

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة سعيدة – د. الطاهر مولاي –

Université Saïda – Dr. Tahar Moulay –
Faculté de Technologie



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **Diplôme de MASTER en Télécommunications**

Spécialité : Réseaux et Télécommunications

Par : BENAOUMEUR Sara Rania

BOUDIA Yamna

Développement d'un réseau IoT en utilisant une série ESP

Soutenu, le 17/06/ 2025, devant le jury composé de :

Dr. Nouri Keltouma

Professeure

Présidente

Dr. Ouis Esma

MCB

Encadreur

Dr. Guendouz Mohamed

MCA

Examineur

2024 / 2025

REMERCIEMENTS

Nous tenons tout d'abord à exprimer notre gratitude et notre appréciation à tous ceux qui nous ont aidés et encouragés à réaliser ce mémoire.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à notre encadrant, Mme Ouis Esma, pour avoir accepté de nous encadrer et de nous dispenser des conseils précieux, ainsi qu'à Mr. Gouni Seliman, qui a largement contribué à ce projet.

Nous tenons également à remercier Mr. Chami Nadir qui nous a accueillis et n'a pas lésiné sur ses connaissances.

Nous remercions enfin tous les membres du jury prestigieux et distingué qui nous ont fait l'honneur d'évaluer et de juger notre travail.

Nous tenons également à remercier tous les professeurs qui ont contribué à notre formation au cours de nos années d'études dans cette université.

Nous tenons également à remercier tous nos amis et collègues pour leur soutien moral tout au long de la préparation de ce mémoire.

Enfin, nous tenons à rendre un hommage particulier à nos parents, frères et sœurs qui nous ont encouragés et aidés de toutes les manières possibles pour mener à bien notre projet.

Dédicace

Je dédie ce travail à Mes chers parents qui m'ont toujours soutenu,

je souhaite que vous soyez fière de moi, et que j'ai pu répondre

aux espoirs que vous avez fondé en moi.

Je dédie à Mes sœurs et mes frères

Ma famille Benaoumeur et Meftah

Mes amis

Mon binôme Yamna

Et enfin, ceux qui sont présents dans mon cœur ♥

Rania

Dédicace

*Je dédie ce travail à Mes chers parents qui m'ont toujours soutenu,
je souhaite que vous soyez fière de moi, et que j'ai pu répondre aux
espoirs que vous avez fondé en moi.*

Je dédie à Mes sœurs et mes frères

Ma famille Boudia

Mes amis

Mon binôme Rania

Et enfin, ceux qui sont présents dans mon cœur ♥

Yamna

Résumé

L'objectif de ce projet de fin d'études est de réaliser un système d'irrigation intelligent en appliquant l'Internet des objets dans ce domaine afin d'optimiser l'utilisation de l'eau dans l'agriculture pour obtenir de la qualité, gagner du temps et réduire les efforts.

Le système est contrôlé à l'aide d'un microcontrôleur ESP32 avec des capteurs d'humidité, de température et d'humidité du sol à travers lesquels nous contrôlons la pompe en fonction de niveau d'humidité du sol, ainsi que par le téléphone à travers de l'application BLYNK pour collecter les données du système qui affiche son état.

Mots-clés :

IdO, irrigation intelligente, Arduino IDE, ESP32, capteur d'humidité de sol (Fc-28), Blynk IoT.

ملخص

الهدف من مشروع السنة النهائية هو إنشاء نظام ري ذكي من خلال تطبيق إنترنت الأشياء في هذا المجال من أجل حسن استخدام المياه في الزراعة مع الحصول على الجودة وتوفير الوقت الجهد.

يتم التحكم في النظام باستخدام متحكم دقيق ESP32 مزود بمستشعرات الرطوبة ودرجة الحرارة ورطوبة التربة التي نتحكم من خلالها في المضخة اعتمادًا على مستوى رطوبة التربة، وكذلك عن طريق الهاتف من خلال تطبيق BLYNK الذي يعرض لنا جميع بيانات النظام .

الكلمات المفتاحية :

إنترنت الأشياء، الري الذكي، Arduino IDE، ESP32، مستشعر رطوبة التربة (Fc-28)، Blynk IoT .

Abstract

The objective of the final-year project is to create a smart irrigation system by applying the Internet of Things to this field, with the aim of optimising water usage in agriculture while improving quality and saving time and effort.

The system is controlled using an ESP32 microcontroller fitted with humidity, temperature and soil moisture sensors. The pump is controlled depending on the soil moisture level and can also be controlled via the BLYNK app, which shows all the system data.

Keywords :

IoT, smart irrigation, Arduino IDE, ESP32, soil moisture sensor(Fc-28), Blynk IoT.

Table des matières

Introduction générale :	1
Chapitre I : Concepts fondamentaux sur l'internet des objets	
I.1. Introduction :	3
I.2 Historique et évolutions récentes de l'IdO :	3
I.3 Architecture de l'internet des objets :	4
I.3.1. Couche perception :	5
I.3.2. Couche transport :	5
I.3.3. Couche traitement :	6
I.3.4. Couche application :	6
I.3.5. Couche Business :	6
I.4. Les microcontrôleurs dans le réseau IdO :	6
I.5. Présentation des microcontrôleurs ESP :	7
I.6. Protocoles de communication IdO:	7
I.7. Critères de conception d'un réseau IdO performant :	9
I.7.1. WiFi.	9
I.7.2. Bluetooth.....	9
I.7.3. Zigbee.	9
I.7.4 5G	9
I.8. Importance de la faible consommation d'énergie dans l'IdO :	10
I.8.1. Écologie durable :	10
I.8.2. Coûts Réduits :	10
I.8.3. Adoption et Intégration :	10
I.8.4. Performance et Fiabilité :	11
I.9. Applications typiques de l'IdO dans différents secteurs :	11
I.9.1. Internet de la vie intelligente :	11
I.9.2. Internet des villes intelligentes :	11
I.9.4. Internet de l'environnement intelligent :	12
I.9.5. Internet de la santé intelligente :	12
I.9.6. Internet de l'agriculture intelligente :	12
I.9.7. Internet de l'énergie intelligente :	13
I.10. Synthèse et transition vers les aspects pratiques de l'IdO :	13
I.11. Conclusion :	14

Chapitre II : Présentation de matérielle et logicielle du système

II.1 Introduction :	16
II.2 Les microcontrôleurs :	16
II.2.1 ESP8266	16
II.2.1.1. Caractéristiques principales du module WIFI ESP8266 :	16
II.2.2 ESP32	17
II.2.2.1. Caractéristiques principales du module WIFI l'ESP32	17
II.3 Comparaison entre ESP32 et ESP8266	19
II.4 Analyse des fonctionnalités de la bibliothèque ESP32(Entrée/Sortie,Wi-Fi)	20
II.4.1 Les entrées/sorties générales (GPIO)	20
II.4.2. API Wi-Fi	20
II.5. Présentation de la plateforme matérielle et logicielle :	20
II.5.1.1 ESP32.	21
II.5.1.2 Capteurs utilisés	21
II.5.1.3 Afficheur LCD I2C	22
II.5.1.4 Relais	22
II.5.1.5.Les actionneurs	23
II.5.1.6 Alimentation	23
II.5.2 Les logicielles de programmation utilisé	24
II.5.2.1 Arduino IDE	24
II.5.2.2 Fritzing	26
II.5.2.3 Blynk IoT	27
II.6. Conclusion	28
Chapitre III : Conception et réalisation d'un système d'irrigation intelligent	
III.1. Introduction	30
III.2. Définition et l'importance de l'irrigation.	30
III.3 L'application de l'internet des objets à l'irrigation	30
III.4. Le système d'irrigation intelligent proposé	31
III.5. Principe de fonctionnement du système	31
III.6. Étapes de réalisation du notre système	31
III.6.1. Partie 1 : Réalisation du système avec Arduino IDE	31
III.6.1.1 La connexion entre les modules du système	31
III.6.1.2. Programmation des modules	33
III.6.1.3 Résultat de réalisation du système	36
III.6.2 Partie 2 : Réalisation du système avec l'application Blynk IoT	37
III.6.2.1 Configuration et création d'un projet Blynk IoT	37
III.6.2.2. Résultat de la réalisation avec l'application Blynk IoT	39
III.7. Résultats et analyse des performances	43
III.8 Conclusion	44

Conclusion générale et perspectives	44
Conclusion générale et perspectives	46
Bibliographie :	49

Liste des abréviations

AES	Advanced Encryption Standard
API	Application Programming Interface
DDS	Service de distribution de données
ECC	Elliptic Curve Cryptography
GND	Ground
GPIO	General Purpose Input/Output
HTTP	HyperText Transfer Protocol
I2C	Inter-Integrated Circuit
IBSG	Internet Business Solution Group
IdO	internet des objets
IoT	Internet Of Thing
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IP	Internet Protocol
LCD	liquid-crystal display
LTE	Long Term Evolution
MCU	Multipoint Control Unit
MIT	Massachusetts Institute of Technology
MQTT	Message Queue Telemetry Transport
M2M	Machine To Machine
PCB	printed circuit board
RNG	Random Number Generator
RSA	Algorithme de cryptographie asymétrique
SCL	Serial Clock
SDA	Serial DATA
TCP	Transmission Control Protocol
USB	Universal Serial Bus
VCC	Alimentation Tension Continue
WiFi	Wireless Fidelity
XMPP	Extensible Messaging and Presence Protocol
3G	Troisième Génération
5G	Cinquième Génération

Liste des tableaux :

Tableau II.1: Tableau comparatif entre ESP32 et ESP8266	19
TableauIII.1 : Présentation des données et des résultats du notre système d'irrigation intelligent.	43

Liste des figures :

Chapitre I

Figure I.1 Évolution des réseaux informatiques vers l'internet des objets (IdO).....	3
Figure I.2 : Le développement de l'internet des objets vu par Cisco en 2011.....	4
Figure I.3 : L'architecture en cinq couches de l'internet des objets (IdO).....	5
Figure I.4 : Présentation de ESP32 et ESP8266	7
Figure I.5 : Les différents secteurs d'utilisation d'objets connectés.....	13

Chapitre II

Figure II.1: Brochage du module ESP8266.....	17
Figure II.2: Brochage du module ESP32	18
Figure II.3 : Capteur d'humidité du sol (Fc-28)	21
Figure II.4: Capteur de température DHT22.....	22
Figure II.5: I2C LCD display module.....	22
Figure II.6: Relai 5V DC	23
Figure II.7: Mini pompe à eau	23
Figure II.8: Pile de 9V	24
Figure II.9: Représentation de l'interface du logiciel arduino IDE.....	25
Figure II.10: Environnement logiciel Arduino IDE	26
Figure II.11: Interface de logiciel Fritzing.....	26
Figure II.12: Interface de l'Application Blynk IoT	27

Chapitre III

Figure III. 1 : Présentation de schéma à base de Fritzing	32
Figure III.2 : Présentation pratique du notre système.	32
Figure III.3 : La gestion de carte ESP32.....	33
Figure III.4 : L'installation de la carte ESP32	34
Figure III.5 : La sélection de carte ESP32.....	34
Figure III.6: Sélection de port	35
Figure III.7: Programme final de la réalisation.....	35
Figure III.8: Visualisation de la température, l'humidité, l'humidité du sol et de la position de pompe via LCD.....	36
Figure III.9 : Résultat de LCD-I2C.....	37
Figure III.10 : Création d'un projet dans l'application mobile Blynk IoT.....	38
Figure III.11 : Connexion de l'application Blynk IoT avec le programme.....	38
Figure III.12: Création des widgets dans Blynk IoT.....	39
Figure III.13 : Programme final de réalisation avec l'application Blynk IoT.....	39
Figure III.14 : Connectivité du système avec l'application Blynk IoT.....	40
Figure III.15 : visualisation de la température, l'humidité et de la position de la pompe (mode auto et mode manuel) via l'application Blynk IoT.....	41
Figure III.16: Présentation de l'expérimentation complète avec l'Arduino IDE et Blynk IoT.. ..	42

Introduction Générale

Introduction générale :

L'avènement de l'Internet des objets (IdO) a profondément transformé notre manière d'interagir avec le monde physique, ouvrant la voie à des systèmes plus autonomes et intelligents. Cette révolution technologique repose sur la capacité des objets à collecter des données, à communiquer entre eux et à interagir avec des plateformes logicielles, créant ainsi des environnements connectés et optimisés. L'intégration de microcontrôleurs puissants et abordables, comme ceux de la famille ESP, a considérablement accéléré le déploiement de ces solutions, rendant l'IdO accessible à un large éventail d'applications.

Ce projet de fin d'études explore les concepts fondamentaux de l'IdO, en détaillant les architectures de réseau, les protocoles de communication et les paradigmes de traitement de données essentiels à la mise en œuvre de systèmes connectés. Nous nous attarderons spécifiquement sur le matériel et le logiciel utilisés, en mettant en lumière les capacités de microcontrôleurs ESP32 qui sont la clé de notre réseau IdO. Nous aborderons également la revue des environnements de développement, des bibliothèques logicielles et des plateformes cloud nécessaires à la gestion des données collectées.

Nous aborderons également la conception et la réalisation d'un système d'irrigation intelligent. Ce système, piloté par un réseau IdO basé sur le microcontrôleur ESP32, vise à optimiser la consommation d'eau en adaptant l'arrosage aux besoins réels des cultures, en tenant compte de paramètres environnementaux clés tels que l'humidité du sol et la température. Nous détaillerons les différentes étapes de mise en œuvre, de la sélection des capteurs et actionneurs à l'intégration des composants matériels et logiciels, en passant par le développement de l'algorithme de contrôle et de l'interface utilisateur. Ce projet illustre la flexibilité et l'efficacité de microcontrôleur ESP32 pour créer des solutions IdO innovantes et durables.

Chapitre I

Concepts Fondamentaux
sur l'Internet des Objets

I.1. Introduction :

L'internet des objets (IdO) est une grande innovation, avec de nombreuses applications et évolutions qui facilitent la communication entre les personnes en connectant les objets à l'internet. L'IdO permet le transfert d'informations entre les objets et l'environnement, ouvrant ainsi de nouvelles possibilités de communication. Dans ce chapitre, nous explorons l'internet des objets, son évolution, sa fonction et les technologies impliquées.

I.2 Historique et évolutions récentes de l'IdO :

La technologie d'internet des objets a été évoquée pour la première fois en 1995 par Bill Gates, fondateur de Microsoft, dans son ouvrage (The Road Ahead). Bien qu'il y ait présenté ce concept novateur il n'a pas immédiatement capté l'attention du public, l'Internet étant encore à ses balbutiements [1]. L'origine de l'IdO est souvent attribuée au Massachusetts Institute of technology (MIT), plus précisément au sein du groupe Auto-ID Center qui a joué un rôle clé dans le développement de cette idée. Selon le Cisco Internet Business Solution Groupe (IBSG), l'IdO a véritablement pris son envol au moment où le nombre d'objets connectés à Internet a dépassé celui de personnes connectées.

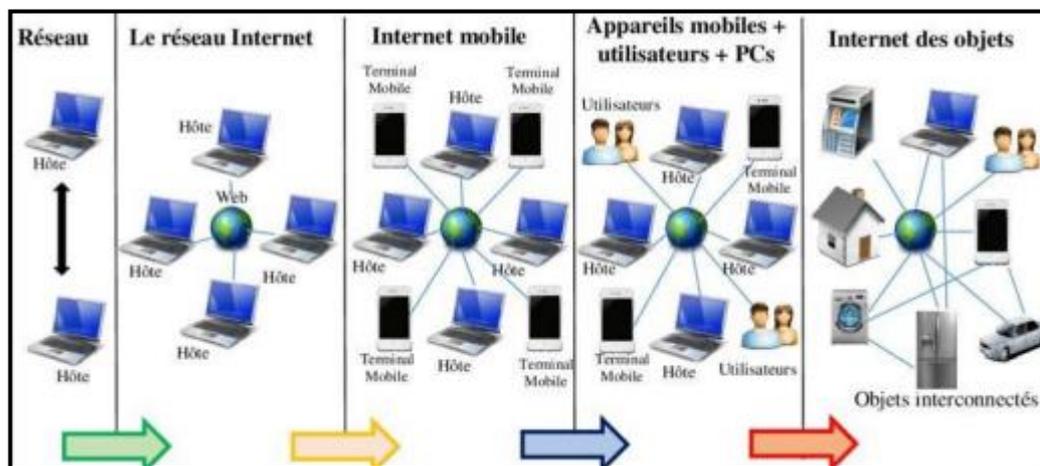


Figure I.1 : Évolution des réseaux informatiques vers l'internet des objets (IdO)[3].

En 2003, la population mondiale s'élevait à environ 6,3 milliards d'individus et 500 millions d'appareils étaient connectés à Internet. Le résultat de la division du nombre d'appareils par la population mondiale (0,08) montre qu'il y avait moins d'un appareil connecté par personne [2]. Selon la définition de Cisco IBSG, l'IdO n'existait pas encore en 2003 car le nombre d'objets connectés était relativement faible. En outre, les appareils les plus répandus actuellement, et notamment les Smartphones, faisaient tout

juste leur apparition sur le marché [2]. En raison de l'explosion des Smartphones et des tablettes, le nombre d'appareils connectés à Internet a atteint 12,5 milliards en 2010, alors que la population mondiale était de 6,8 milliards. C'est ainsi que le nombre d'appareils connectés par personne est devenu supérieur à 1 (1,84 pour être exact) pour la première fois de l'histoire [2].

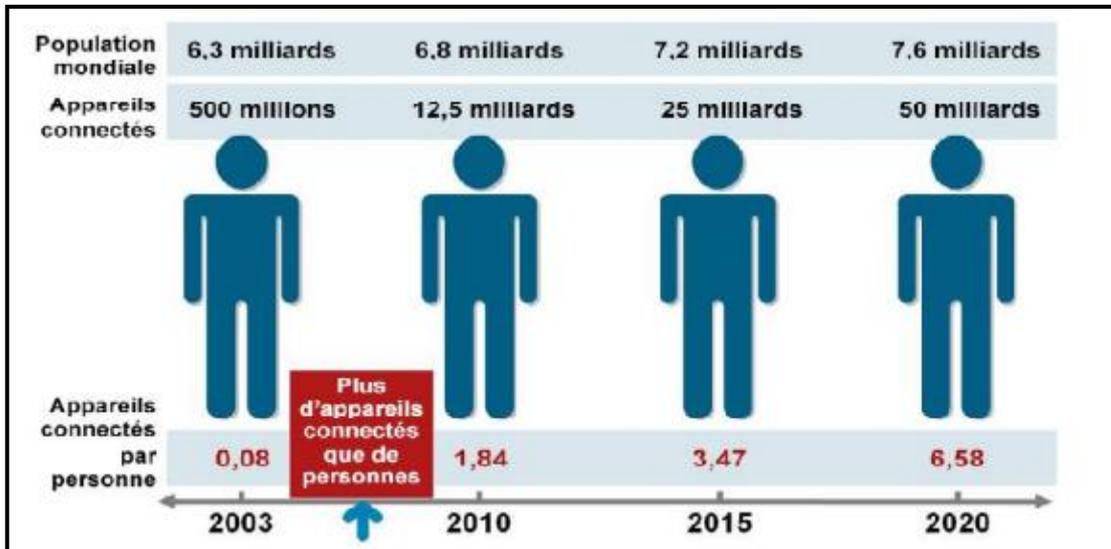


Figure I.2: Le développement de l'internet des objets vu par Cisco en 2011 [2].

En ce qui concerne l'avenir, Cisco IBSG estime que 50 milliards d'appareils seront connectés à Internet d'ici à 2020. Il est important de noter que ces estimations ne tiennent pas compte des progrès rapides d'Internet ni des avancées technologiques, mais reposent uniquement sur les faits avérés à l'heure actuelle [2].

I.3 Architecture de l'internet des objets :

L'architecture de l'IdO est l'un des sujets les plus mentionnés dans les articles de recherche de ce domaine. L'architecture cinq couches est généralement acceptée comme étant l'architecture qui décrit le mieux l'IdO[3].

La Figure I.3 montre la superposition des cinq couches de cette architecture. Ci-dessous une description de chacune d'entre elles.

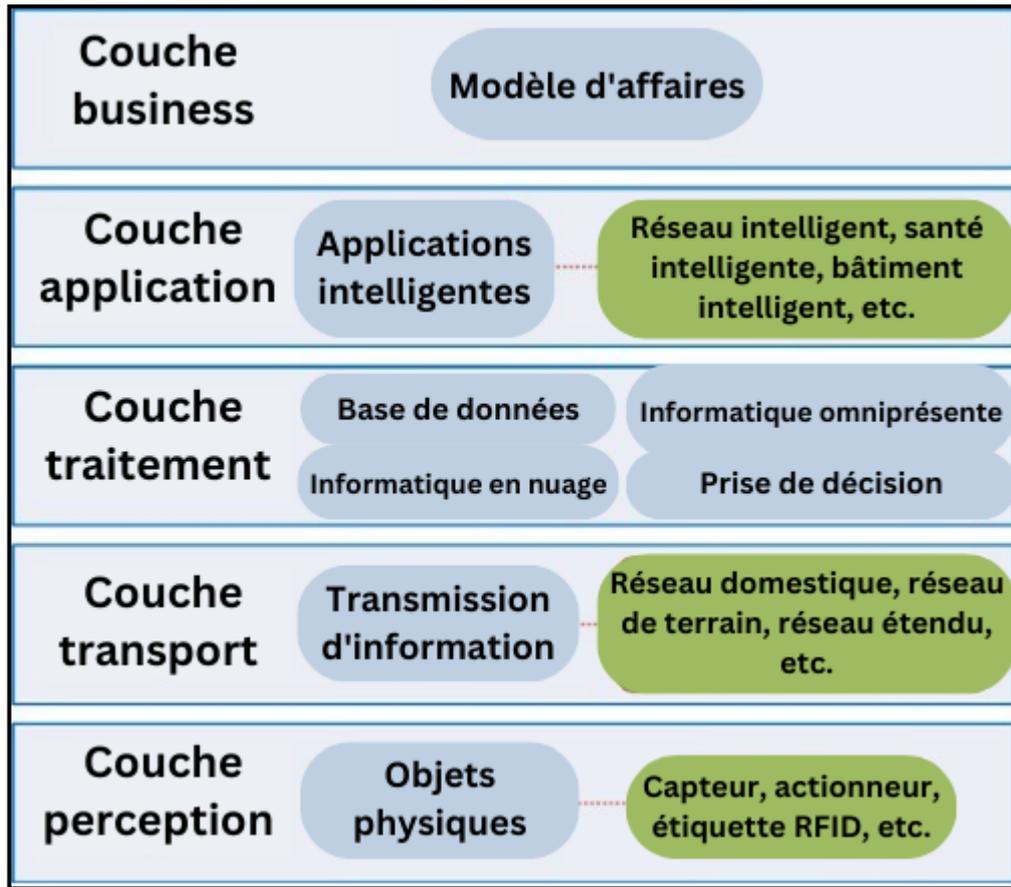


Figure I.3: L'architecture en cinq couches de l'internet des Objets (IdO).

I.3.1. Couche perception :

C'est la première couche, on l'appelle aussi couche objets. Elle représente les objets physiques de l'IdO qui ont pour but la collecte et le traitement basique de l'information, et qui fournissent différentes fonctionnalités comme donner la position physique, la température, le poids, le mouvement, etc. Cette couche collecte et numérise les données d'un certain environnement et les envoie à la couche supérieure via des canaux sécurisés [3].

I.3.2. Couche transport :

Cette couche s'occupe du transport de la donnée vers le centre de traitement de l'information. Le moyen de transmission peut être filaire ou non et les principales technologies utilisées dans cette couche sont la 3G, Wifi, ZigBee, etc. C'est au niveau de cette couche que se trouvent les protocoles de communication, tels que 6LowPan, qui sont nécessaires pour l'adressage de millions d'objets connectés [3].

I.3.3. Couche traitement :

Chaque objet de l'IdO offre des services que cette couche (appelée aussi couche Middleware) est responsable de gérer et de lier avec des bases de données, pour ensuite y appliquer des traitements et des calculs, afin de prendre des décisions automatiques. Elle permet aussi au développeur d'application de l'IdO de faire appel à des services sans prendre en considération l'interopérabilité des objets, ou bien une plateforme matérielle spécifique [3].

I.3.4. Couche application :

Cette couche offre la possibilité d'utiliser les informations traitées par la couche traitement et les services des objets présentés par cette dernière, pour développer diverses applications de l'IdO. Ces applications seront ensuite directement être utilisées par des utilisateurs finaux [3].

I.3.5. Couche Business :

Le but de cette couche est la gestion des différentes applications de l'IdO. Les responsabilités de cette couche sont de construire un modèle de gestion, des graphes, des organigrammes, etc. en se basant sur les données reçues de la couche application, et sur le résultat de cette analyse. Cette couche permet de décider le chemin futur et la stratégie de business. La gestion et la surveillance des quatre autres couches se font aussi à son niveau [3].

I.4. Les microcontrôleurs dans le réseau IdO :

Les microcontrôleurs sont des composants essentiels dans les réseaux IdO, agissant comme le "cerveau" des dispositifs connectés. Ils intègrent un processeur, de la mémoire et des interfaces d'entrée/sortie sur une seule puce, ce qui permet de réduire la taille, la consommation d'énergie et le coût des appareils. Leur faible consommation énergétique et leur compatibilité avec divers protocoles de communication (Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee) en font un choix idéal pour les applications IdO. Les modèles populaires incluent l'ESP32/ESP8266 (Wi-Fi/Bluetooth intégré), le STM32 (polyvalence et robustesse), et l'Arduino Uno (simplicité et accessibilité). Ces microcontrôleurs sont utilisés dans des domaines variés tels que l'automatisation domestique, la surveillance environnementale et les systèmes industriels, permettant aux objets de collecter, traiter et transmettre des données tout en interagissant avec d'autres dispositifs ou le cloud [4].

I.5. Présentation des microcontrôleurs ESP :

Les microcontrôleurs ESP32 et ESP8266, conçus par Expressif System, sont des choix populaires pour le développement de l'IdO. Chacun offre des fonctionnalités uniques et s'adresse à différents types de projets [4].

- **L'ESP8266** est une puce Wi-Fi économique proposée avec une pile TCP/IP complète et une capacité de microcontrôleur. Il est reconnu pour son format compact, son coût optimisé et sa capacité à s'intégrer harmonieusement dans une large gamme de projets [4].

- **ESP32** est une puce de microcontrôleur à faible coût et à faible consommation avec Wi-Fi intégré et Bluetooth bi-mode. Les fonctionnalités clés incluent des processeurs puissants, une mémoire plus grande et diverses interfaces périphériques [4].

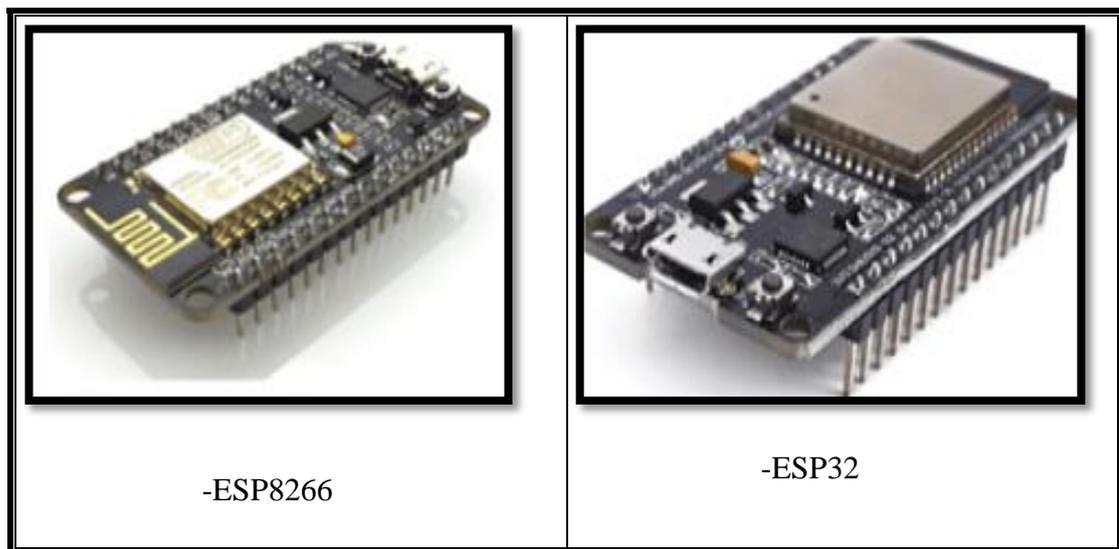


Figure I.4: Présentation de ESP32 et ESP8266 [12].

I.6. Protocoles de communication IdO:

Les protocoles IdO font référence aux règles et procédures que les appareils IdO utilisent pour communiquer entre eux. Plusieurs protocoles sont utilisés dans l'IdO, notamment HTTP, CoAP, MQTT, DDS et XMPP [5].

Chacun d'entre eux présente des avantages et des inconvénients et convient à des applications spécifiques.

- **HTTP** (Hypertext Transfer Protocol) est un protocole utilisé pour transférer des données sur l'internet. Il est largement utilisé dans les applications web et les API

et est simple et facile à utiliser. Cependant, il ne convient pas aux appareils à faible consommation d'énergie car il nécessite une connexion constante au serveur [5].

- **CoAP** (Constrained Application Protocol) est un protocole léger conçu pour les appareils à ressources limitées. Il est bien adapté aux appareils de faible puissance et est utilisé dans les maisons intelligentes, l'automatisation industrielle et les applications de soins de santé [5].
- **MQTT** (Message Queuing Télémétrie Transport) est un protocole de messagerie de type « publish-subscribe » largement utilisé dans les applications IdO. Il est efficace et fiable et prend en charge les réseaux à faible bande passante et peu fiables [5].
- **MQTT-SN** (MQTT pour les réseaux de capteurs) Protocole de messagerie léger et efficace utilisé pour les applications à faible consommation d'énergie et à faible bande passante. Il est bien adapté aux applications telles que les villes intelligentes et l'automatisation industrielle [5].
- **DDS** (Service de distribution de données) est un protocole centré sur les données qui est utilisé dans l'automatisation industrielle et les applications militaires. Il est conçu pour traiter de grandes quantités de données et peut fonctionner en temps réel [5].
- **LPWAN** (Réseau étendu à faible consommation d'énergie), Le protocole LPWAN est utilisé pour la communication à longue distance entre les appareils IdO. Il est bien adapté aux applications qui nécessitent une faible consommation d'énergie et une communication à longue portée, telles que les villes intelligentes, l'agriculture et la logistique [5].
- **LoRaWAN** est un protocole propriétaire développé par Semtech qui utilise la modulation chirp spread Spectrum (CSS) pour transmettre des données sur de longues distances. Il s'agit d'un protocole de faible puissance et de longue portée qui fonctionne dans le spectre de fréquences sans licence, ce qui signifie qu'il peut être utilisé librement sans avoir besoin d'une licence. LoRaWAN est conçu pour fournir une communication sécurisée et bidirectionnelle entre les appareils IdO et le cloud, et peut prendre en charge un grand nombre d'appareils sur une zone étendue [5].

I.7. Critères de conception d'un réseau IdO performant :

La conception d'un réseau Internet des Objets performant repose sur plusieurs critères clés qui garantissent son efficacité, sa fiabilité et sa durabilité. Voici les principaux éléments à considérer :

I.7.1. WiFi (correspondant à la famille des standards IEEE 802.11) qui équipe aujourd'hui tous les nouveaux Smartphones, et est utilisée principalement par les réseaux locaux sans fil. Le Wifi permet l'accès à Internet avec des vitesses de transfert atteignant facilement des dizaines de méga bits par seconde. Il est caractérisé par une consommation relativement importante, et donc une autonomie faible pour les équipements qui l'embarquent [3].

I.7.2. Bluetooth : qui équipe également la plupart des terminaux intelligents. Un grand nombre d'objets communicants l'adopteront aussi. Elle est définie par le groupement d'intérêt Bluetooth, pour les réseaux sans fil personnel. Dans ses versions de base, Bluetooth se caractérise par une communication à faible portée et un débit beaucoup plus faible que le WiFi, de l'ordre de quelques centaines de kilo bits par seconde. Néanmoins dans sa dernière version 4.2, qui met l'accent sur les objets communicants, on promet des débits 2 fois et demie plus rapides que les versions précédentes, tout en ayant une faible consommation d'énergie. Des objets tels que les montres connectées, équipées de cette dernière version, seront capables de dialoguer directement avec un routeur, afin d'accéder à Internet en utilisant le protocole 6LowPan d'IPv6, sans passer par un Smartphone [3].

I.7.3. Zigbee : Elle est basée sur le standard IEEE 802.15.4 pour les couches physiques et liaison. Elle est définie par la Zigbee Alliance, et a été spécialement conçue pour des équipements à faible consommation d'énergie, avec un très bas débit n'excédant pas 250 kilos bits par seconde, et une taille de paquets ne dépassant pas 127 octets. Zigbee intègre un protocole de routage mesh, permettant une connectivité au-delà de la portée radio, en utilisant les nœuds intermédiaires comme relais et en utilisant un plan d'adressage qui lui est propre. Cela dit, une version plus récente, Zigbee IP, supporte désormais les standards 6LowPan d'IPv6, ouvrant le champ de l'interopérabilité avec le reste du monde [3].

I.7.4 5G : La technologie 5G est un élément important dans le développement de l'Internet des objets en offrant des vitesses de données massives (10 Gbit/s) et la possibilité de connecter des milliards d'appareils intelligents. Ces nouvelles capacités permettent le développement d'applications innovantes dans divers secteurs,

encourageant les entreprises à investir massivement dans des solutions de gestion de la connectivité 5G pour améliorer les systèmes IdO existants. L'Internet industriel des objets est également confronté à de multiples défis tels que l'évolution des exigences en matière de produits et l'évolution des modèles commerciaux. Et l'intégration des technologies de communication avancées. Bien que les réseaux cellulaires existants ne répondent pas toujours aux besoins de communications de machine à machine (MTC), la technologie 5G-IdO offre des solutions prometteuses en offrant des vitesses de données exceptionnelles, une latence plus faible et une couverture améliorée pour les communications MTC [3].

I.8. Importance de la faible consommation d'énergie dans l'IdO :

La faible consommation d'énergie joue un rôle essentiel dans le développement et l'utilisation de l'Internet des objets pour plusieurs raisons importantes [6] :

I.8.1. Écologie durable :

- Réduction de l'empreinte carbone et des émissions polluantes.
- Conservation des ressources naturelles pour les générations futures.
- Mise en place de pratiques écologiques et respectueuses de l'environnement.

I.8.2. Coûts Réduits :

- Optimisation des coûts liés aux déploiements IdO.
- Minimisation des coûts opérationnels dans les systèmes IdO.
- La faible consommation d'énergie prolonge la durée de vie des batteries, réduisant ainsi les coûts de maintenance et de remplacement.

I.8.3. Adoption et Intégration :

- Les dispositifs à faible consommation sont plus adorables pour les utilisateurs finaux, facilitant leur adoption.
- En intégrant des principes d'éco-conception dans le développement des produits IdO, ces dispositifs deviennent énergétiquement efficaces et respectueux de l'environnement tout au long de leur cycle de vie.
- Pour les réseaux IdO à grand échelle, la faible consommation d'énergie optimise la connexion de nombreux dispositifs sans surcharger l'infrastructure énergétique.

I.8.4. Performance et Fiabilité :

- Les dispositifs optimisés pour une faible consommation d'énergie renforcent l'efficacité et fiabilité des réseaux IdO.
- Une faible consommation d'énergie réduit la chaleur, améliorant ainsi la stabilité et la longévité des composants électroniques.
- Les capteurs à faible consommation assurent une activité prolongée et des données fiables pour les analyses.

I.9. Applications typiques de l'IdO dans différents secteurs :**I.9.1. Internet de la vie intelligente :**

- **Appareils télécommandés :** Les appareils ménagers tels que le climatiseur, le réfrigérateur, la télévision, le lave-linge peuvent tous être contrôlés à l'aide de panneaux sur l'application fonctionnant sur votre téléphone portable grâce à l'IdO [7].
- **Surveillance de la sécurité :** Les caméras et les systèmes d'alarme domestiques peuvent être utilisés pour détecter une activité inhabituelle à la maison.
- **Système de détection d'intrusion :** Détection de l'ouverture des fenêtres ou des portes pour la détection d'intrusion.
- **Consommation d'énergie et d'eau :** Surveillance de la consommation d'eau et d'énergie afin de réduire la consommation et les coûts [7].

I.9.2. Internet des villes intelligentes :

- **Santé structurelle :** Surveillance de la santé structurelle, des vibrations et de l'état des matériaux pour les bâtiments, les ponts et les monuments historiques.
- **Foudre :** Éclairage public adapté aux conditions météorologiques.
- **Transport :** Messages d'alerte pour les déviations, les conditions climatiques et les conditions de circulation.
- **Stationnement intelligent :** Surveillance des places de stationnement dans les lieux publics ; place de stationnement la plus proche disponible.
- **Gestion des déchets :** Indique le niveau de déchets dans les poubelles ; optimise l'itinéraire de collecte des déchets [7].

I.9.3. Internet de l'industrie intelligente :

- **Explosifs et gaz dangereux :** Détection des fuites de gaz toxiques dans les usines chimiques ou dans les environs.
- **Maintenance et réparation :** Prévission précoce du dysfonctionnement d'une machine ou d'un instrument ; la maintenance peut ainsi être programmée en temps voulu [7].

I.9.4. Internet de l'environnement intelligent :

- **Surveillance de la pollution de l'air :** Surveillance de la quantité de CO2 dans l'air.
- **Détection des feux de forêt :** Détection des gaz combustibles dans les zones forestières.
- **Inondations :** Surveillance du niveau de l'eau et de ses variations dans la rivière.
- **Protection de la faune :** Localisation et suivi des animaux pour leur sécurité [7].

I.9.5. Internet de la santé intelligente :

- **Surveillance des patients :** Surveillance de l'état des patients dans les hôpitaux ou à domicile.
- **Réfrigérateurs médicaux :** surveillance des conditions à l'intérieur d'un réfrigérateur utilisé pour stocker des vaccins et des médicaments.
- **Surveillance de l'activité physique :** : surveillance du rythme cardiaque, de la respiration et des mouvements amples causés par le fait de se tourner et de se retourner pendant le sommeil [7].

I.9.6. Internet de l'agriculture intelligente :

- **Maison verte :** Recréation et maintien de conditions microclimatiques pour maximiser la production végétale.
- **Compostage :** Contrôle de la température et de l'humidité à l'intérieur du compost.
- **Soins à la progéniture :** Contrôle des conditions de croissance de la progéniture dans les élevages d'animaux [7].

I.9.7. Internet de l'énergie intelligente :

- **Réseau intelligent** : surveillance et gestion de la consommation d'énergie.
- **Éoliennes/centrales électriques** : surveillance et analyse du flux de contrôle des éoliennes et des centrales électriques [7].

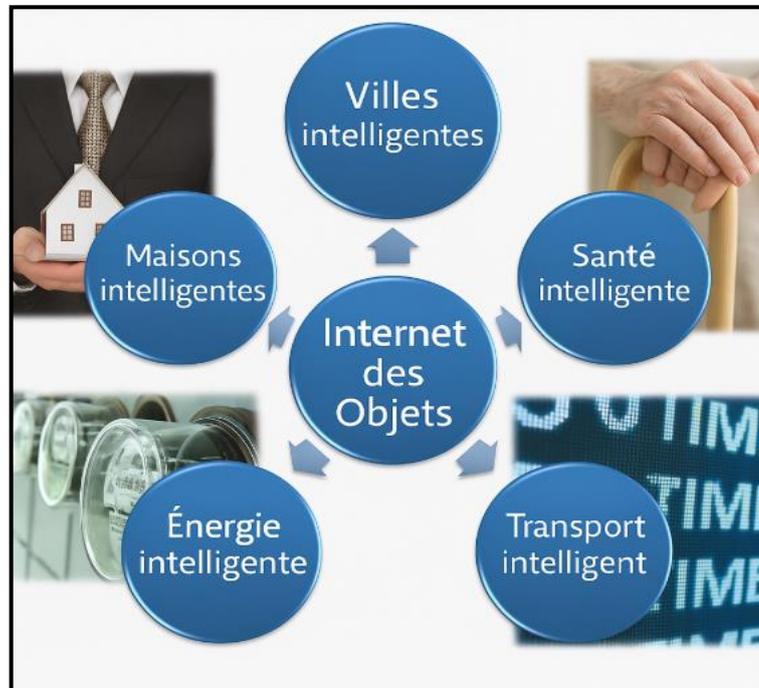


Figure I.5: Les différents secteurs d'utilisation d'objets connectés [2].

I.10. Synthèse et transition vers les aspects pratiques de l'IdO :

La transition vers les aspects pratiques de l'Internet des objets englobe une approche multidimensionnelle qui intègre des fondements théoriques à des applications du monde réel. Les technologies IdO révolutionnent divers secteurs en améliorant la connectivité et l'automatisation, comme en témoignent les maisons intelligentes où des appareils tels que les thermostats et les lumières peuvent être contrôlés à distance, améliorant ainsi le confort et l'efficacité énergétique. Dans le secteur manufacturier, la transition vers des usines intelligentes illustre le potentiel de l'IdO pour optimiser la productivité et réduire les coûts grâce à des systèmes intégrés conformes aux principes de l'industrie 4.0. Dans l'agriculture, elle fournit des solutions intelligentes et automatisées qui améliorent la productivité, optimisent les ressources et réduisent les coûts en permettant une gestion précise des cultures. En outre, l'architecture de l'IdO doit tenir compte des contextes locaux, comme en Inde, où les applications pratiques peuvent générer de la valeur sociale et entrepreneuriale tout en garantissant un coût abordable et une durabilité. La sécurité reste une préoccupation majeure, nécessitant des mesures robustes pour

protéger les systèmes IdO des vulnérabilités. Ensemble, ces informations soulignent l'importance d'une compréhension globale des composants, des applications et des défis de l'IdO pour faciliter une mise en œuvre efficace dans divers environnements.

I.11. Conclusion :

En conclusion, l'Internet des Objets représente une révolution technologique majeure, dont l'évolution historique et les avancées récentes ont permis de développer des architectures complexes et interconnectées. Les microcontrôleurs, notamment les séries ESP, jouent un rôle central dans ces réseaux, en supportant des protocoles de communication efficaces et en répondant à des critères de conception rigoureux pour garantir des performances optimales. Ces technologies trouvent des applications variées dans de nombreux secteurs, démontrant leur utilité et leur potentiel de transformation. En synthèse, l'IdO ouvre la voie à des perspectives pratiques prometteuses, reliant théorie et mise en œuvre pour façonner un avenir connecté et intelligent.

Chapitre II

Présentation de Matérielle et de Logicielle du Système Proposé

II.1 Introduction :

L'internet des objets se développe et évolue rapidement, avec une multiplication des objets connectés à internet.

Ce chapitre offre la chance d'explorer les opportunités associées au développement et à la mise en œuvre de réseaux IdO à l'aide de composants et de plateformes spécifiques dans le cadre de projets particuliers, qui peuvent différer en fonction de leurs composantes et de leurs objectifs. Dans ce projet, nous avons proposé de développer un système d'irrigation intelligent basé sur des microcontrôleurs ESP. Nous allons découvrir deux types de microcontrôleurs ESP et choisir celui qui convient à notre projet, ainsi que les outils matériels et les environnements logiciels utilisés pour développer notre système.

II.2 Les microcontrôleurs ESP :

La société chinoise Espressif a lancé le module ESP8266 en 2014, puis une version améliorée, l'ESP32, en 2016 [10].

II.2.1 ESP8266 : Le module Wifi ESP8266 est un émetteur-récepteur sans fil autonome, peu coûteux, largement utilisé dans les projets de développement IoT, notamment avec Arduino et Raspberry Pi. Il permet aux applications intégrées de se connecter à Internet en utilisant les protocoles de communication TCP/UDP, et peut fonctionner comme hôte en recevant et transmettant des données via la liaison TX/RX [11].

II.2.1.1. Caractéristiques principales du module WIFI ESP8266 :

1. Alimentation :
 - 5 Vcc via micro-USB
 - 5 à 9 Vcc via broche Vin (régulateur intégré)
2. Microcontrôleur : ESP8266
3. Microprocesseur : Tensilica LX106
4. Fréquence : 80 MHz
5. Mémoire RAM : 64 kb
6. Mémoire Flash : 96 kb
7. I/O numériques compatibles PWM
8. Interfaces : I2C, SPI, UART
9. Interface WIFI 802.11b/g/n 2,4 GHz

10. Antenne intégrée
11. Température de service : -40à 125 °C
12. Dimensions :58 x31 x [12].

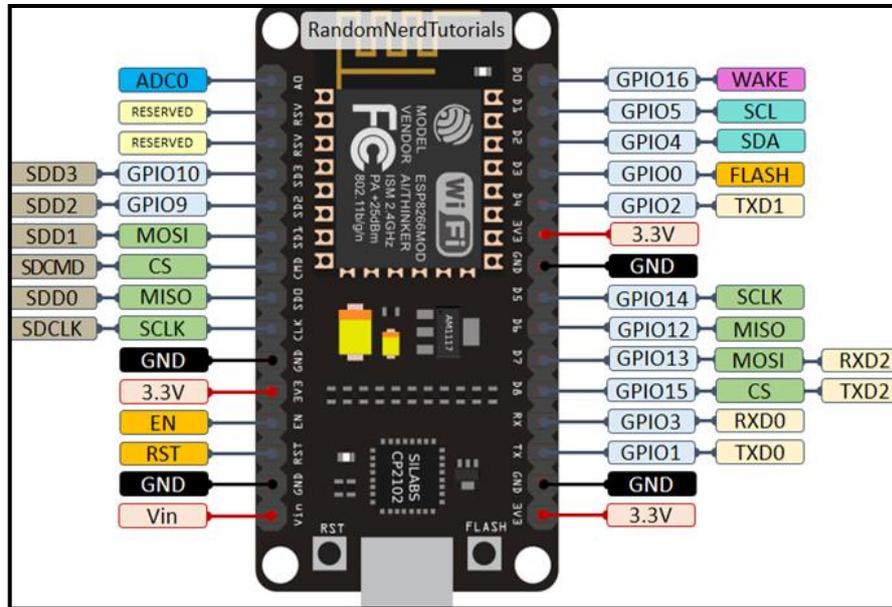


Figure II.1: Brochage du module ESP8266 [13].

II.2.2 ESP32 : est un microcontrôleur à faible coût et à faible consommation d'énergie, doté de capacités Wi-Fi et Bluetooth bi-mode intégrées. L'ESP32 est une évolution de son prédécesseur, l'ESP8266, avec des améliorations significatives en termes de puissance de traitement, de connectivité et de polyvalence. Il est doté d'un processeur double cœur, d'un riche ensemble de périphériques et est conçu pour fonctionner efficacement dans une variété d'applications IdO [14].

II.2.2.1. Caractéristiques principales du module WIFI l'ESP32 :

1. Alimentation :
 - -5Vcc via micro-USB
 - 3,3Vcc via broches Vin
2. Microcontrôleur : ESP32
3. Microprocesseur : TensilicaLX6 Dual-Core
4. Fréquence : 240 MHz.
5. Mémoire SRAM :512 kb
6. Mémoire Flash :4 Mb

7. E/S disponibles :
 - 15 E/S digitales dont 10 compatibles PWM
 - 2 x sorties analogiques (DAC)
 - 15x entrées analogiques (ADC)
8. Interfaces: I2C, SPI, 2x UART
9. Interface Wi-Fi 802.11b/g/n 2,4GH
10. Bluetooth : classique/BLE
11. Antenne intégrée
12. Température de service : -40à 125 °c
13. Dimensions : 48 x 26 x 11,5 mm [12].

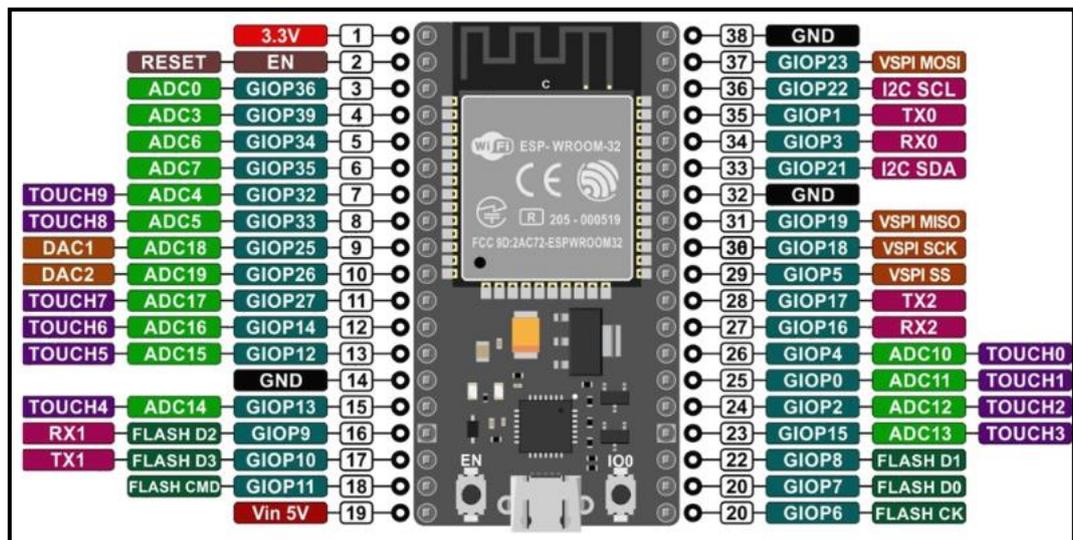


Figure II.2: Brochage du module ESP32 [15].

II.3 Comparaison entre ESP32 et ESP8266 :

Comparaison	ESP32	ESP8266
Fréquence d'horloge	160 ou 240 MHz	80 MHz
Bluetooth	BLE	Non
Capteur Hall	Oui	Non
Interface Caméra	Non	Non
Capteur de Température	Oui	Non
Capteur Tactile	10	Non
Sécurité	Protocole de sécurité de démarrage, cryptage flash. OTP 1024 bits	Non
Consommation d'énergie	10 μ A en veille profonde	20 μ A
Température	Oui	Non
Coprocasseur	ULP	Non
Total GPIO	39	17
Crypto	RSA, RNG, ECC, SHA-2, AES	Non
SPI	4	2
USB OTG	Non	Non
Microcontrôleur	Single ou dual-core 32 bits LX6 Xtensa	Cœur unique 32 bits L106 Xtensa
ROM	448 Ko	Non
CAN	2	Non
Ethernet	10/100 Mbps	Non
SPIRAM externe	Jusqu'à 16 Mo	Jusqu'à 16 Mo

Tableau II.1: Tableau comparatif entre ESP32 et ESP8266 [16].

L'ESP32 est le successeur de l'ESP8266. Il ajoute un noyau CPU supplémentaire, un Wi-Fi plus rapide, plus de GPIOs, et supporte Bluetooth 4.2 et Bluetooth basse énergie. De plus, l'ESP32 est livré avec des broches sensibles au toucher qui peuvent être utilisées pour réveiller l'ESP32, un capteur à effet Hall intégré et un capteur de température intégré. Ces broches peuvent être utilisées pour diverses fonctions,

notamment pour contrôler des DEL, des boutons, des capteurs et d'autres périphériques [17].

Pour résumer, au niveau matériel, l'ESP32 est plus rapide que l'ESP8266, il dispose de plus de GPIO, supporte plus d'interruptions et dispose de plus de chaînes analogiques. Nous pouvons donc considérer que c'est le bon choix pour notre projet.

II.4 Analyse des fonctionnalités de la bibliothèque ESP32(Entrée/Sortie,Wi-Fi) :

II.4.1 Les entrées/sorties générales (GPIO) :

L'un des dispositifs les plus populaires et multifonctionnels pour les microcontrôleurs, souvent employé pour la lecture et l'écriture de l'état des broches des circuits d'E/S autour du microcontrôleur. On distingue deux modes distincts de configuration GPIO :

- **Mode d'entrée** : dans ce mode, le GPIO reçoit la valeur numérique d'un dispositif particulier.
- **Mode de sortie** : pour un mode de sortie qui change l'état numérique du GPIO vers un appareil spécifique [18].

II.4.2. API Wi-Fi

L'API Wi-Fi de l'ESP32 prend en charge le protocole sans fil 802.11 b/g/n et offre les fonctionnalités suivantes :

- **Mode station (STA)** : l'ESP32 agit comme un client et se connecte à un point d'accès existant.
- **Mode point d'accès (AP)** : l'ESP32 fonctionne comme une borne Wi-Fi à laquelle d'autres appareils peuvent se connecter.
- **Modes de sécurité** : prise en charge des protocoles de sécurité comme WPA, WPA2, et WEP.
- Recherche de points d'accès [19].

II.5. Présentation de la plateforme matérielle et logicielle :

Pour construire notre projet, nous nous appuyons sur un logiciel Arduino IDE. Ce logiciel est connecté à des capteurs et actionneurs. Ils sont contrôlés à distance par un système intelligent basé sur une carte ESP et un smartphone à l'aide d'un site web html ou d'une application Android [9].

II.5.1 Les outils matériels :

II.5.1.1 ESP32 : est une puce de microcontrôleur conçue pour fonctionner efficacement dans une variété d'applications et de projets IoT grâce à ses services particuliers.

II.5.1.2 Capteurs utilisés :

Pour notre simulation, nous avons utilisé deux capteurs qui sont : le capteur de température DHT22 et le capteur d'humidité du sol (Fc-28).

- **Capteur d'humidité du sol (Fc-28) :** leFC-28 est un capteur d'humidité du sol basique utilisé dans les systèmes d'irrigation automatique des cultures pour évaluer le niveau d'humidité du sol. Le dispositif comprend une sonde dotée de deux conducteurs exposés (qui plongée dans le sol) et d'un composant électronique basé sur un comparateur LM393, incluant des sorties numériques et analogiques [8].

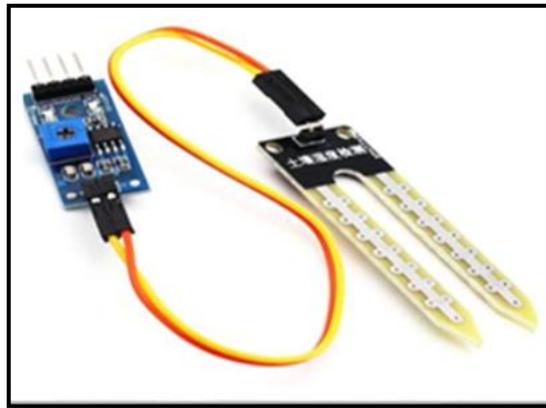


Figure II.3 : Capteur d'humidité du sol (Fc-28) [20].

- **Capteur de température DHT22 :** Le capteur DHT22 est un capteur permettant de mesurer l'humidité et la température de l'air ambiant grâce à sa combinaison de deux en un d'un capteur d'humidité capacitif et d'une thermistance, le tout avec une précision élevée. Ce détecteur est parfait pour vos initiatives de maison intelligente, de monitoring environnemental et de collecte de données climatiques. On peut l'utiliser pour diverses applications. Le seul véritable inconvénient de ce capteur est que vous ne pouvez obtenir de nouvelles données à partir d'une fois par secondes environ [21].

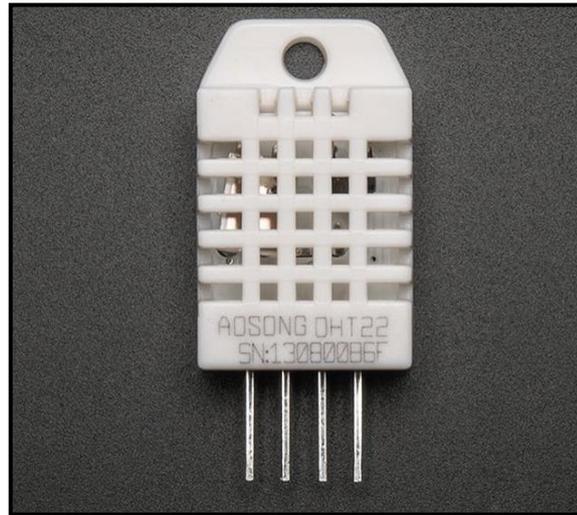


Figure II.4: Capteur de température DHT22 [21].

II.5.1.3 Afficheur LCD I2C :

Un écran LCD I2C est un type d'écran à cristaux liquides (LCD) qui utilise le protocole de communication I2C (Inter-Integrated Circuit) pour s'interfacer avec des microcontrôleurs, tels qu'Arduino ou Raspberry Pi. Cette technologie simplifie la connexion entre l'écran et le microcontrôleur en ne nécessitant que deux lignes de données (SDA pour les données et SCL pour l'horloge), ce qui réduit considérablement la complexité du câblage par rapport aux écrans LCD parallèles traditionnels [22].



Figure II.5: I2C LCD display module [23].

II.5.1.4 Relais :

Un relais 5v est un interrupteur automatique qui est généralement utilisé dans un circuit de contrôle automatique et pour contrôler un courant élevé à l'aide d'un signal à faible courant. La tension d'entrée du signal du relais est comprise entre 0 et 5 V [24].



Figure II.8: Pile de 9V.

Notons que chacune de ces composants possèdent de nombreuses dérivées et plusieurs modèles, pour en faire un choix, divers critères doivent être pris en considérations, le prix, l'environnement de programmation, la consommation électrique... etc [9].

II.5.2 Les logicielles de programmation utilisé :

II.5.2.1 Arduino IDE :

L'environnement de développement intégré Arduino IDE est un logiciel de programmation qui va faire l'interface entre notre carte ESP32 et le programme. Arduino IDE intègre un compilateur qui convertit notre code en langage machine [27].

L'Arduino IDE est un dérivé du logiciel processing. C'est un logiciel Open Source et il peut être utilisé pour programmer des cartes autres qu'Arduino, telles que l'ESP [28].

Un programme Arduino se compose d'une suite d'instructions brutes présentées sous forme textuelle (ligne par ligne). La carte lit et exécute les instructions une à une dans l'ordre spécifié par les lignes de code.

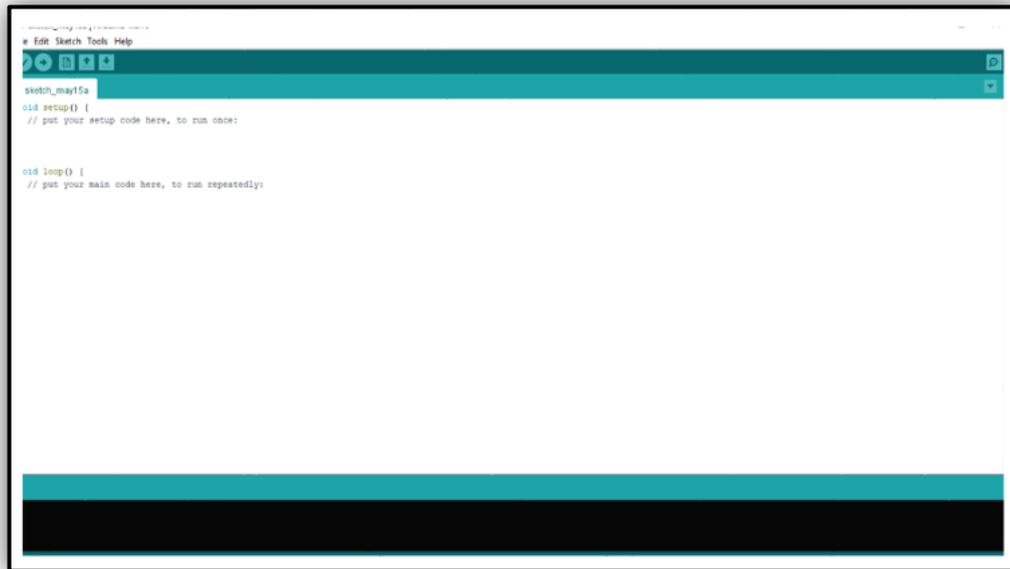


Figure II.9: Représentation de l'interface du logiciel Arduino IDE.

- **Structure d'un programme Arduino IDE :**

Un programme Arduino IDE (ou sketch) comporte trois parties :

1. La partie déclaration des variables (optionnelle).
2. La partie initialisation et configuration des entrées et sorties : **la fonction setup ()**.
3. La partie principale qui exécute en boucle : **la fonction loop ()** [29].

Ses deux dernières parties sont représentatives de la manière de fonctionnement d'un microcontrôleur et sont appelées dans cet ordre. En effet, un microcontrôleur est destiné à exécuter les instructions contenues dans sa mémoire de manière cyclique et infinie.

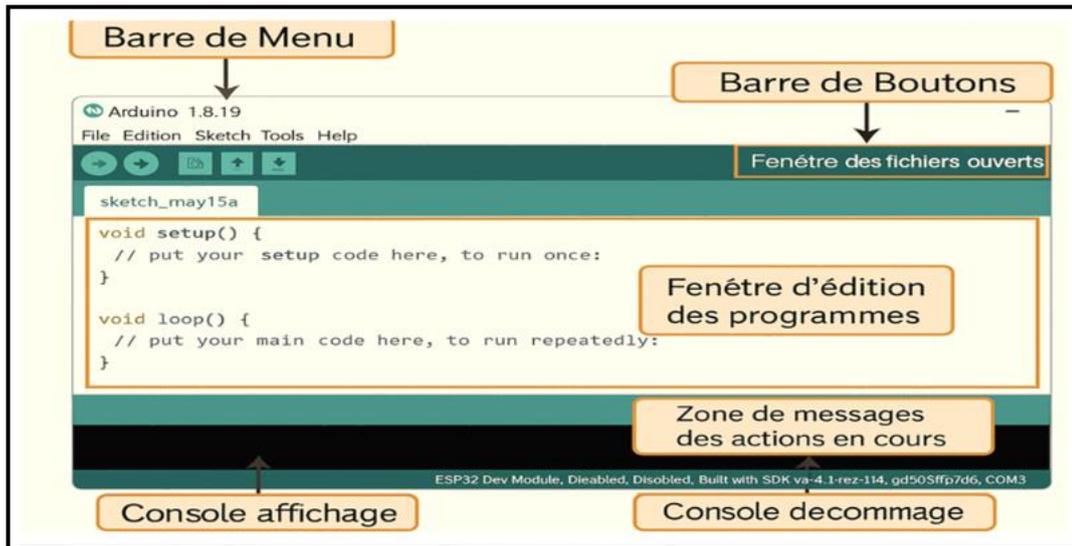


Figure II.10: Environnement logiciel Arduino IDE.

La figure II.9 est une représentation visuelle des différentes parties de cet environnement qui nous permet d'écrire, de compiler et de télécharger du code.

II.5.2.2 Fritzing :

Fritzing est un logiciel open-source conçu pour la conception et le prototypage électroniques, la rendant accessible et facile à utiliser pour les amateurs, les éducateurs et les fabricants. Elle offre aux utilisateurs la possibilité de concevoir et d'enregistrer des projets électroniques grâce à une interface facile à utiliser [30].

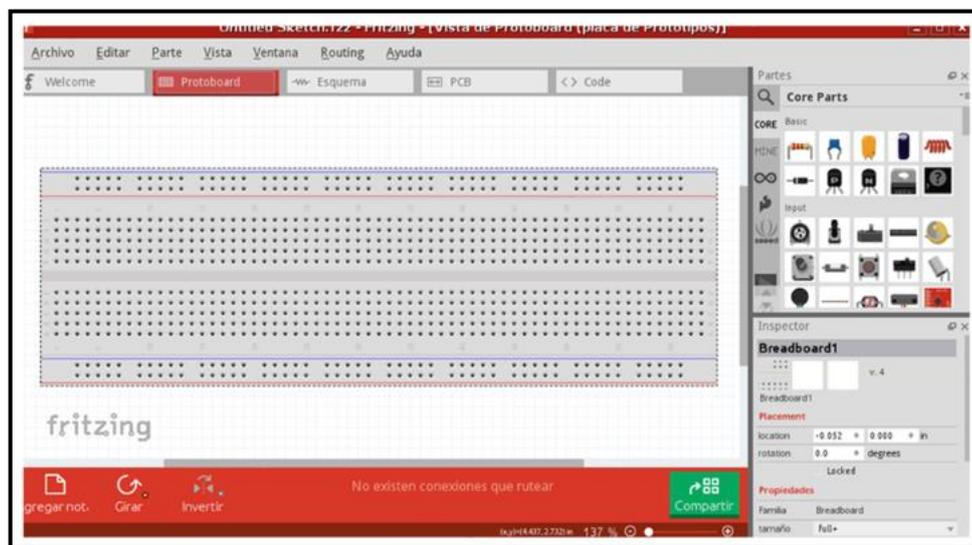


Figure II.11: Interface de logiciel Fritzing.

II.5.2.3 Blynk IoT :

Blynk IoT est une application conçue pour les projets IdO. Elle permet de contrôler des appareils à distance, d'afficher des données provenant de capteurs, de les stocker et de les visualiser [9].

Elle repose sur trois éléments essentiels :

- **L'application Blynk IoT**, qui permet de créer facilement des interfaces en utilisant des widgets [9].
- **Le serveur Blynk**, qui assure la communication entre le smartphone et le matériel, soit via le cloud Blynk, soit via un serveur local open-source [9].
- **La bibliothèque Blynk**, compatible avec de nombreuses cartes, qui gère les échanges de données avec le serveur [9].

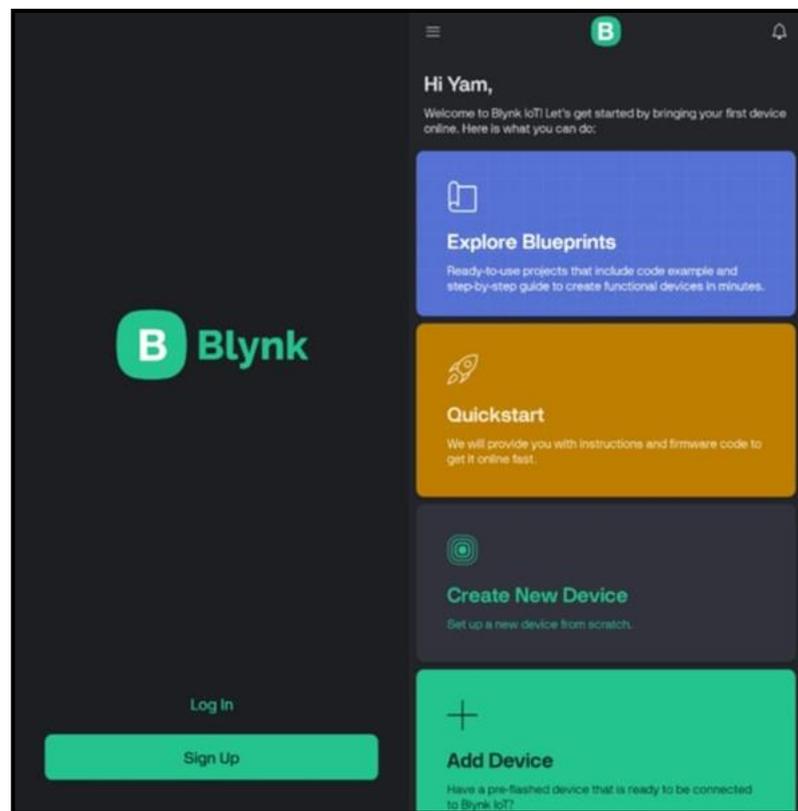


Figure II.12: Interface de l'Application Blynk IoT.

II.6. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté les microcontrôleurs et leurs caractéristiques, et expliqué pourquoi nous avons choisi l'ESP32 comme contrôleur principal pour notre système, en raison de ses caractéristiques, mais aussi d'autres composants tels que les capteurs d'humidité et de température qui nous renseignent sur l'état du système et des moteurs contrôlés. Nous avons également découvert le logiciel que nous utiliserons pour concevoir notre système d'irrigation intelligent.

Chapitre III
Conception et Réalisation
d'un Système d'Irrigation
Intelligent

III.1. Introduction :

Les appareils connectés ont envahi tous les aspects de notre vie. Il est donc logique que l'internet des objets trouve son application dans le domaine de l'irrigation.

Dans ce projet, nous allons examiner l'irrigation et la manière dont nous pouvons d'appliquer l'IdO à ce domaine. Nous créerons un système d'irrigation intelligent contrôlé par une carte ESP32. Des capteurs permettront de mesurer la température et l'humidité du sol. Ces données sont ensuite envoyées à un smartphone via une application qui affiche l'ensemble des informations du système.

III.2. Définition et l'importance de l'irrigation :

L'irrigation est la pratique agricole de base qui consiste à apporter de l'eau aux cultures de manière artificielle afin d'assurer leur bonne croissance et d'optimiser la production agricole. Elle revêt une importance particulière dans les régions où les précipitations sont insuffisantes ou irrégulières, surtout durant les périodes critiques du cycle végétatif des plantes, comme le printemps et l'été. En l'absence d'irrigation adéquate, les plantes souffrent de stress hydrique, ce qui peut avoir des répercussions importantes sur la qualité et la quantité des récoltes [31].

III.3 L'application de l'internet des objets à l'irrigation :

L'intégration de la technologie de l'internet des objets dans les systèmes d'irrigation a transformé les pratiques agricoles en permettant d'améliorer la gestion de l'eau, le rendement des cultures et la durabilité. Les systèmes d'irrigation basés sur l'IdO utilisent divers capteurs, tels que des capteurs d'humidité du sol et des capteurs à ultrasons, pour surveiller les conditions environnementales et les niveaux d'eau en temps réel, ce qui permet d'effectuer un contrôle précis de la distribution de l'eau [32]. Ces systèmes utilisent souvent la communication sans fil pour transmettre les données à une unité de contrôle centrale qui utilise des algorithmes intelligents pour optimiser la programmation de l'irrigation et l'utilisation de l'eau, permettant ainsi d'économiser l'eau et de réduire la consommation d'énergie. La possibilité de surveiller et de contrôler à distance les opérations d'irrigation via des interfaces web ou mobiles offre aux agriculteurs la possibilité de prendre des décisions en connaissance de cause et de réagir rapidement en cas de situation critique [32][33].

Des essais sur le terrain ont démontré que les systèmes basés sur l'IdO peuvent réduire la consommation d'eau jusqu'à 30 % par rapport aux méthodes traditionnelles, soulignant ainsi leur potentiel pour promouvoir une agriculture durable sur les plans économique et environnemental [32][33].

III.4. Le système d'irrigation intelligent proposé :

Compte tenu des défis auxquels le secteur agricole est confronté en matière de pénurie d'eau et de difficulté à la gérer. Nous avons proposé un système visant à optimiser l'utilisation de l'eau tout en économisant du temps et des efforts, grâce à la surveillance du sol et au contrôle à distance de l'irrigation. Ce système implique une communication entre un smartphone et divers autres blocs, tels que des contrôleurs et des capteurs.

III.5. Principe de fonctionnement du système :

Dans ce système, plusieurs capteurs, notamment l'humidité du sol et le DHT22, sont connectés aux broches d'entrée du contrôleur ESP32. Les valeurs mesurées par les capteurs sont affichées sur l'écran LCD. Si la valeur détectée dépasse les seuils fixés dans le programme, la pompe est activée ou désactivée par le circuit de relais. Il convient également de noter que la pompe peut être arrêtée automatiquement. L'application Blynk IoT fournira aux agriculteurs des informations en temps réel sur l'état de leurs champs. Ce système permet aux agriculteurs d'accéder à distance et de contrôler l'état en temps réel de leurs champs où qu'ils se trouvent.

III.6. Étapes de réalisation du notre système :

Pour réaliser notre montage global du système, nous avons dû passer par plusieurs étapes. Ces étapes peuvent être regroupées en deux grandes parties :

III.6.1. Partie 1 : Réalisation du système avec Arduino IDE :

La première partie consiste à connecter les différents composants à l'ESP32 et à les programmer à l'aide du logiciel Arduino IDE.

III.6.1.1 La connexion entre les modules du système :

L'ESP32 gère toutes les opérations, le traitement des informations et l'envoi de signaux aux actionneurs, où nous verrons leur connexion à divers autres capteurs.

- L'afficheur se branche avec l'ESP32 par 2 fils (SCL (GIOP 22), SDA (GIOP (21))) + VCC, GND.
- DHT 22 se branche avec l'ESP32 par le fil (GIOP4) + VCC, GND.
- Le capteur d'humidité du sol se branche avec l'ESP32 par le fil (GIOP43) +VCC, GND.
- Le relais de pompe se branche avec l'ESP32 par le fil (GIOP5) + VCC, GND.

a. Présentation de schéma à base de Fritzing :

La figure ci-dessus représente le schéma explicatif par Fritzing du montage final, qui nous montre la connexion entre les différents modules avec la carte ESP32 dans le logiciel Fritzing:

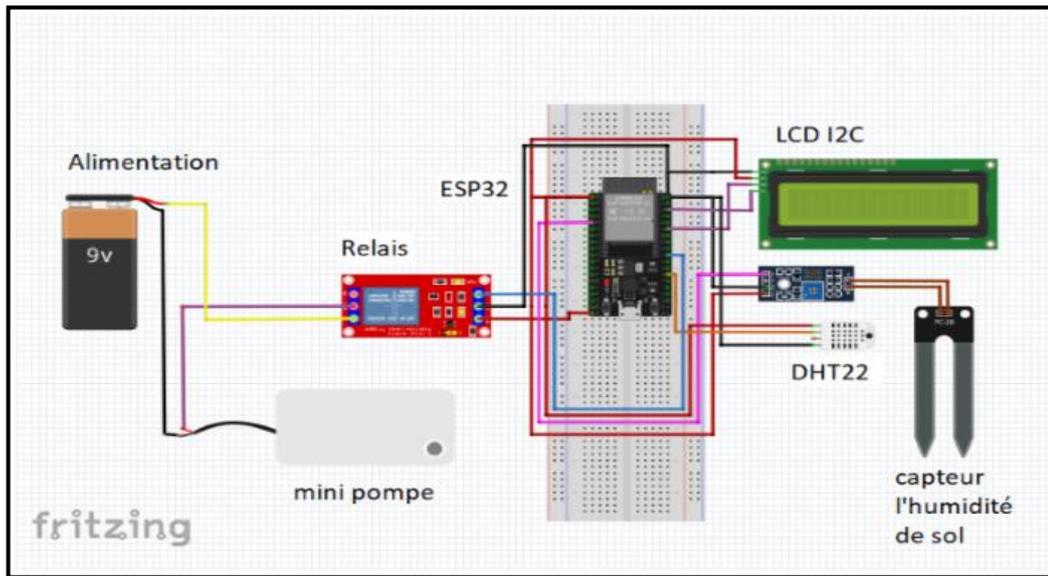


Figure III. 1 : Présentation de schéma à base de Fritzing.

b. Présentation du schéma pratique du système :

La figure III.2 montre un schéma d'application illustratif de l'assemblage final des composants avec le module ESP32.

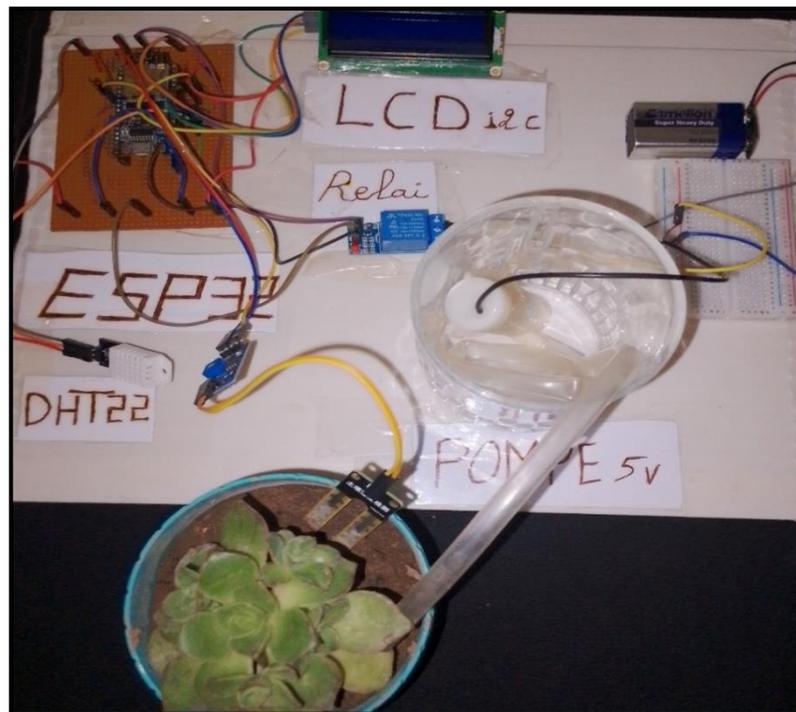


Figure III. 2 : Présentation pratique du notre système.

III.6.1.2. Programmation des modules :

Notre système nécessite des compétences en programmation. La section suivante fournit une description et des détails supplémentaires sur la programmation des composants.

a. Configuration de l'ESP32 : Pour la configuration de notre ESP32, nous avons effectué ces étapes :

- **Étape 1 :** l'installation de l'Arduino IDE.

Nous avons téléchargé et installé la dernière version de l'Arduino IDE.

- **Étape 2 :** La gestion de carte ESP32.

1. Nous avons ouvert Arduino IDE.

2. Nous avons ensuite cliqué sur le menu **Fichier > Préférences**.

3. Dans le champ URL de gestion de cartes supplémentaires, nous avons collé cette URL :

https://raw.githubusercontent.com/espressif/arduino-esp32/gh-pages/package_esp32_index.json

4. On clique sur OK.

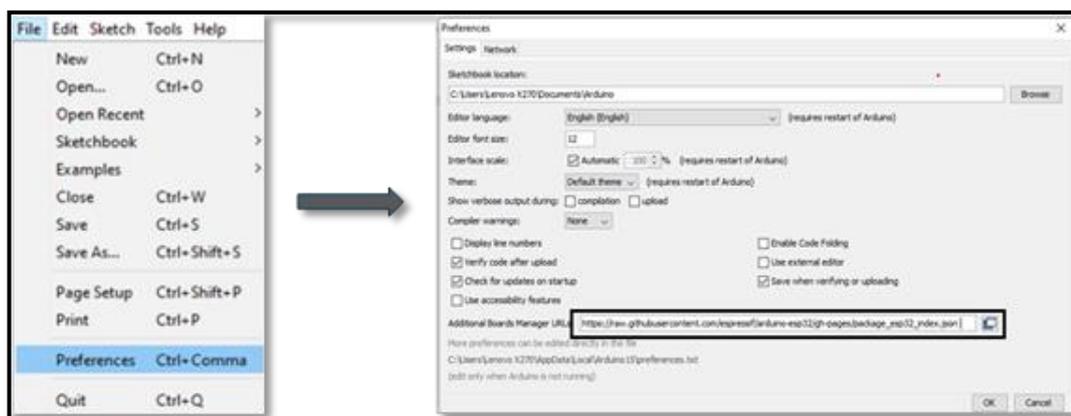


Figure III.3 : La gestion de carte ESP32.

- **Étape 3 :** L'installation de la carte ESP32.
 1. Nous avons cliqué sur **Tools > Manage Libraries**.
 2. Dans la barre de recherche, nous avons tapé ESP32.
 3. Nous avons choisi **ESP32** et cliqué sur « **Installer** ».
 4. On a attendu la fin de l'installation.

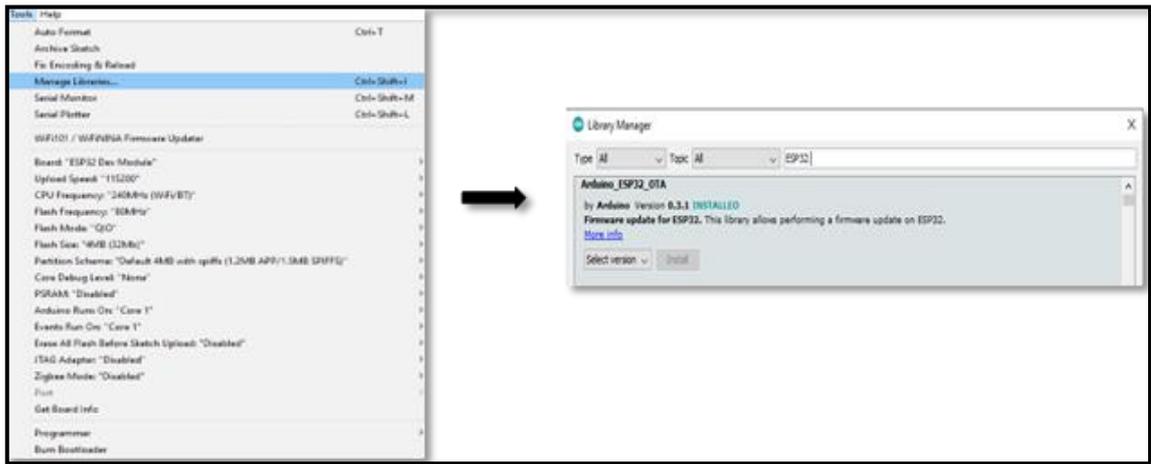


Figure III.4: L'installation de la carte ESP32.

- **Étape 4 :** La sélection de cartes ESP32.
 1. Une fois l'installation terminée, nous allons dans Tools >Board > ESP32 Arduino.
 2. Notre modèle est l'ESP32 Dev Module. Nous avons sélectionné la carte correspondante.

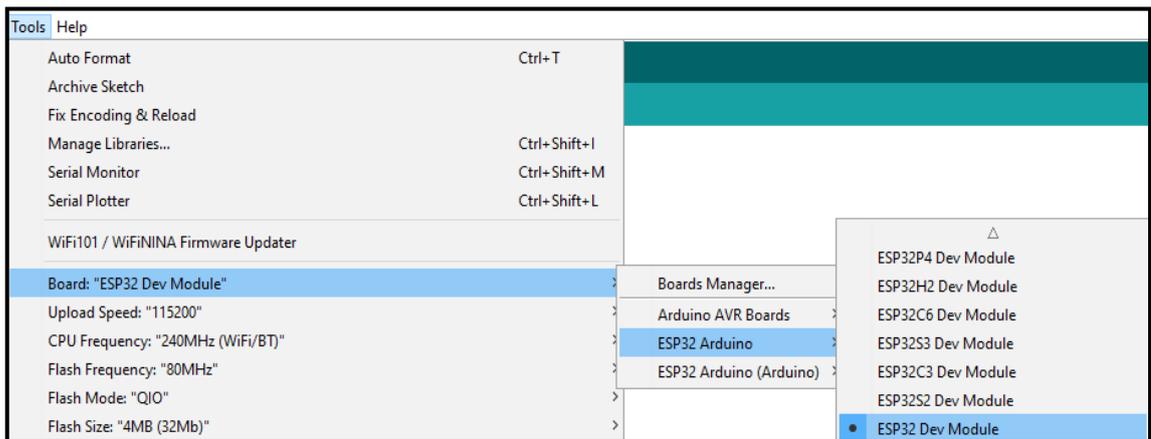


Figure III.5: La sélection de carte ESP32.

- **Étape 5 :** Sélection de port.
 1. On a connecté l'ESP32 à notre PC avec un câble USB.
 2. Dans Tools, on a sélectionné **Port**, puis Port **COM4** pour l'ESP32.

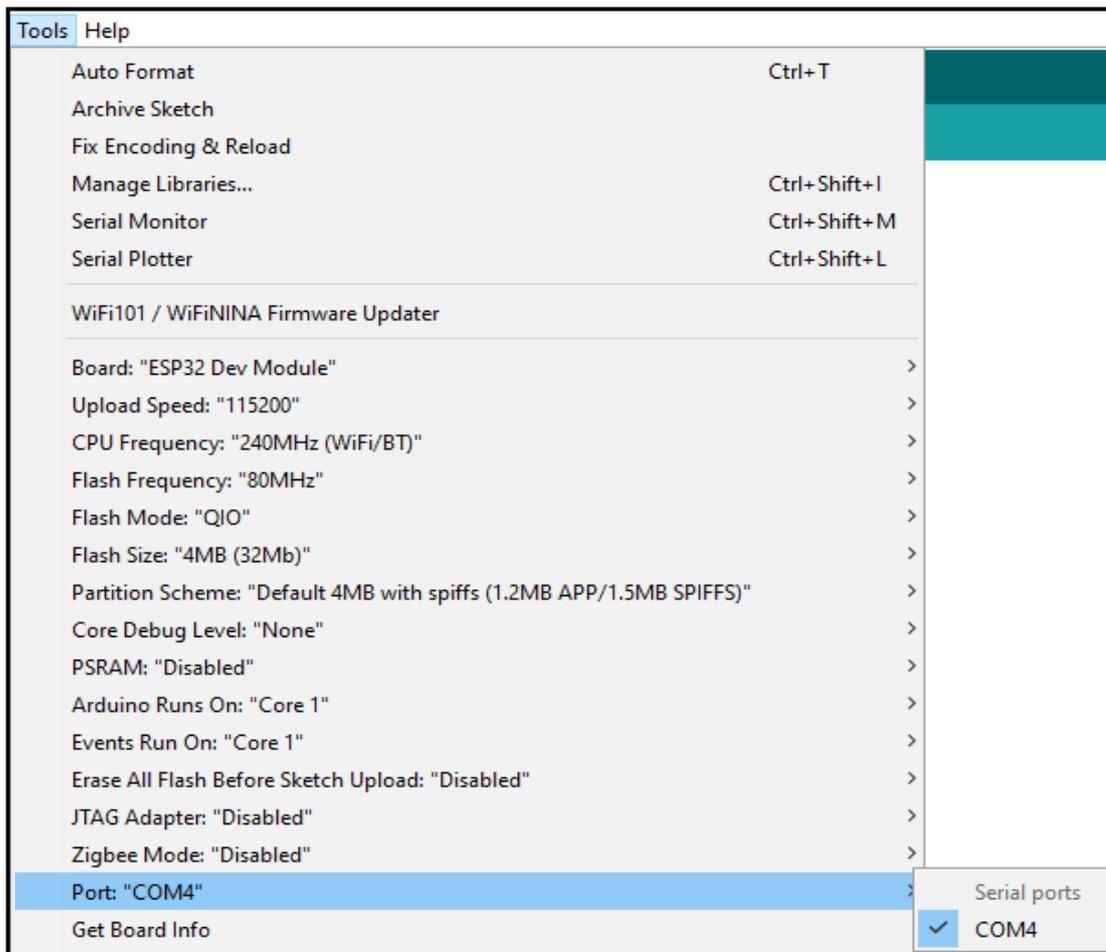


Figure III.6: Sélection de port.

- **Étape 6 :** Le programme.
 1. On tape notre code.
 2. Après, on a testé notre code.

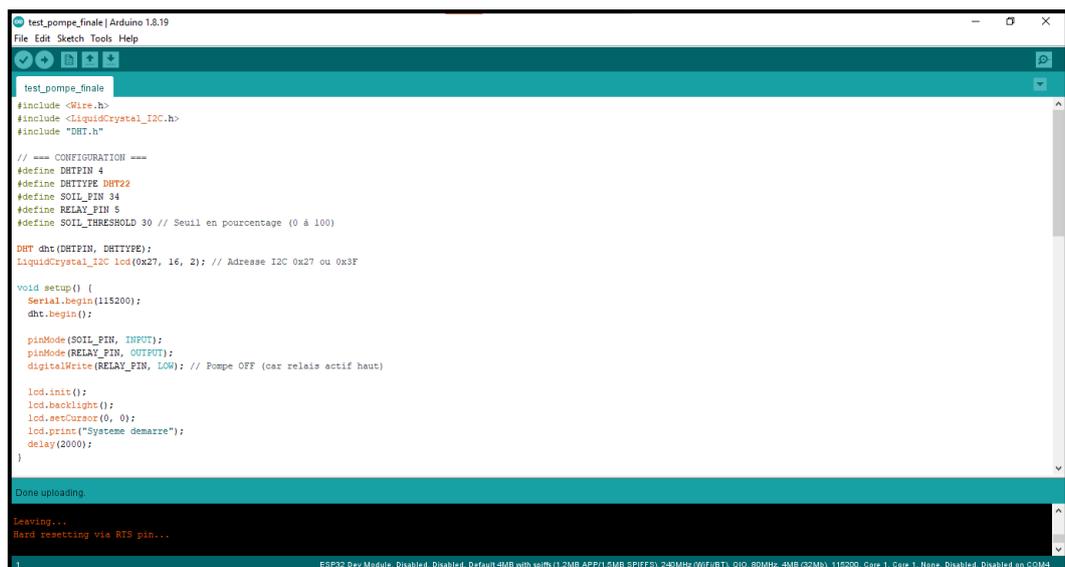


Figure III.7: Programme final de la réalisation.

III.6.1.3 Résultat de réalisation du système :

Une fois le test final effectué, l'assemblage et les tests des dispositifs avec le programme final effectués, les valeurs obtenues seront affichées sur l'écran LCD I2C en termes de température, l'humidité, l'humidité du sol et de position de la pompe.

Comme le montre la figure ci-dessous :

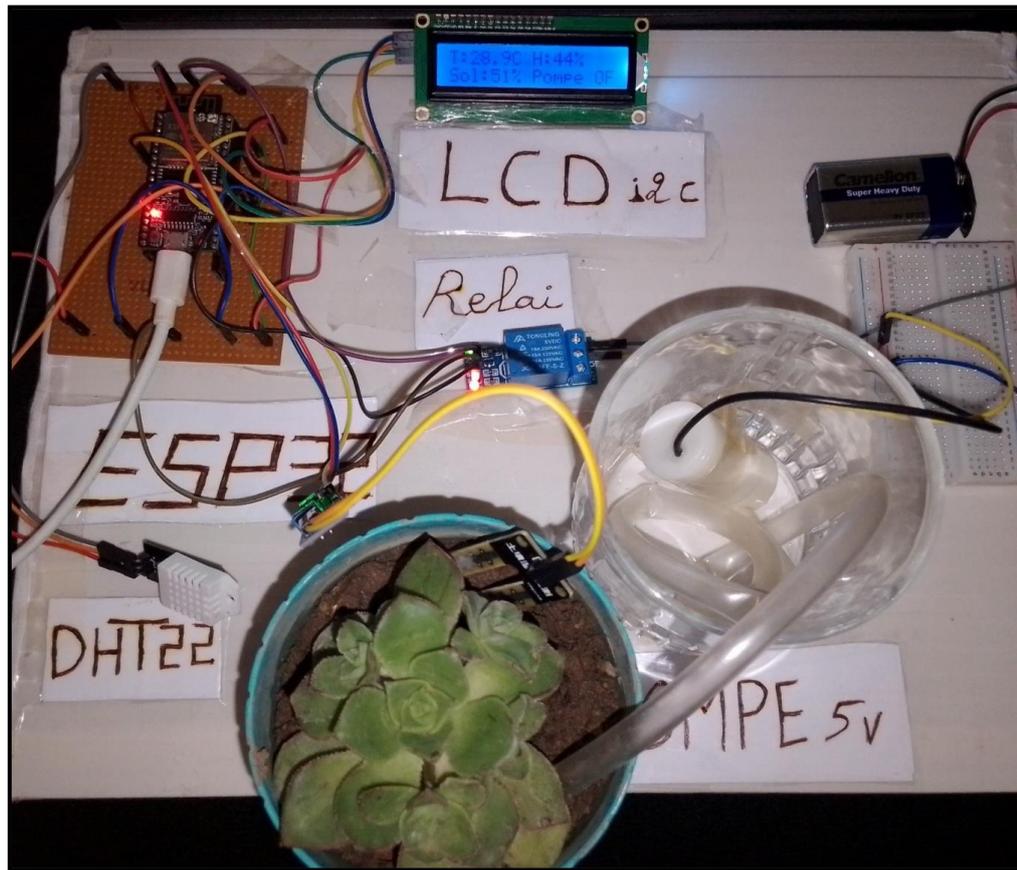


Figure III.8 : Visualisation de la température, l'humidité, l'humidité du sol et de la position de pompe via LCD.

À la suite de l'expérimentation, il a été observé que le fonctionnement de la pompe est interrompu lorsque le taux d'humidité du sol atteint ou excède 30 %. Par ailleurs, il a été constaté que la pompe redémarre automatiquement lorsque le taux d'humidité chute en dessous de ce seuil. Comme l'illustre la figure III.9 :



(a)



(b)

Figure III.9: Résultat de LCD-I2C.

La figure III.9: (a) (b) présente les résultats du système sur l'écran LCD. Dans la figure (a), les conditions météorologiques sont modérées, avec une température de 28 °C, une humidité de 44 % et une humidité du sol de 51 %. En conséquence, la pompe ne fonctionne pas.

La figure (b) illustre que la température et l'humidité ont subi une légère variation (29 °C, 45 %) et que l'humidité du sol a connu une diminution (23 %), ce qui a pour conséquence la mise en marche de la pompe. Cette observation s'inscrit dans le cadre du fonctionnement automatique de la pompe.

III.6.2 Partie 2 : Réalisation du système avec l'application Blynk IoT :

La deuxième partie nécessite le développement d'une application sur le smartphone en utilisant l'application Blynk IoT.

III.6.2.1 Configuration et création d'un projet Blynk IoT :

• **Étape 1 :** Création d'un projet dans l'application mobile Blynk IoT.

1. On a téléchargé l'appli Blynk IoT.
2. On a ouvert l'appli Blynk IoT.

3. On crée un compte.
4. Création d'un nouveau projet :
 - On donne un nom.
 - Choisissons l'ESP32 comme matériel.
 - Connexion : Wi-Fi.

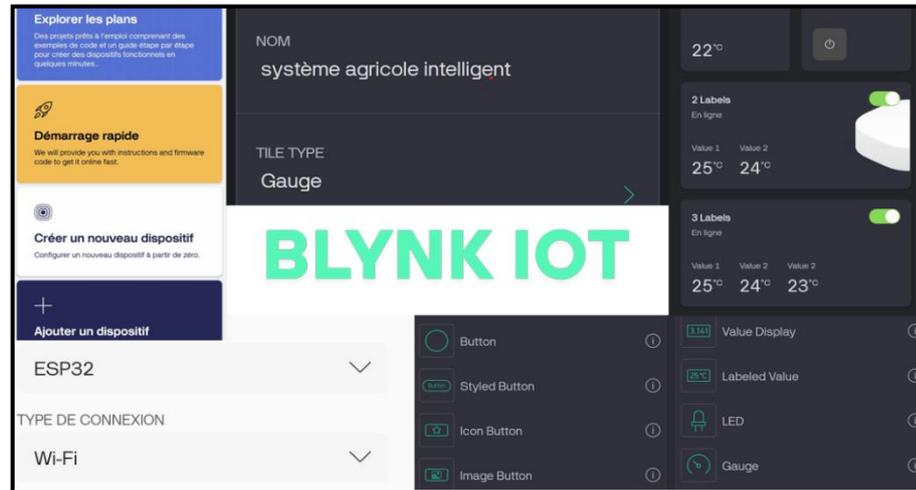


Figure III.10: Création d'un projet dans l'application mobile Blynk IoT.

- **Étape 2** : Installation de la bibliothèque Blynk dans l'Arduino IDE.
 1. Nous allons dans **Tools > Manage Libraries**.
 2. Nous avons cherché Blynk et prouvé Blynk (par Volodymyr Szymanski).
- **Étape 3** : Connexion et programmation de l'ESP32 avec Blynk IoT.
 1. On a ouvert l'application **Blynk IoT**.
 2. On clique sur l'icône d'engrenage dans le coin supérieur droit du projet.
 3. Nous avons sélectionné ensuite "**Appareils**".
 4. Le jeton d'authentification est nécessaire pour le code. Il faut donc le copier.
 5. On fusionne le code d'authentification dans le code de l'ESP32.

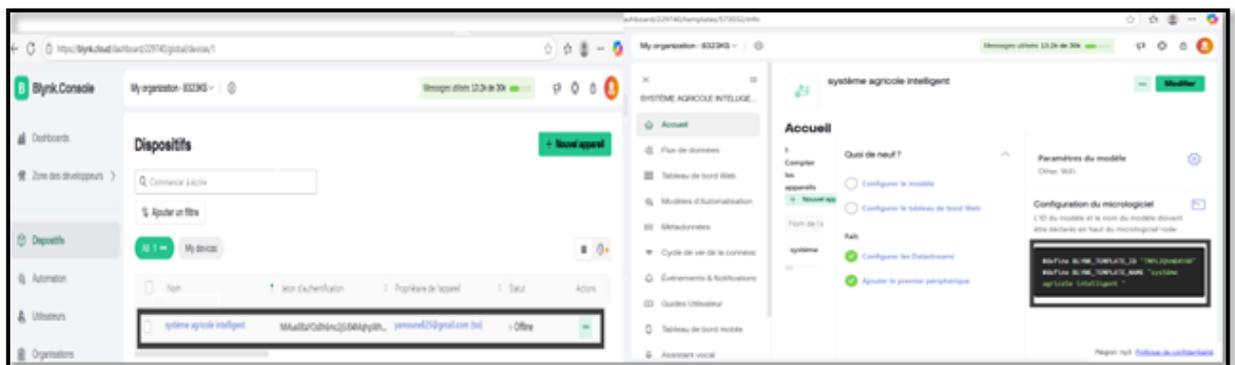


Figure III.11: Connexion de l'application Blynk IoT avec le programme.

- **Étape 4** : Création des widgets dans Blynk.
 1. On clique sur l'icône "+" en bas de l'écran.

2. Nous avons sélectionné le type de widget que nous souhaitons ajouter.

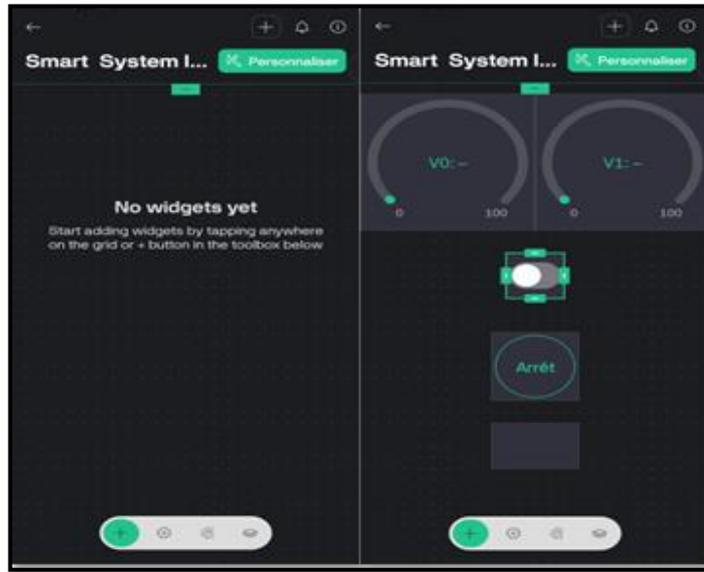


Figure III.12: Création des widgets dans Blynk IoT.

• **Étape 5 :** Le programme.

1. On tape notre code.
2. Après, on a testé notre code.

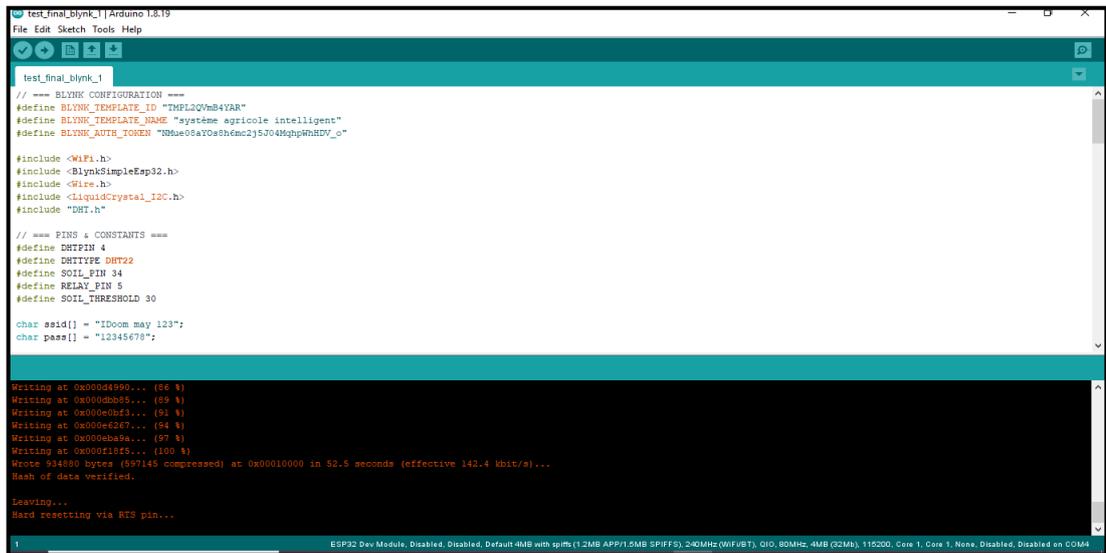


Figure III.13: Programme final de réalisation avec l'application Blynk IoT.

III.6.2.2. Résultat de la réalisation avec l'application Blynk IoT :

Une fois que l'application Blynk est connectée à l'ESP32 via Wi-Fi, les valeurs obtenues précédemment sont affichées sur l'interface de l'application sur le téléphone en termes de température, d'humidité, d'humidité du sol et de position de la pompe.

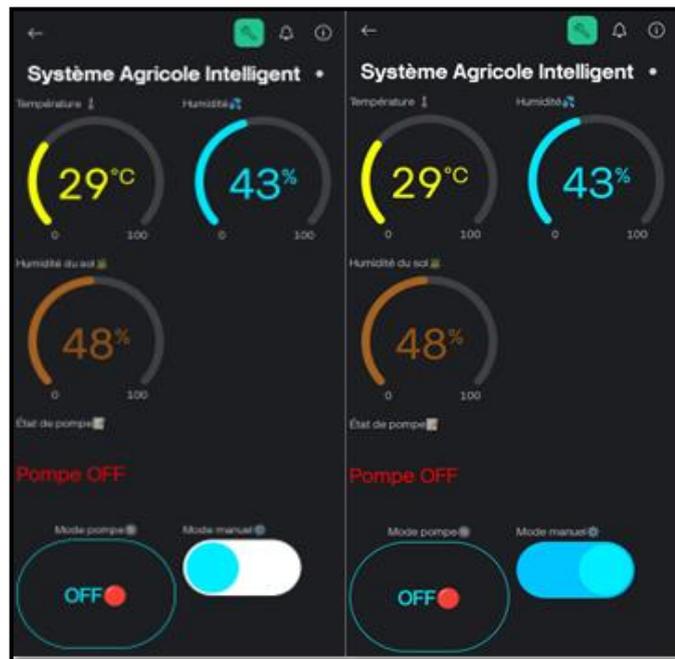


Figure III.15 : visualisation de la température, l'humidité et de la position de la pompe (mode auto et mode manuel) via l'application Blynk IoT.

Dans la figure ci-dessus, nous pouvons voir l'interface de notre système sur l'application Blynk IoT. Celle-ci montre les différents points à surveiller, ainsi que la fonction de contrôle de la pompe permettant de la mettre en marche lorsque l'utilisateur en a besoin (en mode manuel), ou de la contrôler en fonction du besoin en eau du sol (en mode automatique).

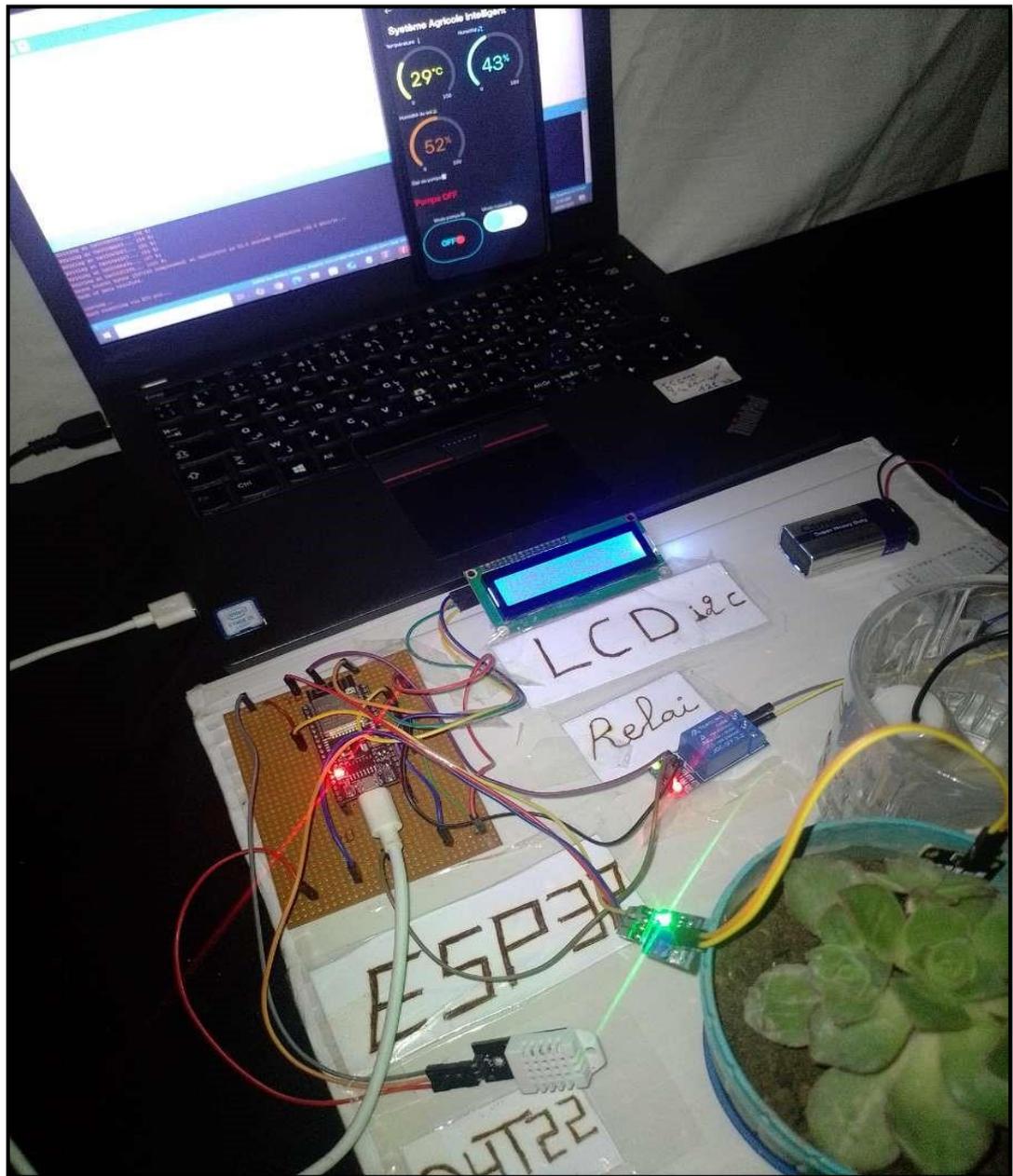


Figure III.16: Présentation de l'expérimentation complète avec l'Arduino IDE et Blynk IoT.

La figure III.16 résume les résultats finaux du système d'irrigation intelligent intégré. Les tests ont clairement démontré la réactivité du système aux capteurs qui permettent de surveiller le sol, de contrôler la pompe à distance et de fournir de l'eau. Ils ont également montré qu'il permet de minimiser les interventions manuelles, réduisant ainsi les efforts et les temps d'arrêt.

III.7. Résultats et analyse des performances :

Le tableau suivant présente les données expérimentales de notre système d'irrigation intelligent, qui surveille la température, l'humidité et l'humidité du sol pour prendre une décision automatisée sur la mise en marche ou l'arrêt de la pompe.

Itérations	Température (°C)	Humidité de l'air (%)	Humidité du sol (%)	État de la pompe
1	29	47	18	Pompe ON
2	29.4	45	28.5	Pompe ON
3	27	43	26	Pompe ON
4	29.5	41	32	Pompe OFF
5	32	39	22	Pompe ON
6	34	40	33.5	Pompe OFF
7	28.9	44	51	Pompe OFF
8	29	43	23	Pompe ON
9	35	44	25.5	Pompe ON
10	30	45.5	34	Pompe OFF

Tableau III.1 : Présentation des données et des résultats de notre système d'irrigation intelligent.

Dix itérations ont été effectuées dans différentes conditions environnementales, notamment la température (en degrés Celsius), l'humidité de l'air (en pourcentage) et l'humidité du sol (en pourcentage). Les températures varient entre 27°C et 35°C, valeurs typiques d'un climat estival. L'humidité de l'air a varié entre 39% et 47%, des valeurs assez faibles qui se traduisent par une certaine sécheresse du sol. Cette sécheresse rend nécessaire l'irrigation.

Chaque ligne du tableau représente une condition mesurée et la position finale de la pompe (marche ou arrêt) est enregistrée en fonction de l'humidité du sol uniquement. Par exemple, à l'itération n° 5, lorsque le taux d'humidité n'était que de 22 %, la pompe était en marche (la pompe était « ON »), tandis que dans l'itération n° 6, où la teneur en eau était de 33,5 %, la pompe était éteinte (la pompe était « OFF »). Bien que les données montrent que le système réagit logiquement aux conditions du sol, le nombre élevé de cas où la pompe a été activée (6 itérations sur 10) confirme que le sol souffrait

d'un déficit d'humidité, nécessitant une intervention automatique du système. Cependant, la pompe n'a pas été déclenchée lorsque l'humidité était suffisante (comme dans les itérations 6, 7 et 10), ce qui prouve que le système ne fonctionne pas de manière aléatoire, mais en fonction des besoins réels des plantes.

En examinant les informations relatives à l'état de la pompe dans le tableau, nous constatons que le système a respecté la règle précédente dans tous les cas. La pompe s'est mise en marche pour tous les échantillons dont le taux d'humidité était inférieur à 30 %, tandis qu'elle s'est arrêtée automatiquement lorsque ce taux était supérieur ou égal à 30 %. Cela montre l'efficacité de notre système de contrôle de la pompe en fonction des données sur l'humidité du sol. Il prend des décisions précises et réagit en temps réel aux changements, ce qui en fait un outil idéal pour l'agriculture intelligente, notamment dans les climats secs. Le système permet de réduire la consommation d'eau et de minimiser l'intervention humaine, tout en préservant la santé du sol et des plantes.

III.8 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons décrit les étapes et les procédures que nous avons suivies pour mettre en œuvre le système proposé, de la connexion du matériel (contrôleur ESP32, capteurs, etc.) au logiciel (Arduino IDE et application blynk) jusqu'à un système d'irrigation intelligent intégré qui répond à nos besoins. Le matériel et le logiciel utilisés ont bien fonctionné, nous permettant d'obtenir les résultats exacts que les agriculteurs attendent de l'irrigation : Optimisation de l'utilisation de l'eau et réduction des efforts.

Conclusion Générale et Perspectives

Conclusion générale et perspectives

En conclusion, ce projet de fin d'études a exploré avec méticulosité le potentiel de l'Internet des objets (IdO) pour révolutionner l'agriculture, en se concentrant sur la conception et la réalisation d'un système d'irrigation intelligent. Ce système, basé sur un réseau IdO utilisant le microcontrôleur ESP32, montre comment des technologies avancées peuvent être utilisées pour une gestion plus efficace des ressources naturelles.

Le développement de systèmes de contrôle et de surveillance à distance pour l'irrigation, comme celui que nous avons mis en place, est un pas significatif vers une agriculture plus durable. Les tests ont clairement démontré la réactivité du système pour contrôler la pompe à distance, et surtout, sa faculté à minimiser l'intervention manuelle, réduisant ainsi les efforts et les temps d'arrêt.

Ce projet a également été une source précieuse d'apprentissage pratique, nous confrontant aux défis inhérents à la manipulation de nouveaux matériels tels que la carte ESP32. Les préoccupations initiales ont ainsi été transformées en une compréhension approfondie, validant l'efficacité et la fiabilité de notre système. Par ses résultats précis et rapides, ce travail ne se contente pas d'offrir une solution immédiate, mais il ouvre également des perspectives prometteuses pour les futurs chercheurs dans le domaine de l'irrigation. L'ajout de capteurs supplémentaires (pH, salinité du sol, etc.) et l'intégration de sources d'énergie renouvelables telles que les panneaux solaires sont des pistes évidentes pour étendre l'impact et la sophistication de ce type de système, et ainsi contribuer à façonner une agriculture plus intelligente et capable de résister aux enjeux environnementaux et économiques actuels.

Bibliographie

Bibliographie :

- [1] Dave Evans, l'internet des objets « Comment l'évolution actuelle d'Internet transforme-t-elle le monde ? » Livre blanc Cisco 2011.
- [2] M. Yacine CHALLAL « Sécurité de l'Internet des objets : vers une approche cognitive et systémique » En vue d'obtenir le diplôme d'habilitation à diriger des recherches 2012.
- [3] Dr. Ikni Samir “ Etude et application de l'internet des objets (télémédecine comme application)”, Mémoire de fin d'études, juillet 2019.
- [4] Sami Hamdi “ESP32 Vs ESP8266 : dévoilement du meilleur microcontrôleur pour vos projets”, Le 23 novembre 2023.
- [5] Krishnakant Soni - “IDO Communication Technologies“- 04 Jul 2024, pp 31.
- [6] Importance de l'IdO à faible consommation et recommandation d'appareils IdO à faible consommation - DusunIdO, 9 octobre 2022
- [7] Srishti Sharma, Research Scholar, Computer Engineering Department, LDRP-ITR, Gandhinagar, India srishtis1258@gmail.com, Août 2017.
- [8] <https://www.micro-planet.ma/produit/module-capteur-hygrometrie-du-sol/>
- [9] Salhi Ammar, Boukerker Hatem, Mémoire de fin d'études “Étude et réalisation d'un système d'irrigation intelligente”, 15 septembre 2021.
- [10] ParCICTRO.COM, ESP32 ou ESP8266 – Lequel choisir ? 13 décembre 024.
- [11] <https://www.dzduino.com/ESP8266-ESP-01-module-wifi-fr>
- [12] Ammour redouan, benouh walid, Mémoire de master « Réalisation de liaison WSN à base de l'ESP32 pour l'IoT », 2020/2021.
- [13] <https://www.raspberryme.com/reference-de-brochage-ESP8266-quelles-broches-gpio-devriez-vous-utiliser/>
- [14] <https://jlcpcb.com/blog/comprehensive-guide-to-the-ESP32-microcontroller>
- [15] <https://altronics.cl/placa-ESP32-nodemcu-ESP32-s>
- [16] <https://fr.sz-kuongshun.com/info/ESP32-vs-ESP8266-pros-and-cons829320123.html>
- [17] ESP32 vs ESP8266 : Différences et avantages
- [18] <https://docs.ESPRESSIF.com/projects/ESPidf/en/stable/ESP32/api-reference/peripherals/gpio.html>
- [19] <https://docs.ESPRESSIF.com/projects/arduinoESP32/en/latest/api/wifi.html>
- [20] <https://marocproduits.com/produit/capteur-humidite-sol-maroc/>
- [21] Adafruit Learning System — DHT222 Temperature-Humidity Sensor Guide
- [22] Tina, <https://www.kelaidisplay.com/what-is-i2c-lcd-display.html> , 2025-01-25.

- [23]<https://www.linkedin.com/pulse/simple-i2c-lcd-display-project-aishiv-haze>
- [24]<https://www.elprocus.com/5v-relay-module/>
- [25]<https://loja.fabricadebolso.com.br/produto/modulo-rele-1-canal-5v-10a-com-optoacoplador.html>
- [26]<https://www.graylogix.in/product/5v-submersible-water-pump>
- [27]<https://arduino.blaisepascal.fr/presentation/logiciel/>
- [28]<https://www.arduino.cc/en/software>
- [29] Bordji Imane, Rapport de projet de fin d'études "Étude et réalisation d'un système d'irrigation intelligent à base d'Arduino DUE", Juin 2024.
- [30]<https://askai.glarity.app/search/What-is-Fritzing--and-how-is-it-used>
- [31] <https://irrigationvalducci.com/fr/limportance-de-lirrigation>
- [32] Deepa Athawale; Journal Article "IoT Based Smart Irrigation System" 20 Avril 2024.
- [33] Ali AbrRAR, Journal Article Pengembangan Sistem Pengontrolan Irigasi Cerdas dengan Teknologi Internet of Things (IoT), 27 Sep 2023.