

République Algérienne Démocratique et Populaire

Université Abdelhamid Ibn

Badis - Mostaganem

Faculté des Sciences de la

Nature et de la Vie



جامعة عبد الحميد ابن باديس

مستغانم

كلية علوم الطبيعة و الحياة

## Département d'agronomie

### Mémoire de fin d'études

Présenté par

**HAMAMI Habib**

Pour l'obtention du diplôme de

**Master professionnel**

Spécialité : Technologie avancée pour l'agriculture de précision

### Thème

**Conception et mise en œuvre d'un dispositif de contrôle automatisé d'une irrigation à l'aide d'Oyas comme milieu poreux**

Soutenue publiquement le 24/12/2024

Devant le jury :

Président	M. BENKHELIFA Mohamed	Professeur	U. Mostaganem
Encadreur	M. LABDAOUI Djamel	MCA	U. Mostaganem
Examineur	Mme. BENOUDNINE Hadjira	Professeur	U. Mostaganem
Invité	M. BOUZIANE Abdelkader	Directeur de l'hydraulique	

# Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail à tous ceux qui nous ont aidés et  
Encouragés*

*Tous ceux qui ont cru en nous et pour ceux qu'on porte  
envers eux notre sincère reconnaissance et gratitude*

*A mon père et ma mère qui m'ont soutenus tout le long de  
mon parcours universitaire et tout au long de ma vie*

*A tous mes amis ainsi qu'à toute la promotion de CUPAGIS  
2022-2024*

*Je vous souhaite tout le bonheur du monde et bonne  
continuation dans votre vie personnelle et professionnelle*

*H.Habib*

## Remerciements

*Notre modeste travail n'aurait  
jamais vu le jour sans l'aide et la présence de nombreuses  
personnes qu'on voudrais remercier*

*On tiens à exprimer notre profonde gratitude à notre  
professeur et encadreur M.LABDAOUI Djamel pour sa  
présence et son suivi tout au long de notre travail*

*Toute notre profonde reconnaissance est exprimée pour tous  
les professeurs qu'on a eu tout le long de notre parcours  
universitaire et a tout le personnel administratif et  
technique du département*

*On tiens aussi à exprimer notre profonde gratitude pour  
toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à ce  
projet, ainsi que les artisans au sein de l'atelier 'Dar el Hiref'*

*On tiens à remercier les membres du jurys pour avoir bien  
voulu examiner et juger ce travail*

*Et à notre famille pour leur soutien,leur gentillesse et leur sympathie  
Omniprésente*

*Merci à ALLAH et à vous tous et que Dieu vous protège  
que votre vie soit pleine de réussite et de bonheur*

# Listes des figures

Figure I.1 Techniques d'Irrigation au Fil du Temps

Figure I.2 l'Irrigation

Figure I.3 Irrigation par ruissellement

Figure I.4 Irrigation par bassin

Figure I.5 Irrigation par planche

Figure I.6 Irrigation à la raie

Figure I.7 Irrigation par aspersion fixe

Figure I.8 Irrigation par pivot

Figure I.9 Irrigation par rampe frontale

Figure I.10 Irrigation goutte à goutte

Figure I.11 Irrigation par micro-asperseurs

Figure I.12 Irrigation à l'aide d'Oyas

Figure II.1 ESP32

Figure II.2 Capteur ultrason HC-SR04

Figure II.3 Capteur d'humidité

Figure II.4 Capteur d'humidité et de température DHT11

Figure II.5 Electrovanne

Figure II.6 Mini-pompe 12V

Figure II.7 Relai double

Figure III.1 Code arduino du test N°1

Figure III.2 Code arduino du test N°2

Figure III.3 Code arduino du test N°3

Figure III.4 Code arduino du test N°4

Figure III.5 Code arduino du test N°5

Figure III.6 Code arduino du test N°6

Figure III.7 Code arduino du test N°7

Figure III.8 Schéma synoptique

Figure III.9 Prototype du système

# Liste des abréviations

Iot: Internet of things

PCB: Printed circuit board

MHz: Mégahertz

Ko: Kilo octets

°C: Celcius

HR: Humidité relative

V: Volt

NC: Normally closed (normalement fermé)

NO: Normally open (normalement ouvert)

A: Ampères

IDE: Integrated development environment

LED: Light emitting diode

GND: Ground (masse)

VCC: Voltage common collector

GPIO: General purpose input output

# Table des matières

Dédicaces	2
Remerciements	3
Liste des figures	4
Liste des abréviations	5
Table des matières	6
Introduction générale	8

## Chapitre I : Contexte et technologies actuelles dans l'irrigation agricole

1- Introduction	10
2- Historique	10
3- Définition de l'irrigation	11
4- Les différents types d'irrigation	12
4.1- Irrigation de Surface	12
4.1-1. Irrigation par ruissellement	12
4.1-2. Irrigation par bassin	12
4.1-3. Irrigation par planche	13
4.1-4. Irrigation à la raie	13
4.2- Irrigation par Aspersion	13
4.2-1. Aspersion fixe ou mobile	13
4.2-2. Pivot	14
4.2-3. Rampes frontales	14
4.3- Micro-Irrigation	14
4.3-1. Irrigation goutte à goutte	14
4.3-2. Irrigation par micro-asperseurs	15
4.4- Autres Méthodes	15
5- Comparaison des méthodes de l'irrigation	15
5.1- Irrigation de surface	16
5.2- Irrigation par aspersion	16
5.3- Irrigation par goutte à goutte	16
5.4- Irrigation par Oyas	17
6- Choix du système d'irrigation	17
6.1- Type de sol	17
6.2- Type de culture	18
6.3- Conditions climatiques	18
6.4- Disponibilité et qualité de l'eau	18
6.5- Débit et pression	18
6.6- Coûts et budget	18
6.7- Main d'œuvre et gestion	18
6.8- Technologies modernes	18
7- Avantages de l'automatisation de l'irrigation	19
8- Défis et limitations	19
9- Conclusion	20

## Chapitre II : Description électronique du système et des outils informatiques utilisés

1- Introduction	22
-----------------	----

2- Présentation du système	22
3- Présentation du branchement électronique	22
3.1- Le PCB	22
3.2- ESP32	23
3.3- Niveau d'eau à base de conductivité	23
3.4- Capteurs ultrason	24
3.5- Capteur d'humidité du sol	25
3.6- Capteur d'humidité et de température DHT11	26
3.7- Electrovanne	26
3.8- Mini-pompe	27
3.9- Relai	28
4- Les outils de programmation	29
4.1- Arduino IDE	29
4.2- Blynk	30
5- Conclusion	30

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

1- Introduction	32
2- Les étapes de la mise en œuvre du système	32
2.1- Connexion de l'ESP32 avec blynk et test de la LED	32
2.2- Intégration du Capteur de Niveau d'Eau Basé sur la Conductivité	34
2.3- Intégration du capteur ultrason pour la mesure du niveau d'eau	35
2.4- Intégration du Capteur d'Humidité du Sol	37
2.5- Intégration du capteur d'humidité et de température DHT11	38
2.6- Intégration de la pompe	40
2.7- Intégration de l'électrovanne ainsi que le niveau d'eau à base de conductivité	42
3- Schème d'intégration du système finale	45
4- Conclusion	46

### **Chapitre IV : Test et validation**

1- Introduction	48
2- Résultats des tests	48
2.1- Test N°1 : Contrôle à distance de la LED via l'ESP32 et Blynk	48
2.2- Test N°2 : Mesure du niveau d'eau à l'aide du capteur de conductivité	49
2.3- Test N°3 : Mesure du niveau d'eau à l'aide du capteur ultrason	49
2.4- Test N°4 : Mesure de l'humidité du sol avec le capteur d'humidité	50
2.5- Test N°5 : Mesure de l'humidité et de la température de l'air avec le capteur DHT11	51
2.6- Test N°6 : Contrôle de la mini-pompe 12V avec relais via Blynk	52
2.7- Test N°7 : Automatisation de l'électrovanne par le niveau d'eau	53
3- Conclusion	53

Conclusion générale	54
Références bibliographiques	55
Résumé	57

# Introduction générale

L'eau, ressource vitale et limitée, est au cœur des défis majeurs de l'agriculture moderne, particulièrement dans les régions arides ou semi-arides comme en Algérie. Dans ce contexte, l'irrigation, indispensable à la productivité agricole, est souvent marquée par un gaspillage significatif dû à des techniques inefficaces, telles que l'irrigation par aspersion ou autres. Ces méthodes traditionnelles, bien que répandues, engendrent une évaporation excessive, des infiltrations profondes inutiles et une consommation d'eau bien supérieure aux besoins réels des plantes.

Face à ce constat alarmant, il devient impératif de développer des solutions innovantes pour optimiser l'utilisation de l'eau, tout en préservant les ressources hydriques. Une méthode ancienne mais particulièrement efficace, l'irrigation par **oyas**, offre une réponse prometteuse. Les **oyas**, pots en terre cuite poreuse enterrés dans le sol, permettent de libérer lentement et directement l'eau aux racines des plantes, éliminant ainsi presque entièrement les pertes par évaporation et infiltration. Cependant, cette méthode traditionnelle, bien qu'efficace, manque de moyens pour surveiller et contrôler précisément la consommation d'eau.

Ce mémoire propose de moderniser cette technique ancestrale en intégrant les oyas dans un système d'irrigation intelligent, capable de suivre et de contrôler les besoins hydriques des cultures en temps réel. Ce système combine un microcontrôleur ESP32 avec une série de capteurs (niveau d'eau, humidité du sol, température, etc.) et des actionneurs (pompe, électrovanne). La gestion et la visualisation des données se font via une interface mobile développée sur la plateforme Blynk, permettant une interaction facile et intuitive avec le système.

L'objectif principal de ce travail est de démontrer l'efficacité de ce système en contrôlant et en optimisant l'irrigation à l'aide d'oyas dans différents contextes agricoles. Ce projet vise à prouver que cette approche hybride, alliant tradition et modernité, peut réduire considérablement le gaspillage d'eau tout en assurant une gestion efficace des ressources hydriques. Le mémoire est structuré en quatre chapitres :

1. **Contexte et technologies actuelles dans l'irrigation agricole**, abordant les limites des méthodes conventionnelles et présentant les alternatives innovantes.
2. **Description électronique du système et des outils utilisés**, détaillant les choix techniques et la conception du prototype.
3. **Conception et implémentation du système**, décrivant le processus d'assemblage et les conditions expérimentales.
4. **Tests et validation**, analysant les bénéfices et les performances du système d'irrigation intelligent.

En développant ce projet de manière indépendante, chaque étape a été réalisée avec soin, depuis la conception électronique jusqu'aux tests expérimentaux. Ce travail illustre une démarche novatrice pour répondre à la problématique du gaspillage de l'eau, tout en valorisant une méthode traditionnelle adaptée aux contraintes locales.

# **Chapitre I**

## **Contexte et technologies actuelles dans l'irrigation agricole**

## 1- Introduction :

L'irrigation agricole est un élément clé de la production alimentaire moderne, surtout dans un contexte où les ressources en eau deviennent de plus en plus limitées. Les défis liés au changement climatique, à l'urbanisation croissante et à l'augmentation de la population mondiale nécessitent l'adoption de technologies innovantes pour optimiser l'utilisation de l'eau dans l'agriculture.

Ce chapitre se penche sur les technologies actuelles qui révolutionnent les pratiques d'irrigation, en mettant particulièrement l'accent sur des solutions durables et intelligentes. Parmi ces innovations, l'utilisation des Oyas en terre cuite se distingue comme une méthode prometteuse pour une irrigation automatique et efficace. Ces récipients poreux, enterrés dans le sol, permettent une distribution lente et ciblée de l'eau directement aux racines des plantes, minimisant ainsi le gaspillage et maximisant l'efficacité hydrique. En intégrant cette technique à des systèmes d'irrigation modernes, il est possible de créer un réseau d'irrigation intelligent qui répond aux besoins spécifiques des cultures tout en tenant compte des conditions climatiques changeantes.

Les Oyas représentent non seulement une solution technique innovante, mais elles s'inscrivent également dans une démarche écologique et durable. En réduisant les besoins en main-d'œuvre et en énergie pour l'irrigation, elles contribuent à une agriculture plus résiliente face aux aléas climatiques.

Ce chapitre explorera donc comment cette technologie peut être intégrée dans le paysage actuel de l'irrigation agricole, tout en analysant ses avantages comparatifs par rapport aux méthodes traditionnelles et aux systèmes d'irrigation de précision. En conclusion, ce chapitre vise à démontrer que les Oyas en terre cuite ne sont pas seulement une alternative viable aux systèmes d'irrigation conventionnels, mais qu'elles représentent également une étape vers une agriculture plus durable et responsable.

## 2- Historique :

L'irrigation agricole est une pratique ancienne qui remonte à plusieurs millénaires, jouant un rôle essentiel dans le développement des civilisations. Son histoire est marquée par des innovations techniques et des adaptations aux besoins agricoles et environnementaux.

Les premières formes d'irrigation apparaissent autour de 6000 avant notre ère, dans le croissant fertile du Moyen-Orient, où les populations sédentaires ont commencé à cultiver des céréales et à élever des animaux. Les rivières, comme le Tigre et l'Euphrate, ont été canalisées pour irriguer les terres agricoles, permettant ainsi d'augmenter les rendements [1][5].

En Égypte, vers 3000 avant J.-C., un système sophistiqué a été mis en place pour détourner les crues du Nil vers des réservoirs comme le lac Mœris, assurant une irrigation régulière et contrôlée [1][6].

Au fil des siècles, différentes cultures ont développé des technologies d'irrigation adaptées à leurs environnements. Par exemple, les Qanâts en Perse (vers 1000 av. J.-C.) permettaient de transporter l'eau souterraine sur de longues distances, et les systèmes d'irrigation en Chine, datés du 3ème siècle avant J.-C., illustrent la diversité des approches. Les Oyas, qui apparaissent également dans ces contextes historiques, sont des récipients en terre cuite enterrés dans le sol. Leur conception permet une irrigation par capillarité, fournissant de l'eau directement aux racines des plantes.

Cette méthode ancestrale a été largement utilisée dans des régions arides, notamment en Mésopotamie et en Afrique du Nord [2][5].

Au Moyen Âge, l'irrigation a continué d'évoluer avec la construction de canaux et de barrages en Europe et au Maghreb. À partir du XVIII<sup>e</sup> siècle, l'industrialisation a conduit à une rationalisation des pratiques d'irrigation, avec une attention accrue portée à l'efficacité et à la productivité agricole [3].

Aujourd'hui, l'irrigation est devenue un domaine hautement technologique. Des méthodes modernes telles que l'irrigation goutte à goutte et la micro-irrigation permettent une gestion précise de l'eau, réduisant le gaspillage et augmentant les rendements [5]. Ces innovations sont cruciales dans un contexte de changement climatique et de pression croissante sur les ressources en eau.

L'histoire de l'irrigation agricole illustre une quête constante d'efficacité et de durabilité face aux défis environnementaux. En intégrant les leçons du passé avec les technologies modernes, il est possible de développer des systèmes d'irrigation qui répondent aux besoins alimentaires croissants tout en préservant les ressources naturelles.



Figure I.1 Techniques d'Irrigation au Fil du Temps

### 3- Définition de l'irrigation:

L'irrigation est l'opération qui consiste à fournir de l'eau à des parcelles agricoles pour compenser les insuffisances en précipitations et assurer une croissance optimale des végétaux. Elle remplace l'incertitude liée aux aléas climatiques par un contrôle humain sur un élément fondamental à la croissance des plantes : l'eau. En particulier dans les régions arides ou semi-arides, l'irrigation est cruciale pour maintenir la productivité agricole et stabiliser les rendements d'une année sur l'autre, ce qui est essentiel pour la sécurité alimentaire et les revenus des agriculteurs [4][5][7].



Figure I.2 l'Irrigation

#### 4- Les différents types d'irrigation :

Il existe plusieurs modes et types d'irrigation, chacun adapté à des conditions spécifiques et aux besoins des cultures. Voici un aperçu des principaux systèmes d'irrigation :

##### 4.1- Irrigation de Surface :

**4.1.1- Irrigation par ruissellement** : L'eau circule sur le sol le long d'une pente, permettant une distribution passive. Cette méthode est souvent utilisée dans les régions méditerranéennes.



Figure I.3 Irrigation par ruissellement

**4.1.2- Irrigation par bassin** : Des bassins entourés de digues retiennent l'eau, idéale pour les sols qui filtrent peu.



Figure I.4 Irrigation par bassin

**4.1.3- Irrigation par planche** : L'eau est distribuée sur des parcelles en pente, souvent favorisée pour des cultures comme le riz.



Figure I.5 Irrigation par planche

**4.1.4- Irrigation à la raie** : L'eau est canalisée dans des sillons peu profonds, adaptée aux cultures plantées en ligne comme le maïs.



Figure I.6 Irrigation à la raie

## 4.2- Irrigation par Aspersion

**4.2.1- Aspersion fixe ou mobile** : Ce système projette de l'eau sous forme de gouttelettes, imitant la pluie. Les installations peuvent être fixes ou se déplacer sur le terrain.



Figure I.7 Irrigation par aspersion fixe

**4.2.2- Pivot** : Un système rotatif qui irrigue une surface circulaire autour d'un point central, efficace pour de grandes parcelles.



Figure I.8 Irrigation par pivot

**4.2.3- Rampes frontales** : Utilisées pour irriguer de grandes cultures en aspergeant l'eau uniformément sur la surface.



Figure I.9 Irrigation par rampe frontale

### 4.3- Micro-Irrigation :

**4.3.1- Irrigation goutte à goutte** : Distribue l'eau directement aux racines des plantes via des tuyaux perforés, minimisant le gaspillage d'eau. C'est un système très efficace mais coûteux à installer.



Figure I.10 Irrigation goutte à goutte

**4.3.2- Irrigation par micro-asperseurs** : Combine les techniques d'aspersion et de micro-irrigation, adaptée aux serres et pépinières.



Figure I.11 Irrigation par micro-asperseurs

#### 4.4- Autres Méthodes :

- **Irrigation enterrée** : Les tuyaux de goutte à goutte sont enterrés dans le sol pour un approvisionnement en eau optimal.
- **Irrigation à l'aide d'Oyas** : Les oyas, également connues sous le nom d'ollas, sont des récipients en terre cuite utilisés pour l'irrigation, qui offrent une méthode efficace et durable pour arroser les plantes.



Figure I.12 Irrigation à l'aide d'Oyas

Tout type d'irrigation présente des avantages et des inconvénients en fonction des conditions climatiques, du type de sol et des cultures cultivées. Le choix du système d'irrigation doit être effectué avec soin pour garantir une utilisation efficace de l'eau et maximiser les rendements agricoles tout en minimisant l'impact environnemental [8].

### 5- Comparaison des méthodes de l'irrigation :

Chaque méthode d'irrigation présente des caractéristiques uniques qui influencent son efficacité, son coût et son impact environnemental. Dans ce contexte, il est essentiel d'examiner les différents types d'irrigation, y compris l'irrigation de surface, par aspersion, goutte à goutte et par oyas, afin de comprendre leurs avantages et inconvénients respectifs. Cette analyse permettra aux agriculteurs et aux décideurs de choisir la méthode la plus appropriée en fonction de leurs besoins spécifiques, des conditions climatiques et des ressources disponibles.

#### 5.1- Irrigation de surface :

- **Avantages :**
  - Coût d'installation relativement faible.
  - Ne nécessite pas de technologie complexe.
  - Facilité d'utilisation et d'entretien.
- **Inconvénients :**
  - Faible efficacité d'utilisation de l'eau (environ 40 %).
  - Risque de lessivage des engrais et d'engorgement.
  - Peut favoriser l'érosion du sol et la pollution des sources d'eau [9] [10].

## 5.2- Irrigation par aspersion :

- **Avantages :**

- Bonne uniformité de distribution de l'eau dans des conditions appropriées.
- Adaptée à différents types de sols et à une large gamme de cultures.
- Peut être utilisée pour d'autres applications, comme le refroidissement ou la protection contre le gel.

- **Inconvénients :**

- Coût initial élevé et nécessité d'une pression d'eau adéquate.
- Moins efficace en cas de vent, ce qui peut affecter la distribution [9][11].
- Peut favoriser certaines maladies des plantes en maintenant une humidité excessive sur le feuillage.

## 5.3- Irrigation goutte à goutte :

- **Avantages :**

- Très efficace pour économiser l'eau (efficacité pouvant atteindre 75 %).
- Fournit de l'eau directement aux racines, minimisant les pertes par évaporation.
- Réduit la croissance des mauvaises herbes et améliore l'application des nutriments [12].

- **Inconvénients :**

- Coût initial élevé pour l'installation.
- Entretien complexe et risque d'obstruction des émetteurs par les sédiments ou les racines.
- Moins adapté aux grandes surfaces sans une gestion adéquate.

## 5.4- Irrigation par Oyas :

- **Avantages :**

- Utilisation efficace de l'eau grâce à la distribution lente et ciblée directement aux racines des plantes.
- Réduction significative du gaspillage de l'eau, jusqu'à 70 % par rapport aux méthodes traditionnelles.

- Facilité d'utilisation, sans besoin d'équipement complexe ou de technologie avancée.
- **Inconvénients :**
  - Limité à des cultures spécifiques et peut ne pas être adapté à tous les types de sols.
  - Nécessite un approvisionnement en eau constant pour remplir les oyas.
  - Peut ne pas convenir à des cultures nécessitant une irrigation plus intensive [13] [14].

Chaque type d'irrigation présente des avantages et des inconvénients qui doivent être soigneusement considérés en fonction des conditions locales, du type de culture et des ressources disponibles. L'irrigation par oyas se distingue comme une méthode durable économe et efficace, particulièrement adaptée aux environnements arides, tout en offrant une alternative intéressante aux systèmes plus complexes.

## **6- Choix du système d'irrigation :**

Le choix d'un système d'irrigation est une décision cruciale pour les agriculteurs, influençant non seulement la productivité des cultures mais aussi la gestion durable des ressources en eau. Voici les principaux facteurs à considérer lors de cette sélection :

### **6.1- Type de sol :**

Le type de sol joue un rôle déterminant dans le choix du système d'irrigation. Les sols argileux retiennent l'eau tandis que les sols sablonneux drainent rapidement. Il est essentiel de choisir un système qui s'adapte aux caractéristiques du sol pour éviter le ruissellement et le gaspillage d'eau [15] [16].

### **6.2- Type de culture :**

Les besoins en eau varient selon les types de cultures. Par exemple, les cultures maraîchères peuvent nécessiter une irrigation plus précise, comme le goutte à goutte, tandis que les grandes cultures peuvent être mieux servies par l'irrigation par aspersion [17].

### **6.3- Conditions climatiques :**

Les facteurs climatiques, tels que la température, l'humidité et le vent, influencent également le choix du système. Dans des régions arides, un système d'irrigation plus efficace, comme le goutte à goutte, peut être préférable pour économiser l'eau [16].

### **6.4- Disponibilité et qualité de l'eau :**

La source d'eau disponible (nappe phréatique, rivière, etc.) et sa qualité (salinité, pollution) doivent être prises en compte. Certains systèmes, comme l'irrigation par aspersion, peuvent nécessiter une eau de meilleure qualité pour éviter des problèmes de salinité sur les cultures [18].

### **6.5- Débit et pression :**

Le débit nécessaire pour irriguer efficacement dépend du type de culture et de la superficie à irriguer. La pression est également cruciale pour assurer une distribution uniforme de l'eau dans le système choisi.

#### **6.6- Coûts et budget :**

Le coût initial d'installation et les frais d'entretien doivent être évalués par rapport aux bénéfices attendus. Certaines méthodes comme l'irrigation goutte à goutte peuvent avoir des coûts initiaux élevés mais offrir des économies à long terme en termes d'eau et d'énergie.

#### **6.7- Main-d'œuvre et gestion :**

La disponibilité de main-d'œuvre qualifiée pour gérer le système d'irrigation est un facteur important. Certains systèmes nécessitent plus de gestion et d'entretien que d'autres.

#### **6.8- Technologies modernes :**

L'intégration de technologies modernes, telles que les capteurs d'humidité du sol et les systèmes automatisés, peut améliorer l'efficacité de l'irrigation en ajustant les apports en fonction des besoins réels des cultures.

Après analyse, les oyas se sont révélées être le système le plus adapté en répondant favorablement à la majorité de ces critères. Leur diffusion lente et ciblée de l'eau permet de réduire non seulement les pertes par évaporation, mais également les pertes par infiltration excessive et ruissellement, garantissant ainsi une humidité optimale au niveau des racines. Cela les rend efficaces dans une grande variété de types de sol et parfaitement adaptées aux climats arides ou sujets à des sécheresses prolongées.

Elles conviennent également à une large gamme de cultures, notamment celles sensibles au stress hydrique, tout en tolérant une eau de qualité variable. En termes économiques, leur coût de fabrication est réduit, leur entretien minimal, et elles diminuent considérablement le besoin de main-d'œuvre pour l'irrigation. Ces atouts décisifs ont orienté notre choix vers l'utilisation des oyas, qui incarnent une solution écologique, économique et durable pour des contextes agricoles diversifiés.

### **7- Avantages de l'automatisation de l'irrigation :**

- **Économie d'eau :**

L'automatisation permet une gestion précise de l'eau, réduisant la consommation jusqu'à 70 % par rapport aux méthodes traditionnelles. Les systèmes automatisés ajustent la quantité d'eau fournie en fonction des besoins réels des cultures, ce qui minimise le gaspillage et les pertes dues à la sur-irrigation ou à la sous-irrigation [19].

- **Amélioration des rendements :**

En fournissant la quantité d'eau adéquate au bon moment, l'automatisation favorise une meilleure croissance des plantes, ce qui se traduit par des récoltes de meilleure qualité et des rendements plus élevés.

- **Gain de temps et efficacité :**

Les systèmes automatisés permettent aux agriculteurs de gérer l'irrigation à distance, réduisant ainsi le besoin de déplacements fréquents entre les parcelles. Cela libère du temps pour d'autres tâches agricoles essentielles.

- **Utilisation de technologies avancées :**

L'intégration de capteurs d'humidité, de température et d'autres technologies IoT (Internet des objets) permet une surveillance en temps réel des conditions du sol et des besoins en eau des cultures. Ces données sont analysées pour ajuster automatiquement les pratiques d'irrigation [20].

- **Durabilité environnementale :**

En optimisant l'utilisation de l'eau, l'automatisation contribue à une gestion durable des ressources hydriques, essentielle dans un contexte de rareté croissante et de changement climatique.

## **8- Défis et limitation :**

- **Coût Initial :**

L'installation de systèmes d'irrigation automatisés peut nécessiter un investissement initial important, ce qui peut être un obstacle pour certains agriculteurs.

- **Complexité Technique :**

La mise en place et la maintenance de ces systèmes peuvent nécessiter une expertise technique que tous les agriculteurs ne possèdent pas. Cela peut entraîner des coûts supplémentaires en formation ou en assistance technique.

- **Dépendance Technologique :**

Une forte dépendance à la technologie peut poser problème en cas de pannes ou de défaillances techniques, impactant ainsi la gestion des cultures.

## **9- Conclusion :**

L'irrigation agricole est un élément fondamental pour assurer la sécurité alimentaire et la durabilité des systèmes agricoles, surtout dans un contexte de changement climatique et de raréfaction des ressources en eau. À travers notre exploration des différents types d'irrigation, nous avons constaté que chaque méthode, qu'il s'agisse de l'irrigation de surface, par aspersion, goutte à goutte ou par oyas, présente des avantages et des inconvénients qui doivent être soigneusement évalués en fonction des conditions spécifiques de chaque exploitation.

L'irrigation par oyas, en particulier, se distingue par son efficacité à minimiser le gaspillage d'eau tout en fournissant une irrigation ciblée directement aux racines des plantes. Cette méthode

traditionnelle met en lumière l'importance de réintégrer des techniques anciennes dans les pratiques modernes pour répondre aux défis contemporains.

Par ailleurs, l'automatisation de l'irrigation émerge comme une solution innovante pour optimiser l'utilisation de l'eau et améliorer les rendements agricoles. Grâce à l'intégration de technologies avancées, les systèmes d'irrigation automatisés permettent une gestion précise et efficace des ressources hydriques, tout en réduisant le temps et la main-d'œuvre nécessaires.

En somme, le choix d'un système d'irrigation doit être guidé par une compréhension approfondie des facteurs environnementaux, économiques et techniques. En adoptant une approche intégrée qui combine les meilleures pratiques anciennes et les innovations modernes, il est possible de construire un avenir agricole durable qui répond aux besoins croissants de la population mondiale tout en préservant les ressources naturelles. La clé réside dans la capacité à s'adapter et à innover face aux défis actuels, tout en respectant l'héritage des méthodes traditionnelles qui ont fait leurs preuves au fil du temps.

# **Chapitre II**

**Description électronique du  
système d'irrigation et des  
outils informatiques utilisés**

## 1- Introduction :

Dans ce chapitre, nous présenterons en détail les différents composants électroniques et les outils informatiques qui constituent le cœur de notre système d'irrigation automatisé. Chaque élément joue un rôle essentiel dans la conception, le fonctionnement et la performance du projet. L'objectif est d'assurer une gestion précise et optimisée de l'irrigation, adaptée aux besoins des plantes tout en réduisant le gaspillage d'eau.

## 2- Présentation du cahier de charges :

Le système repose sur plusieurs capteurs, actionneurs et dispositifs de communication qui interagissent grâce à l'ESP32, une plateforme microcontrôleur très performante. Les données sont collectées, analysées et affichées via des outils comme Arduino IDE et Blynk.

Les sections suivantes décrivent en détail chaque composant utilisé dans ce projet, en expliquant leur rôle, leurs caractéristiques techniques et leurs avantages pour le système d'irrigation automatisé.

## 3- Présentation du branchement électronique :

### 3.1- Le PCB :

Le PCB, ou circuit imprimé (printed circuit board), constitue la base physique du système électronique. Il s'agit d'une plaque en matériau isolant sur laquelle sont gravées des pistes conductrices pour assurer les connexions électriques entre les composants électroniques. Le PCB permet ainsi d'intégrer tous les composants de manière organisée et fiable [21].

- **Rôle :**
  - Supporter mécaniquement les composants électroniques.
  - Assurer les interconnexions électriques pour le fonctionnement du système.
  - Simplifier l'installation et réduire les risques de mauvais branchements.
- **Avantages :**
  - **Robustesse :** Une conception soignée du PCB garantit une meilleure résistance aux conditions d'utilisation.
  - **Durabilité :** Contrairement aux montages sur breadboard, les soudures assurent des connexions solides.
  - **Facilité de maintenance :** Une panne peut être localisée rapidement en suivant les pistes du circuit.
- **Détails de conception :**
  - Le PCB a été conçu pour accueillir les capteurs, l'ESP32, les relais et l'alimentation de la pompe.
  - Il réduit l'encombrement du système en intégrant les connexions sur une seule carte.

### 3.2- ESP32 :

L'ESP32 est un microcontrôleur très performant qui constitue le cerveau de notre système d'irrigation. Doté de fonctionnalités avancées, notamment la connectivité Wi-Fi et Bluetooth, il permet de collecter les données des capteurs, de les traiter, d'envoyer des commandes aux actionneurs et de communiquer avec une interface utilisateur via des applications comme Blynk [21].

- **Caractéristiques principales :**

- **Processeur :** Microprocesseur dual-core cadencé jusqu'à 240 MHz.
- **Mémoire :** 520 Ko de SRAM et capacité de stockage Flash jusqu'à 16 Mo.
- **Connectivité :** Wi-Fi 802.11 b/g/n et Bluetooth 4.2.
- **Consommation :** Faible consommation d'énergie, idéale pour les applications embarquées.



Figure II.1 ESP32

- **Rôle :**

- Recevoir les signaux des capteurs (humidité, niveau d'eau, température, etc.).
- Traiter les données et prendre des décisions logiques (activer la pompe ou l'électrovanne).
- Transmettre les données via le Wi-Fi pour permettre une visualisation en temps réel.

- **Avantages :**

- Grande puissance de traitement par rapport à d'autres microcontrôleurs comme l'Arduino Uno.
- Connectivité sans fil permettant le contrôle à distance.
- Compatible avec un large éventail de capteurs et de modules.

L'ESP32 joue donc un rôle central en orchestrant toutes les opérations du système d'irrigation automatisé.

### 3.3- Niveau d'eau à base de conductivité :

Le capteur de niveau d'eau à base de conductivité permet de mesurer les niveaux d'eau dans un réservoir à l'aide de plusieurs fils conducteurs immergés à différentes hauteurs. Ce principe repose sur la capacité de l'eau à conduire l'électricité.

- **Principe de fonctionnement :**
  - Des fils conducteurs sont disposés à différentes hauteurs dans le réservoir.
  - Lorsqu'un fil est en contact avec l'eau, un circuit électrique est établi, indiquant que le niveau d'eau a atteint cette hauteur.
- **Rôle :**
  - Surveiller les niveaux d'eau en pourcentage (100%, 80%, 60%, 40%, 20%).
  - Fournir des signaux électriques à l'ESP32 pour déclencher ou arrêter des actions comme l'activation de la pompe ou l'ouverture de l'électrovanne.
- **Avantages :**
  - Solution simple et économique.
  - Ne nécessite pas de capteurs complexes.
  - Précision suffisante pour une application d'irrigation.
- **Inconvénients :**
  - Sensible aux impuretés dans l'eau.

Ce système de mesure est un moyen fiable de surveiller le niveau d'eau, notamment dans les réservoirs utilisés pour le stockage.

### 3.4- Capteur ultrason :

Le capteur à ultrasons, de type HC-SR04, mesure la distance entre le capteur et la surface de l'eau en utilisant des ondes ultrasonores [23]. C'est une méthode non intrusive qui ne nécessite aucun contact direct avec l'eau.

- **Principe de fonctionnement :**
  - Le capteur émet une onde sonore ultrasonore.
  - Cette onde est réfléchiée par la surface de l'eau et revient vers le capteur.
  - Le temps de trajet aller-retour permet de calculer la distance grâce à la formule :  
 $distance = vitesse \times temps / 2$ .



Figure II.2 Capteur ultrason HC-SR04

- **Caractéristiques techniques :**
  - Portée : 2 à 400 cm.
  - Précision : +/- 3 mm.
  - Tension d'alimentation : 5V.
- **Rôle :** Fournir une mesure précise et continue du niveau d'eau dans les réservoirs.
- **Avantages :**
  - Haute précision et fiabilité.
  - Aucune usure mécanique, car le capteur ne touche pas l'eau.
  - Fonctionne même avec de l'eau sale ou trouble.

Le capteur ultrason complète efficacement la méthode basée sur la conductivité pour garantir une mesure redondante et fiable des niveaux d'eau.

### 3.5- Capteur d'humidité du sol :

Le capteur d'humidité du sol joue un rôle crucial dans la détection de l'humidité présente autour des racines des plantes. Cela permet de déterminer si une irrigation est nécessaire.

- **Principe de fonctionnement :**
  - Le capteur mesure la résistance électrique du sol.
  - Un sol humide conduit mieux l'électricité qu'un sol sec [23].
- **Caractéristiques :**
  - Tension d'alimentation : 3,3V - 5V.
  - Sortie : Signal analogique ou numérique.



Figure II.3 Capteur d'humidité

- **Rôle :**
  - Surveiller l'humidité du sol pour optimiser les cycles d'irrigation.
  - Transmettre les données à l'ESP32 pour automatiser l'irrigation.

Ce capteur est indispensable pour ajuster la fréquence d'irrigation en fonction des besoins réels des plantes, évitant ainsi tout gaspillage d'eau.

### 3.6- Capteur d'humidité et de température DHT11

Le capteur DHT11 est un module compact utilisé pour mesurer à la fois l'humidité relative et la température ambiante, ce qui permet d'ajuster les paramètres du système d'irrigation selon les conditions climatiques [24].

- **Caractéristiques principales :**
  - Plage de mesure de température : 0°C à 50°C.
  - Précision température :  $\pm 2^\circ\text{C}$ .
  - Plage d'humidité : 20% à 90% HR.
  - Précision humidité :  $\pm 5\%$  HR.

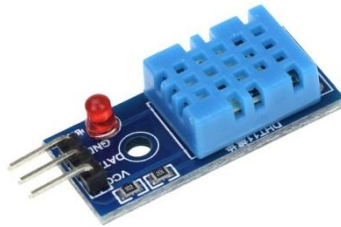


Figure II.4 Capteur d'humidité et de température DHT11

- **Rôle :**
  - Surveiller les conditions climatiques pour assurer un arrosage adéquat.
  - Transmettre les données à l'ESP32 pour permettre une meilleure adaptation du système.
- **Avantages :**
  - Capteur fiable et peu coûteux.
  - Facile à intégrer grâce à sa sortie numérique.

### 3.7- Électrovanne :

L'électrovanne est un dispositif électromécanique permettant de contrôler l'écoulement de l'eau dans le système d'irrigation. Elle est activée ou désactivée grâce à un signal électrique provenant de l'ESP32 [23].

- **Principe de fonctionnement :**
  - L'électrovanne est constituée d'une bobine électromagnétique. Lorsqu'un courant électrique circule dans cette bobine, un champ magnétique est généré, ce qui soulève un piston ou une membrane pour permettre le passage de l'eau.
  - Lorsque l'alimentation électrique est interrompue, un ressort remet le piston en position fermée pour bloquer le passage de l'eau.

- **Caractéristiques principales :**
  - **Tension d'alimentation :** 12V ou 24V (selon le modèle).
  - **Type :** Normalement fermé (NC) ou normalement ouvert (NO).
  - **Pression supportée :** Généralement entre 0,2 et 10 bars.



Figure II.5 Electrovanne

- **Rôle :**
  - Ouvrir ou fermer automatiquement l'arrivée d'eau pour irriguer les plantes.
  - Fonctionner en synergie avec les capteurs pour s'activer lorsque le sol est sec ou que le niveau d'eau est insuffisant.
- **Avantages :**
  - Commande précise et rapide de l'écoulement de l'eau.
  - Compatible avec les systèmes automatisés.
  - Faible consommation d'énergie pour les petites électrovannes.
- **Applications dans le projet :**
  - L'électrovanne s'ouvre automatiquement lorsque le niveau d'humidité du sol descend en dessous d'un seuil défini. Elle se ferme lorsque l'humidité est optimale.

### 3.8- Mini pompe

La mini pompe est un composant essentiel pour assurer le transfert de l'eau depuis le réservoir vers le système d'irrigation. Elle fonctionne grâce à un moteur électrique alimenté par une tension adaptée [25].

- **Principe de fonctionnement :**
  - La pompe utilise un moteur électrique pour générer une aspiration qui permet de déplacer l'eau à travers un tuyau jusqu'à l'emplacement à irriguer.



Figure II.6 Mini-pompe 12V

- **Caractéristiques principales :**
  - **Tension d'alimentation :** 5V à 12V (selon le modèle).
  - **Débit d'eau :** Entre 80 et 500 L/h pour les petites pompes.
  - **Consommation électrique :** Faible, adaptée pour les systèmes autonomes.
  - **Hauteur de refoulement :** Capacité à pousser l'eau sur quelques mètres de hauteur.
- **Avantages :**
  - Compacte et légère.
  - Faible consommation d'énergie.
  - Facile à intégrer dans un système automatisé.
- **Applications dans le projet :**
  - La mini pompe est activée par l'ESP32 lorsqu'on veut vider les oyas. Elle assure ainsi un apport contrôlé d'eau dans le réservoir.

### 3.9- Relai :

Le relai est un composant électronique qui permet de contrôler des dispositifs à haute tension (comme une pompe ou une électrovanne) grâce à un signal électrique de faible tension provenant de l'ESP32.

- **Principe de fonctionnement :**
  - Le relai fonctionne comme un interrupteur électromécanique. Lorsqu'une petite tension est appliquée à la bobine du relai, un champ magnétique est créé pour fermer un contact, ce qui permet le passage d'un courant plus important.
- **Caractéristiques principales :**
  - **Tension de commande :** 3,3V ou 5V (selon le modèle).
  - **Capacité de commutation :** Peut contrôler des charges jusqu'à 250V et 10A.
  - **Isolation électrique :** Protection entre la basse tension (ESP32) et la haute tension (pompe/électrovanne).

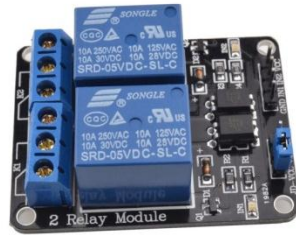


Figure II.7 Relai double

- **Rôle :**
  - Agir comme un interrupteur pour contrôler les actionneurs du système (pompe, électrovanne) en fonction des instructions envoyées par l'ESP32.
- **Avantages :**
  - Permet de contrôler des dispositifs nécessitant des courants élevés.
  - Assure une isolation sécurisée entre la partie commande et la partie puissance.
- **Applications dans le projet :**
  - Le relai est utilisé pour activer la pompe et l'électrovanne en fonction des données transmises par les capteurs.

#### 4- Les outils de programmation :

##### 4.1- Arduino IDE :

Arduino IDE (Integrated Development Environment) est un logiciel open-source qui permet de programmer facilement des microcontrôleurs comme l'ESP32.

- **Fonctionnalités principales :**
  - **Éditeur de code :** Écrire, compiler et téléverser le code vers le microcontrôleur.
  - **Bibliothèques :** Intégration de bibliothèques pour simplifier l'utilisation des capteurs et actionneurs.
  - **Compatibilité :** Fonctionne sous Windows, MacOS et Linux.
  - **Langage :** Programmation basée sur C/C++ simplifié.
- **Rôle :**
  - Servir d'environnement pour coder et tester les instructions logiques du projet.
  - Gérer les bibliothèques nécessaires pour les capteurs (DHT11, capteur ultrason, etc.).
- **Avantages :**
  - Interface simple et intuitive pour les débutants.
  - Nombreuses ressources disponibles en ligne.

- Support pour une large gamme de microcontrôleurs.
- **Applications dans le projet :**
  - L'Arduino IDE a été utilisé pour programmer l'ESP32 afin d'intégrer les capteurs et actionneurs.

#### 4.2- Blynk :

Blynk est une plateforme IoT (Internet of Things) qui permet de créer des interfaces utilisateur pour contrôler des dispositifs connectés via une application mobile [22].

- **Fonctionnalités principales :**
  - **Interface utilisateur :** Création d'un tableau de bord interactif pour afficher les données et contrôler les actionneurs.
  - **Connectivité :** Compatible avec Wi-Fi, Bluetooth et autres protocoles IoT.
  - **Widgets :** Intégration de boutons, jauges, graphiques pour visualiser les données en temps réel.
- **Rôle :**
  - Afficher les niveaux d'eau, l'humidité du sol, l'humidité de l'air et la température en temps réel.
  - Permettre à l'utilisateur d'activer ou désactiver manuellement la pompe.
- **Avantages :**
  - Interface conviviale et personnalisable.
  - Communication en temps réel entre le système et l'application mobile.
  - Accès à distance via Internet.
- **Applications dans le projet :**
  - Blynk est utilisé pour surveiller les données du système d'irrigation et envoyer des commandes à distance pour optimiser son fonctionnement.

#### 5- Conclusion :

Ce chapitre met en lumière l'importance de chaque composant électronique et outil informatique dans la conception du système d'irrigation automatisé. Chacun de ces éléments contribue de manière essentielle à l'efficacité globale du système, en garantissant une gestion optimisée de l'irrigation. L'intégration de ces technologies permet non seulement de répondre aux besoins spécifiques des plantes, mais aussi de réduire le gaspillage d'eau, ce qui est crucial pour une gestion durable des ressources en eau. Ainsi, ce système constitue une solution innovante et performante pour l'agriculture de précision.

# **Chapitre III**

## **Partie expérimentale**

### **Conception et implémentation du système**

## 1- Introduction :

Pour concevoir et mettre en œuvre un système fonctionnel et finalisé, il est essentiel de passer par plusieurs étapes structurées. Ces étapes consistent à tester individuellement chaque composant du système, afin de garantir leur bon fonctionnement, leur intégration avec l'ESP32 et leur interaction via l'environnement Arduino IDE.

Chaque test est conçu pour valider une fonctionnalité spécifique, en commençant par des cas simples pour s'assurer des bases, comme la connexion entre l'ESP32 et l'application Blynk, jusqu'à des tests plus complexes intégrant plusieurs composants simultanément.

Le déroulement commence par la vérification de la connexion entre l'ESP32 et Blynk à l'aide d'un simple bouton permettant d'allumer ou d'éteindre une LED. Une fois ce premier test validé, nous procédons à l'intégration des autres éléments du système, conformément à la liste des étapes établie :

1. Test de connexion ESP32-Blynk avec contrôle d'une LED.
2. Intégration et test du capteur de niveau d'eau basé sur la conductivité.
3. Intégration du capteur ultrason et affichage sur Blynk.
4. Connexion du capteur d'humidité du sol.
5. Connexion du capteur de température et d'humidité DHT11.
6. Test de contrôle de la mini-pompe via un relais et un bouton sur Blynk.
7. Test de l'électrovanne en fonction du niveau d'eau.

Chaque étape sera décrite en détail, incluant le matériel nécessaires ainsi que le câblage et le code source utilisé et voir les tests qui pourront être réalisés. Ce processus méthodique nous permettra de garantir la fiabilité et la cohérence de l'ensemble du système avant son intégration finale.

## 2- Les étapes de la mise en œuvre du système :

### 2.1- Connexion de l'ESP32 avec blynk et test de la LED :

La première étape de la mise en œuvre du système consiste à établir une connexion entre l'ESP32 et la plateforme Blynk. Cette connexion permettra de contrôler les dispositifs connectés à l'ESP32 via une interface web ou mobile. Pour valider cette connexion, nous avons réalisé un test simple :

Contrôler l'allumage et l'extinction d'une LED à l'aide d'un bouton ajouté à l'application Blynk.

- Matériels requis :

- ESP 32.
- Fils de connexion.
- LED.

- Configuration dans Blynk :
  - Créez un nouveau projet dans l'application mobile Blynk et spécifier la carte utilisée sur l'ESP32.
  - Ajoutez un bouton et configurez-le pour fonctionner en mode "Switch". Associez-le à une broche virtuelle, par exemple, V0.
  - Notez le "Auth Token" fourni par l'application.
- Connexion matérielle :
  - Connectez l'anode (+) de la LED (fil rouge) à la broche numérique GPIO23 de l'ESP32.
  - Connectez la cathode de la LED (fil noir) à la masse (GND).
- Programmation dans Arduino IDE :
  - Téléchargez et installez la bibliothèque Blynk si ce n'est pas déjà fait.
  - Utilisation du code suivant :

```

test_led_bouton
#define BLYNK_TEMPLATE_ID "IMPL2FvGoLxiU"
#define BLYNK_TEMPLATE_NAME "Esp32 pour tests"
#define BLYNK_AUTH_TOKEN "Ly7n5r16iL-MJBvQHhtG9eWApDuWIo_I"

#define BLYNK_PRINT Serial // Pour afficher les messages de débogage

#include <WiFi.h>
#include <WiFiClient.h>
#include <BlynkSimpleEsp32.h>

// Ton Wi-Fi
char ssid[] = "Galaxy S9+7d07";
char pass[] = "12341234";

int ledPin = 23; // Pin de la LED connectée à l'ESP32 (tu peux utiliser une LED virtuelle si tu veux)

BLYNK_WRITE(V0) { // Lorsqu'on appuie sur le bouton virtuel dans l'application Blynk
  int ledState = param.asInt(); // Récupère l'état du bouton (1 = ON, 0 = OFF)
  digitalWrite(ledPin, ledState); // Allume ou éteint la LED
}

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  pinMode(ledPin, OUTPUT); // Initialisation de la LED
  Blynk.begin(BLYNK_AUTH_TOKEN, ssid, pass); // Connexion à Blynk
}

void loop() {
  Blynk.run(); // Maintient la communication avec Blynk
}

```

Figure III.1 Code arduino du test N°1

- Tests à réaliser :
  - Dans l'application Blynk, appuie sur le bouton virtuel pour allumer ou éteindre la LED.
  - Vérifie la réponse de la LED en temps réel.
  - Laisse la connexion active pendant 10 à 15 minutes et teste plusieurs cycles ON/OFF pour vérifier la stabilité de la communication.

## **2.2- Intégration du Capteur de Niveau d'Eau Basé sur la Conductivité (avec Détection Numérique) :**

Dans cette étape, l'objectif est de mettre en place un système de détection du niveau d'eau en utilisant des capteurs de conductivité. Ces capteurs, placés à différents niveaux dans le réservoir d'eau, détectent la présence d'eau en fonction de la conductivité électrique entre leurs électrodes. Lorsqu'un capteur est immergé dans l'eau, il modifie la résistance entre ses électrodes, ce qui est interprété comme un signal bas (LOW) par l'ESP32. En fonction de ce signal, l'ESP32 peut déterminer à quel niveau d'eau se trouve le réservoir.

- Matériel requis :
  - Capteurs de niveau d'eau à conductivité.
  - ESP32.
  - Fils de connexion.
  - Breadboard.
- Branchement des capteurs :
  - Connecte chaque capteur aux broches définies sur l'ESP32. Par exemple, connecte :
    - Capteur pour 20% sur la broche 19,
    - Capteur pour 40% sur la broche 18,
    - Capteur pour 60% sur la broche 5,
    - Capteur pour 80% sur la broche 17,
    - Capteur pour 100% sur la broche 16.
- Configuration dans Blynk :
  - Crée un widget "Value Display" ou "Gauge" dans l'application Blynk et associe-le à une broche virtuelle V1.

- Programmation dans Arduino IDE :



```

test_niveau_d_eau_conductivit_ $
char ssid[] = "Galaxy S9+7d07";
char pass[] = "12341234";

// Pins des capteurs pour les niveaux 20%, 40%, 60%, 80%, 100%
const int sensorPins[5] = {19, 18, 5, 17, 16};
const int numSensors = 5; // Nombre total de capteurs

void setup()
{
  // Initialisation de la console série
  Serial.begin(115200);
  // Connexion au Blynk Cloud
  Blynk.begin(BLYNK_AUTH_TOKEN, ssid, pass);
  // Configure chaque broche GPIO comme entrée avec pull-up interne pour les capteurs d'eau
  for (int i = 0; i < numSensors; i++) {
    pinMode(sensorPins[i], INPUT_PULLUP); // Utilisation du pull-up interne pour les capteurs
  }
}

void loop()
{
  // Exécuter la fonction Blynk
  Blynk.run();
  int detectedLevel = -1; // Variable pour stocker le niveau détecté (-1 signifie aucun niveau détecté)
  // Lire et vérifier les niveaux d'eau pour chaque capteur
  for (int i = numSensors - 1; i >= 0; i--) {
    int level = digitalRead(sensorPins[i]); // Lit le niveau pour chaque capteur

    if (level == LOW) { // Si le capteur est mouillé
      detectedLevel = (i + 1) * 20; // Stocke le pourcentage correspondant au capteur
      break; // Sort de la boucle dès qu'un niveau est détecté
    }
  }

  // Envoyer le niveau détecté à Blynk au widget V1
  if (detectedLevel != -1) {
    Blynk.virtualWrite(V1, detectedLevel); // Envoie le niveau d'eau détecté
  } else {
    // Envoyer 0 à Blynk pour indiquer aucun niveau détecté
    Blynk.virtualWrite(V1, 0);
  }
  delay(1000); // Attendre une seconde avant de lire à nouveau
}

```

Enregistrement terminé.

Figure III.2 Code arduino du test N°2

- Tests à réaliser :

- Vérification des connexions des fils capteurs et leur réaction en présence ou absence d'eau.
- Test progressif de détection des niveaux (20%, 40%, 60%, 80%, 100%) et validation via le moniteur série.
- Vérification de l'envoi des données à Blynk avec affichage précis sur un widget de gauge.
- Simulation de conditions d'erreurs (déconnexion, court-circuit) pour observer la robustesse du système.

### 2.3- Intégration du capteur ultrason pour la mesure du niveau d'eau :

Dans cette étape, l'objectif est de mettre en place un système de mesure du niveau d'eau en utilisant un capteur ultrason. Ce capteur mesure la distance entre l'eau et le capteur en envoyant des ondes sonores et en mesurant le temps qu'elles mettent à revenir après avoir été réfléchies par la surface de l'eau. La distance calculée permet d'estimer le niveau d'eau dans le réservoir.

- Matériel requis :
  - Capteur ultrason HC-SR04.
  - ESP32 et fils de connexion.
  - Breadboard.
  
- Branchement du capteur ultrason :
  - Broche **Trig** du capteur à la broche **GPIO13** de l'ESP32.
  - Broche **Echo** du capteur à la broche **GPIO12**.
  - Connecter l'alimentation **VCC** et **GND** du capteur aux broches **5V** et **GND** de l'ESP32.
  
- Configuration dans Blynk :
  - Créé un widget "Value Display" ou "Gauge" dans l'application Blynk et associe-le à une broche virtuelle V2 pour afficher la distance mesurée.
  
- Programmation dans Arduino IDE :

```

test_ultrason
#define TRIG_PIN 13
#define ECHO_PIN 12
#include <SPI.h>

long duration;
int distance;
int waterLevel;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Blynk.begin(BLYNK_AUTH_TOKEN, ssid, pass); // Connexion à Blynk

  pinMode(TRIG_PIN, OUTPUT);
  pinMode(ECHO_PIN, INPUT);
}

void loop() {
  // Envoie une impulsion de 10 microsecondes pour déclencher la mesure
  digitalWrite(TRIG_PIN, LOW);
  delayMicroseconds(2);
  digitalWrite(TRIG_PIN, HIGH);
  delayMicroseconds(10);
  digitalWrite(TRIG_PIN, LOW);

  // Mesure la durée de l'impulsion renvoyée par l'écho
  duration = pulseIn(ECHO_PIN, HIGH);

  // Calcule la distance en cm
  distance = duration * 0.0344 / 2;

  // Convertit la distance en pourcentage de niveau d'eau
  if (distance >= 0 && distance <= 10) {
    waterLevel = (10 - distance) * 10; // Calcul du pourcentage
  } else if (distance > 10) {
    waterLevel = 0; // Trop bas
  } else {
    waterLevel = 100; // Trop haut
  }

  // Envoie la distance à Blynk
  Blynk.virtualWrite(V3, distance);
  Blynk.virtualWrite(V2, waterLevel);

  delay(500);
}
Enregistrement terminé.

```

Figure III.3 Code arduino du test N°3

- Tests à réaliser :
  - Vérification des connexions du capteur à l'ESP32 (VCC, GND, Trigger, Echo).
  - Test de mesure de distance dans des conditions contrôlées, avec affichage sur Blynk.
  - Comparaison des mesures avec une règle ou un mètre pour vérifier la précision.

#### 2.4- Intégration du Capteur d'Humidité du Sol :

Mettre en place un système permettant de mesurer l'humidité du sol à l'aide d'un capteur spécialisé, puis envoyer les données vers l'application Blynk pour visualisation.

- Matériel requis :
  - Capteur d'humidité du sol (analogique ou numérique).
  - ESP32.
  - Fils de connexion.
  - Breadboard.
- Branchement du capteur :
  - **A0** : Connecté à une broche analogique de l'ESP32, la **GPIO35**
  - **VCC** : Connecté au 5V de l'ESP32.
  - **GND** : Connecté à la masse (GND) de l'ESP32.
- Configuration dans Blynk :
  - Ajouter un widget "Gauge" ou "Value Display".
  - Associer le widget à une broche virtuelle **V4**.
- Programmation dans Arduino IDE :

```

test_capteur_dhumidite
#include <WiFi.h>
#include <WiFiClient.h>
#include <BlynkSimpleEsp32.h>

// Identifiants WiFi
char ssid[] = "Galaxy S9+7d07";
char pass[] = "12341234";

// Broche du capteur d'humidité
#define SOIL_MOISTURE_PIN 35

int soilMoistureValue;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Blynk.begin(BLYNK_AUTH_TOKEN, ssid, pass); // Connexion à Blynk

  pinMode(SOIL_MOISTURE_PIN, INPUT);
}

void loop() {
  // Lecture de la valeur analogique du capteur
  soilMoistureValue = analogRead(SOIL_MOISTURE_PIN);

  // Conversion en pourcentage (valeur approximative)
  int soilMoisturePercent = map(soilMoistureValue, 1023, 4095, 100, 0);

  // Affichage des résultats dans le moniteur série
  Serial.print("Valeur brute du capteur : ");
  Serial.println(soilMoistureValue);

  Serial.print("Taux d'humidité du sol (%): ");
  Serial.println(soilMoisturePercent);

  // Envoie les données à Blynk
  Blynk.virtualWrite(V4, soilMoisturePercent);
  Blynk.virtualWrite(V5, soilMoistureValue);

  // Exécute Blynk
  Blynk.run();

  delay(1000);
}

```

Figure III.4 Code arduino du test N°4

- Tests à réaliser :
  - Vérification des connexions du capteur à l'ESP32 (VCC, GND, signal).
  - Test de lecture des valeurs dans différentes conditions (sec, légèrement humide, très humide).
  - Validation de l'envoi des données à Blynk et affichage correct sur un widget.

## 2.5- Intégration du capteur d'humidité et de température DHT11:

Intégration du capteur DHT11 à l'ESP32 pour mesurer et afficher la température et l'humidité de l'air sur l'application Blynk.

- Matériel requis :
  - ESP32.
  - Capteur DHT11.

- Fils de connexion et breadboard.
- Branchement du DHT11 :
  - Le capteur DHT11 possède 3 broches :
    - **VCC** : Connecte à la broche **5V** de l'ESP32.
    - **GND** : Connecte à **GND**.
    - **Data** : Connecté à une broche numérique **GPIO 25**.
- Configuration dans Blynk :
  - Crée deux widgets de type Value Display :
    - Associe le premier à la broche virtuelle **V6** pour l'humidité.
    - Associe le second à la broche virtuelle **V7** pour la température.
- Ajout de la bibliothèque DHT :
  - Installation de la bibliothèque **DHT sensor library by Adafruit** via le gestionnaire de bibliothèques dans l'IDE Arduino.
  - Ajout également la bibliothèque **Adafruit Unified Sensor**.
- Code source Arduino IDE :

```

test_dht11
#define BLYNK_PRINT Serial

#include <WiFi.h>
#include <WiFiClient.h>
#include <BlynkSimpleEsp32.h>
#include "DHT.h"

// Identifiants WiFi
char ssid[] = "Galaxy S9+7d07";
char pass[] = "12341234";

// Définition du capteur DHT11
#define DHTPIN 25 // Broche DATA du capteur
#define DHTTYPE DHT11

DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);

void setup() {
  Blynk.begin(BLYNK_AUTH_TOKEN, ssid, pass); // Connexion à Blynk
  dht.begin(); // Initialisation du capteur DHT
}

void loop() {
  // Lecture des données du capteur
  float humidity = dht.readHumidity();
  float temperature = dht.readTemperature();

  // Vérification des erreurs
  if (isnan(humidity) || isnan(temperature)) {
    return; // Ignore si les données sont invalides
  }

  // Envoi des données à Blynk
  Blynk.virtualWrite(V6, humidity); // Humidité sur V6
  Blynk.virtualWrite(V7, temperature); // Température sur V7

  // Exécute Blynk
  Blynk.run();

  delay(2000); // Pause de 2 secondes entre chaque lecture
}

```

Figure III.5 Code arduino du test N°5

- Tests à réaliser :
  - Vérification des connexions du capteur DHT11 à l'ESP32 (VCC, GND, signal).
  - Test de lecture des valeurs d'humidité de l'air et de la température dans des conditions normales.
  - Validation de l'envoi des données collectées au widget Blynk correspondant.

## 2.6- Intégration de la pompe :

Dans ce projet, la mini-pompe **12V** est contrôlée par un relais relié à l'ESP32. Un bouton dans l'application Blynk permet de l'allumer ou de l'éteindre facilement.

- Matériel requis :
  - ESP32.
  - Mini-pompe **12V**.
  - Module relais.
  - Alimentation **12V** pour la pompe.
  - Fils de connexion et breadboard.
  
- Schéma de connexion :
  - **Relier le relais à l'ESP32 :**
    - **IN** du relais → **GPIO23**.
    - **VCC** du relais → **5V** de l'ESP32.
    - **GND** du relais → **GND** de l'ESP32.
  - **Relier la pompe au relais :**
    - Une borne de la pompe → **NO** (Normally Open) du relais.
    - L'autre borne de la pompe → alimentation **GND**.
    - **COM** du relais → alimentation **12V**.
  
- Configuration de l'application Blynk :
  - Ajouter un **widget bouton** dans l'application Blynk.
  - Configurer ce bouton pour commutateur (Switch) sur le Virtual Pin **V8**.
  
- Code Arduino :

```

Boutton_pompe
#define BLYNK_TEMPLATE_ID "TMPL2pqFCXgMQ"
#define BLYNK_TEMPLATE_NAME "Quickstart Template"
#define BLYNK_AUTH_TOKEN "7_6aotQQedAhmalIhkRMyHQZrwM9EqbW"

#include <WiFi.h>
#include <BlynkSimpleEsp32.h>

// Identifiants WiFi
char ssid[] = "Galaxy S9+7d07";
char pass[] = "12341234";

#define RELAY_PIN 23 // Pin connecté au relais

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  Blynk.begin(BLYNK_AUTH_TOKEN, ssid, pass); // Connexion à Blynk

  pinMode(RELAY_PIN, OUTPUT);
  digitalWrite(RELAY_PIN, LOW);
}

BLYNK_WRITE(V1) { // Gestion du bouton sur Blynk
  int pinValue = param.asInt(); // Récupère l'état du bouton
  digitalWrite(RELAY_PIN, pinValue == 1 ? HIGH : LOW); // Active ou désactive la pompe
}

void loop() {
  Blynk.run();
}

```

Enregistrement terminé.

Figure III.6 Code arduino du test N°6

- Tests à réaliser :

- Test du contrôle manuel via un bouton virtuel Blynk pour activer et désactiver la pompe.
- Validation de l'état du relais (clic audible ou témoin LED) lorsqu'il est activé/désactivé.
- Observation du fonctionnement de la pompe pour s'assurer qu'elle démarre et s'arrête correctement.

## 2.7- Intégration de l'électrovanne ainsi que le niveau d'eau à base de conductivité :

Ajouter une électrovanne au système, contrôlée automatiquement en fonction du niveau d'eau détecté. L'électrovanne s'ouvre lorsque le niveau d'eau descend en dessous de 20 % et se ferme lorsque le niveau atteint 100 %.

- Matériel requis :
  - Un ESP32.
  - Une électrovanne **24V**.
  - Un relais connecté à l'électrovanne.
  - Les capteurs de conductivité pour détecter les niveaux d'eau.
  - Une alimentation compatible pour le relais et l'électrovanne.
  
- Broches des capteurs de conductivité :
  - Connecter les capteurs aux broches GPIO suivantes :
    - **Pin 19** : Niveau 20 %.
    - **Pin 18** : Niveau 40 %.
    - **Pin 5** : Niveau 60 %.
    - **Pin 17** : Niveau 80 %.
    - **Pin 16** : Niveau 100 %.
  
- Relais pour l'électrovanne :
  - Relier la borne **IN** du relais à la **broche GPIO22** de l'ESP32.
  - Connecter les bornes de puissance du relais à l'alimentation et à l'électrovanne selon le schéma du relais vu dans le point précédent (2.6).
  - Assurez-vous que le relais est compatible avec l'électrovanne.
  
- Code Arduino pour le contrôle de l'électrovanne :

```

vanne_inspi_led

#define BLYNK_PRINT Serial

#include <WiFi.h>
#include <WiFiClient.h>
#include <BlynkSimpleEsp32.h>

// Identifiants WiFi
char ssid[] = "Galaxy S9+7d07";
char pass[] = "12341234";

// Définir les pins GPIO pour le relais
int relayPin = 22; // Broche du relais (remplacer LED par relais)

// Pins des capteurs pour les niveaux 20%, 40%, 60%, 80%, 100%
const int sensorPins[5] = {19, 18, 5, 17, 16};
const int numSensors = 5; // Nombre total de capteurs

void setup()
{
  // Initialisation de la console série
  Serial.begin(115200);

  // Définir la broche du relais comme sortie
  pinMode(relayPin, OUTPUT);

  // Connexion au Blynk Cloud
  Blynk.begin(BLYNK_AUTH_TOKEN, ssid, pass);

  // Configure chaque broche GPIO comme entrée avec pull-up interne pour les capteurs d'eau
  for (int i = 0; i < numSensors; i++) {
    pinMode(sensorPins[i], INPUT_PULLUP);
  }

  // Éteindre le relais au démarrage
  digitalWrite(relayPin, LOW);
}

void loop()
void loop()
{
  // Exécuter la fonction Blynk
  Blynk.run();

  int detectedLevel = -1; // Variable pour stocker le niveau détecté (-1 signifie aucun niveau détecté)

  // Lire et vérifier les niveaux d'eau pour chaque capteur
  for (int i = numSensors - 1; i >= 0; i--) {
    int level = digitalRead(sensorPins[i]); // Lit le niveau pour chaque capteur

    if (level == LOW) { // Si le capteur est mouillé
      detectedLevel = (i + 1) * 20; // Stocke le pourcentage correspondant au capteur
      break; // Sort de la boucle dès qu'un niveau est détecté
    }
  }

  // Envoyer le niveau détecté à Blynk (par exemple au widget V1)
  Blynk.virtualWrite(V1, detectedLevel);
} else {
  Serial.println("Aucun niveau d'eau détecté");

  // Envoyer 0 à Blynk pour indiquer aucun niveau détecté
  Blynk.virtualWrite(V1, 0);
}

// Gestion du relais (relais sur Pin 22)
if (detectedLevel < 20) {
  digitalWrite(relayPin, HIGH); // Active le relais si le niveau est inférieur à 20%
}
else if (detectedLevel == 100) {
  digitalWrite(relayPin, LOW); // Désactive le relais lorsque le niveau atteint 100%
}

delay(1000); // Attendre une seconde avant de lire à nouveau
}

Enregistrement terminé.

```

Figure III.7 Code arduino du test N°7

• Tests à réaliser :

- Vérifier que le widget Blynk affiche le bon niveau d'eau (0 %, 20 %, 40 %, etc.).
- Vérifier que l'électrovanne s'ouvre automatiquement lorsque le niveau descend en dessous de 20 %.
- Vérifier que l'électrovanne se ferme automatiquement lorsque le niveau atteint 100%.

3- Schéma synoptique du système :

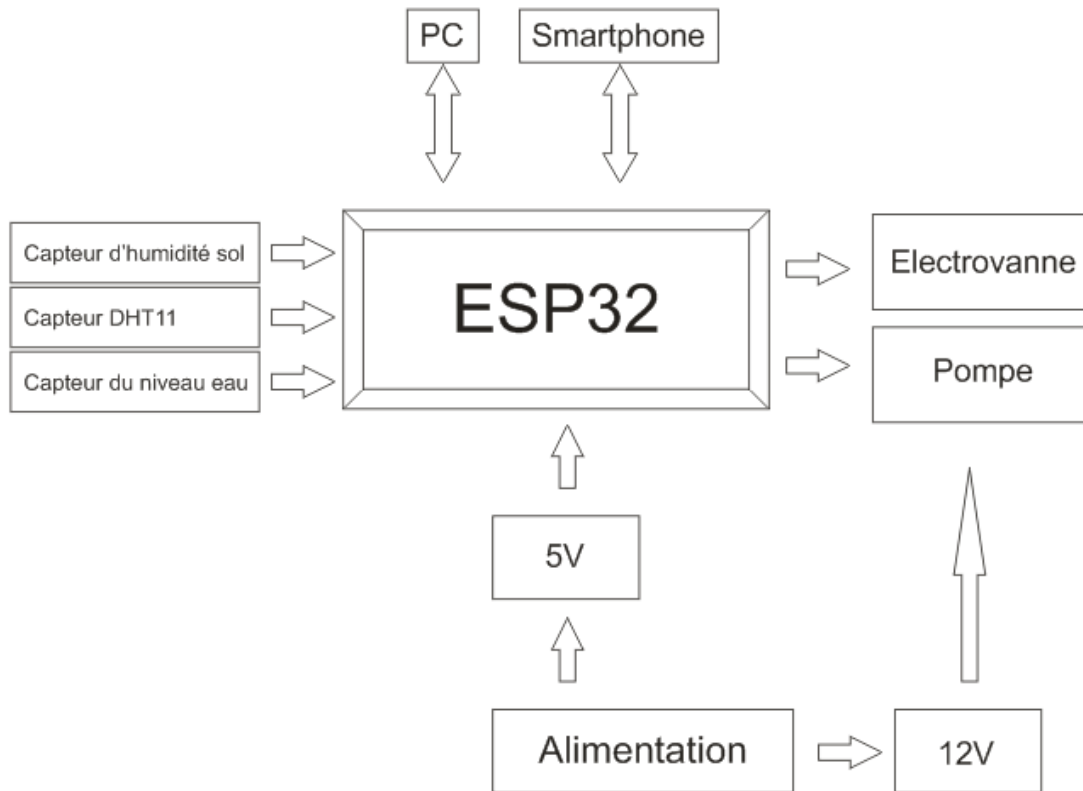


Figure III.8 Schéma synoptique

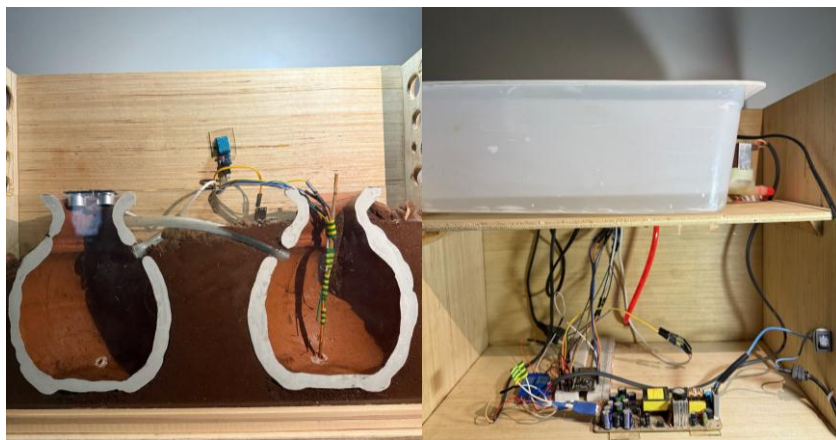


Figure III.9 Prototype du système

#### 4- Conclusion :

Ce chapitre a détaillé les étapes essentielles de conception et d'assemblage du système d'irrigation intelligent. Chaque composant, depuis le PCB jusqu'aux capteurs et actionneurs, a été intégré méthodiquement avec l'ESP32 pour former un système fonctionnel et cohérent.

Les différentes phases, incluant le câblage, la programmation via l'IDE Arduino et la connexion avec la plateforme Blynk, ont permis de créer une solution technique complète et accessible. Cette implémentation pratique a posé les bases solides pour les tests de validation, assurant que le prototype répond efficacement aux besoins d'une irrigation agricole de précision.

# **Chapitre IV**

## **Résultats et discussions**

### **Tests et validation**

## 1- Introduction :

Dans ce chapitre, nous détaillerons les tests réalisés pour valider le fonctionnement du système d'irrigation automatisé. Chaque test a pour objectif de vérifier l'intégration et la performance des composants électroniques et des outils informatiques, tout en s'assurant de la fiabilité du système dans des conditions réelles. Les tests sont présentés suivant un ordre logique, allant de la configuration des capteurs et des actionneurs jusqu'à l'automatisation complète du processus d'irrigation. Des images de chaque test seront fournies pour illustrer les résultats obtenus.

## 2- Résultats des tests :

### 2.1- Test N°1 : Contrôle à distance de la LED via l'ESP32 et Blynk

- Objectif du test :

Le but de ce test est de vérifier la connectivité et la communication entre l'ESP32 et l'application Blynk. Plus précisément, il s'agit de tester le contrôle d'une LED via un bouton virtuel dans l'interface de l'application Blynk. Ce test est essentiel pour s'assurer que l'ESP32 peut interagir correctement avec l'application et que le système de commande à distance fonctionne comme prévu.

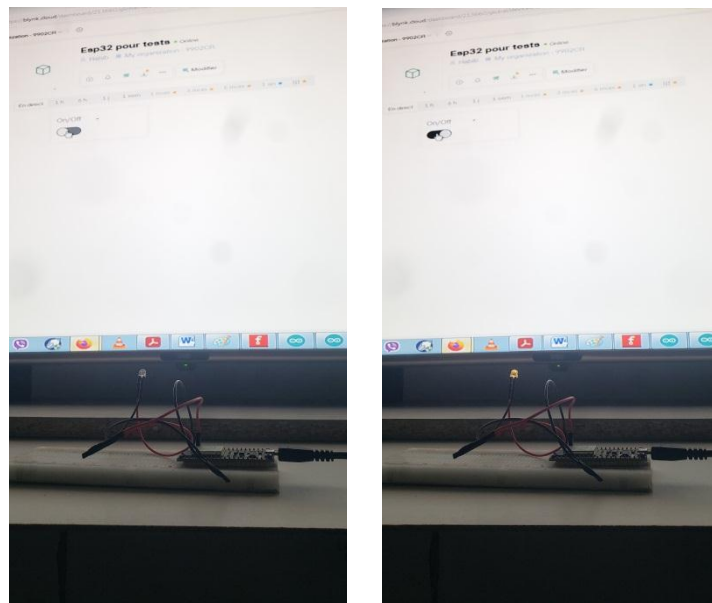


Figure IV.1 Résultats test N°1

- Résultats obtenues :

Le test a été un succès total. La LED a réagi instantanément aux commandes émises depuis l'application Blynk, s'allumant lorsque le bouton virtuel était activé et s'éteignant lorsque le bouton était désactivé. La connexion entre l'ESP32 et Blynk était stable, avec une latence minimale, permettant un contrôle fluide de la LED. Aucun dysfonctionnement n'a été observé pendant l'essai, et l'interface Blynk a bien reflété l'état de la LED.

## 2.2- Test N°2 : Mesure du niveau d'eau à l'aide du capteur de conductivité

- Objectif du test :

Ce test a pour objectif de valider la capacité du capteur de conductivité à mesurer le niveau d'eau dans un réservoir. Il s'agit de vérifier si le capteur peut fournir des valeurs fiables et cohérentes, correspondant à différents niveaux d'eau dans un réservoir. Le test permet également de valider l'intégration du capteur avec l'ESP32 et son affichage correct dans l'application Blynk.

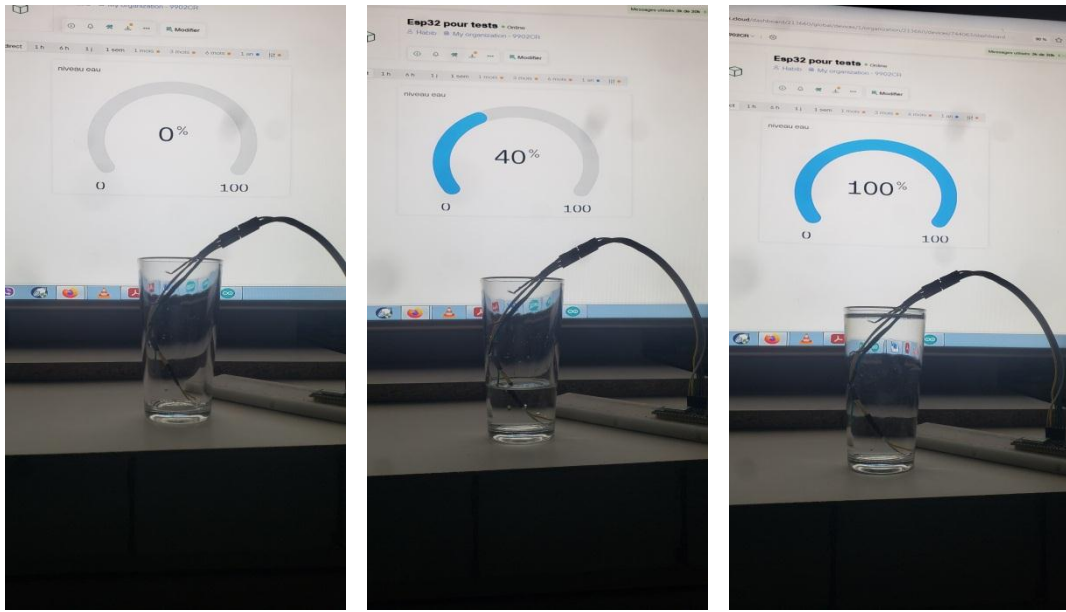


Figure IV.2 Résultats test N°2

- Résultats obtenues :

Le test a montré que le capteur de conductivité fonctionne comme prévu. Lorsque le capteur est immergé à différents niveaux d'eau, les valeurs de conductivité varient proportionnellement, et ces valeurs sont transmises à l'ESP32, qui les affiche correctement sur l'interface Blynk. Le système a bien réagi aux changements de niveau, affichant les niveaux d'eau en pourcentage. Le capteur a montré une bonne précision dans les limites de mesure, et les résultats ont été cohérents à chaque test, ce qui valide son utilisation dans le système d'irrigation.

## 2.3- Test N°3 : Mesure du niveau d'eau à l'aide du capteur ultrason

- Objectifs du test :

L'objectif de ce test est de vérifier l'exactitude et la fiabilité du capteur ultrason pour mesurer la hauteur d'eau dans un réservoir. Ce test vise à valider la capacité du capteur à détecter les changements de niveau d'eau en fonction des distances mesurées et à s'assurer que les données sont correctement transmises à l'ESP32 pour un affichage sur l'application Blynk.

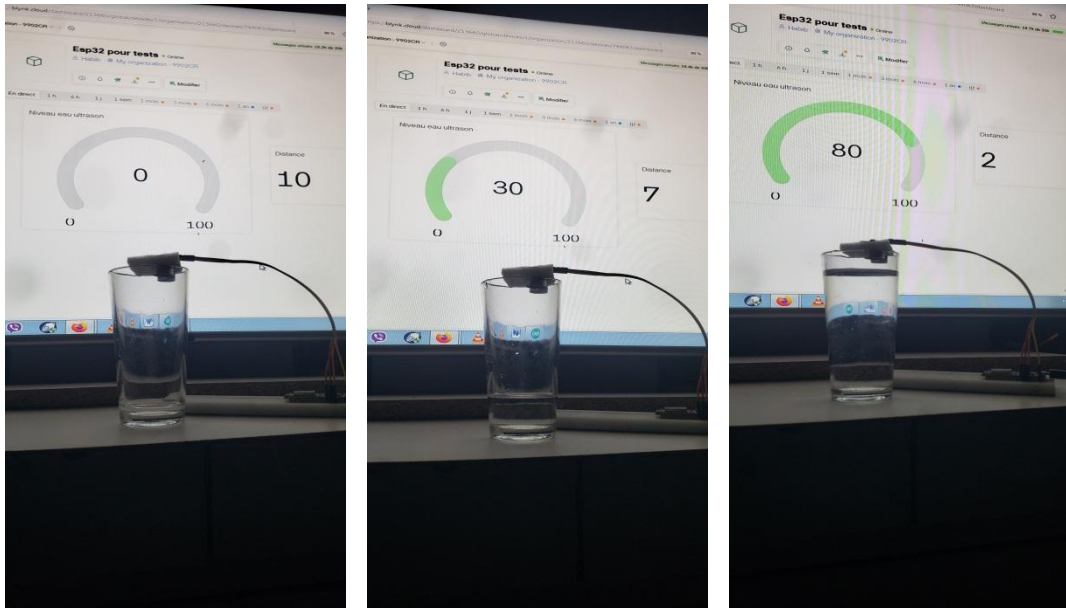


Figure IV.3 Résultats test N°3

- Résultats obtenues :

Les résultats du test ont été satisfaisants, avec le capteur ultrason offrant des mesures précises du niveau d'eau. Le capteur a détecté les niveaux d'eau de manière linéaire et cohérente, avec une précision acceptable pour les besoins du système. L'interface Blynk a bien affiché les niveaux d'eau mesurés, et le système a réagi correctement aux changements de niveau, envoyant les informations au serveur Blynk sans latence importante. Ce test a confirmé que le capteur ultrason est une solution viable pour mesurer le niveau d'eau dans notre système d'irrigation.

#### 2.4- Test N°4 : Mesure de l'humidité du sol avec le capteur d'humidité

- Objectifs du test :

Ce test a pour objectif de vérifier la capacité du capteur d'humidité à détecter les variations d'humidité dans le sol et à envoyer des données précises à l'ESP32. Il s'agit de valider que le capteur fonctionne efficacement dans des conditions variées d'humidité du sol, ce qui permettra au système d'irrigation de répondre de manière adéquate aux besoins en eau des plantes.

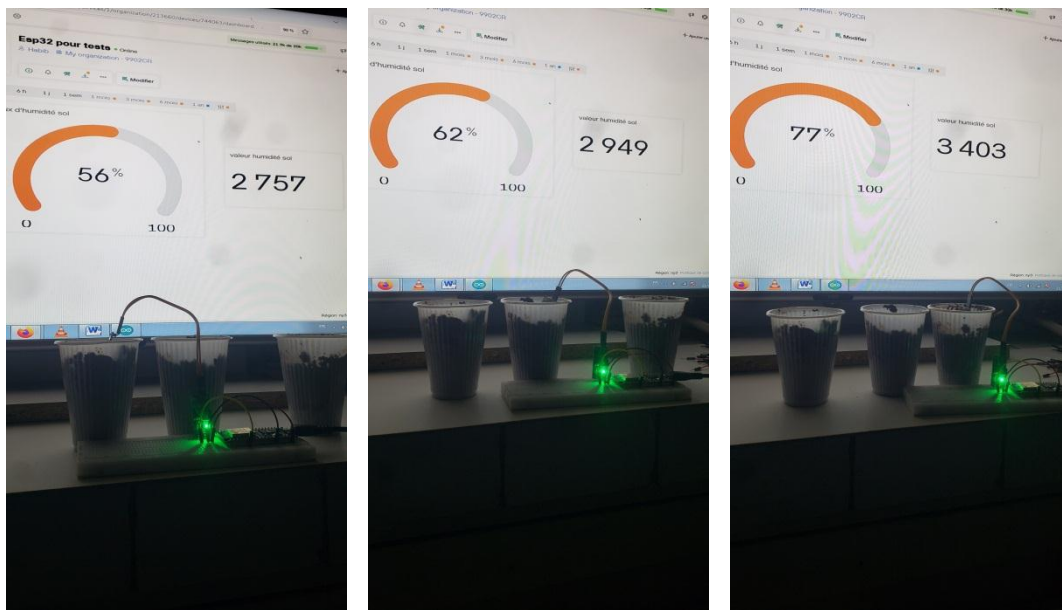


Figure IV.4 Résultats test N°4

- Résultats obtenues :

Les résultats ont montré que le capteur d'humidité réagissait bien aux différentes conditions du sol, que ce soit dans un sol humide, sec ou légèrement humide. Les valeurs mesurées ont été transmises correctement à l'ESP32, et l'interface Blynk a affiché les données d'humidité du sol en temps réel. Ce test a confirmé que le capteur est efficace pour surveiller l'humidité du sol et permettre une irrigation automatisée et précise.

## 2.5- Test N°5 : Mesure de l'humidité et de la température de l'air avec le capteur DHT11

- Objectifs du test :

L'objectif de ce test est de vérifier la précision du capteur DHT11 pour mesurer à la fois l'humidité et la température de l'air. Ces données sont essentielles pour ajuster l'irrigation en fonction des conditions climatiques ambiantes, contribuant ainsi à une gestion plus efficace de l'eau.

- Résultats obtenues :

Les tests ont montré que le capteur DHT11 fournit des lectures fiables de l'humidité et de la température de l'air. Les données ont été envoyées à l'ESP32 et affichées correctement sur l'interface Blynk. Les mesures d'humidité et de température ont varié selon les conditions ambiantes, ce qui a permis de confirmer le bon fonctionnement du capteur et son intégration au système de gestion de l'irrigation.

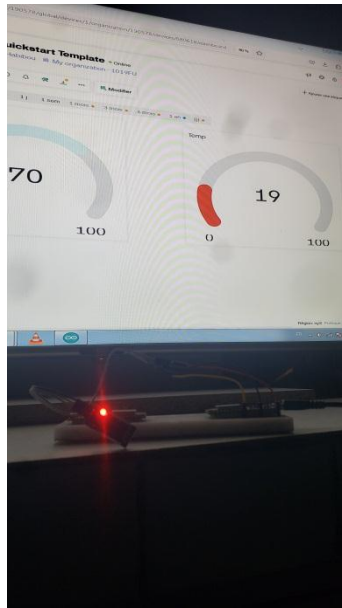


Figure IV.5 Résultats test N°5

## 2.6- Test N°6 : Contrôle de la mini-pompe 12V avec relais via Blynk

- Objectifs du test :

Ce test a pour but de vérifier le bon fonctionnement du contrôle de la mini-pompe via un relais, en utilisant l'interface Blynk. L'objectif est de s'assurer que la pompe peut être démarrée et arrêtée de manière fiable à distance, afin de fournir ou stopper l'irrigation selon les besoins détectés par le système.

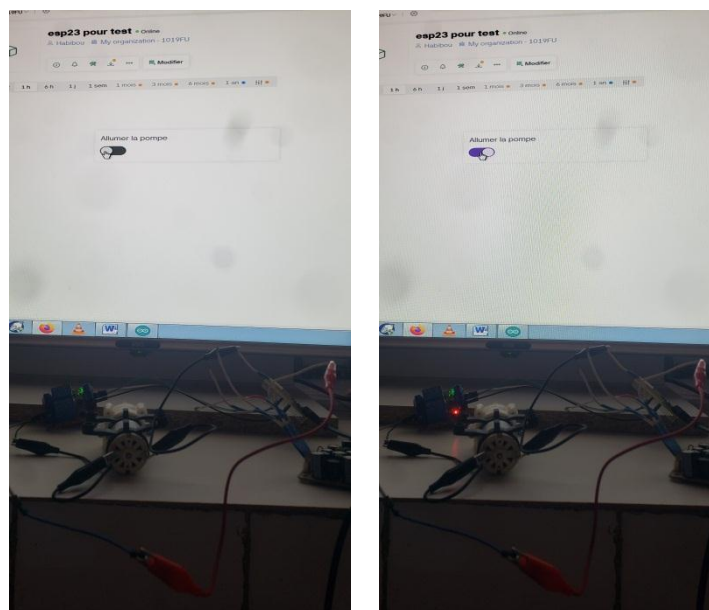


Figure IV.6 Résultats test N°6

- Résultats obtenues :

Le contrôle de la mini-pompe a parfaitement fonctionné. La pompe a été activée et désactivée via l'interface Blynk, en réponse aux commandes envoyées par l'utilisateur. Le relais a correctement ouvert et fermé le circuit de la pompe, permettant un contrôle précis du débit d'eau. Les tests ont montré que la pompe réagit rapidement aux changements d'état et fonctionne sans erreur.

## 2.7- Test N°7 : Automatisation de l'électrovanne par le niveau d'eau

- Objectifs du test :

L'objectif de ce test est de valider le fonctionnement de l'électrovanne contrôlée par un relais, en fonction du niveau d'eau détecté via la méthode de conductivité. Ce test permet de vérifier que l'électrovanne s'active automatiquement lorsque le niveau d'eau descend en dessous de 20%, et se désactive lorsque le niveau atteint 100%.

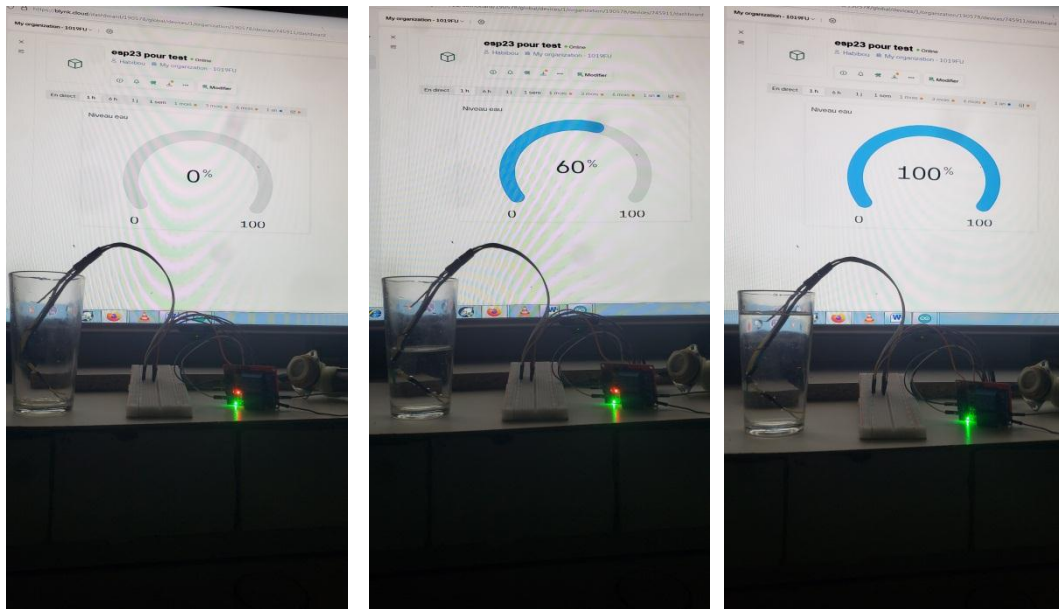


Figure IV.7 Résultats test N°7

- Résultats obtenues :

Les résultats ont montré que l'électrovanne s'est ouverte lorsque le niveau d'eau a chuté sous 20%, permettant ainsi une irrigation. En revanche, elle s'est fermée de manière fiable lorsque le niveau d'eau a atteint 100%, confirmant que le système fonctionne comme prévu pour assurer un contrôle automatique de l'irrigation. Ce test a démontré l'efficacité de la régulation automatique du système en fonction du niveau d'eau.

## 3- Conclusion :

Au terme de cette phase cruciale de tests et validation, chaque composant du système a été scrupuleusement évalué pour garantir son bon fonctionnement et sa fiabilité dans un contexte d'irrigation agricole de précision. Les tests menés ont permis de confirmer la

compatibilité des différents capteurs, actionneurs et de l'ESP32, ainsi que leur intégration harmonieuse au sein de la plateforme Blynk pour une gestion à distance.

En outre, les résultats obtenus lors des essais pratiques sur le prototype, notamment le suivi des niveaux d'eau, l'humidité du sol et la gestion automatique des électrovannes, valident l'efficacité du système dans les scénarios envisagés. Ces validations démontrent également la pertinence de l'approche adoptée, qui repose sur des technologies simples mais robustes et accessibles.

Ces tests concluent la partie technique et marquent une étape clé vers la mise en œuvre complète du système dans un environnement réel. Ils ouvrent également des perspectives pour des optimisations futures, notamment en termes d'efficacité énergétique, de gestion des données, et d'amélioration de l'ergonomie du système pour les utilisateurs finaux.

# Conclusion générale

Dans un monde confronté à une demande croissante en ressources alimentaires et à une raréfaction des ressources en eau, la recherche de solutions durables pour l'irrigation agricole s'impose comme une priorité. Ce mémoire s'inscrit dans cette démarche en proposant un système d'irrigation intelligent qui combine une méthode traditionnelle efficace, l'irrigation par oyas, avec des technologies modernes d'automatisation et de suivi en temps réel.

L'étude a permis de concevoir, d'implémenter et de tester un prototype intégrant un microcontrôleur ESP32, divers capteurs environnementaux, ainsi que des actionneurs pour réguler l'irrigation. Grâce à l'interface mobile Blynk, la gestion du système est simplifiée, offrant une solution accessible pour optimiser l'utilisation de l'eau dans différents contextes agricoles.

Les résultats obtenus démontrent que l'approche proposée peut réduire considérablement le gaspillage d'eau tout en maintenant des conditions favorables pour les cultures. L'utilisation des oyas, couplée à des technologies modernes, illustre une symbiose réussie entre tradition et innovation, répondant ainsi aux enjeux de durabilité et d'efficacité.

Ce projet met en lumière l'importance d'intégrer des solutions technologiques accessibles et adaptables dans l'agriculture de précision. Bien qu'il ait été mené dans un cadre expérimental, les résultats ouvrent la voie à de nombreuses perspectives, notamment l'adaptation du système à grande échelle ou son application à des cultures spécifiques.

Enfin, ce travail souligne également l'importance de la collaboration entre tradition et modernité pour relever les défis actuels de l'agriculture. À travers cette démarche, il est possible de contribuer de manière significative à une gestion plus intelligente et responsable des ressources naturelles, tout en valorisant des pratiques locales adaptées aux réalités du terrain.

# Références bibliographiques

1. **Test ASA. (n.d.). Histoire de l'irrigation.** Récupéré de <https://test-asa.fr/histoire-de-lirrigation>
2. **OpenEdition. (n.d.). Chapitre 9. L'irrigation et ses fonctions annexes.** Récupéré de <https://books.openedition.org/irdeditions/2869?lang=fr>
3. **Fournier, P., & Ruf, T. (n.d.). L'optimisation des usages agricoles de l'eau : Une analyse historique de l'irrigation en France méridionale et au Maghreb.** Récupéré de <https://agronomie.asso.fr/aes-10-2-14>
4. **Géoconfluences. (2023). Irrigation.** Dernière modification : janvier 2024. Récupéré de <https://geoconfluences.ens-lyon.fr/glossaire/irrigation>
5. **Wikipédia. (2024). Irrigation.** Récupéré de <https://fr.wikipedia.org/wiki/Irrigation>
6. **Université de M'Sila. (n.d.). Chapitre 01 : Définition, histoire et importance de l'irrigation.** Récupéré de <https://elearning.univ-msila.dz/moodle/mod/resource/view.php?id=36370>
7. **Futura Sciences. (2024). Irrigation.** Récupéré de <https://www.futura-sciences.com/planete/definitions/developpement-durable-irrigation-11290/>
8. **Sencrop. (2024). Choisir son système d'irrigation.** Récupéré de <https://fr.blog.sencrop.com/choisir-son-systeme-dirrigation/>
9. **Rivulis. (2024). Explorer les différents types d'irrigation et leurs applications.** Récupéré de <https://fr.rivulis.com/explorer-les-differents-types-dirrigation-et-leurs-applications/>
10. **Agriculture Jardinage 36. (n.d.). Irrigation agricole.** Récupéré de <https://agriculture-jardinage36.com/irrigation-agricole-2>
11. **Weenat. (n.d.). Choisir le bon système d'irrigation pour sa parcelle agricole.** Récupéré de <https://weenat.com/choisir-le-bon-systeme-d-irrigation-parcelle-agricole/>
12. **Mundoriego. (n.d.). Avantages et inconvénients de l'irrigation souterraine.** Récupéré de <https://mundoriego.es/fr/avantages-et-inconv%C3%A9nients-de-l'irrigation-souterraine/>
13. **Triple Performance. (n.d.). Irrigation en grandes cultures.** Récupéré de [https://wiki.tripleperformance.fr/wiki/Irrigation\\_en\\_grandes\\_cultures](https://wiki.tripleperformance.fr/wiki/Irrigation_en_grandes_cultures)
14. **France Pivots. (2024). L'irrigation dans le monde agricole : quels enjeux ?** Récupéré de <https://france-pivots.com/actus-pivots-irrigation/lirrigation-dans-le-monde-agricole-quels-enjeux/>

15. **Soverdi. (n.d.). Les 5 points clés pour bien choisir son système d'irrigation.** Récupéré de <https://soverdi.fr/les-5-points-cles-pour-bien-choisir-son-systeme-dirrigation/>
16. **Wikifarmer. (n.d.). Facteurs à prendre en compte lors du choix d'un système d'irrigation.** Récupéré de <https://wikifarmer.com/library/fr/article/facteurs-a-prendre-en-compte-lors-du-choix-dun-systeme-dirrigation>
17. **Weenat. (n.d.). Choisir le bon système d'irrigation pour sa parcelle agricole.** Récupéré de <https://weenat.com/choisir-le-bon-systeme-d-irrigation-parcelle-agricole/>
18. **Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO). (n.d.). Chapitre 5 : L'irrigation dans le monde.** Récupéré de <https://www.fao.org/4/w3094f/w3094f05.html>
19. **Synox. (n.d.). Agriculture intelligente : automatisation de l'irrigation.** Récupéré de <https://www.synox.io/cat-smart-agriculture/agriculture-intelligente-automatisation-irrigation/>
20. **Synox. (n.d.). Agriculture durable : arrosage des cultures.** Récupéré de <https://www.synox.io/cat-smart-agriculture/agriculture-durable-arrosage-cultures/>
21. **Espressif Systems. (2024). ESP32 Datasheet.** Disponible sur : <https://docs.espressif.com>
22. **Blynk IoT Platform. (2024). Documentation officielle.** Disponible sur : <https://docs.blynk.io>
23. **SparkFun Electronics. (2024). Relay Basics.** Disponible sur : <https://www.sparkfun.com>
24. **Adafruit Industries. (2024). DHT11 Temperature and Humidity Sensor.** Disponible sur : <https://www.adafruit.com>
25. **Instructables. (2024). Automated Watering System with ESP32.** Disponible sur : <https://www.instructables.com>

# Résumé

Ce projet présente la conception et la mise en œuvre d'un système d'irrigation intelligent pour l'agriculture de précision. Basé sur un microcontrôleur ESP32, le système intègre plusieurs capteurs (humidité du sol, niveau d'eau, température et humidité ambiantes) pour automatiser l'irrigation. L'électrovanne et la pompe sont contrôlées via l'application Blynk, permettant une gestion à distance. Le projet vise à optimiser la consommation d'eau tout en augmentant l'efficacité des cultures, répondant ainsi aux besoins des zones arides.

## Abstract

This project presents the design and implementation of an intelligent irrigation system for precision agriculture. Based on an ESP32 microcontroller, the system integrates various sensors (soil moisture, water level, ambient temperature, and humidity) to automate irrigation. The valve and the pump are controlled via the Blynk application, enabling remote management. The project aims to optimize water consumption while enhancing crop efficiency, addressing the needs of arid regions.

## ملخص

يقدم هذا المشروع تصميم وتنفيذ نظام ري ذكي للزراعة الدقيقة. يعتمد النظام على متحكم ESP32 ، ويدمج العديد من أجهزة الاستشعار (رطوبة التربة، ومستوى المياه، ودرجة الحرارة المحيطة والرطوبة) لأتمتة الري. يتم التحكم في صمام الملف اللولبي والمضخة عبر تطبيق Blynk ، مما يسمح بالإدارة عن بعد. يهدف المشروع إلى تحسين استهلاك المياه مع زيادة كفاءة المحاصيل، وبالتالي تلبية احتياجات المناطق القاحلة.