les feuilles, l'irrigation goutte-à-goutte réduit le risque de développement de maladies fongiques et bactériennes qui peuvent prospérer dans des conditions humides.
- ✓ **Conservation des nutriments** : Cette méthode permet également d'appliquer des fertilisants de manière plus précise, car l'eau est acheminée directement aux racines, maximisant l'absorption des nutriments.
- ✓ **Réduction des mauvaises herbes** : Puisque l'eau n'est appliquée qu'aux zones racinaires des plantes, les mauvaises herbes ont moins de chance de germer et de se développer.
- ✓ **Adaptabilité à diverses cultures** : L'irrigation goutte-à-goutte peut être utilisée pour une variété de cultures, qu'elles soient en rangées, en serre, ou sur des surfaces inclinées.
- ✓ **Économie de main-d'œuvre** : Une fois le système installé, l'irrigation goutte-à-goutte nécessite généralement moins de main-d'œuvre pour son fonctionnement quotidien par rapport à certaines méthodes d'irrigation plus manuelles.

- ✓ **Amélioration du rendement** : En fournissant un approvisionnement régulier et précis en eau, l'irrigation goutte-à-goutte peut contribuer à améliorer le rendement des cultures en favorisant une croissance saine et constante.
- ✓ **Durabilité environnementale** : En réduisant les besoins en eau et en énergie, l'irrigation goutte-à-goutte contribue à la durabilité environnementale, en minimisant les impacts négatifs sur les ressources naturelles.

### Inconvénients

- ✓ **Coût initial élevé** : La mise en place d'un système d'irrigation goutte-à-goutte peut être coûteuse en raison de l'achat de matériel spécialisé, tels que des tuyaux perforés, des goutteurs, des filtres, et des régulateurs de pression.
- ✓ **Obstruction des goutteurs** : Les goutteurs peuvent se boucher en raison de la présence de particules solides, de dépôts minéraux ou de matières organiques dans l'eau, nécessitant un entretien régulier pour assurer un fonctionnement efficace.
- ✓ **Complexité de l'installation** : L'installation initiale d'un système d'irrigation goutte-à-goutte peut être plus complexe que celle d'autres méthodes d'irrigation, en particulier sur des terrains complexes ou pour de grandes surfaces.
- ✓ **Dépendance à l'électricité** : Certains systèmes d'irrigation goutte-à-goutte dépendent de l'électricité pour faire fonctionner des pompes et des systèmes de régulation de pression, ce qui peut entraîner des problèmes en cas de coupure de courant.
- ✓ **Sensibilité aux changements de pression** : Les variations de pression dans le système peuvent affecter la distribution uniforme de l'eau, ce qui nécessite des dispositifs de régulation de pression pour maintenir la constance de l'irrigation.
- ✓ **Difficulté à estimer les besoins en eau** : Estimer correctement les besoins en eau des cultures peut être un défi, et si l'évaluation est incorrecte, cela peut entraîner une sous-irrigation ou une sur-irrigation.
- ✓ **Limitation pour certaines cultures** : Bien que polyvalent, l'irrigation goutte-à-goutte peut ne pas être idéale pour certaines cultures spécifiques ou pour des applications à grande échelle.

Malgré ces inconvénients, il est important de noter que l'irrigation goutte-à-goutte reste une méthode d'irrigation efficace et durable, et la plupart de ces problèmes peuvent être gérés avec, une conception et un entretien appropriés. Choisir le système d'irrigation approprié dépend souvent des caractéristiques spécifiques de l'exploitation agricole et des cultures

La serre de tomate (Figure 1) doit fournir les conditions optimales pour avoir un meilleur rendement avec une économie de tous les choses. Les paramètres que nous allons contrôler et optimiser sont : température ambiante, humidité ambiante et humidité de sol.

La plantation de la tomate passe à par deux étapes : la pépinière et plante en culture (la serre). Cependant, nous réaliserons et suivrons juste la deuxième partie et chaque partie à des stades différents.

Le type de plante considéré dans ce projet et la tomate parce que c'est une plante importante, comme on peut utiliser d'autre plantes seulement que il faut choisir les conditions climatiques adéquates. La figure ci-dessous nous montre plusieurs plantes intéressantes pour ce projet. Dans ce projet on a utilisé comme plante la tomate.



Figure 4 : différent type des plantes considères en irrigation intelligente

#### I-5-8 Les conditions climatiques selon le stade végétatif [8]:

Le tableau ci-dessous représente Les conditions climatiques de tomate en Algérie pour chaque Stade de croissance.

Tableau 6: Les conditions climatiques de tomate en Algérie

Stade de croissance	Température de l'air	Humidité de l'air	Humidité de sol
<b>Germination</b>	20 °C (constante )	60 à 65 %	30%
<b>Enlevage de plants en pépinière</b>	26°C jour 20°C nuit	60 à 65 %	60%
<b>Plante en culture</b>	20 à 23°C jour	60 à 65 %	60%
<b>Floraison</b>	15 à 17°C nuit		
<b>Nouaison</b>	20 à 25 °C jour 15 à 17 °C nuit	60 à 65 %	60%
<b>Maturité</b>	20 à 23 ° C	65 %	60%

Le tableau ci-dessous représente la période de chaque Stade.

*Tableau 7: récapitulatif de la durée du cycle de la tomate en fonctions des différentes étapes culturales et biologiques de la plantes*

Pépinière			Floraison	Nouaison	Maturité	Fin récolte
Levée	Repiquage	Plantation	1 ère fleur	Nouaison	Récolte	Fin récolte
<b>1 semaine</b>	2 semaines	1 à 1,5 mois	1,5 à 3 mois	2 à 3,5 mois	3 à 4,5 mois	3,5 à 7 mois

On a réalisé le système pour les cycles : floraison, nouaison et maturité.

### **1-6 Conclusion**

Le type de serre, la méthode d'irrigation et le contrôle environnemental adéquat des conditions internes d'une serre sont essentiels pour influencer la croissance, la productivité et la qualité des cultures. Dans ce chapitre, nous avons présenté un aperçu global des différents types de serres agricoles. Ensuite, nous avons identifié les paramètres climatiques les plus influents sur le système d'irrigation. De plus, nous avons décrit les divers composants nécessaires à la gestion efficace des serres. Enfin, nous avons étudié quelques méthodes d'irrigation, en particulier celles utilisées dans les serres.

L'irrigation généralement influencées par des facteurs tels que la température, et l'humidité. Par l'irrigation des serres agricoles en utilisant au mieux les ressources d'information disponibles, la technique de fusion de données est utilisée pour intégrer et exploiter l'information multidimensionnelle provenant des différents capteurs.

Le chapitre suivant sera consacré aux fondements théoriques et techniques de la fusion de données.

## Chapitre II : Architecture matérielle et logicielle

### II-1 Introduction :

L'objectif de ce chapitre est de présenter la solution adoptée pour la partie commande du système d'irrigation automatique. Comme tout système programmable, deux aspects sont présentés : les choix matériels et la réalisation du système, ainsi que les outils logiciels utilisés pour l'automatisation du système global.

D'un point de vue matériel, un système automatique est composé de trois éléments essentiels : de capteurs, d'actionneurs et d'une unité de traitement. La Figure 5 présente le schéma bloc de notre système de commande réalisé dans notre projet.

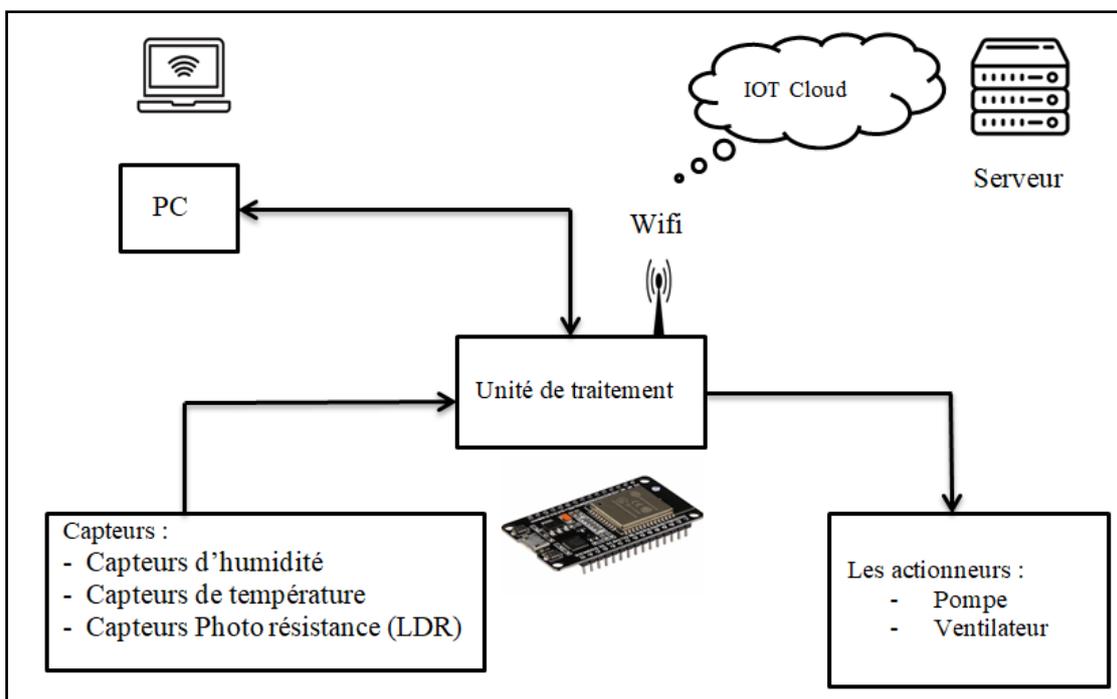


Figure 6 : schéma bloc du système de commande

Le système de commande est composé :

- D'une unité de traitement à base d'un système électronique embarqué ;
- D'un ensemble de capteurs qui permettront la mesurer de la température et de l'humidité du sol ;

D'actionneurs pour la commande de pompes et du système de ventilation

### II-2 Partie commande :

Dans la figure ci-dessous on représente le schéma de câblage de notre système :

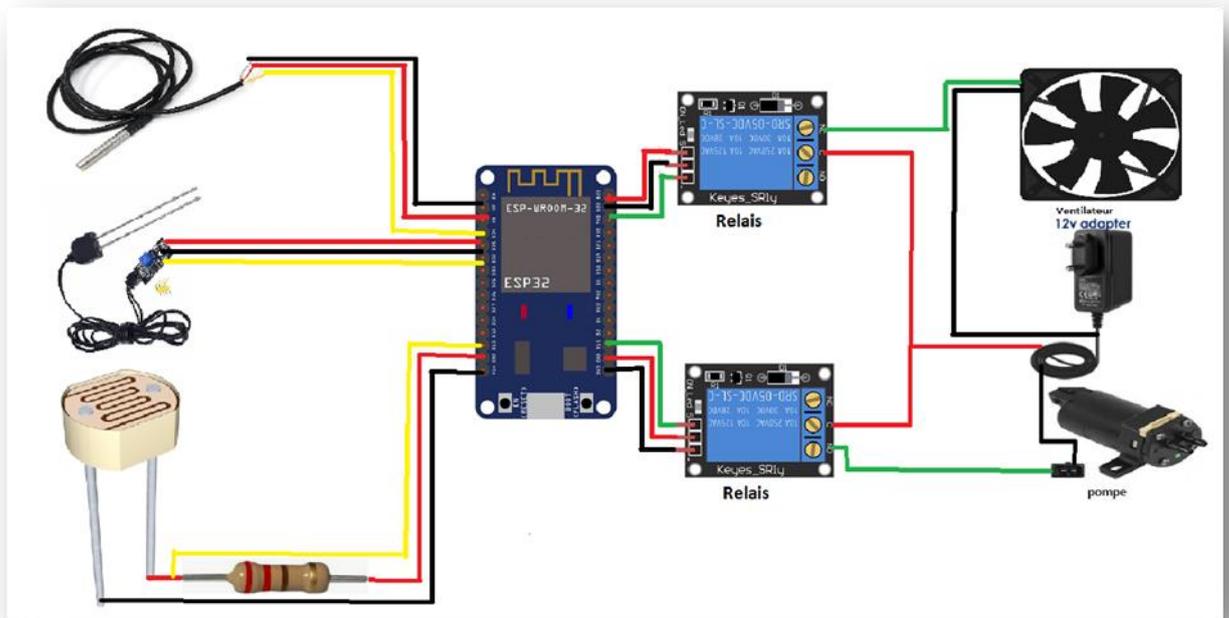


Figure 7 : schéma de câblage de notre système

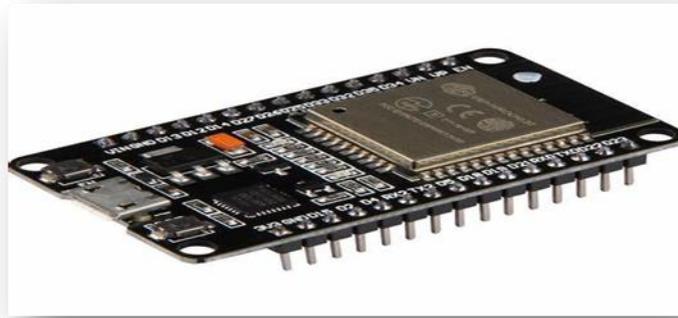
Tableau 8 : les pins de chaque composant

	pin
<b>Capteurs de température</b>	13
<b>Capteurs d'humidité</b>	32, 33 ,34, 35
<b>Relais de pompe</b>	14
<b>Relais de ventilateur</b>	16
<b>LDR</b>	4

### II-2-1 L'unité de traitement :

Il existe différents types d'unités de traitements pour diriger le système d'irrigation : Arduino, Raspberry, ESP 32, contrôleur logique programmable (PLC)...

Notre choix s'est porté sur l'ESP32 qui est un microcontrôleur à faible consommation d'énergie et à haute performance fabriqué par Espressif Systems. Il est largement utilisé dans le domaine de l'Internet des objets (IoT), des projets électroniques et des systèmes embarqués [14].



*Figure 8:ESP 32*

### **II-2-1-1 Les caractéristiques de esp 32 :**

- Architecture Dual-Core.
- Connectivité sans fil intégrée.
- Interfaces et ports riches.
- Support logiciel étendu:

Mémoire : jusqu'à 520 KB de SRAM interne et un support pour la mémoire flash externe.

### **II-2-1-2 Les avantages de esp 32 :**

#### **Multiple Protocols :**

Supporte de nombreux protocoles de communication tels que SPI, I2C, UART, CAN, etc.

#### **Puissance et Performance :**

Double cœur : Il dispose de deux cœurs de processeur, ce qui permet une meilleure gestion multitâche.

Vitesse : Cadencé à des vitesses allant jusqu'à 240 MHz.

Mémoire : Il offre une quantité substantielle de mémoire flash et de RAM.

#### **Fonctionnalités Riches :**

ADC et DAC : Convertisseurs analogique-numérique (ADC) et numérique-analogique (DAC) intégrés.

PWM : Génération de signaux PWM, utile pour le contrôle des moteurs et des LED.

Capteurs : Intégration facile avec divers capteurs grâce aux nombreuses interfaces disponibles.

#### **Faible Coût :**

Économique : Malgré ses nombreuses fonctionnalités, l'ESP32 reste abordable, ce qui le rend idéal pour les projets amateurs et professionnels.

#### **Support et Communauté :**

Documentation : Une documentation riche et bien détaillée est disponible, facilitant l'apprentissage et le développement.

Communauté : Une large communauté d'utilisateurs et de développeurs qui partagent des projets, des bibliothèques et des conseils.

**Énergie :**

Modes basse consommation : Différents modes de veille et de faible consommation pour les applications nécessitant une longue durée de vie sur batterie.

**Compatibilité et Écosystème :**

Arduino IDE : Compatible avec l'IDE Arduino, simplifiant le développement pour ceux qui sont déjà familiers avec cet environnement.

Micropython et Lua : Support de langages de script comme MicroPython et Lua, permettant une programmation plus flexible et rapide.

**II-2-2 Les capteurs**

**II-2-2-1 Le capteur de température**

Le DS18B20 est un capteur de température numérique à haute précision fabriqué par Maxim Integrated. Il est précis, facile à utiliser et polyvalent, largement utilisé dans les projets électroniques, les systèmes de surveillance de la température, les applications météorologiques, les systèmes de contrôle industriels, et bien d'autres [11].



*Figure 9: le capteur DS18B20*

**II-2-2-2 Les caractéristiques :**

Protocole one-Wire: Le DS18B20 utilise une interface de communication One-Wire.

Haute précision: Le DS18B20 offre une précision de mesure élevée avec une résolution de 12 bits.

Large plage de température

Boîtier étanche en acier inoxydable en option.

### **II-2-2-3 La communication one\_wire :**

La communication One-Wire est un protocole de communication série asynchrone qui permet de transférer des données sur un seul fil de données [9], souvent utilisé pour interconnecter des dispositifs électroniques dans des environnements où les ressources sont limitées.

### **II-2-2-4 Les principes fondamentaux de la communication One-Wire :**

Bus One-Wire: La communication One-Wire est basée sur un bus partagé où tous les périphériques sont connectés en parallèle à un seul fil de données. Chaque périphérique est identifié par une adresse unique attribuée en usine ou programmée.

Alimentation parasitaire : Les périphériques One-Wire peuvent être alimentés à travers le même fil de données sur lequel les signaux de communication sont transmis. Ce processus est appelé parasitage et est rendu possible par le fait que les périphériques One-Wire n'ont pas besoin d'une alimentation externe constante.

Signalisation bidirectionnelle : La communication One-Wire est bidirectionnelle, ce qui signifie que les périphériques peuvent à la fois transmettre et recevoir des données sur le même fil. Les données sont codées en modifiant l'état du fil (haute ou basse tension) pendant des périodes définies.

Timing basé sur le temps: La synchronisation des transferts de données est réalisée en utilisant des temporisations précises [9]. Les périphériques One-Wire utilisent des intervalles de temps pour synchroniser la communication et détecter les transitions de données.

Protocole de communication robuste: Le protocole One-Wire incorpore des mécanismes de détection et de correction d'erreur pour assurer la fiabilité de la communication, même dans des environnements bruyants ou sujets à des interférences.

Fonctionnement en mode maître-esclave: Dans un réseau One-Wire, un dispositif maître initie et contrôle la communication avec les dispositifs esclaves connectés au bus. Les dispositifs esclaves répondent aux commandes du maître et transmettent les données demandées.

Dans la communication One-Wire, les données sont transmises sous forme de séquences [10] d'impulsions électriques qui codent les bits individuels.

Circuit de conditionnement du DS18B20 pendant la conversion de température :

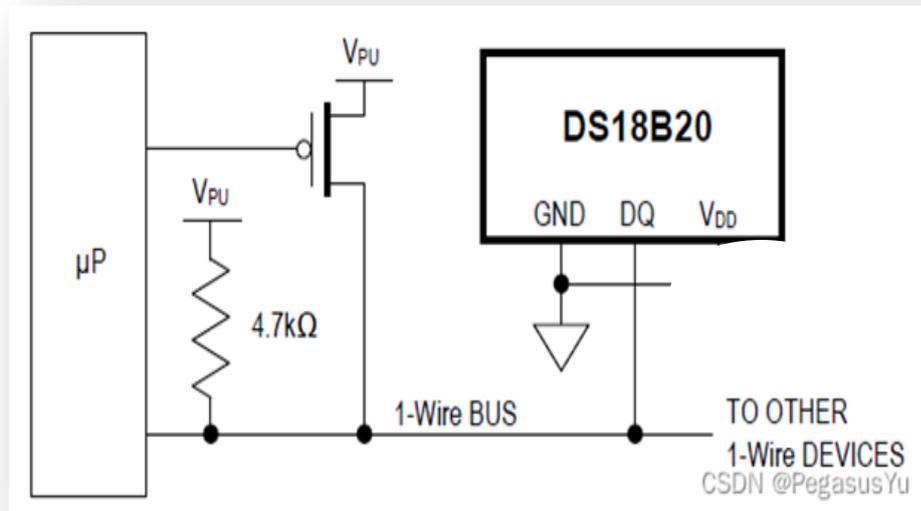


Figure 10: schéma de câblage du DS18B20 avec le  $\mu P$

#### II-2-2-5 Le capteur d'humidité

Ce capteur d'humidité du sol est utilisé pour mesurer l'humidité dans le sol et des matériaux similaires. Le capteur d'humidité du sol est assez simple à utiliser. Les deux longues tiges métalliques exposées fonctionnent comme des sondes pour le capteur, agissant ensemble comme une résistance variable. Plus il y a d'eau dans le sol, meilleure sera la conductivité entre les sondes, ce qui entraînera une résistance plus faible et un signal de sortie plus bas.

Le capteur est livré avec une carte d'interface ayant à la fois une sortie numérique et analogique. Le potentiomètre sur la carte d'interface est utilisé pour régler le seuil de la sortie numérique. Lorsque le niveau d'humidité est inférieur au seuil, la sortie numérique (DO) est réglée sur haut et la LED verte s'éteint, et vice versa lorsque le niveau d'humidité est supérieur au seuil. La broche de sortie analogique est fournie pour une mesure plus précise[10].

Ce capteur d'humidité du sol est idéal pour surveiller un jardin urbain ou le niveau d'eau de votre plante d'intérieur. C'est un outil indispensable pour un jardin connecté ou des projets IoT. Le capteur fonctionne avec une alimentation de 3,3V à 12VDC.

#### II-2-2-6 Caractéristiques :

Alimentation : 3,3V à 12V

Courant : <30mA

Sortie numérique (DO) et sortie analogique (AO)

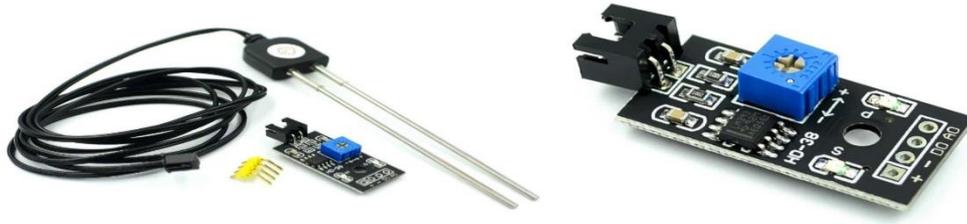


Figure 11: capteur d'humidité de sol

Fonctionnement :

Le capteur d'humidité du sol utilise des sondes métalliques pour mesurer la conductivité électrique du sol, ce qui est directement lié à son humidité. Plus le sol est humide, meilleure est sa conductivité électrique.

Interfaces de sortie :

La plupart des capteurs d'humidité du sol disposent de sorties numériques et/ou analogiques pour transmettre les données mesurées à d'autres dispositifs électroniques.

Les sorties numériques peuvent indiquer si le niveau d'humidité est supérieur ou inférieur à un seuil prédéfini, tandis que les sorties analogiques fournissent une mesure continue de l'humidité du sol.

#### **II-2-2-7 Le LDR**

Le terme "LDR" désigne une résistance dépendante de la lumière, aussi connue sous le nom de photorésistance ou cellule photosensible. C'est un composant électronique dont la résistance électrique varie en fonction de l'intensité lumineuse à laquelle il est exposé [10].

On l'utilise parce que parmi les conditions de production de tomate la température mais on a la température du jour et de nuit pour cela on utilise la photorésistance.

#### **II-2-2-8 Caractéristiques :**

Sensibilité à la lumière.

Résistance : C'est une relation inverse : plus la lumière est intense, plus la résistance diminue, et vice versa.

Gamme de fonctionnement.

Temps de réponse.

#### **II-2-2-9 Fonctionnement :**

Le fonctionnement d'une LDR repose sur le principe de la variation de sa résistance en fonction de la lumière incidente. Voici un résumé de son fonctionnement :

Exposition à la lumière.

Variation de la résistance.

Conversion du signal lumineux en signal électrique [10].



*Figure 12: LDR*

### **II-2-3 Les actionneurs**

#### **II-2-3-1 La pompe**

La pompe d'eau est un dispositif électromécanique utilisé pour déplacer des fluides (dans ce cas, de l'eau) d'un endroit à un autre [10]. Les pompes d'eau peuvent être utilisées dans diverses applications, comme l'irrigation, les aquariums, les systèmes de refroidissement et les fontaines.

Les caractéristiques :

Mode de fonctionnement : Électrique

Tension de service 12 V

Puissance de pompe: 1 à 5 bar, 1 à 8 l/min



*Figure 13: la pompe*

#### **II-2-3-2 Le Ventilateur**

Le ventilateur est un ventilateur de 12V DC conçu pour diverses applications de refroidissement. Voici les spécifications et caractéristiques principales de ce ventilateur :

Tension Nominale : 12V DC

Dimensions : 80mm x 80mm x 25mm

Débit d'Air : 56,1 m<sup>3</sup>/h (cubic meters per hour)

Vitesse de Rotation : 2600 tours par minute (RPM)

Connexion : Généralement livré avec des fils, mais la connexion spécifique peut varier (vérifier les spécifications du produit pour les détails exacts).



*Figure 14: ventilateur*

**Remarque :**

On n'a pas pu mettre en marche les actionneurs parce que la tension délivrée par l'esp32 (2.2V) n'est pas suffisante pour les déclencher. Donc, on s'est dirigé vers l'utilisation d'un relais qui permet de distribuer la puissance d'un ordre émis par esp 32.

Un relais est un dispositif électromécanique utilisé pour ouvrir ou fermer un circuit électrique sous le contrôle d'un signal électrique

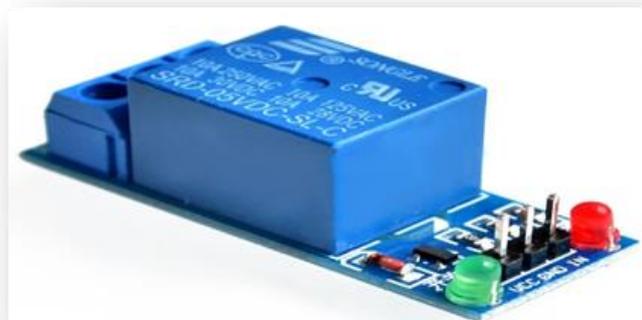
Caractéristique :

Tension de bobine : 5V DC

Courant de bobine : Variable en fonction du modèle, généralement de l'ordre de quelques dizaines de milli ampères.

Capacité de commutation : Peut varier largement, par exemple, 10A à 250V AC ou 30V DC.

Nombre de contacts : Généralement 1 ou 2 ensembles de contacts (SPDT, DPDT, etc.).



*Figure 15: relais*

### II -3- Partie logicielle

C'est la partie consacrée au développement des programmes pilotant notre système, à embarquer dans les cartes Arduino à l'aide de Arduino IOT Cloud [1].

Arduino Cloud est une plateforme IoT (Internet des Objets) proposée par Arduino, qui permet aux utilisateurs de connecter leurs appareils Arduino à Internet et de les gérer à distance. Il offre une interface graphique pour créer des dashboards personnalisés, visualiser des données en temps réel, et contrôler des appareils à distance.

La structure minimale d'un code est constituée :

- En tête : déclaration des variables, des constantes, indication de l'utilisation de Bibliothèques [1].

- Une fonction setup (initialisation) : cette partie n'est lue qu'une seule fois, elle comprend les tâches qui devront être réalisées au démarrage (utilisation des broches en entrées ou en sortie, mise en marche du port série, etc...).

- Une fonction loop (boucle) : cette partie est lue en boucle ! C'est ici que les fonctions sont réalisées. En plus de cette structure minimale, on peut rajouter :

- Des « sous-programmes » ou « routines » qui peuvent être appelées à tout moment dans la boucle, très pratique pour réaliser des morceaux de codes répétitifs.

- Des « callbacks », ce sont des fonctions qui sont rappelées automatiquement depuis une bibliothèque.

Arduino IOT Cloud fournit une infrastructure cloud sécurisée et évolutive pour le déploiement et la gestion d'applications IoT basées sur Arduino.

En utilisant Arduino Cloud, les utilisateurs peuvent surveiller et contrôler leurs appareils Arduino depuis n'importe où dans le monde via une interface web conviviale ou des applications mobiles dédiées. La plateforme offre des fonctionnalités telles que la visualisation en temps réel des données des capteurs [1], le déclenchement d'actions à distance, la gestion des mises à jour logicielles, et bien plus encore.

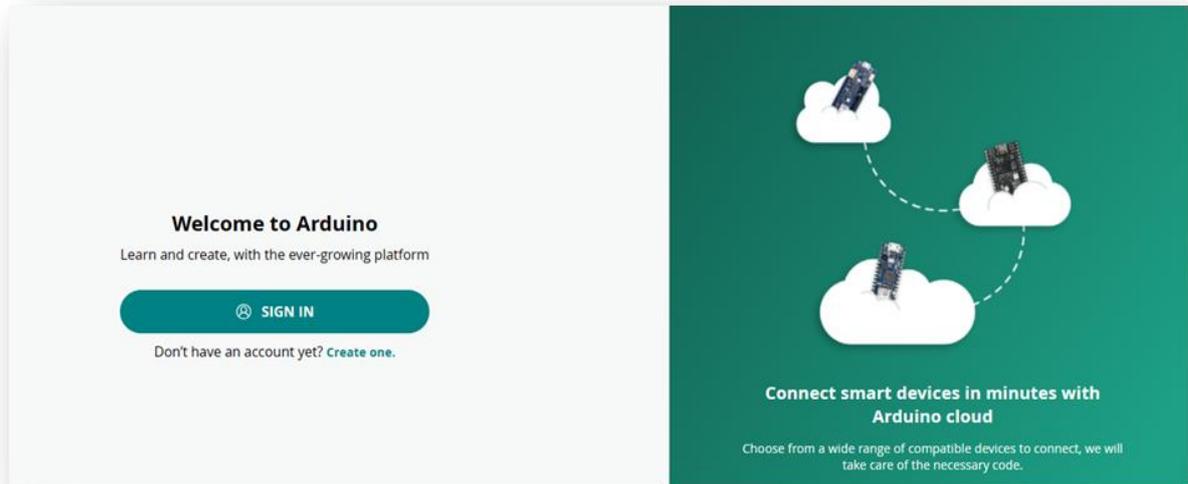
Arduino Cloud prend en charge une variété de protocoles de communication, notamment MQTT, HTTPS et d'autres, assurant ainsi des communications sécurisées entre les appareils Arduino et le cloud[7]. De plus, elle offre des outils de sécurité avancés pour protéger les données sensibles et garantir l'intégrité des appareils connectés.

Grâce à Arduino Cloud, les utilisateurs peuvent créer des applications IoT complexes et interconnectées sans avoir à se soucier de l'infrastructure sous-jacente, ce qui simplifie le processus de développement et accélère la mise sur le marché des produits IoT.

- thingProperties.h :

Ce fichier est généré automatiquement par l'Arduino IoT Cloud et contient les définitions des propriétés liées aux variables du cloud et secret key qui donne par le site pour surveiller le projet.

La figure 16 présente la page de connexion sur IOT Arduino Cloud .



*Figure 16:IOT Arduino Cloud*

#### **II-4 Conclusion**

En utilisant l'Arduino IoT Cloud, on simplifie grandement le développement et la gestion de système d'irrigation intelligent. La plateforme permet de surveiller les conditions environnementales et de contrôler l'irrigation de manière efficace, en exploitant les données des capteurs pour prendre des décisions automatisées.

## **Chapitre III : implémentation du système**

### **III-1 Introduction :**

Dans ce chapitre, nous allons détailler l'architecture globale de notre système d'irrigation intelligent et expliquer son fonctionnement en profondeur. Notre système est divisé en deux parties : la première partie aborde les aspects logiciels, incluant les programmes utilisés et leur implémentation sur les microcontrôleurs. La seconde partie se concentre sur le matériel employé pour la réalisation de ce système.

### **III-2 Cahier de charges :**

Notre projet consiste en la conception et la réalisation d'un système intelligent pour la gestion automatique d'irrigation d'une serre agricole.

En général, un système automatique est composé de deux parties : partie opérative et partie commande.

La partie opérative représente la serre et le produit cultivé (chapitre 1). Pour illustrer cette partie, on est amené à réaliser une maquette représentative. Suite à l'étude présentée dans ce chapitre, deux grandeurs doivent être mesurées en l'occurrence la température et l'humidité du sol.

La partie commande représente le système électronique programmable qui va permettre la commande de l'irrigation de la serre selon le produit cultivé. Le système de commande doit être simple d'utilisation et connecté à internet (IoT).

Dans ce projet, il est principalement question de concevoir et de réaliser un dispositif électronique connecté (Internet of Things, IoT) dédié à l'agriculture dans les serres. A préciser que le système automatique a deux paramètres à mesurer qui est la température ambiante de la serre et l'humidité du sol et deux dispositifs à commander sont :

- Des pompes à eau qui permettront l'irrigation du sol agricole de la serre considérée.
- Un système de ventilation pour l'aération de la serre.

La figure 3.1 ci-dessous présente la structure générale du système proposé dans ce mémoire.

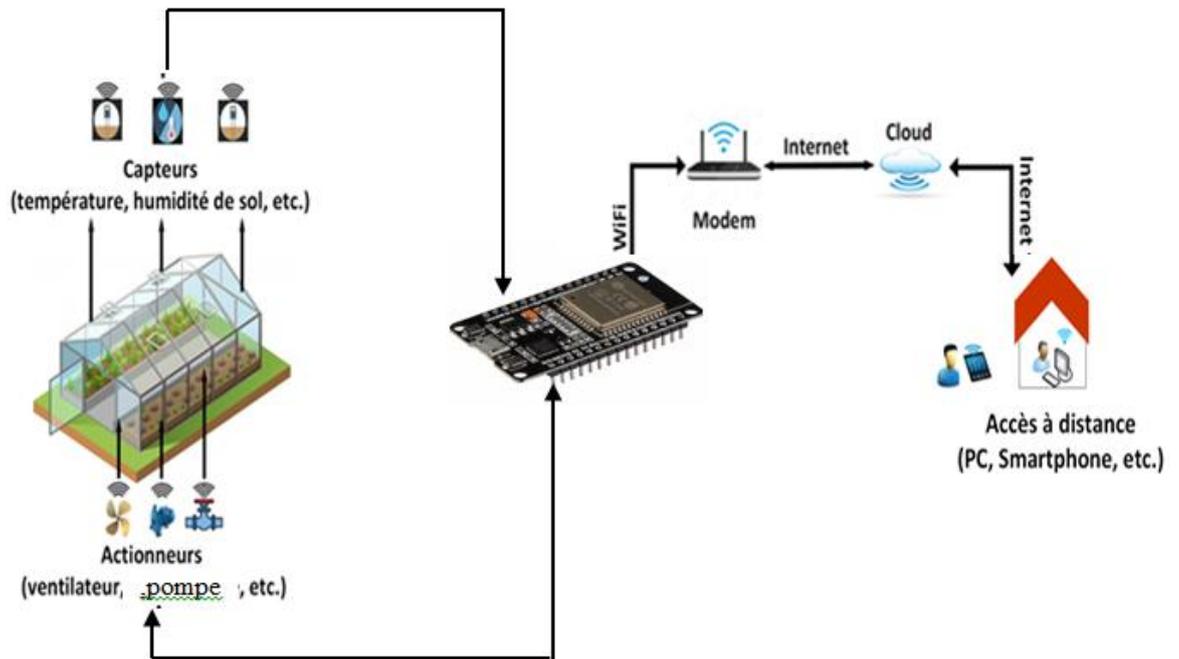


Figure 17 : Structure générale du système proposé

### III-3 Description de système

Notre système est composé d'une serre, d'une carte électronique (esp32) utilisé comme commande, des capteurs d'humidité de température, une LDR, une pompe d'eau et un ventilateur (voir figure ci-dessous).

Cette partie décrit Notre système proposée pour contrôler et surveiller un environnement agricole (une serre de tomate). La serre a été découpée en quatre zones (nœuds), ces zones contiennent des capteurs qui permettent de capter en temps réel les données des tomates et les conditions environnementales telles que le niveau d'humidité du sol, la température et des actionneurs (pompe et ventilateur) pour contrôler l'environnement.

La figure 18 présente le schéma global de la serre et le système d'irrigation.

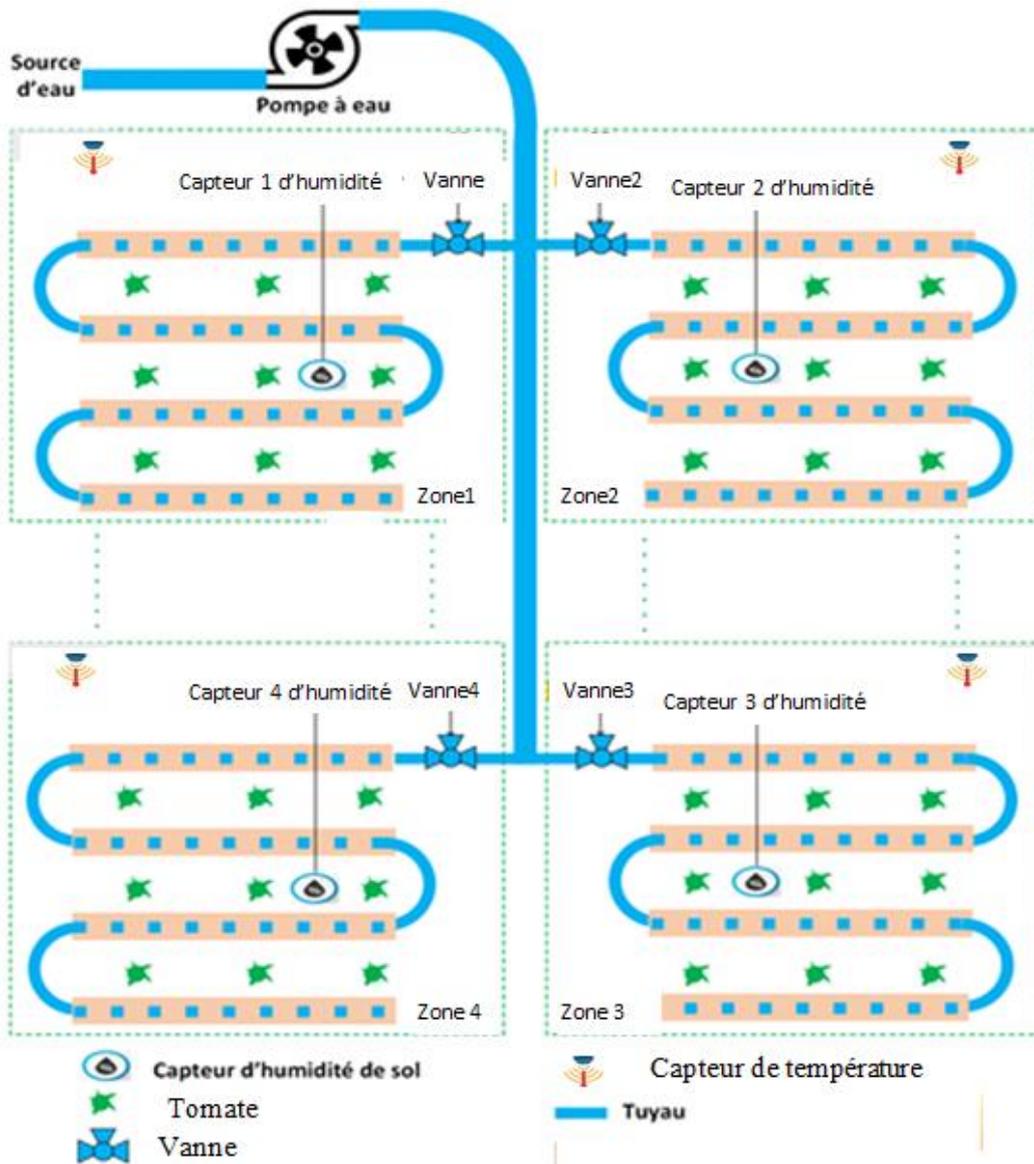


Figure 19 : schéma globale de la serre et le système d'irrigation

### III-4 Organigramme du programme implémenté dans l'ESP32

Notre système a été conçu suivant un cahier de charge bien défini. Les étapes de ce cahier de charges sont présentées dans l'organigramme suivant :

L'organigramme du programme implémenté dans l'ESP32 est conçu pour illustrer le flux de contrôle et les principales étapes de l'exécution du code. Ce diagramme offre une vue d'ensemble des processus et des interactions entre les différentes composantes du système.

Ce système d'irrigation intelligent propose deux modes de fonctionnement distincts : manuel et automatique. Ces modes offrent une flexibilité dans la gestion de l'irrigation, permettant de s'adapter aux besoins spécifiques des cultures et aux préférences de l'utilisateur.

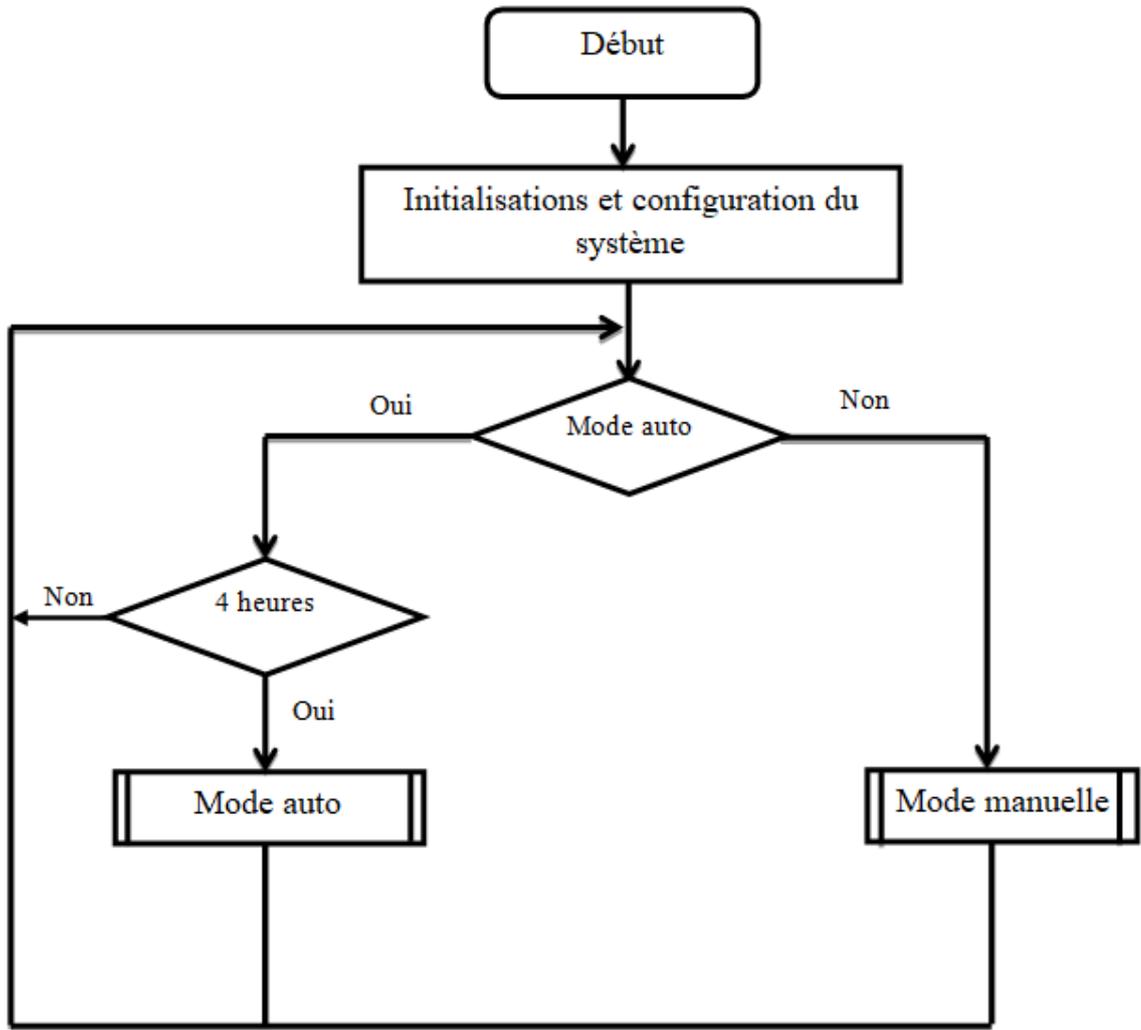


Figure 20 : Organigramme du programme implémenté dans l'ESP32

**Organigramme du mode automatique :**

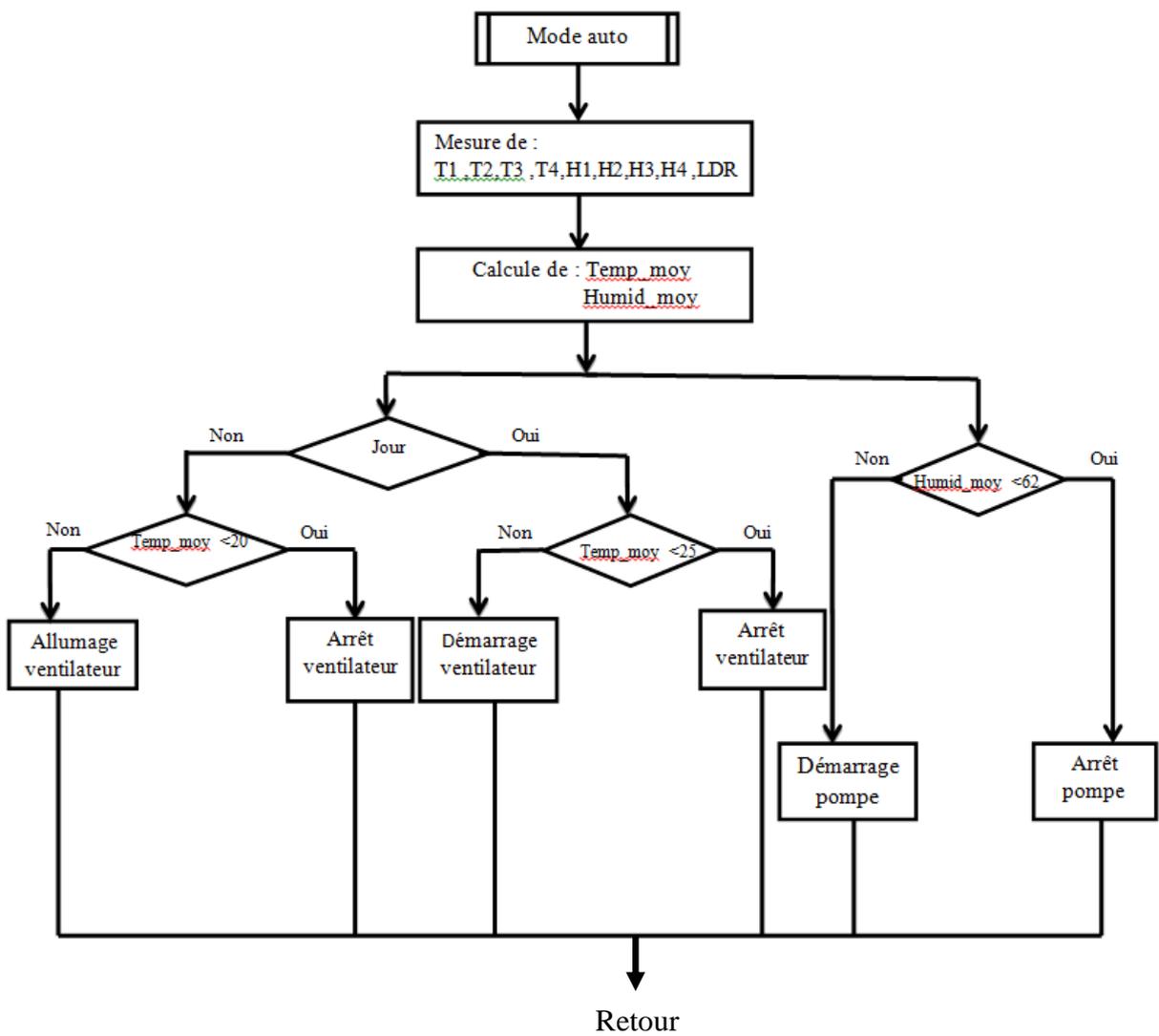


Figure 21 : Organigramme du mode automatique

**Organigramme du mode manuel :**

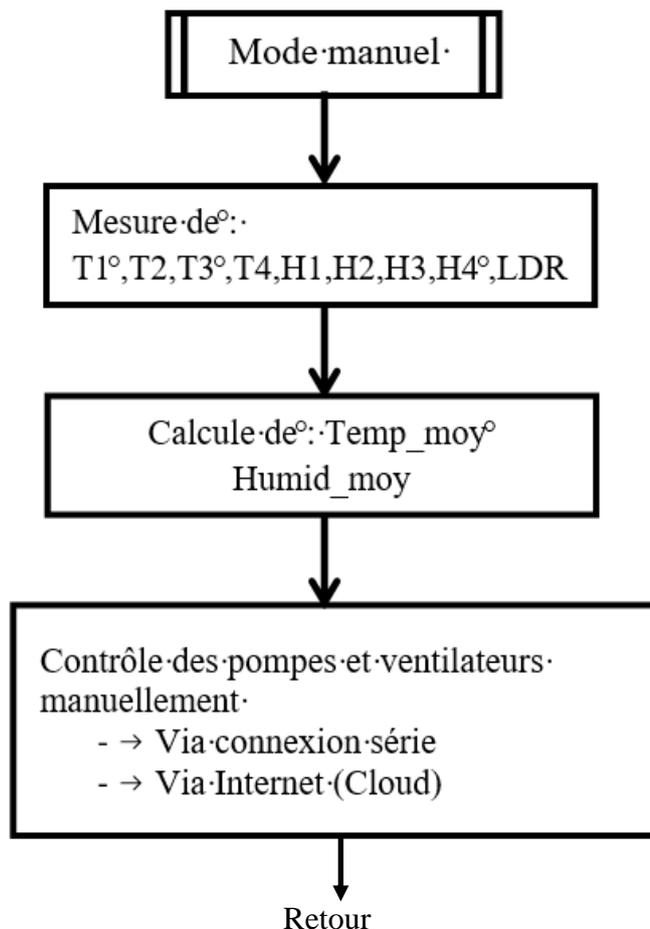


Figure 22 : Organigramme du mode manuel

Avec :

Tableau 9 : Tableau descriptive des différentes variables

Variable	Description
<b>T1</b>	Valeur du capteur 1 de la température (°C)
<b>T2</b>	Valeur du capteur 2 de la température (°C)
<b>T3</b>	Valeur du capteur 3 de la température (°C)
<b>T4</b>	Valeur du capteur 4 de la température (°C)
<b>H1</b>	Valeur du capteur 1 d'Humidité (%)
<b>H2</b>	Valeur du capteur 2 d'Humidité (%)
<b>H3</b>	Valeur du capteur 3 d'Humidité (%)
<b>H4</b>	Valeur du capteur 4 d'Humidité (%)
<b>Humid_moy</b>	Valeur moyenne d'humidité des quatre capteurs
<b>Temp_moy</b>	Valeur moyenne de la température des quatre capteurs

### III-5 Les données utilisées dans notre projet

Le tableau ci-dessous représente Les conditions climatiques de tomate en Algérie pour chaque stade de croissance [1].

*Tableau 10 : Les conditions climatiques de tomate en Algérie*

Stade de croissance	Température de l'air	Humidité de l'air	Humidité de sol
<b>Germination</b>	20 °C (constante)	60 à 65 %	30%
<b>Enlevage de plants en pépinière</b>	26°C jour 20°C nuit	60 à 65 %	60%
<b>Plante en culture</b>	20 à 23°C jour	60 à 65 %	60%
<b>Floraison</b>	15 à 17°C nuit		
<b>Nouaison</b>	20 à 25 °C jour 15 à 17 °C nuit	60 à 65 %	60%
<b>Maturité</b>	20 à 23 ° C	65 %	60%

*Les stades de croissance considéré dans ce projet sont la floraison la nouaison et la maturité, sachant les autres stades sont réservé pour une pépinière et pas une serre.*

### III-6 Description détaillé du fonctionnement

#### A -Mode Manuel

En mode manuel, on aura un contrôle total sur le système d'irrigation. Ce mode est particulièrement utile dans les situations où une intervention humaine est nécessaire, comme lors de conditions météorologiques imprévues ou de besoins spécifiques des plantes. Voici les caractéristiques principales du mode manuel :

**Activation et Désactivation Manuelle :** dans ce mode on peut activer ou désactiver le système d'irrigation via une interface de contrôle, telle qu'une application mobile ou un panneau de commande.

**Réglage des Paramètres :** Les paramètres d'irrigation, tels que la durée et l'intensité de l'arrosage, peuvent être ajustés manuellement en fonction des besoins spécifiques des plantes.

**Surveillance en Temps Réel :** L'utilisateur peut surveiller les conditions de l'environnement et l'état du système en temps réel, permettant des ajustements immédiats si nécessaire.

#### B- Mode Automatique

Le mode automatique est conçu pour maximiser l'efficacité et la précision de l'irrigation en se basant sur des algorithmes et des capteurs. Ce mode réduit la nécessité d'interventions

humaines, ce qui est idéal pour une gestion optimisée des ressources. Voici les caractéristiques principales de ce mode automatique :

**Capteurs Environnementaux :** dans ce système on a utilisé des capteurs pour mesurer des paramètres tels que l'humidité du sol et la température de l'air. Ces données sont utilisées pour prendre des décisions informées sur l'irrigation.

**Algorithmes d'Irrigation :** Des algorithmes sophistiqués analysent les données des capteurs et déterminent le moment optimal pour l'irrigation. Cela permet d'assurer que les plantes reçoivent la quantité d'eau nécessaire sans gaspillage.

**Programmation Prédéfinie :** dans ce système on a défini des horaires (un capteur LDR pour mesurer l'intensité lumineuse pour distinguer entre le jour et la nuit) .

Les seuils de température prédéfinis sont :

Le jour =20°C-25°C et la nuit =17°C-20°C : pour la ventilation en dehors de ces seuils.

Les seuils d'humidité prédéfinis sont :

Activation de la pompe : Si l'humidité descend en dessous de 60%, la pompe est activée pour irriguer le sol.

Désactivation de la pompe : Si l'humidité dépasse 65%, la pompe est désactivée pour éviter le sur-arrosage.

Ces seuils sont très importants pour garantir que le système fonctionne de manière autonome selon les paramètres définis.

### III-7 Partie configuration du Cloud :

Pour surveiller les différentes grandeurs agricoles, envoyer des commandes et interroger la base de données localement (sur notre PC) ou bien à distance on a utilisé l'ArduinoCloud dans ce cas. Sachant que pour commander plusieurs actionneurs et interroger plusieurs capteurs il faut avoir un compte payant. Dans le cas free on a seulement cinq variables au maximum pour intervenir (voir figure ci-dessous).

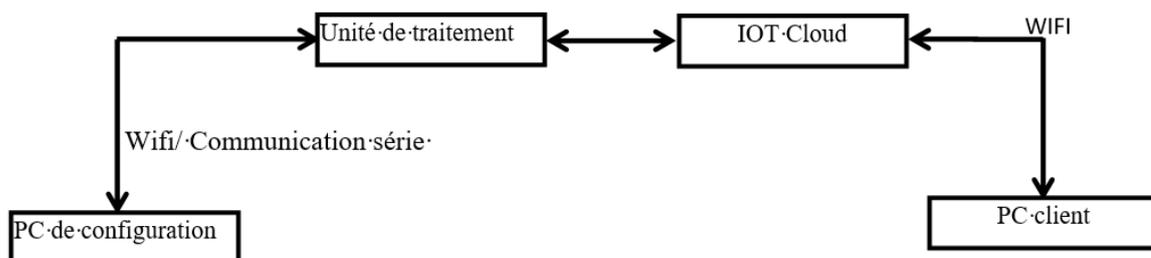


Figure 23 : schéma bloc de partie logicielle

### III-7-1 Description des étapes de conception d'un IHM sur PC sous ArduinoIoT Cloud :

L'interface IHM réalisée sous ArduinoIoT Cloud dans notre projet est illustrée dans les figures ci-dessous. Cette interface offre la possibilité de contrôler et superviser l'environnement agricole depuis n'importe quel terminal qu'il soit PC, smart-phone, tablette ou autres connecté à internet sans avoir besoin d'installer des logiciels ou pilotes supplémentaires[7].

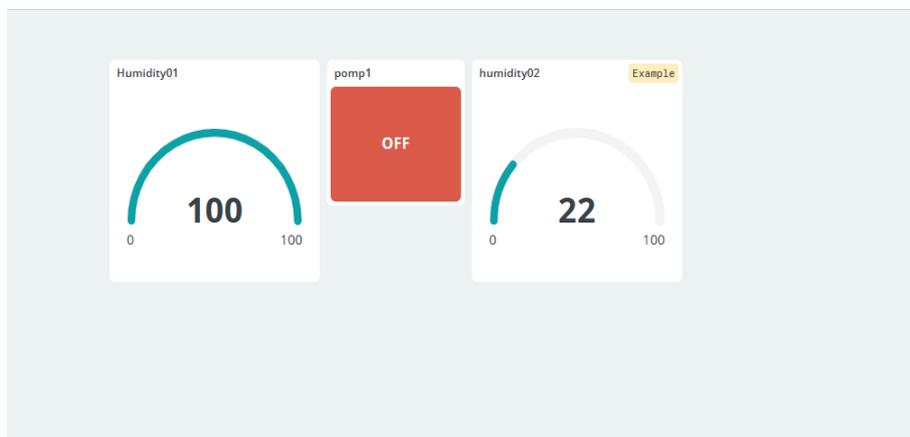


Figure 24 : interface IHM via ArduinoIoT Cloud

### III-7-2 Les étapes de la configuration du Cloud :

Les étapes de la configuration du Cloud sont présentées ci-dessous

- Inscription sur ArduinoIoT Cloud : il faut s'inscrire avec un compte bien défini (figure 4).

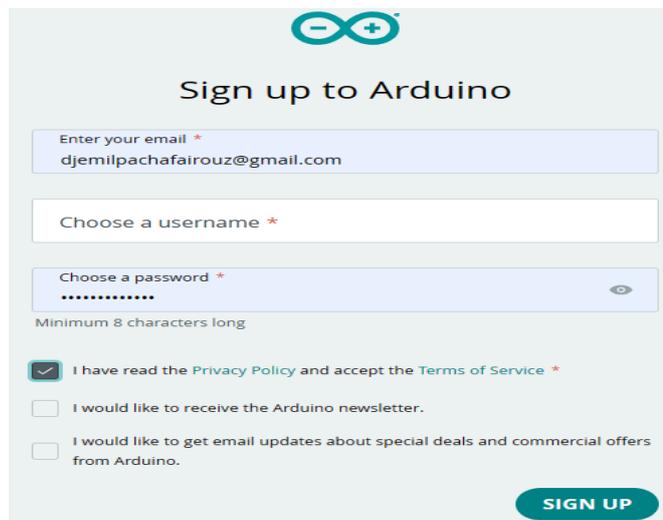
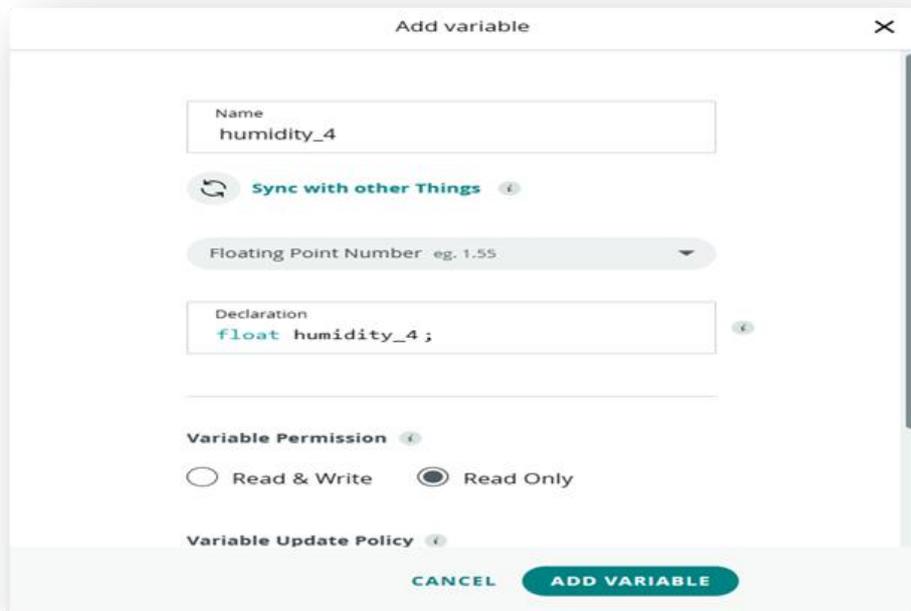
The image shows the 'Sign up to Arduino' form. At the top is the Arduino logo. Below it are three input fields: 'Enter your email \*' with the value 'djemilpachafairouz@gmail.com', 'Choose a username \*', and 'Choose a password \*' with a masked password '.....'. Below the password field is the text 'Minimum 8 characters long'. There are three checkboxes: the first is checked and labeled 'I have read the Privacy Policy and accept the Terms of Service \*'; the second is unchecked and labeled 'I would like to receive the Arduino newsletter.'; the third is unchecked and labeled 'I would like to get email updates about special deals and commercial offers from Arduino.'. A green 'SIGN UP' button is at the bottom right.

Figure 25 : Exemple d'inscription sur le Cloud

- Le choix du périphérique :  
On choisit le périphérique qu'on va utiliser dans notre cas c'est le ESP32.
- Définir les variables : Créez des variables sur l'IoT Cloud qui correspondent aux données qu'on va les collecter et les contrôler, comme la température et l'humidité.



The screenshot shows a dialog box titled "Add variable" with the following configuration:

- Name: humidity\_4
- Sync with other Things:
- Floating Point Number: eg. 1.55
- Declaration: float humidity\_4;
- Variable Permission:  Read & Write,  Read Only
- Variable Update Policy: (empty)

Buttons: CANCEL, ADD VARIABLE

Figure 26 : Exemple de définition des variables

- Création d'un tableau de bord (dashboard) pour visualiser les données en temps réel et contrôler le système d'irrigation (voir figure 6).

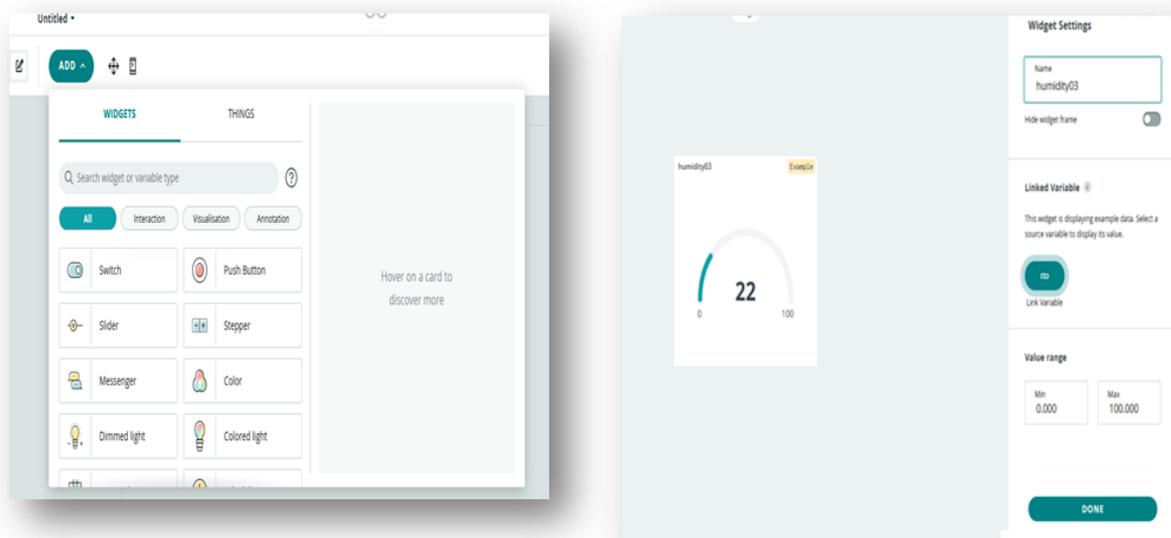


Figure 27 : Création d'un tableau de bord

- Faire la liaison entre les variables avec leur présentation sur le tableau de bord :

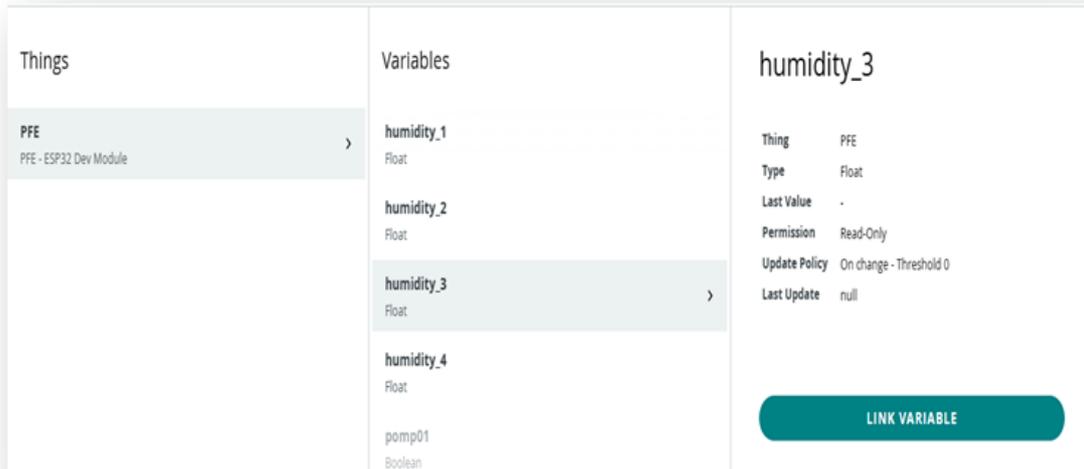


Figure 28 : création de la liaison

La figure ci-dessous nous montre l'interface finale qu'on a créé

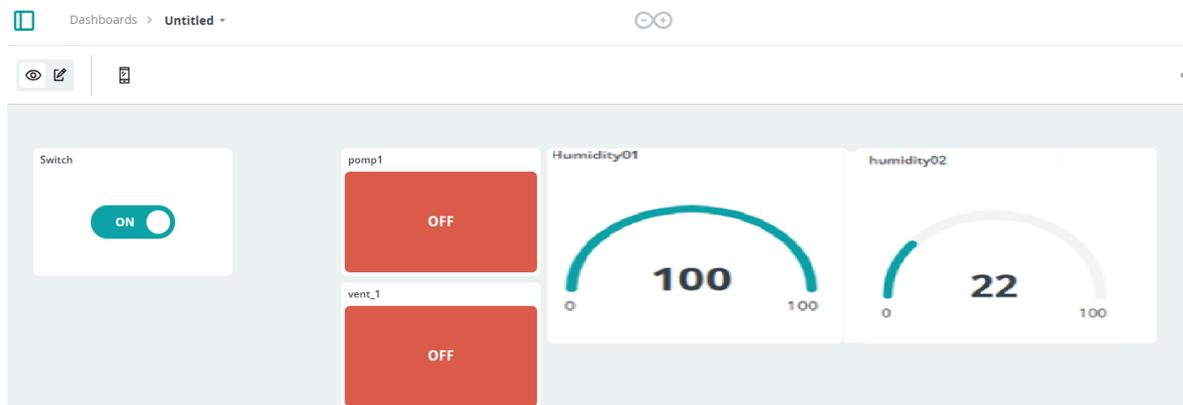


Figure 29 : interface finale

### III-8 Présentation de la maquette de la serre :

Notre maquette qu'on conçu est schématisé dans les figures ci-dessous.

Cette maquette a des dimensions de L=80cmx l=60cmxH=35cm. Elle est couverte en plastique a l'intérieure on déposé le système d'irrigation goutte a goutte



- a-

- b-



-c-

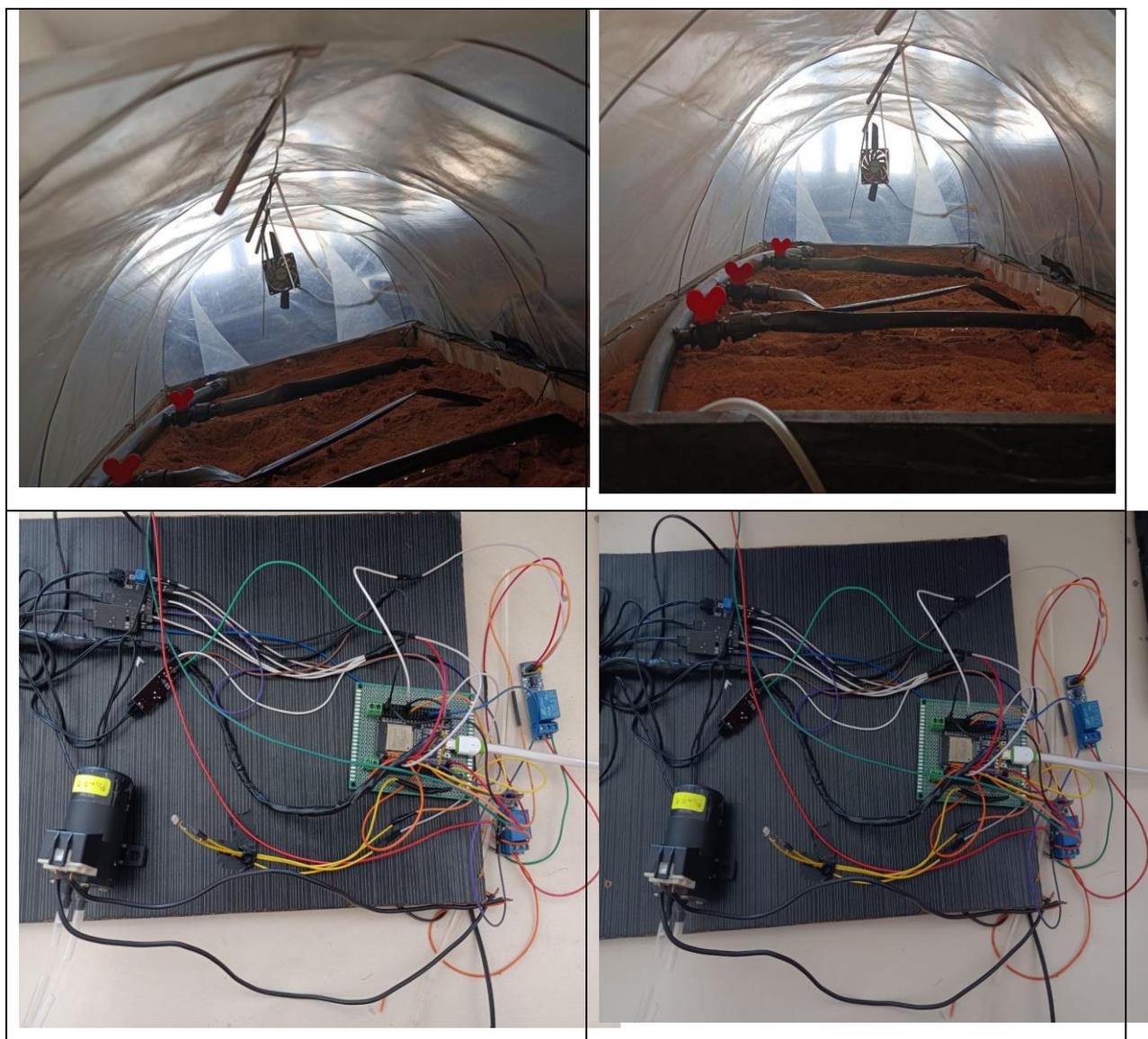
*Figure 30 : Présentation de la serre*

### **III-9 Explication du Système proposé**

Cette section décrit la solution proposée pour contrôler et surveiller un environnement agricole. La solution est basée sur l'installation de quatre capteurs dans la serre, qui permettent de capter en temps réel les données des plantes et les conditions environnementales telles que le niveau d'humidité du sol, la température de l'air, et des actionneurs (pompe et ventilateur) pour contrôler l'environnement. Les différentes grandeurs physiques captées par les capteurs sont envoyées vers une unité de traitement (ESP32) par une liaison série. L'esp32 donne des décisions en traitant ces données et il en résulte des commandes des différents actionneurs au niveau de la serre. Les données issues des capteurs

peuvent être stockées dans une base de données du Cloud. L'utilisateur peut surveiller les différentes grandeurs agricoles, envoyer des commandes et interroger la base de données localement ou bien à distance (Cloud) par l'utilisation d'une Interface Homme-Machine (IHM) basée sur la plateforme du Cloud.

Les figures ci-dessous montrent l'installation de la serre ainsi que le circuit du câblage (capteur, commande, actionneurs).



*Figure 31 : l'installation de la serre et circuit du câblage*

### **III-10 Résultats de tests**

Les résultats de notre projet sont divisés en deux parties : Résultats du contrôle de climat et le contrôle d'irrigation

```
Le mode automatique est sélectionné.
Allumé la pompe
le jour
  Allumé la vent
valeurldr =1250
Celsius temperature 1: 25.06
Celsius temperature 2: 25.62
Celsius temperature 3: 25.87
Celsius temperature 4: 25.50
Moyenne temperature: 25.52
Humidité 1: 64.00%
Humidité 2: 62.00%
Humidité 3: 33.00%
Humidité 4: 20.00%
Humidité moyenne: 44.75%
Le mode automatique est sélectionné.
Allumé la pompe
le jour
  Allumé la vent
valeurldr =1250
Celsius temperature 1: 25.06
```

Figure 32 : Résultats du contrôle de climat et le contrôle d'irrigation en mode automatique

La figure ci-dessous nous montre les résultats du contrôle de climat et le contrôle d'irrigation en mode manuel

```
Le mode manuel est sélectionné .
valeurldr =1261
Celsius temperature 1: 25.00
Celsius temperature 2: 25.56
Celsius temperature 3: 25.87
Celsius temperature 4: 25.44
Moyenne temperature: 25.47
Humidité 1: 62.00%
Humidité 2: 59.00%
Humidité 3: 32.00%
Humidité 4: 20.00%
Humidité moyenne: 43.25%
Le mode manuel est sélectionné .
valeurldr =1257
Celsius temperature 1: 25.00
Celsius temperature 2: 25.56
Celsius temperature 3: 25.87
Celsius temperature 4: 25.50
Moyenne temperature: 25.48
Humidité 1: 62.00%
Humidité 2: 59.00%

Le mode manuel est sélectionné .
valeurldr =1251
  Allumé la pompe
  éteindre la vent
Celsius temperature 1: 25.00
Celsius temperature 2: 25.56
Celsius temperature 3: 25.87
Celsius temperature 4: 25.44
Moyenne temperature: 25.47
Humidité 1: 61.00%
Humidité 2: 58.00%
Humidité 3: 33.00%
Humidité 4: 20.00%
Humidité moyenne: 43.00%
```

Figure 33 : Résultats du contrôle de climat et le contrôle d'irrigation en mode manuel

### III-11 Conclusion

Dans ce chapitre, le cahier de charge du système de contrôle et de supervision réalisé détaillé est donné tout en expliquant d'une manière claire le coté software et hardware de l'implémentation. Ce système a été développé en se basant sur les Outils mentionnés au chapitre II. La solution proposée a été implémenté avec succès où les objectifs ont été atteints.

## **Conclusion générale et perspectives**

L'agriculture est un secteur économique important qui conduit à la croissance économique globale d'une nation. Bien que l'agriculture ait relevé des défis importants dans le passé, des augmentations ciblées de la productivité devront être réalisées d'ici 2050, face à des contraintes strictes, notamment des ressources limitées en eau, l'augmentation de la population, une main-d'œuvre moins qualifiée, une quantité limitée de terres arables et les changements climatiques. Pour répondre aux exigences et augmenter la qualité et la quantité de la production agricole, de nouvelles technologies doivent être introduites afin de relever les normes agricoles où les méthodes conventionnelles dans les pratiques agricoles sont devenues insuffisantes.

L'agriculture de précision est une pratique moderne utilisée pour améliorer la productivité des cultures en utilisant les dernières technologies. La plupart des recherches effectuées jusqu'à présent indiquent que les pratiques basées sur l'agriculture de précision ont une grande influence sur la durabilité et la productivité. L'objectif de l'agriculture de précision est de fournir des systèmes d'aide à la décision basés sur de multiples paramètres des cultures telles que la température, l'humidité, l'humidité de sol, l'intensité lumineuse, etc.

Le développement de notre système d'irrigation intelligent, intégré dans une serre avec un système d'irrigation goutte à goutte, représente une avancée majeure dans l'optimisation de la gestion des ressources agricoles et l'agriculture de précision.

L'utilisation de capteurs de température et d'humidité permet une surveillance en temps réel des conditions environnementales et du sol. Cela permet un ajustement précis de l'irrigation, assurant que les plantes reçoivent exactement la quantité d'eau nécessaire, réduisant ainsi le gaspillage. Le système d'irrigation goutte à goutte, automatisé par une pompe, assure une distribution uniforme et contrôlée de l'eau directement aux racines des plantes, optimisant ainsi l'utilisation de l'eau. Le ventilateur intégré régule la température et l'humidité de l'air, créant un microclimat optimal pour les plantes à l'intérieur de la serre. Cette régulation est particulièrement cruciale dans des environnements fermés où la ventilation naturelle peut être limitée.

L'ajout d'un capteur LDR (Light Dependent Resistor) est essentiel pour distinguer le jour de la nuit, même lorsque l'humidité reste constante. La température peut varier entre le jour et la nuit, mais le capteur LDR permet une distinction claire basée sur la luminosité ambiante. Cela permet au système d'ajuster les cycles d'irrigation et de ventilation en conséquence, assurant ainsi que les plantes reçoivent un soin optimal à tout moment.

En conclusion, notre système d'irrigation intelligent, avec irrigation goutte à goutte dans une serre, représente une avancée prometteuse vers une agriculture plus durable et efficace. En utilisant la technologie pour améliorer la gestion de l'eau, les conditions de croissance et les cycles jour/nuit, ce projet a le potentiel de transformer les pratiques agricoles, augmentant les rendements tout en respectant les ressources naturelles. La poursuite de ce travail et son perfectionnement continueront d'apporter des bénéfices significatifs à l'agriculture moderne.

Comme perspectives, nous souhaiterions que nous puissions apporter plus d'affinité pour ce travail comme par exemple :

- L'utilisation d'énergie solaire pour l'alimentation des différents systèmes embarqués développés surtout pour les systèmes installés au niveau des champs.
- Développement des solutions intelligentes à base des robots mobiles pour la détection des maladies et les besoins de l'environnement agricole.
- L'implémentation dans un environnement réel.

## Références Bibliographiques :

- [1]\_ Mémoire de Master (2019\_2020) Mlle AMIR Souhila Université MOULOUDE MAMMERI DE TIZI-OUZOU.
- [2]\_Le mémoire de Master (2019\_2020) BENLAMBAREK Salah Eddine Université de BISKRA.
- [3]\_Institut Technique des Cultures Maraichères et Industrielles : la culture de la tomate (Novembre 2017).
- [4]\_ la serre intelligente <https://maferme.ma/ferme-intelligente-et-agritourisme/operations/serre-agricole-intelligente/>
- [5]\_ Gutiérrez, J., Villa-Medina, J. F., Nieto-Garibay, A., & Porta-Gándara, M. Á. (2014). "Automated Irrigation System Using a Wireless Sensor Network and GPRS Module." IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 63(1), 166-176
- [6]\_ Cumming, G. S., Olsson, P., Chapin, F. S., & Holling, C. S. (2013). "Resilience, experimentation, and scale mismatches: lessons from a water management failure in southern Africa." Ecology and Society, 18(3). “ livre “
- [7]\_ Arduino IoT Cloud Documentation - Arduino IoT Cloud
- [8]\_ Le mémoire de Magister (2013\_2014) Mlle MOKRANI Samira
- [9]\_ OneWire Library Documentation - Arduino OneWire Library
- [10]\_ ALLDATASHEET.COM
- [11]\_ DS18B20 Temperature Sensor Tutorial - Random Nerd Tutorials
- [12]\_ GESTION DES EAUX EN IRRIGATION Manuel de formation n° 5 Méthodes d'irrigation Manuel préparé par C. Brouwer Institut international pour l'amélioration et la mise en valeur des terres
- [13]\_ MOTOROLA
- [14]\_Arduino
- [15]\_ Doctorat LMD en Automatique (2020\_2021) M. BENYEZZA Hamza Université Yahia Farès de Médéa.