

UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA
Faculté des Sciences Appliquées
Département de Génie Electrique



Mémoire
MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et technologies
Filière : Génie électrique
Spécialité : Electrotechnique Industrielle
Présenté par :

Bekkouche Mohammed Elhacene
Chacha Moustapha Khalil

Thème:

**Développement d'un système d'irrigation intelligent
basé sur l'internet des objets (IOT)**

Soumis au jury composé de :

Benmakhlouf Abdeslam	MCB	Président	UKM Ouargla
Djarah Djalal	MCB	Encadreur/rapporteur	UKM Ouargla
Taibi Djamel	MAA	Examineur	UKM Ouargla

Année universitaire 2023/2024

Remerciement

Avant tout nous tenons à remercier **ALLAH** qui nous a incité à Acquérir le savoir.

Au terme de ce travail, nous voudrions adresser nos vifs Remerciements à **nos chers parents** pour leurs sacrifices, soutiens et encouragements durant notre cursus d'étude.

Nos remerciements, Notre reconnaissance à notre encadreur de mémoire, notre encadreur **Mr. Djarah Djalal** pour l'encadrement exceptionnel, pour sa grande disponibilité, ses judicieux conseils, pour le climat de famille qu'il a créé autour de nous durant notre préparation de ce mémoire.

Nos remerciements les plus vifs s'adressent aussi à Messieurs le président et les membres de jury d'avoir accepté d'examiner et d'évaluer notre travail.

Nous remercions aussi tous les enseignants qui ont contribué à notre formation, et ainsi tous les gens de près et de loin qui ont aidé à l'élaboration de ce sujet.

Merci à toutes et à tous

DEDICACES

Ma mère :

A toi, cher bijou qui a essuyé mes larmes et fait de sa poitrine ma maison et de ses yeux mon gardien, je te dédie cette œuvre et dis : Que Dieu te récompense en mon nom avec la meilleure récompense.

Maman est le paradis.

Mon père :

Puisse ce modeste travail constituer une légère compensation pour tous les nobles sacrifices que tu t'es imposés pour assurer mon bien être et mon l'éducation.

A Mes frères et sœurs.

A mes chers amis.

Et à tous ceux qui se reconnaîtront en ce mot « **AMI** »

Que dieu leur accorde santé et prospérité

Résumé :

Ce document de recherche est développé sur un « système d'irrigation intelligent » pour créer un mécanisme d'irrigation automatisé qui allume et éteint la pompe en fonction de la teneur en humidité du sol détectée par un capteur d'humidité du sol. L'avantage de l'emploi de ces technologies est de minimiser l'implication humaine. Ce projet de système d'irrigation intelligent utilise un microcontrôleur ESP32, programmé pour traiter le signal d'entrée en fonction de la teneur en humidité du sol et le transmettre à un relais qui active la pompe. Le système est surveillé via les smartphones via une application qui affiche toutes les données du système.

Mots-clés : Irrigation intelligent, IOT, capteur d'humidité du sol, Arduino, ESP32, DHT11.

ملخص:

تم تطوير هذه الورقة البحثية حول "نظام الري الذكي" لإنشاء آلية ري آلية تعمل على تشغيل وإيقاف المضخة بناءً على محتوى رطوبة التربة الذي يكتشفه مستشعر رطوبة التربة، وتتمثل فائدة استخدام هذه التقنيات في تقليل المشاركة البشرية. يستخدم مشروع نظام الري الذكي هذا وحدة التحكم الدقيقة ESP32، والتي تمت برمجتها لمعالجة إشارة الإدخال بناءً على محتوى رطوبة التربة والإخراج إلى مرحل ينشط المضخة. ويتم مراقبة النظام عبر الهواتف الذكية من خلال تطبيق يقوم بعرض كافة بيانات النظام.

الكلمات المفتاحية: الري الذكي، انترنت الأشياء، حساس رطوبة التربة، ESP32، DHT11.

Abstract:

This research paper is developed on a “Smart Irrigation System” to create an automated irrigation mechanism that turns the pump on and off based on soil moisture content detected by a soil moisture sensor. The benefit of employing these technologies is to minimize human involvement. This smart irrigation system project uses an ESP32 microcontroller, which is programmed to process the input signal based on the soil's moisture content and output to a relay that activates the pump. The system is monitored via smartphones through an application that displays all system data.

Keywords: Smart Irrigation, IOT, Soil moisture sensor, Arduino, ESP32, DHT11.

Table des matières

Introduction générale	2
Chapitre I : Méthodologie et Matériels	
I.1 Introduction	6
I.2 Principe de fonctionnement.....	6
I.3 Présentation du cahier des charges	7
I.4 Les Outils Matériels	8
I.4.1 Capteur d'humidité de Sol.....	8
I.4.1.1 Présentation Générale.....	8
I.4.1.2 Caractéristique :	8
I.4.1.3 Configuration du brochage du module de capteur d'humidité du sol	9
I.4.1.4 La carte IC LM393	9
I.4.1.5 Capteur d'humidité.....	10
I.4.2 Capteur d'humidité et de température DHT11	10
I.4.2 .1 Présentation Générale.....	10
I.4.2.2 Caractéristique :	11
I.4.2.3 Le protocole de communication	11
I.4.3 La platine d'expérimentation (breadboard)	12
I.4.3.1 Présentation Générale.....	12
I.4.4 Le Relais	13
I.4.4.1 Présentation Générale.....	13
I.4.4.2 Principe de fonctionnement.....	13
I.4.5 Régulateur de tension (LM2596).....	14
I.4.5.1 Présentation Générale.....	14
I.4.5.2 Brochage (LM2596)	15
I.4.5.3 Évaluations de puissance	16
I.4.6 Afficheur LCD	17
I.4.6.1 Présentation Générale.....	17
I.4.6.2 Principe des afficheur LCD.....	17
I.4.6.3 La description des broches	18
I.4.8 ESP32-WROOM-32	19
I.4.8.1 Présentation Générale.....	19
I.4.8.2 Block diagramme et fonctions.....	19
I.4.8.3 ESP32 broches	20

Liste des figures

I.4.9 Pompe à eau	23
I.4.9.1 Présentation Générale.....	23
I.5 Les logiciels utilisés	24
I.5.1 Logiciel IDE de l'Arduino	24
I.5.1.1 Présentation Générale.....	24
I.5.1.2 Configuration de l'IDE Arduino pour l'ESP32	25
I.5.2 Blynk.....	28
I.5.2.1 Présentation Générale.....	28
I.6 Conclusion.....	29

Chapitre II : Résultats et discussions

II.1 Introduction	32
II.2 Résultats	32
II.2.1 Les données du capteur d'humidité du sol	32
II.2.2 Les données du capteur DHT11	34
II.2.3 La relation entre le capteur d'humidité du sol et le capteur DHT11	35
II.2.4 Le système et sa réponse.....	37
II.3.1 Les données du capteur d'humidité du sol	39
II.3.2 Les données du capteur DHT11	39
II.3.3 La relation entre le capteur d'humidité du sol et le capteur DHT11	40
II.3.4 Le système et sa réponse.....	40
II.4 Conclusion	41
Conclusion générale.....	42
Références bibliographiques.....	44
Annexe	46

Liste des figures

Figure I.1 : Le schéma de principe de fonctionnement	7
Figure I.2 : Capteur d'humidité de sol.....	8
Figure I.3 : La carte IC LM393	9
Figure I.4 : Capteur d'humidité de sol.....	10
Figure I.5 : Capteur d'humidité et de température DHT11	10
Figure I.6 : Les bases pour communiquer avec un DHT11.....	11
Figure I.7 : La platine d'expérimentation (breadboard).	13
Figure I.8 : Module relais avec Broches de sortie et d'entrée.....	13
Figure I.9 : La composition d'un relais.....	14
Figure I.10 : Régulateur de tension (LM2596).....	15
Figure I.11 : Brochage (LM2596)	16
Figure I.12 : Afficheur LCD.....	17
Figure I.13 : l'ESP WROOM 32	19
Figure I.14 : block diagramme de l'ESP 32	20
Figure I.15 : ESP32 broches.....	21
Figure I.16 : Pompe à eau (5V).	24
Figure I.17 : Configuration de l'IDE Arduino pour esp 32 étape 1	25
Figure I.18 : Configuration de l'IDE Arduino pour esp 32 étape 2	25
Figure I.19 : Configuration de l'IDE Arduino pour esp 32 étape 3	26
Figure I.20 : Configuration de l'IDE Arduino pour esp 32 étape 4	26
Figure I.21 : Configuration de l'IDE Arduino pour esp 32 étape 5	27
Figure I.22 : Configuration de l'IDE Arduino pour esp 32 étape 6	27
Figure I.23 : Fonctionnement de Blynk.....	29
Figure II.1 : Schéma de câblage de capteur d'humidité du sol à l'ESP32	32
Figure II.2 : Lecture du capteur d'humidité du sol A une profondeur de 5 et 10 cm	33
Figure II.3 : Schéma de câblage de capteur DHT11 à l'ESP32.....	34
Figure II.4 : Courbe de lecture de température du capteur DHT11	34
Figure II.5 : Courbe de la lecture d'humidité dans le capteur DHT11	34

Liste des figures

Figure II.6 : Courbe de lecture de température du capteur DHT11.....	35
Figure II.7 : Schéma de câblage de capteur d'humidité du sol avec capteur DHT11 à l'ESP32.....	35
Figure II.8 : Courbe des changements d'humidité du sol par rapport à la température.....	37
Figure II.9 : Schéma de câblage final de notre système.....	37
Figure II.10 : Courbe de lecture du capteur d'humidité	38
Figure II.11 : Courbe des temps de démarrage et d'arrêt de la pompe.....	38
Figure II.12 : Courbe de fonctionnement de la pompe par rapport au pourcentage d'humidité du sol.....	38

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Configuration du brochage du module de capteur d'humidité du sol	9
Tableau I.2 : Évaluations de puissance (LM2596).....	16
Tableau I.3 : les broches d'un afficheur LCD	18
Tableau I.4 : Configuration du brochage du module ESP32.....	22
Tableau II.1 : État du sol par rapport à sa teneur en humidité	33
Tableau II.2 : changements d'humidité du sol par rapport à la température.....	36

Introduction générale

Introduction générale

L'eau, essentielle à l'agriculture, est aujourd'hui au cœur d'un enjeu mondial inédit. L'augmentation de la population mondiale entraîne une demande croissante de nourriture et, par conséquent, une pression accrue sur les ressources en eau pour l'irrigation. Les impacts du changement climatique, tels que la variabilité des précipitations, l'intensification des sécheresses et la diminution des aquifères, aggravent la pénurie d'eau douce, rendant sa gestion d'autant plus complexe [1]. Cette situation souligne la nécessité d'une gestion de l'eau en agriculture plus efficace et durable pour garantir la sécurité alimentaire mondiale tout en préservant les écosystèmes aquatiques. Pour relever ce défi, une approche globale intégrant des pratiques d'irrigation plus performantes et des technologies novatrices est nécessaire. De plus, il est essentiel de mettre en place des politiques agricoles et des stratégies de gestion des ressources en eau qui prennent en compte les réalités locales et mondiales afin de soutenir une agriculture résiliente face aux changements climatiques et respectueuse de l'environnement [2]. L'irrigation intelligente incarne une transformation radicale de l'utilisation de l'eau en agriculture. À l'intersection de la technologie et de l'agronomie, ces systèmes d'irrigation de pointe fusionnent une gamme de capteurs, de contrôleurs automatiques et de logiciels avancés pour réguler de manière optimale l'approvisionnement en eau, adaptant avec précision l'irrigation aux exigences spécifiques des cultures [3]. Au centre de l'irrigation intelligente se trouve la capacité de ces systèmes à recueillir et à analyser en temps réel des données environnementales. Des capteurs installés dans le sol ou à proximité des plantes évaluent des variables essentielles telles que l'humidité du sol, la température ambiante, la vitesse du vent et l'évapotranspiration - le processus par lequel l'eau est transférée de la terre à l'atmosphère par évaporation du sol et transpiration des plantes [4]. Ces informations sont ensuite utilisées pour ajuster automatiquement les programmes d'irrigation, assurant que les plantes reçoivent la quantité d'eau nécessaire, ni plus ni moins, au moment le plus approprié. De plus, l'irrigation intelligente peut s'intégrer à des systèmes de gestion agricole plus vastes, offrant aux agriculteurs la possibilité de surveiller et de gérer leurs cultures avec une précision et une efficacité améliorée. Ces systèmes peuvent être pilotés à distance via des smartphones ou des ordinateurs, apportant une flexibilité et une commodité inégalées [5]. L'atout principal de l'irrigation intelligente est sa capacité à optimiser l'utilisation de l'eau, une ressource de plus en plus précieuse et souvent restreinte. En distribuant l'eau de manière plus efficace, ces systèmes minimisent les pertes dues à

l'évaporation, au ruissellement et au sous-arrosage, contribuant ainsi à la préservation de l'eau tout en soutenant des rendements agricoles élevés. Cela a des implications importantes non seulement pour la durabilité environnementale, mais aussi pour la rentabilité des exploitations agricoles en réduisant les coûts liés à l'eau et en améliorant la qualité et la quantité des récoltes [6]. Les systèmes d'irrigation intelligents peuvent considérablement diminuer la consommation d'eau en évitant le surarrosage, un avantage essentiel dans les zones sujettes à la sécheresse ou avec des ressources en eau limitées [7]. Avec les avancées technologiques dans les domaines de l'informatique et de l'électronique, notamment les réseaux de capteurs sans fil et l'Internet des objets (IoT), il est désormais envisageable de concevoir des systèmes d'irrigation intelligents qui minimisent l'intervention directe de l'agriculteur. Dans le cadre de notre étude, nous avons élaboré un système d'irrigation intelligent adapté à des espaces restreints tels que les jardins et les plantes d'intérieur. Ce système fait appel à des capteurs DHT11 pour mesurer l'humidité et la température de l'air, ainsi qu'à des capteurs de sol pour évaluer la teneur en eau du sol. Le microcontrôleur ESP32, qui constitue le cœur du système, contrôle une pompe à eau et communique avec l'application Blynk pour une gestion à distance. Grâce à l'IoT, ce système est capable de détecter la teneur en eau du sol et d'irriguer automatiquement les plantes, s'adaptant ainsi aux besoins spécifiques des cultures et aux variations saisonnières. Ce système simplifie la gestion des plantes en réduisant le besoin de surveillance constante et peut être appliqué à l'ensemble du secteur agricole. En optimisant l'utilisation de l'eau et en automatisant le processus d'irrigation, notre système favorise une agriculture plus durable et efficace. Ce mémoire est organisé en deux chapitres principaux :

Chapitre 1 : Méthodologies et Matériels

Introduction aux technologies de l'IoT, avec un accent particulier sur les capteurs DHT11 et de sol, l'ESP32, et l'application Blynk. Présentation détaillée des méthodologies employées pour la conception et la mise en œuvre de systèmes d'irrigation intelligents, y compris les principes de base, les étapes clés du processus de développement, et les critères de sélection des composants.

Chapitre 2 : Résultats et Discussion

Évaluation approfondie des performances du système d'irrigation intelligent, y compris une analyse quantitative et qualitative des avantages en termes de conservation de l'eau et d'amélioration de la productivité agricole.

Introduction générale

Discussion détaillée des résultats, mettant en lumière les implications pratiques et théoriques de l'étude. Cette section comprendra une interprétation des résultats à la lumière des objectifs de recherche. Enfin, une conclusion qui résume les principales conclusions de l'étude, souligne les implications pour la gestion durable de l'eau en agriculture, et propose des directions pour les recherches futures.

Méthodologie et Matériels

I.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons une explication du principe de fonctionnement du système d'irrigation intelligent ainsi qu'une explication des différentes parties utilisées dans la construction de ce système, en plus des logiciels et des plateformes utilisés.

I.2 Principe de fonctionnement

Dans notre système d'irrigation, divers capteurs tels que capteur de l'humidité du sol, le capteur DHT11 sont connectés aux broches d'entrée du microcontrôleur ESP32.

Les valeurs détectées par les capteurs sont affichées sur l'écran de l'afficheur OLED et seront transférées aux actionneurs pour agir sur ces données. Si la valeur détectée dépasse les valeurs de seuils définis dans le programme, la pompe sera automatiquement activée/désactivée par le circuit de relais et elle est connectée au circuit de commande qui aide à commuter la tension. L'ESP32 enregistre également les données d'humidité du sol et d'utilisation de l'eau dans le cloud Blynk, configuré à l'aide du module WIFI ESP32. Les mêmes données sont également acquises et affichées dans l'application Android via Internet.

Dans notre projet et pour rendre le système connecté et commandable à distance nous avons le l'ESP32. La carte de commande permettra de recevoir les commandes et de les exécuter puis envoyer les états des différents capteurs et actionneurs.

Dans notre projet, cette carte assure :

- Le contrôle de l'arrosage.
- Le bon fonctionnement de la pompe.
- La lecture des données reçues à partir des capteurs d'humidité de sol et DHT11.

La **figure I.1** présente le schéma de principe de notre projet et les différentes liaisons entre le cœur qui est l'ESP32 et autres différents composants.

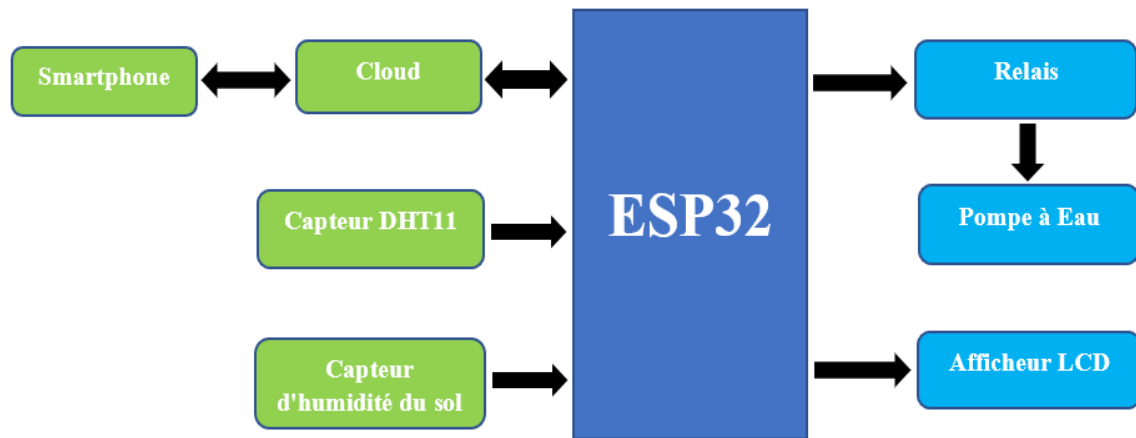


Figure I.1 : Le schéma de principe de fonctionnement

I.3 Présentation du cahier des charges

Notre système d'irrigation intelligent repose sur une carte ESP32 interconnectée à divers capteurs et actionneurs, les quels sont contrôlés à distance par un système intelligent fondé sur une carte ESP et un smartphone via une interface web HTML ou une application Android.

Pour la réalisation de notre système d'irrigation intelligent nous avons besoin des éléments suivants :

- Les capteurs :
 - Capteur d'humidité de sol
 - Capteur de température et d'humidité de l'aire (DHT11).
- La platine d'expérimentation (breadboard)
- Le Relais
- Régulateur de tension (LM2596)
- Afficheur LCD
- Câble Dupont
- ESP32
 - Les actionneurs :
 - Pompe à eau

I.4 Les Outils Matériels

I.4.1 Capteur d'humidité de Sol

I.4.1.1 Présentation Générale

Le capteur d'humidité du sol est utilisé pour mesurer la teneur en humidité du sol. Il évalue la teneur en eau volumétrique du sol, ce qui permet d'obtenir une indication du niveau d'humidité. Ce module est équipé de sorties numériques et analogiques et intègre un potentiomètre permettant de régler le seuil de détection.

Il est constitué d'un capteur d'humidité, de résistances, d'un condensateur, d'un potentiomètre, d'un comparateur LM393 IC, ainsi que de LED indiquant l'alimentation et l'état, le tout intégré de manière optimale dans un seul circuit [8].

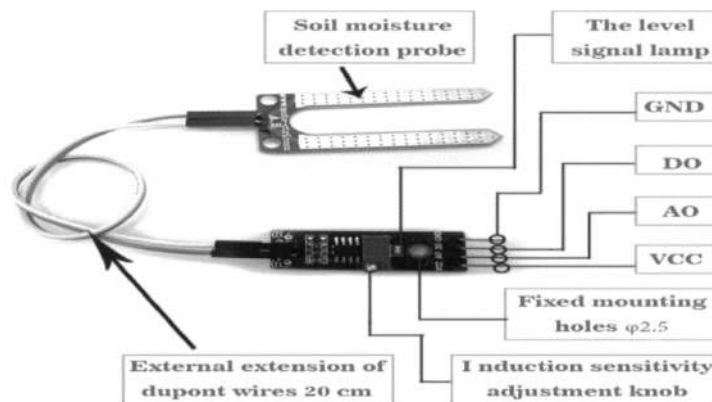


Figure I.2 : Capteur d'humidité de sol.

I.4.1.2 Caractéristique :

- Tension de fonctionnement : 3,3 V à 5 V CC.
- Courant de fonctionnement : 15 mA.
- Sortie numérique - 0 V à 5 V, niveau de déclenchement réglable à partir du préréglage.
- Sortie analogique - 0 V à 5 V basée sur le rayonnement infrarouge de la flamme tombant sur le capteur.
- LED indiquant la sortie et la puissance.

- Taille du circuit imprimé : 3,2 cm x 1,4 cm.
- Conception basée sur LM393.
- Facile à utiliser avec des microcontrôleurs ou même avec un circuit intégré numérique/analogique normal.

I.4.1.3 Configuration du brochage du module de capteur d'humidité du sol

Tableau I.1: Configuration du brochage du module de capteur d'humidité du sol.

Nom de la broche	Description
VCC	La broche Vcc alimente le module, généralement avec +5V
GND	Masse d'alimentation
D0	Broche de sortie numérique pour sortie numérique.
A0	Broche de sortie analogique pour sortie analogique

I.4.1.4 La carte IC LM393

La carte IC LM393 est utilisée comme comparateur de tension dans ce module de capteur d'humidité. La broche 2 du LM393 est connectée à un préréglage (potentiomètre de 10 K Ω), tandis que la broche 3 est reliée à la broche du capteur d'humidité. Ce schéma permet au comparateur intégré d'évaluer le seuil de tension établi par le préréglage (broche 2) par rapport à la lecture provenant de la broche du capteur (broche 3) [8].



Figure I.3 : La carte IC LM393 .

I.4.1.5 Capteur d'humidité

Le capteur d'humidité est équipé de deux sondes spécialement conçues pour détecter l'humidité du sol. Ces sondes sont revêtues d'or par immersion afin de protéger le nickel contre l'oxydation. Le fonctionnement du capteur repose sur la transmission de courant à travers le sol, puis la mesure de la résistance par le capteur pour évaluer les niveaux d'humidité [8].

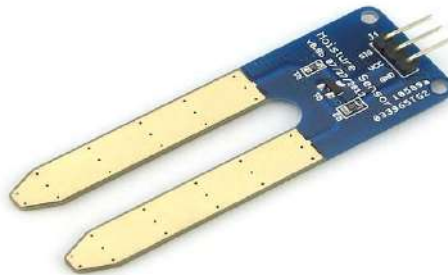


Figure I.4: Capteur d'humidité de sol.

I.4.2 Capteur d'humidité et de température DHT11

I.4.2 .1 Présentation Générale

Le capteur DHT11, comme illustré dans **la Figure I.4** est un capteur numérique d'humidité et de température qui permet de mesurer la température ambiante et l'humidité relative de l'air environnant. Il est largement utilisé dans diverses applications où il est crucial de surveiller les conditions environnementales. Ces applications comprennent les systèmes de contrôle de l'environnement dans les bâtiments, les serres, les incubateurs, les chambres de culture, ainsi que dans les projets de bricolage. De plus, le capteur DHT11 est fréquemment intégré dans des projets de domotique pour surveiller la température et l'humidité de l'air, permettant ainsi d'ajuster automatiquement les systèmes de climatisation ou de chauffage en fonction des variations détectées [9].

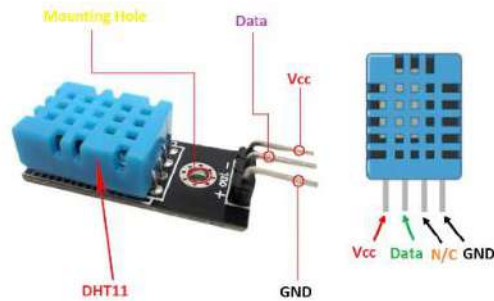


Figure I.5: Capteur d'humidité et de température DHT11.

I.4.2.2 Caractéristique :

- Alimentation : 3.3 à 5 Vcc.
- Température : de 0 à 50°C, précision : +/- 2°C.
- Humidité : de 20 à 96% RH, précision +/- 5% RH.
- Consommation maxi : 2,5 mA.
- Dimensions : 16 x 12 x 7 mm.

I.4.2.3 Le protocole de communication

Le DHT11 se distingue par son utilisation d'une seule broche pour communiquer avec le maître.

La communication se fait donc au moyen d'un protocole propriétaire qui nécessite des timings très précis.

Explication des bases pour communiquer avec un DHT11

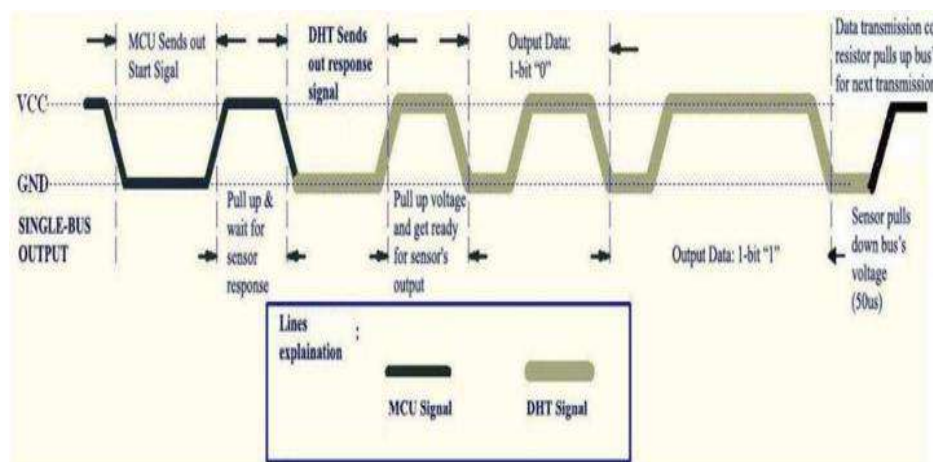


Figure I.6: Les bases pour communiquer avec un DHT11.

Une trame "type" se compose de trois grandes parties :

- 1. Éveil du capteur par le maître :** Le maître envoie un signal de "Start" pour réveiller le capteur.
- 2. Réponse du capteur :** Le capteur sort de son sommeil et envoie une réponse pour indiquer qu'il est opérationnel.
- 3. Transmission des données :** Le capteur envoie ensuite 40 bits de données (5 octets) contenant la température, le taux d'humidité, et un checksum. Il est essentiel de noter que le capteur utilise une sortie dite "collecteur ouvert". Cela signifie que le capteur n'émet pas des niveaux logiques standard de 0V/5V, mais utilise un transistor en sortie. Voici comment cela fonctionne :
 - **Signal "0" :** Le capteur force le signal à 0V en activant son transistor (entre DATA et GND) pour permettre le passage du courant vers la terre (GND).
 - **Signal "1" :** Le capteur laisse le signal tel quel en bloquant son transistor pour empêcher le passage du courant.

Il est donc crucial d'avoir une résistance de tirage (pull-up résistor), comme indiquée sur le schéma. Sans cette résistance, il n'y aurait pas de signal clair, car la sortie du capteur ne serait pas correctement définie lorsque le transistor est inactif (pour un signal "1"). La résistance de tirage garantit que le signal reste à un niveau logique haut (par exemple, 5V) lorsqu'aucun courant n'est fourni par le capteur, assurant ainsi une bonne distinction entre les niveaux logiques "0" et "1" [9].

I.4.3 La platine d'expérimentation (breadboard)

I.4.3.1 Présentation Générale

Une platine d'expérimentation ou platine de prototypage est simplement une carte pour le prototypage ou la construction de circuits. Il permet de placer des composants et des connexions sur la carte pour réaliser des circuits sans soudure. Les trous de la planche à pain prennent soin de vos connexions en retenant physiquement les pièces ou les fils là où vous les placez et en les connectant électriquement à l'intérieur de la carte. La facilité d'utilisation et la rapidité sont idéales pour l'apprentissage et le prototypage rapide de circuits simples. Les circuits plus complexes et les circuits haute fréquence sont moins adaptés à la maquette. Les circuits de maquette ne sont pas non plus idéaux pour une utilisation à long terme, comme les circuits construits sur une carte perforée

(protoboard) ou un PCB (carte de circuit imprimé), mais ils n'ont pas non plus de coûts de soudure (protoboard) ou de conception et de fabrication (PCB) [10].

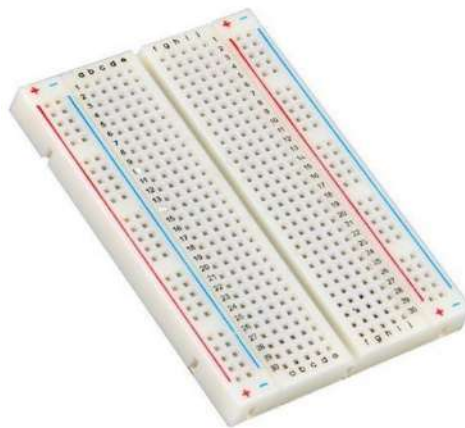


Figure I.7: La platine d'expérimentation (breadboard).

I.4.4 Le Relais

I.4.4.1 Présentation Générale

Le relais est un composant électromécanique qui agit comme un interrupteur, mais sa commande n'est pas manuelle. Au lieu de cela, le relais est activé par l'application d'une tension électrique appropriée. Cette tension peut être de 5 volts, 9 volts, 12 volts ou même 220 volts, selon le type de relais utilisé. Lorsqu'une tension est appliquée à un relais, il commute ses contacts électriques, permettant ainsi de contrôler des circuits ou des appareils à distance à l'aide de signaux électriques [11].

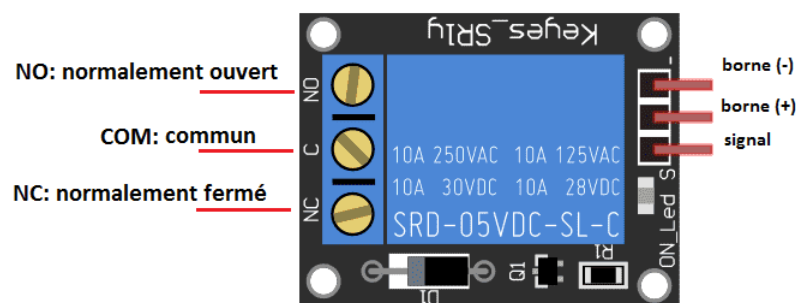


Figure I.8: Module relais avec Broches de sortie et d'entrée.

I.4.4.2 Principe de fonctionnement

La description fournie explique le fonctionnement d'un relais électromagnétique :

Sur la figure ci-dessous, on observe une bobine constituée d'un grand nombre de spires réalisées avec un fil de cuivre très fin. Lorsque cette bobine est parcourue par un courant électrique suffisant, elle génère un champ magnétique qui attire une partie mobile vers elle. Cette partie mobile, montée sur un axe, déplace alors les contacts mécaniques adjacents.

Lorsque le courant cesse de circuler dans la bobine, un ressort de rappel ramène les contacts mécaniques à leur position initiale. Les connexions externes fournissent un accès aux fils de la bobine ainsi qu'aux contacts électriques solidaires des parties mobiles mécaniques.

Ce dispositif permet donc de contrôler des circuits électriques à distance en utilisant le courant pour activer le déplacement des contacts à l'intérieur du relais, et le ressort de rappel assure le retour à la position de repos lorsque le courant est interrompu [11].

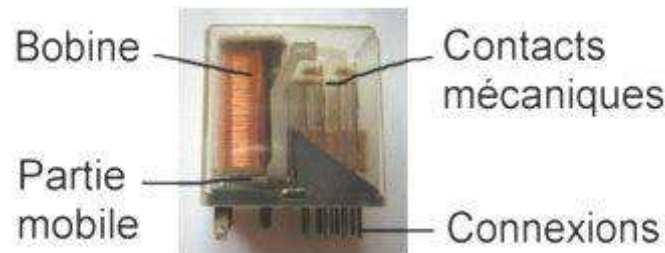


Figure I.9: La composition d'un relais.

I.4.5 Régulateur de tension (LM2596)

I.4.5.1 Présentation Générale

Le LM2596 est un régulateur de tension largement utilisé pour réduire la tension ou pour alimenter une charge inférieure à 3 A. Il est également appelé convertisseur DC-DC ou convertisseur abaisseur, car il abaisse la tension d'entrée à la tension de sortie nécessaire pour alimenter la charge. Pendant ce processus de réduction de tension, le courant augmente. Le LM2596 offre une excellente régulation de charge et de ligne. Il est disponible en deux versions :

Une version à tension de sortie fixe avec des valeurs standard comme 3,3 V, 5 V, et 12 V, et une version personnalisée où vous pouvez sélectionner la tension de sortie selon vos besoins spécifiques. Ce régulateur intègre un oscillateur à fréquence fixe et une méthode de compensation de fréquence interne. La compensation de fréquence ajuste les caractéristiques de phase et de gain de la sortie en boucle ouverte pour prévenir les oscillations et les instabilités dans le circuit [12].

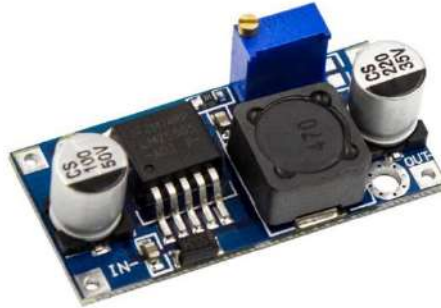


Figure I.10: Régulateur de tension (LM2596).

I.4.5.2 Brochage (LM2596)

Le LM2596 est livré avec un total de cinq broches, chacune remplissant une fonction spécifique :

- **Vin (Entrée) :** Cette broche est l'endroit où la tension d'alimentation d'entrée (V_{in}) est connectée. Il est également connecté à un condensateur de dérivation d'entrée, qui contribue à fournir le courant de commutation nécessaire et réduit les transitoires de tension dans le circuit.
- **Sortie (O) :** Cette broche est la sortie du commutateur interne du LM2596. La tension sur cette broche commute entre $(V_{in} - V_{sat})$ et $-0,5\text{ V}$. Le cycle de service de cette broche est déterminé par le rapport entre la tension de sortie (V_{out}) et la tension d'entrée (V_{in}). La zone en cuivre du PCB attachée à cette broche est utilisée pour minimiser les interférences électromagnétiques (EMI) et améliorer les performances globales du circuit.
- **Masse :** Cette broche est connectée à la terre (0 V) et sert de point de référence pour l'ensemble du circuit.
- **Retour :** La broche de feedback est cruciale pour réguler la tension de sortie du LM2596. En connectant un réseau diviseur de résistance externe de la sortie (O) à cette broche, la tension de sortie souhaitée peut être réglée. La boucle de rétroaction ajuste le cycle de service du commutateur interne pour maintenir une tension de sortie stable.
- **ON/OFF (Activer) :** Cette broche est utilisée pour contrôler le fonctionnement du circuit régulateur de tension. Lorsque la tension sur cette broche est inférieure à la tension seuil de $1,3\text{ V}$, le convertisseur abaisseur est activé, permettant au régulateur de fonctionner normalement. À l'inverse, lorsque la tension dépasse $1,3\text{ V}$, le convertisseur est éteint,

arrêtant ainsi le régulateur et réduisant le courant d'alimentation d'entrée à un faible niveau de veille (environ 80 μ A). Pour désactiver cette fonction d'arrêt et maintenir le régulateur constamment allumé, vous pouvez connecter cette broche à la masse (GND) ou la laisser déconnectée (ouverte) [12].

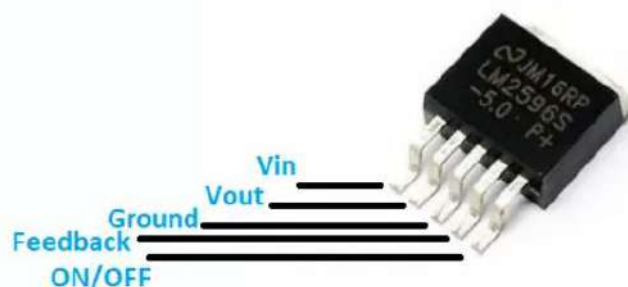


Figure I.11: Brochage (LM2596).

I.4.5.3 Évaluations de puissance

Le tableau suivant représente les valeurs nominales maximales absolues du régulateur LM2596.

Tableau I.2: Évaluations de puissance (LM2596).

Valeurs nominales maximales LM2596			
NO	évaluation	Valeur	Unité
1	Tension d'alimentation maximale	45	V
2	Tension d'entrée SD/SS	6	V
3	Tension de broche de retard	1.5	V
4	Tension de l'épingle du drapeau	45	V
5	Tension de broche de retour	25	V
6	Tension de sortie à la terre	-1	V
7	Température de stockage	-65 à 150	C

I.4.6 Afficheur LCD

I.4.6.1 Présentation Générale

Les écrans à cristaux liquides, aussi connus sous le nom d'afficheurs LCD (Liquid Crystal Display), sont des modules compacts et intelligents qui nécessitent peu de composants externes pour fonctionner correctement. Ils ont une consommation électrique relativement faible, généralement entre 1 et 5 mA, ce qui les rend économiques à utiliser. De plus, ils sont disponibles à un prix abordable et sont faciles à utiliser.



Figure I.12: Afficheur LCD

Il existe plusieurs types d'afficheurs LCD sur le marché, qui varient non seulement en termes de dimensions (de 1 à 4 lignes de 6 à 80 caractères), mais aussi en ce qui concerne leurs caractéristiques techniques et leur tension de fonctionnement. Certains modèles sont équipés d'un rétroéclairage, qui utilise des LED placées derrière l'écran pour illuminer le module. Cependant, cette fonctionnalité de rétroéclairage nécessite une intensité électrique plus élevée, généralement entre 80 et 250 mA.

Les afficheurs LCD sont largement utilisés dans les projets impliquant des microcontrôleurs en raison de leur convivialité. Ils sont également utiles lors du développement de programmes, car ils permettent d'afficher facilement les valeurs de différentes variables [13].

I.4.6.2 Principe des afficheur LCD

Le fonctionnement des afficheurs LCD repose sur le principe de manipulation de cristaux liquides entre deux lames de verre, espacées d'environ 20 μm . Ces cristaux liquides sont normalement réfléchissants dans le cas des modèles réflectifs. Lorsqu'une tension alternative de basse fréquence

(de l'ordre de 3 à 5 V) est appliquée entre les deux faces, les cristaux liquides deviennent absorbants, ce qui fait apparaître les caractères sous forme sombre sur un fond clair.

Il est important de noter que les afficheurs LCD réfléchissants ne produisent pas leur propre lumière, ce qui signifie qu'ils dépendent d'un bon éclairage ambiant pour une lisibilité optimale. La visibilité des caractères sur un afficheur réfléchissant augmente en présence d'un éclairage adéquat.

En revanche, les modèles transmissifs fonctionnent de manière différente : le cristal liquide est normalement opaque lorsqu'il est au repos, mais devient transparent lorsqu'il est activé. Pour rendre un afficheur LCD transmissif lisible, un éclairage par l'arrière est nécessaire, comme celui fourni par les modèles rétroéclairés [13].

I.4.6.3 La description des broches

Tableau I.3: les broches d'un afficheur LCD.

No	Nom	Rôle
1	GND	Masse 0V.
2	VDD	Alimentation 5V.
3	VE	Tension de réglage du contraste.
4	RS	Sélection du registre de donnée ou de commande.
5	RW	Lecture ou écriture.
6	EN	Activation pour un transfert (Enable).
7	DB0	Bit 0 de la donnée/commande.
8	DB1	Bit 1 de la donnée/commande.
9	DB2	Bit 2 de la donnée/commande
10	DB3	Bit 3 de la donnée/commande
11	DB4	Bit 4 de la donnée/commande
12	DB5	Bit 5 de la donnée/commande
13	DB6	Bit 6 de la donnée/commande
14	DB7	Bit 7 de la donnée/commande
15	LED+	Anode (+) du rétro-éclairage.
16	LED-	Cathode (-) du rétro-éclairage

I.4.8 ESP32-WROOM-32

I.4.8.1 Présentation Générale

L'ESP32 est un système dual-core équipé de deux processeurs Xtensa LX6, suivant l'architecture Harvard. Toute la mémoire intégrée, ainsi que la mémoire externe et les périphériques, sont connectés au bus de données et/ou au bus d'instructions de ces processeurs. Le microcontrôleur dispose de deux cœurs : PRO_CPU dédié au protocole et APP_CPU pour les applications, bien que leurs rôles spécifiques ne soient pas définis.

L'espace d'adressage pour le bus de données et le bus d'instructions est de 4 Go, tandis que l'espace d'adressage pour les périphériques est de 512 Ko. En termes de mémoire intégrée, il dispose de 448 Ko de ROM, 520 Ko de SRAM, ainsi que deux mémoires RTC de 8 Ko chacune. De plus, la mémoire externe peut prendre en charge jusqu'à 16 Mo x 4 de mémoire Flash [14].



Figure I.13: l'ESP WROOM 32.

I.4.8.2 Block diagramme et fonctions

La structure du microcontrôleur ESP32 est conçue pour prendre en charge les protocoles

Suivants :

- TCP/IP,
- 802.11 b/g/n/e/i complet
- WLAN MAC et la spécification Wi-Fi Direct.

Le microcontrôleur est capable de fournir un ensemble de services de base (BSS) en tant que STA (Station) et de mener des opérations Soft AP via la fonction de contrôle distribué (DCF). De plus, il prend en charge le fonctionnement en mode groupe P2P conforme au dernier protocole Wi-Fi P2P. En conséquence, il peut fonctionner en tant que station pour se connecter à Internet ou à un

serveur, ainsi qu'en tant que point d'accès pour fournir une interface utilisateur, par exemple sur un smartphone exécutant une application mobile [14].

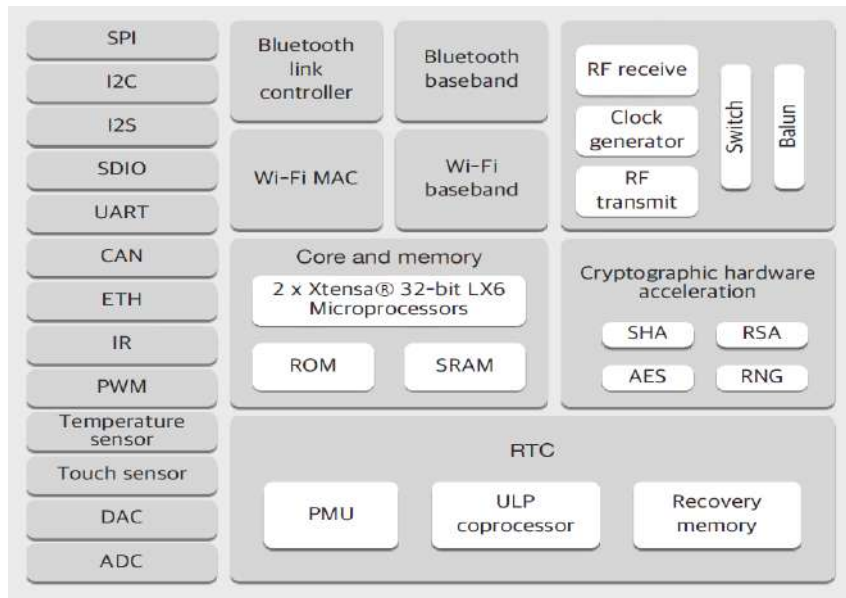


Figure I.14: block diagramme de l'ESP 32.

I.4.8.3 ESP32 broches

Les ESP32 incluent :

- 18 canaux de convertisseur analogique-numérique (ADC)
- 3 interfaces SPI
- 3 interfaces UART
- 2 interfaces I2C
- 16 canaux de sortie PWM
- 2 convertisseurs numérique-analogique (DAC)
- 2 interfaces I2S
- 10 GPIO à détection capacitive

Les fonctionnalités ADC (convertisseur analogique-numérique) et DAC (convertisseur numérique-analogique) sont affectées à des broches spécifiques sur la puce ESP32, et ces affectations sont fixes. Cependant, d'autres fonctionnalités telles que UART, I2C, SPI, PWM, etc., peuvent être attribuées à différentes broches en utilisant le multiplexage logiciel de l'ESP32.

Il est important de noter que bien que vous puissiez configurer les propriétés des broches dans votre code, certaines broches ont des fonctions par défaut qui ne peuvent pas être modifiées. Par exemple, pour la carte ESP32 DEVKIT V1 DOIT avec 36 broches, les broches ont des fonctions pré-assignées qui peuvent varier en fonction du fabricant.

Il est également recommandé de faire attention à l'utilisation des broches. Certaines peuvent être utilisées avec précaution, car elles peuvent avoir un comportement inattendu, en particulier au démarrage. Il est déconseillé d'utiliser certaines broches pour les entrées ou les sorties en raison de ces considérations.

Pour choisir les broches appropriées pour votre projet, référez-vous à un schéma spécifique à votre carte ESP32 pour connaître les affectations précises des broches et les recommandations d'utilisation en fonction de leur couleur (vert, jaune, rouge) telles que décrites [15].

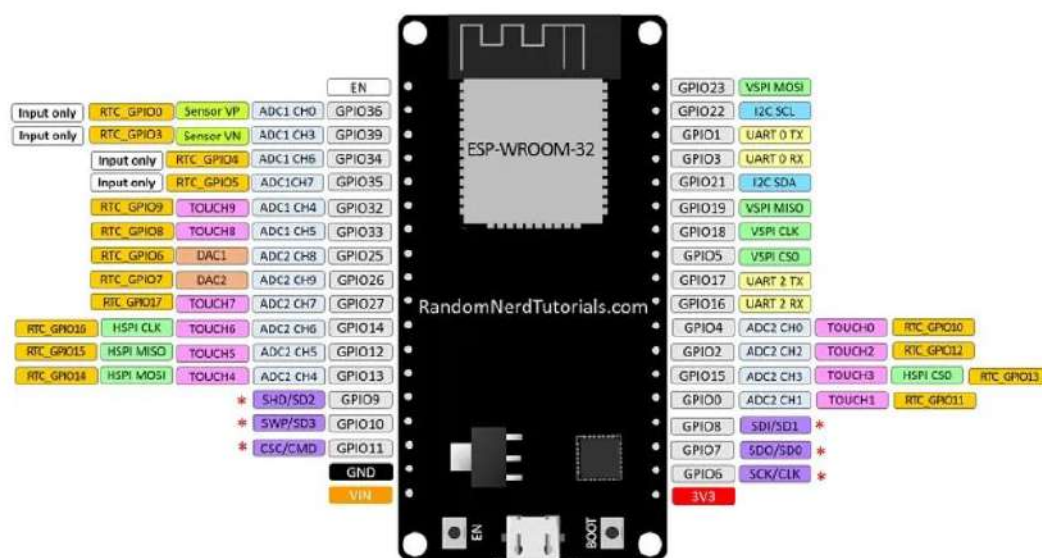


Figure I.15: ESP32 broches.

Tableau I.4: Configuration du brochage du module ESP32.

GPIO	Entrée	Sortie	Remarques
0	Tiré vers le haut	OK	Signal PWM au démarrage, doit être BAS pour passer en mode clignotant
1	Broche TX	OK	Sortie de débogage au démarrage
2	OK	OK	Connecté à la LED intégrée, doit être laissé flottant ou BAS pour passer en mode clignotant
3	OK	Broche RX	Élevé au démarrage
4	OK	OK	
5	OK	OK	Émet un signal PWM au démarrage
6	X	X	Connecté au flash SPI intégré
7	X	X	Connecté au flash SPI intégré
8	X	X	Connecté au flash SPI intégré
9	X	X	Connecté au flash SPI intégré
10	X	X	Connecté au flash SPI intégré
11	X	X	Connecté au flash SPI intégré
12	OK	OK	Le démarrage échoue si la broche est tirée au niveau haut, broche de cerclage.
13	OK	OK	
14	OK	OK	Émet un signal PWM au démarrage
15	OK	OK	Émet un signal PWM au démarrage, broche de cerclage.
16	OK	OK	
17	OK	OK	
18	OK	OK	
19	OK	OK	
21	OK	OK	
22	OK	OK	
23	OK	OK	
25	OK	OK	

26	OK	OK	
27	OK	OK	
32	OK	OK	
33	OK	OK	
34	OK		entrée uniquement
35	OK		entrée uniquement
36	OK		entrée uniquement
39	OK		entrée uniquement

I.4.9 Pompe à eau

I.4.9.1 Présentation Générale

Le terme "Pompe à eau" n'est pas tout à fait approprié car ce dispositif peut également fonctionner avec des liquides autres que de l'eau. En tout cas, une pompe à eau est un mécanisme capable de générer un écoulement de liquide en utilisant l'énergie cinétique. Elle est composée de plusieurs éléments essentiels :

- **Entrée** : où le liquide est aspiré.
- **Moteur + Hélice** : responsable de la génération de l'énergie cinétique pour extraire le liquide de l'entrée et le propulser vers la sortie.
- **Sortie** : l'endroit où le liquide propulsé sort grâce à la puissance de la pompe à eau.

Ces pompes hydrauliques sont largement utilisées dans de nombreux projets et équipements, allant de l'industrie aux systèmes d'irrigation automatiques, en passant par les distributeurs d'eau, les systèmes d'alimentation, et les usines de traitement, entre autres. C'est pourquoi il existe sur le marché une multitude de modèles avec différentes puissances et capacités (mesurées en litres par heure ou équivalents), adaptés aux besoins spécifiques, que ce soit pour des liquides propres ou souillés, pour des profondeurs variables, ou pour des applications de surface, etc [16].



Figure I.16: Pompe à eau (5V).

I.5 Les logiciels utilisés

Pendant notre réalisation, nous avons utilisé plusieurs logiciels et environnements, notamment l'IDE Arduino et Blynk. L'IDE Arduino nous a permis de programmer et configurer notre ESP32 pour assurer le bon fonctionnement de notre application. Blynk, quant à lui, a été spécialement conçu pour l'Internet des Objets.

I.5.1 Logiciel IDE de l'Arduino

I.5.1.1 Présentation Générale

Le logiciel Arduino (IDE) est un logiciel open source utilisé pour programmer les cartes Arduino et constitue un environnement de développement intégré développé par arduino.cc. Il permet d'écrire et de télécharger du code sur les cartes Arduino et comprend de nombreuses bibliothèques ainsi qu'un ensemble d'exemples de mini-projets.

L'IDE Arduino est compatible avec différents systèmes d'exploitation (Windows, Linux, Mac OS X) et prend en charge les langages de programmation (C/C++).

Cet outil est facile à utiliser pour les débutants et les utilisateurs avancés. Il permet de se lancer dans la programmation électronique et la robotique, et de construire des prototypes interactifs.

Depuis l'éditeur de texte, vous pouvez saisir votre programme, l'enregistrer, le vérifier, le compiler et même le transférer sur votre matériel Arduino (connecté à votre ordinateur via un câble USB). Le logiciel Arduino est un outil qui permet de développer de nouvelles choses et de créer de

nouveaux projets électroniques, accessible à tous (enfants, amateurs, ingénieurs, programmeurs, etc.) [17].

I.5.1.2 Configuration de l'IDE Arduino pour l'ESP32

Dans cette étude, nous examinerons comment programmer un ESP32 depuis l'EDI Arduino en C++ ou en C. À l'heure actuelle, la société "Expressive System" (fabricant de l'ESP32) n'a pas encore intégré pleinement cette carte dans le gestionnaire de cartes Arduino, donc c'est un Processus manuel.

1. Rendons-nous dans le menu "**Préférences**" de votre interface IDE.

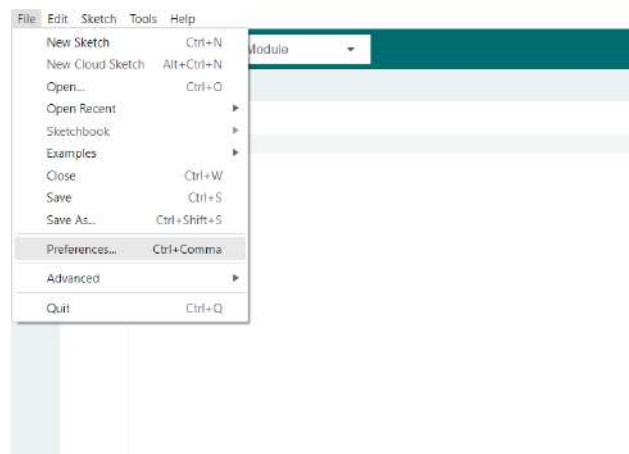


Figure I.17: Configuration de l'IDE Arduino pour esp 32 **étape 1**

2. Il est nécessaire de saisir un lien dans "URL de gestionnaire de cartes supplémentaires".
Pour cela, nous cliquons sur l'icône indiquée sur la figure suivante :

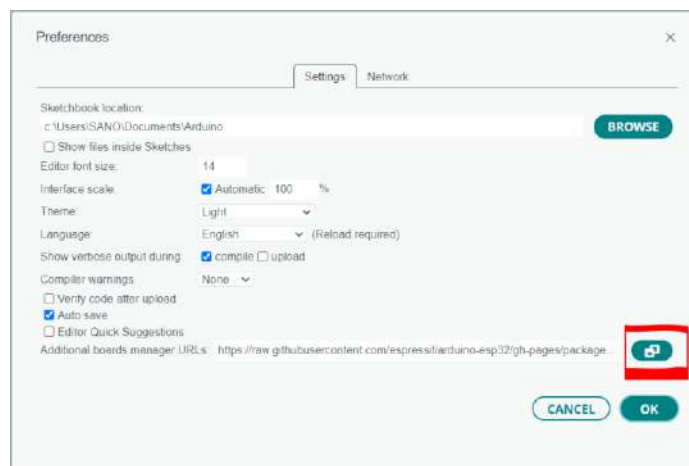


Figure I.18: Configuration de l'IDE Arduino pour esp 32 **étape 2.**

Et nous saisissons alors le lien hypertexte suivante :

https://dl.espressif.com/dl/package_esp32_index.json[18].

3. Enregistrez en cliquant sur "OK" et quittez le menu "Préférences".

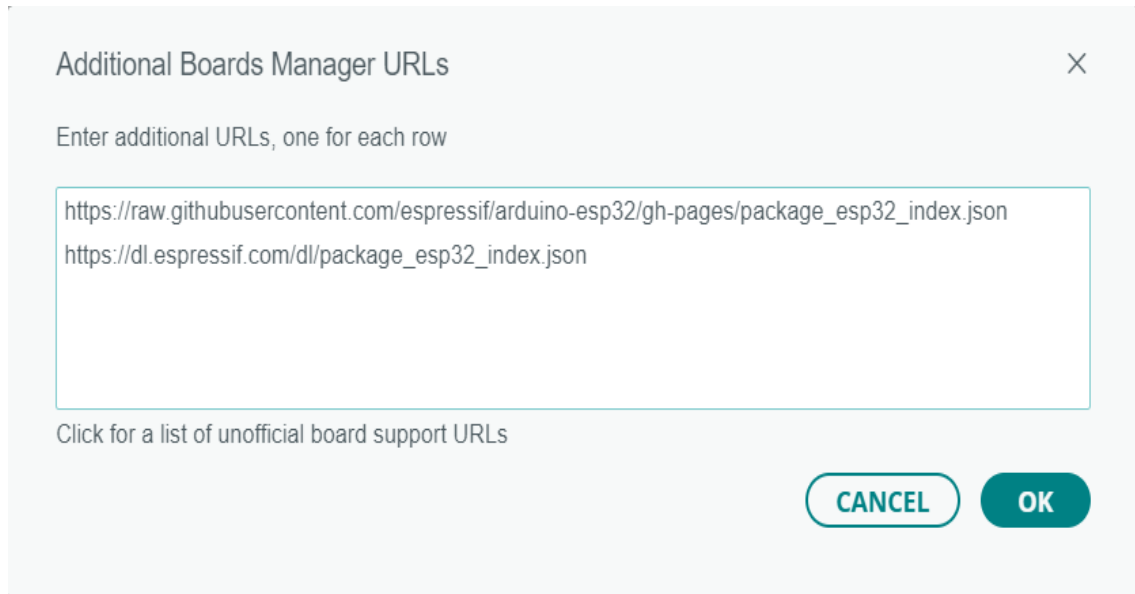


Figure I.19: Configuration de l'IDE Arduino pour esp 32 étape 3.

4. Maintenant, rendons-nous dans le menu "Gestionnaire de cartes (Boards manager)" via les menus "Outils" "Type de carte". Ou "Tools" > "Board" .

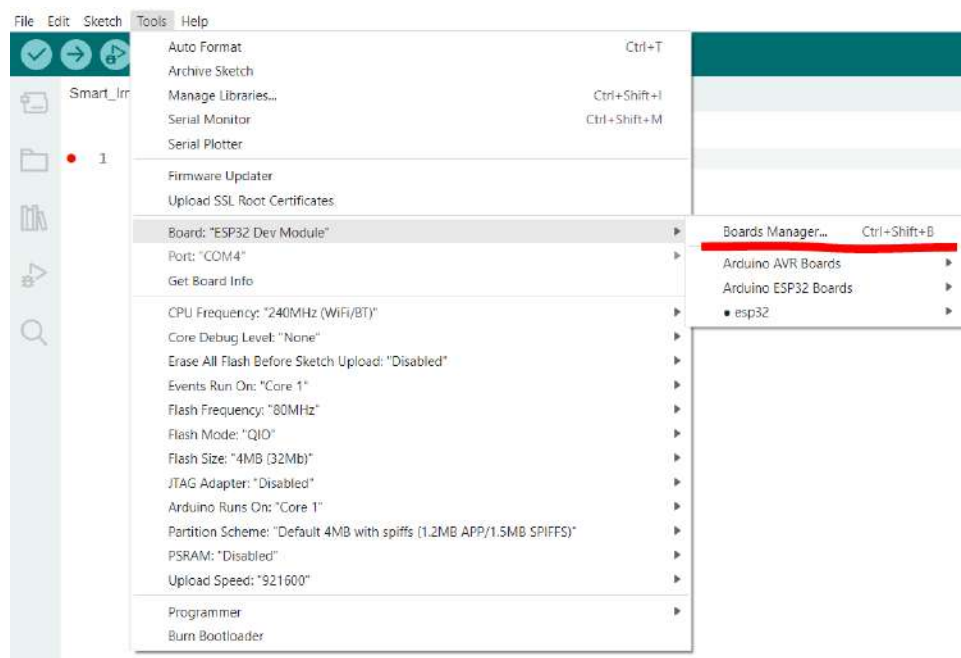


Figure I.20: Configuration de l'IDE Arduino pour esp 32 étape 4.

- Recherchez ESP32 et appuyez sur le bouton d'installation pour « ESP32 by Espressif Systems »

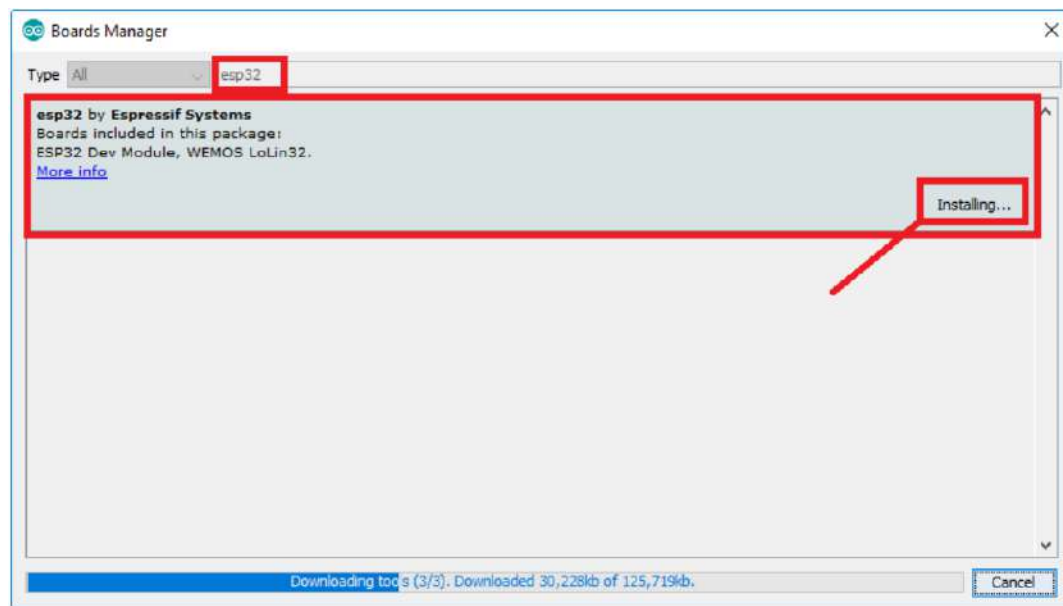


Figure I.21: Configuration de l'IDE Arduino pour esp 32 étape 5.

- Branchez la carte ESP32 sur votre ordinateur. Avec votre IDE Arduino ouvert, suivez ces étapes :

Sélectionnez votre carte dans le menu Outils > Type de Carte (dans mon cas c'est le ESP32 DEV MODULE)

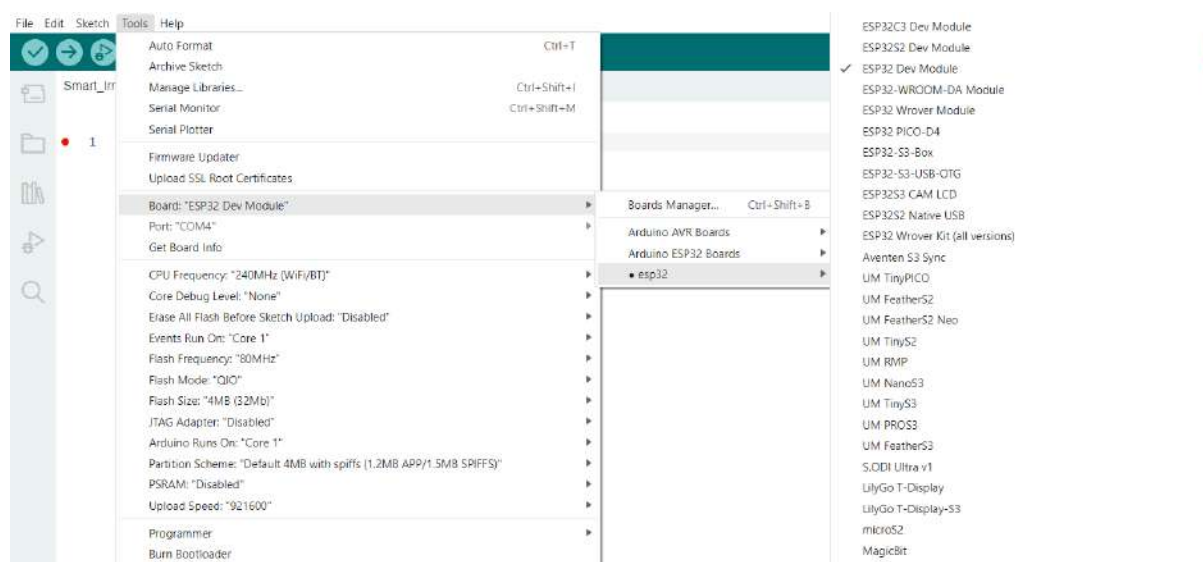


Figure I.22: Configuration de l'IDE Arduino pour esp 32 étape 6.

I.5.2 Blynk

I.5.2.1 Présentation Générale

Blynk est une suite logicielle complète qui permet le prototypage, le déploiement et la gestion à distance d'appareils connectés électroniquement à n'importe quelle échelle. Qu'il s'agisse de projets IoT personnels ou de produits commerciaux connectés par millions, Blynk permet aux utilisateurs de connecter leur matériel au cloud et de développer des applications iOS, Android et Web. Les utilisateurs peuvent analyser les données historiques et en temps réel des appareils, contrôler les appareils à distance depuis n'importe où, recevoir des notifications importantes et bien plus encore. Il y a trois composants majeurs dans la plateforme :

- **Console Blynk** C'est une application Web riche en fonctionnalités qui s'adresse à différents types d'utilisateurs. Ses principales fonctionnalités comprennent :
 - Configuration des appareils connectés sur la plateforme, y compris les paramètres de l'application.
 - Gestion des appareils, des données, des utilisateurs, de l'organisation et de l'emplacement.
 - Surveillance et contrôle à distance des appareils.
- **Blynk App** est une application mobile native polyvalente pour iOS et Android qui offre plusieurs fonctionnalités clés :
 - Surveillance et contrôle à distance des appareils connectés fonctionnant avec la plateforme Blynk.
 - Configuration de l'interface utilisateur mobile lors des phases de prototypage et de production.
 - Automatisation des opérations des appareils connectés.

Les applications développées avec Blynk sont prêtes pour les utilisateurs finaux. Qu'ils soient des membres de la famille, des employés ou des clients, ils peuvent facilement télécharger l'application, connecter leurs appareils et commencer à les utiliser.

De plus, Blynk propose une solution de marque blanche dans le cadre de son Business Plan, qui vous permet de personnaliser l'application avec le logo de votre entreprise, l'icône de l'application, le thème et les couleurs, puis de la publier sur l'App Store et Google Play sous le nom de votre entreprise. Ces applications personnalisées fonctionneront de manière transparente avec vos

appareils. Pour utiliser Blynk Apps, il vous suffit d'installer l'application Blynk sur votre appareil iOS ou Android [19].

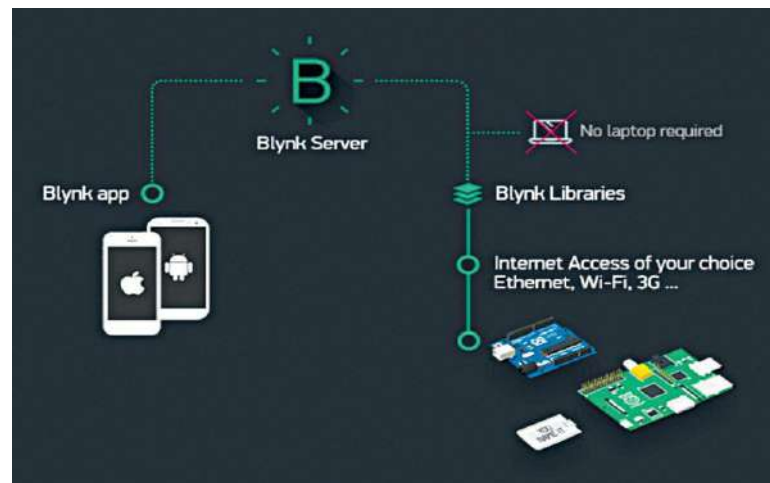


Figure I.23: Fonctionnement de Blynk.

I.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous proposons un examen exhaustif des principaux composants faisant partie intégrante de notre projet axé sur le développement d'un système d'irrigation intelligent automatique. Nous commençons par élucider les fonctionnalités du microcontrôleur ESP32, en décrivant sa disposition architecturale et en expliquant son fonctionnement au sein du système. De plus, nous approfondissons l'analyse de divers capteurs, élucidant leurs caractéristiques et types distincts, fournissant ainsi une compréhension globale de leur rôle dans le système. De plus, nous discutons des éléments essentiels utilisés, notamment la pompe, le relais et l'écran OLED, expliquant leur importance dans la fonctionnalité du système. Enfin, nous délimitons les logiciels utilisés, fournissant ainsi un aperçu complet du cadre technologique qui sous-tend notre projet.

Résultats et discussions

II.1 Introduction

Avec l'aide des technologies IoT, constituées de nombreux dispositifs indépendants sous forme de capteurs capables de s'autoorganiser et de collecter des informations, nous avons commencé à implémenter ces dispositifs dans différents environnements pour créer un contrôleur très important pour l'évolution de notre système.

Nous avons analysé les résultats de chaque capteur séparément pour comprendre comment il est affecté par les facteurs environnementaux. Enfin, nous avons relié les appareils et les capteurs entre eux pour déterminer une stratégie d'amélioration des programmes d'irrigation basée sur les lectures des capteurs en temps réel.

Nous avons analysé les résultats suivants :

- Les données du capteur d'humidité du sol.
- Les données du capteur DHT11.
- La relation entre le capteur d'humidité du sol et le capteur DHT11.
- Le système et sa réponse.

II.2 Résultats

II.2.1 Les données du capteur d'humidité du sol

Pour maintenir une santé du sol et une croissance des plantes optimales, il est nécessaire de connaître le fonctionnement du capteur d'humidité afin de définir des seuils d'humidité du sol spécifiques qui indiquent quand un arrosage est nécessaire.

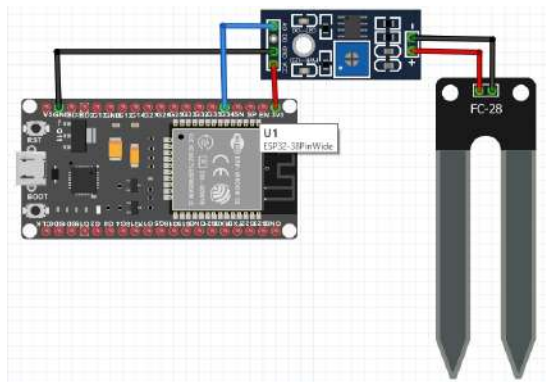


Figure II.1: Schéma de câblage de capteur d'humidité du sol à l'ESP32.

Le capteur d'humidité a été testé en comparant la lecture à deux profondeurs différentes, 5 cm et 10 cm. Le capteur a été placé à une profondeur de 10 cm, et à un moment nous avons tiré le capteur pour qu'il reste à une profondeur de 5 cm. Les résultats sont présentés dans la **Figure II.2**

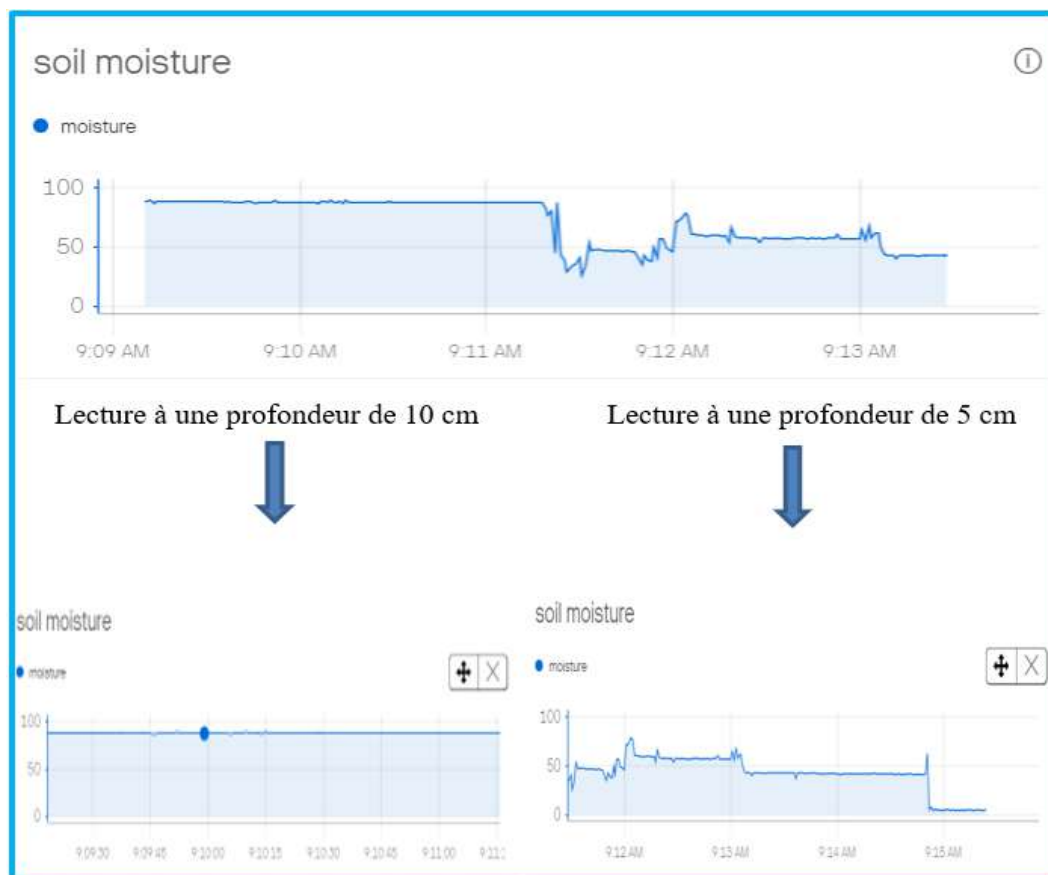


Figure II.2: Lecture du capteur d'humidité du sol A une profondeur de 5 et 10 cm.

Après cela, nous avons enregistré les résultats suivants lors du test du capteur d'humidité afin de déterminer les valeurs les plus appropriées pour notre système, et ils étaient les suivants :

Tableau II.1 : État du sol par rapport à sa teneur en humidité.

No	Humidité %	État d'humidité du sol
1	0-20 %	Point de flétrissement (critique)
2	21-35 %	Faible humidité (nécessite une irrigation)
3	36-60 %	Humidité modérée
4	61- 80 %	Capacité sur le terrain (optimale)
5	81-100 %	Sol saturé

II.2.2 Les données du capteur DHT11

La précision et la fiabilité des données des capteurs ont été testées en les comparant aux conditions environnementales observées.

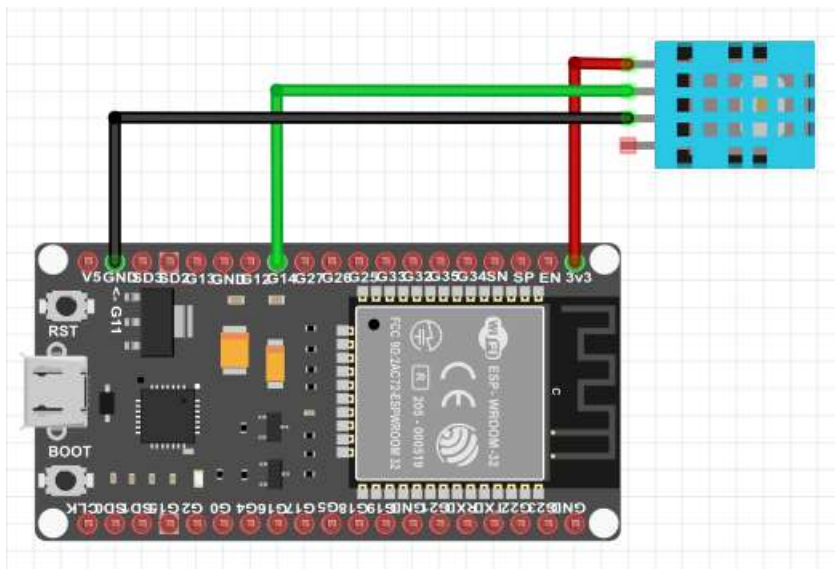


Figure II.3: Schéma de câblage de capteur DHT11 à l'ESP32.

Figure II.4 suivante montre les lectures que nous avons reçues du capteur sur la plateforme Blynk.



Figure II.4: Courbe de lecture de température du capteur DHT11



Figure II.5: Courbe de la lecture d'humidité dans le capteur DHT11

Nous avons également testé la vitesse de réponse du capteur en l'exposant à une température plus élevée. C'est la courbe que nous avons obtenue.



Figure II.6: Courbe de lecture de température du capteur DHT11

II.2.3 La relation entre le capteur d'humidité du sol et le capteur DHT11

Afin de tirer le meilleur parti des lectures des capteurs en temps réel , nous avons enregistré les résultats du capteur d'humidité du sol et du Capteur d'humidité DHT11 Afin de les comparer et de découvrir la relation entre eux.

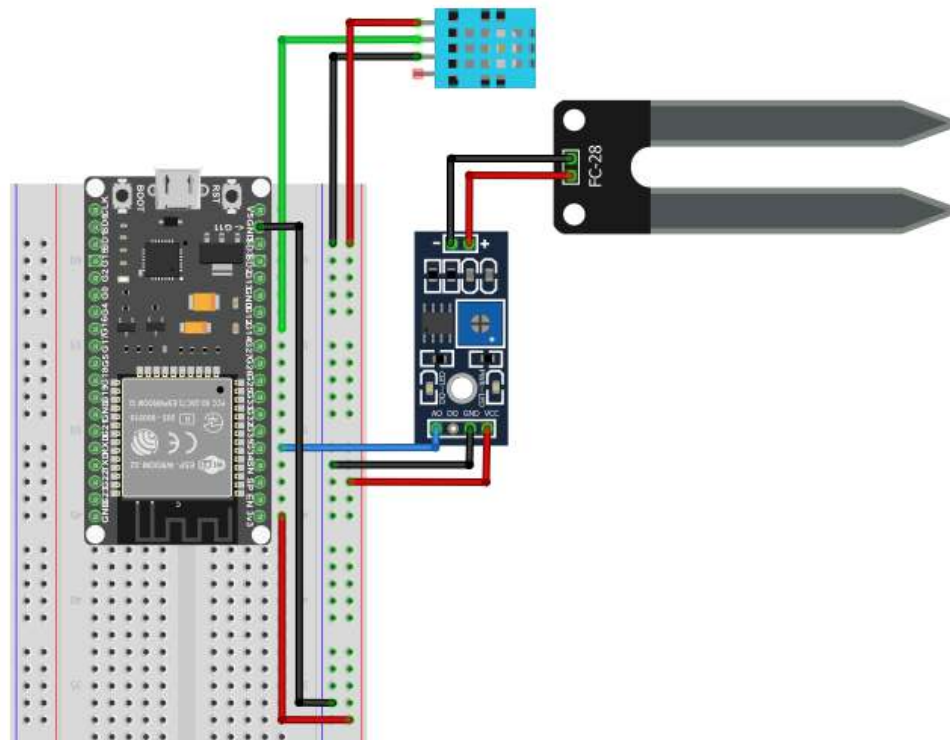


Figure II.7: Schéma de câblage de capteur d'humidité du sol avec capteur DHT11 à l'ESP32.

Les données du capteur ont été enregistrées pendant 24 heures après le processus d'irrigation ,et voici les résultats :

Tableau II.2 : changements d'humidité du sol par rapport à la température

Temps	Température (°C)	Humidité (%)	Humidité du sol (%)	Remarques
10:00	31	35	85	Point de départ
11:00	32	32	82	
12:00	34	26	78	Pic du soleil, la température augmente
13:00	36	23	74	Le sol commence à perdre plus d'humidité
14:00	39	21	70	
15:00	39	18	66	
16:00	40	16	62	La température commence à baisser
17:00	39	14	58	
18:00	39	17	54	L'humidité commence à augmenter
19:00	38	18	52	
20:00	35	19	50	
21:00	34	21	49	
22:00	33	21	48	
23:00	32	21	47	Températures plus fraîches la nuit
24:00	30	22	46	Fin de journée, températures stables
01:00	29	23	45	Légère baisse de température
02:00	29	23	44	
03:00	28	24	44	
04:00	27	26	43	
05:00	26	27	43	
06:00	28	28	42	La température commence à monter
07:00	29	30	42	
08:00	31	31	41	Le soleil commence à réchauffer l'environnement
09:00	32	32	40	

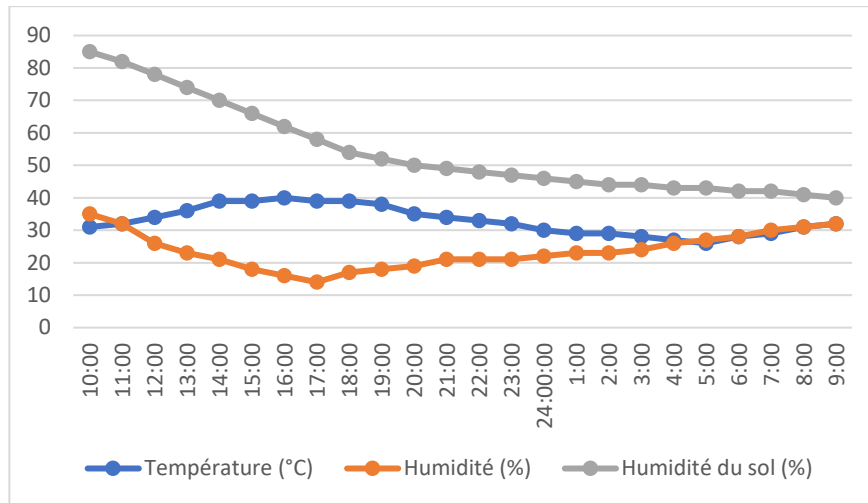


Figure II.8: Courbe des changements d'humidité du sol par rapport à la température

II.2.4 Le système et sa réponse

L'analyse des données de réponse de la pompe dans un système d'irrigation intelligent est cruciale pour comprendre dans quelle mesure le système adhère aux seuils d'irrigation définis. Cette analyse permet d'optimiser les performances, en garantissant une utilisation efficace de l'eau tout en maintenant une humidité du sol adéquate pour la santé des plantes.

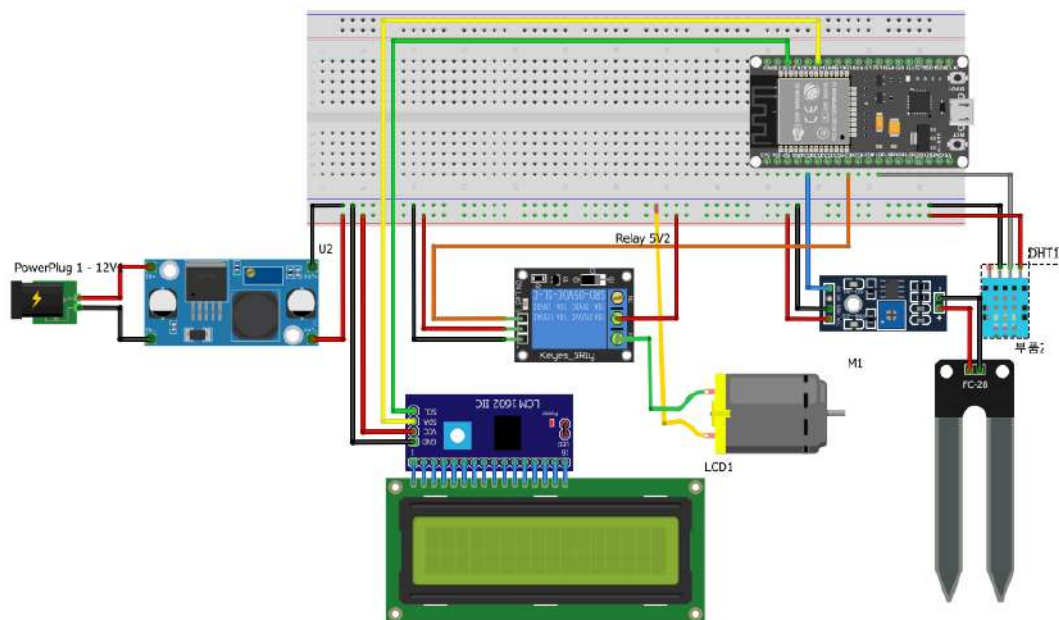


Figure II.9: Schéma de câblage final de notre système

Ces résultats ont été enregistrés au démarrage du système, montrant la réponse du système aux conditions et seuils spécifiés pour le démarrage.



Figure II.10: Courbe de lecture du capteur d'humidité

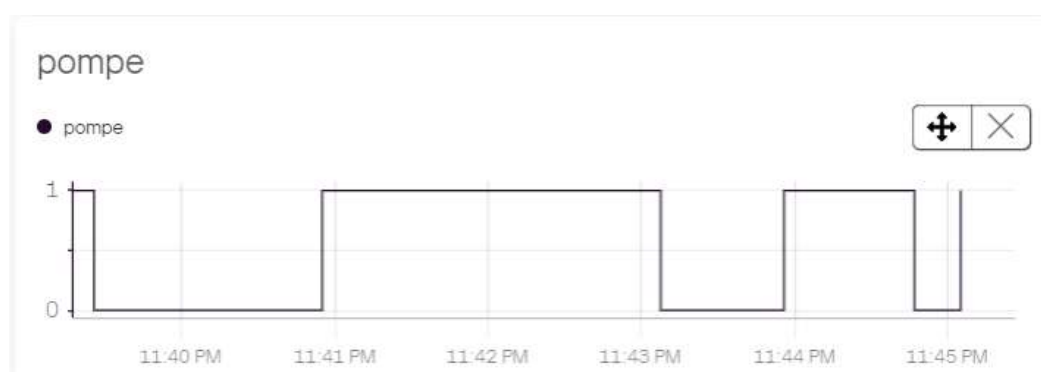


Figure II.11: Courbe des temps de démarrage et d'arrêt de la pompe

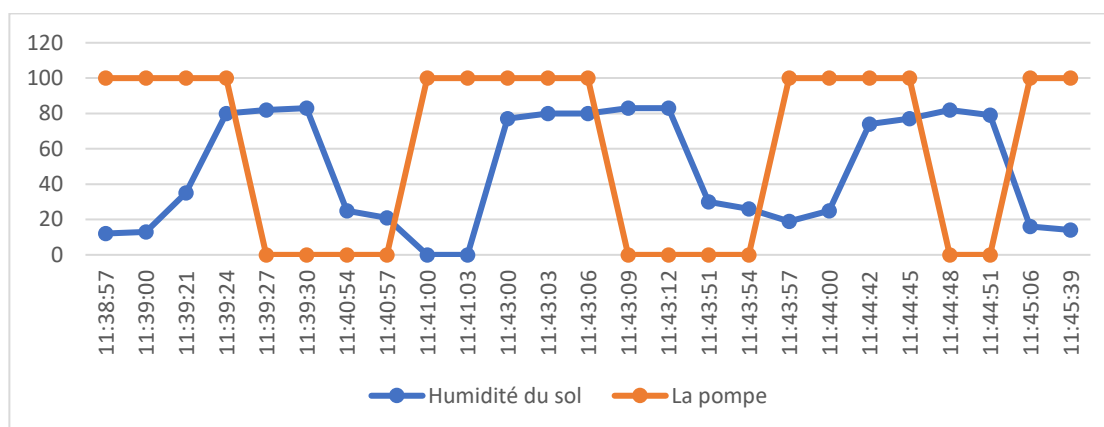


Figure II.12: Courbe des temps de démarrage et d'arrêt de la pompe par rapport au pourcentage d'humidité du sol

II.3 Discussions

II.3.1 Les données du capteur d'humidité du sol

L'analyse a comparé les lectures d'humidité du sol à deux profondeurs différentes, 5 cm et 10 cm, et a révélé des différences notables :

Les lectures à une profondeur de 10 cm étaient plus stables avec des changements plus lents des niveaux d'humidité, tandis que les lectures à une profondeur de 5 cm montraient une plus grande variation. Cela indique que les sols plus profonds retiennent l'humidité plus longtemps et sont moins affectés par les conditions de surface à court terme.

L'analyse a montré des différences significatives dans les lectures d'humidité du sol entre 5 cm et 10 cm de profondeur. Les différences dans la dynamique de l'humidité indiquent que l'irrigation de surface affecte principalement les 5 premiers cm du sol, tandis que des niveaux d'humidité plus profonds (10 cm) sont essentiels à la santé permanente des plantes, en particulier pour les plantes profondément enracinées.

Les stratégies d'irrigation efficaces doivent tenir compte de ces différences de profondeur pour optimiser l'utilisation de l'eau, en garantissant une humidité suffisante aux deux niveaux pour hydrater la plante entière.

Après analyse des résultats du tableau, un pourcentage d'humidité de 20 % a été déterminé pour le démarrage de l'irrigation et de 80 % pour l'arrêt de la pompe.

Le meilleur rapport pour démarrer et arrêter l'irrigation dans un système intelligent basé sur l'IoT implique de définir des seuils d'humidité du sol qui tiennent compte des besoins des plantes, du type de sol et des conditions environnementales. En général, commencer l'irrigation à 20-30 % et l'arrêter à 70-80 % de la capacité du sol offre un bon équilibre entre la prévention du stress hydrique et la sur-irrigation. La mise en œuvre d'un tel système peut conduire à des améliorations significatives de l'efficacité de l'utilisation de l'eau, du rendement des cultures et de la durabilité globale.

II.3.2 Les données du capteur DHT11

Lors de l'examen des données du capteur DHT 11, celui-ci a montré une excellente réponse aux changements des conditions environnementales.

➤ **Temps de réponse :**

Le capteur a rapidement ajusté sa lecture en réponse à des augmentations soudaines de température, et c'est ce qui est montré sur la figure 40, où la lecture est passée de 32 à 37 en quelques secondes.

- **Exactitude et cohérence :** en plus de sa réponse, il a maintenu un niveau de lecture élevé par rapport aux conditions atmosphériques observées, car il ne dépassait pas (+1,-1) pour la différence de température et (+ 5 – 5) pour la différence d'humidité.

Dans l'ensemble, l'analyse des données a confirmé que le capteur DHT 11 est un outil de mesure fiable. Cela garantit que nous pouvons y compter dans notre système qui nécessite une surveillance précise et cohérente de la température.

II.3.3 La relation entre le capteur d'humidité du sol et le capteur DHT11

Le tableau prouve qu'il existe une corrélation entre les données du DHT11 et les données du capteur d'humidité du sol, qui se résume comme suit :

➤ **Influence de la température :**

L'humidité du sol présente une diminution tout au long de la journée, correspondant à la hausse des températures. Cela indique une relation directe entre la température et les niveaux d'humidité du sol, des températures plus élevées entraînant une augmentation des taux d'évaporation.

En conclusion, l'analyse met en évidence l'interaction dynamique entre la température, l'humidité et l'humidité du sol tout au long de la journée. Comprendre ces tendances est essentiel pour concevoir des stratégies d'irrigation qui maximisent l'efficacité de l'eau et favorisent une croissance saine des plantes. En tirant parti de ces connaissances pour planifier l'irrigation pendant les périodes d'évaporation réduite, les producteurs peuvent maintenir des niveaux d'humidité du sol optimaux et améliorer la productivité agricole globale.

II.3.4 Le système et sa réponse

Après avoir analysé les résultats enregistrés lors du fonctionnement du système d'irrigation intelligent, ce qui suit a été observé :

- **Activation et désactivation en temps opportun :** Le temps de réponse entre la détection des changements dans les niveaux d'humidité du sol et l'action de la pompe correspondante est

minime. Cela garantit que l'irrigation est appliquée rapidement, maintenant ainsi l'humidité du sol dans la plage optimale à tout moment.

- **Ajustement en temps réel** : La capacité du système à s'adapter rapidement aux changements des niveaux d'humidité du sol signifie qu'il peut répondre efficacement aux différentes conditions environnementales, telles que les changements de température et d'humidité.

II.4 Conclusion

L'analyse confirme que la pompe du système d'irrigation intelligent fonctionne avec une précision remarquable et un décalage minimal, offrant ainsi des avantages substantiels dans le maintien de niveaux optimaux d'humidité du sol. Cette haute performance favorise une croissance saine des plantes, conserve l'eau et soutient les pratiques agricoles durables. La précision et la réactivité du système soulignent les avantages de l'intégration d'une technologie avancée de capteurs et d'algorithmes de contrôle dans les systèmes d'irrigation modernes.

Conclusion générale

Conclusion et perspective

En conclusion, l'irrigation intelligente se présente comme une réponse innovante et efficace aux défis actuels de la gestion de l'eau en agriculture. En exploitant les progrès technologiques, notamment dans les domaines de l'Internet des objets (IoT), des capteurs sans fil et de l'automatisation, elle permet une utilisation optimale des ressources en eau. Cette approche révolutionne les pratiques agricoles traditionnelles en permettant une irrigation précise et adaptée aux besoins spécifiques des cultures. Elle contribue ainsi à la préservation des ressources en eau, une question cruciale dans le contexte du changement climatique et de la croissance démographique mondiale. De plus, l'irrigation intelligente ouvre la voie à une agriculture plus durable et respectueuse de l'environnement. En réduisant le gaspillage d'eau, elle favorise la durabilité environnementale tout en soutenant la productivité agricole. En effet, en termes de perspectives, l'introduction d'autres capteurs et actionneurs pourrait enrichir la précision et l'efficacité du système d'irrigation intelligent. Par exemple, l'utilisation de capteurs de lumière pourrait aider à évaluer l'exposition au soleil des plantes, tandis que des capteurs de pH pourraient fournir des informations sur la qualité du sol. De plus, l'intégration d'actionneurs supplémentaires pourrait permettre le contrôle d'autres variables environnementales, comme l'éclairage ou la température. Par ailleurs, l'application de techniques de l'intelligence artificielle (Deep Learning) pourrait ouvrir de nouvelles possibilités pour la prédiction et l'optimisation de l'irrigation. Les modèles de Deep Learning pourraient être formés pour prédire les besoins en eau des plantes en fonction des conditions météorologiques prévues et des caractéristiques spécifiques des cultures. Cela pourrait permettre une irrigation encore plus précise et efficace, en anticipant les besoins en eau avant qu'ils ne se manifestent. Ces améliorations potentielles soulignent l'énorme potentiel de l'irrigation intelligente et la manière dont elle pourrait être encore améliorée et affinée à l'avenir grâce à l'innovation technologique continue. Cela renforce l'importance de la recherche et du développement continu dans ce domaine passionnant.

Références bibliographiques

- [1] IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. [IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp](#)
- [2] Rockström, J. et al., 2010: Planetary boundaries concept. [Stockholm Resilience Centre](#).
- [3] Evans, R.G., and E.J. Sadler, 2008: Methods and technologies to improve efficiency of water use. [Water Resources Research, 44\(1\), W00E04, doi:10.1029/2007WR006200](#).
- [4] [Jones, 2004: Various publications](#).
- [5] McCready, M.S., and M.D. [Dukes, 2011: Soil Moisture Sensor Irrigation Controllers Response to Different Temperatures and Salinities](#).
- [6] [Pereira et al., 2012 : Various publications](#).
- [7] Cai, X., M.W. Rosegrant, and C. Ringler, 2003: Physical and economic efficiency of water use in the river basin: Implications for efficient water management. [Water Resources Research, 39\(1\), 1013](#).
- [8] <https://components101.com/modules/soil-moisture-sensor-module>
- [9] I. KAOULA, « CONCEPTION ET RÉALISATION D'UNE MAISON INTELLIGENTE », Master Automatique et informatique industrielle Université Saad Dahlab Blida ,2023.
- [10] <https://www.circuitbread.com/ee-faq/what-is-a-breadboard>
- [11] YAHY Amina, KOURI Loubna, « Contrôle et suivi d'une maison intelligente via internet », Master Electronique des Systèmes Embarqués Université Akli Mohand Oulhadj-bouira,2018.
- [12] <https://www.theengineeringprojects.com/2020/09/lm2596-buck-converter-datasheet-pinout-features-applications.html>
- [13] Mr. METAHRI Mohammed El Habib, ABDELLI Selma, « smart House », Master Instrumentation Electronique Université ABOU BEKR BELKAID,2017.
- [14] Alexander Maier, Andrew Sharp, Yuriy Vagapov « Comparative Analysis and Practical Implementation of the ESP32 Microcontroller Module for the Internet of Things », researchgate,2017.
- [15] <https://randomnerdtutorials.com/esp32-pinout-reference-gpios/>

Références bibliographiques

- [16] <https://www.hwlibre.com/fr/pompe-à-eau-arduino/>
- [17] <https://andprof.com/tools/what-is-arduino-software-ide-and-how-use-it/>
- [18] <https://www.instructables.com/Installing-the-ESP32-Board-in-Arduino-IDE-Windows/>
- [19] <https://docs.blynk.io/en>

Annexe

Programmation de l'Arduino Ide:

```
#define BLYNK_TEMPLATE_ID "TMPL2pS8eFmGC"
#define BLYNK_TEMPLATE_NAME "IOT irrigation system"
#define BLYNK_AUTH_TOKEN "-x-St_5ai07Hz_P1y3on0oz706oSmGtu"
#define BLYNK_PRINT Serial
#include <WiFi.h>
#include <BlynkSimpleEsp32.h>
#include <DHT.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>

char auth[] = BLYNK_AUTH_TOKEN;
char ssid[] = "Lahcenbekkouche"; // type your wifi name
char pass[] = "Lahcenbekkouche"; // type your wifi password

BlynkTimer timer;

#define SensorPin      34 //D34
#define DHTPIN         14 //D14
#define DHTTYPE DHT11
#define RelayPin       25 //D25

#define VPIN_MoistPer   V1
#define VPIN_TEMPERATURE V2
#define VPIN_HUMIDITY   V3
#define VPIN_MODE_SWITCH V4
#define VPIN_RELAY      V5

int      sensorVal;
bool     toggleRelay = LOW; //Define to remember the toggle state
bool     prevMode = true;
int      temperature1 = 0;
int      humidity1    = 0;
String   currMode = "A";
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
void setup()
{
    Serial.begin(115200);
    pinMode(RelayPin, OUTPUT);
    digitalWrite(RelayPin, LOW); // Ensure pump is initially off
```

```
Blynk.begin(auth, ssid, pass);
dht.begin();
lcd.init();
// turn on LCD backlight
lcd.backlight();
timer.setInterval(100L, sendSensor);
}
void sendSensor()
{
  int sensorVal = analogRead(SensorPin); // Read from the soil moisture sensor
  int soilmoisture = map(sensorVal, 0, 4095, 0, 100);
  int soilmoisturepercentage = (soilmoisture - 100) * -1;

  float h = dht.readHumidity();
  float t = dht.readTemperature(); // or dht.readTemperature(true) for Fahrenheit

  if (isnan(h) || isnan(t)) {
    Serial.println("Failed to read from DHT sensor!");
    return;
  }
  else {
    humidity1 = int(h);
    temperature1 = int(t);
    // Serial.println(temperature1);
    // Serial.println(humidity1);
  }
  Blynk.virtualWrite(V1, soilmoisturepercentage);
  Blynk.virtualWrite(V2, temperature1);
  Blynk.virtualWrite(V3, humidity1);
  Serial.print("Soil Moisture : ");
  Serial.print(soilmoisturepercentage);
  Serial.print(" Temperature : ");
  Serial.print(t);
  Serial.print(" Humidity : ");
  Serial.println(h);
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("Temp:");
  lcd.print(temperature1);
  lcd.print("C");
  lcd.setCursor(9, 0);
  lcd.print("Hum:");
  lcd.print(humidity1);
  lcd.print("%");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("Hum-soil:");
```

```
    lcd.print(soilmoisturepercentage);
    lcd.print("%");
    delay(2000);
    if(prevMode){
        if (soilmoisturepercentage < 20){
            if (toggleRelay == LOW){
                toggleRelay = HIGH;
                digitalWrite(RelayPin, LOW);
                Serial.println("Soil moisture is DRY => activating pump");
                Blynk.virtualWrite(VPIN_RELAY, toggleRelay);
                delay(1000);
            }
        }
        if (soilmoisturepercentage > 80) {
            if (toggleRelay == HIGH){
                toggleRelay = LOW;
                digitalWrite(RelayPin, HIGH);
                Serial.println("Soil moisture is WET => deactivating pump");
                Blynk.virtualWrite(VPIN_RELAY, toggleRelay);
                delay(1000);
            }
        }
    }
}
}

BLYNK_WRITE(V5) {
    if(!prevMode){
        toggleRelay = param.asInt();
    }
    if (toggleRelay == HIGH) {
        digitalWrite(RelayPin, LOW);
    } else {
        digitalWrite(RelayPin, HIGH);
    }
}

BLYNK_WRITE(VPIN_MODE_SWITCH) {
    //if(prevMode != param.asInt()){
        prevMode = param.asInt();
        //digitalWrite(ModeLed, prevMode);
        //if(prevMode && toggleRelay == HIGH){
            // digitalWrite(RelayPin, LOW);
            //toggleRelay = LOW;
        // }
    //}
}
```

void loop()

Annexe

```
{  
  Blynk.run();  
  timer.run();  
}
```