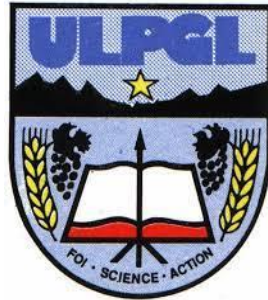


UNIVERSITE LIBRE DES PAYS DE GRANDS LACS

ULPGL/GOMA



BP. 368 Goma

www.ulpgl.net

FACULTE DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES

FILIERE : SCIENCES DE L'INGENIEUR

Système d'arrosage automatique basé sur le microcontrôleur ESP8266.

Présenté par : **KASEREKA KASONIA OLIVIER**

**Travail de mémoire présenté en vue de l'obtention
du diplôme de bachelor en Sciences de l'Ingénieur**

Domaine : **Génie Informatique**

Directeur : **Prof Dr Alain AKWIR NKIEDEL**

Encadreur : **CT. Ir. Dieudonné MUSONGYA**

ANNEE ACADEMIQUE 2022-2023



Epigraphe

« L'agriculture est la profession la plus saine, la plus utile et la plus noble de toutes. »

Georges WASHINGTON



Dédicace

A notre grande sœur KAVIRA SIVALINGANA Anuarite.

KASEREKA KASONIA Olivier

Remerciements

Nous exprimons nos sincères remerciements à Dieu Tout Puissant pour sa protection constante tout au long de notre parcours académique, sans laquelle cette œuvre n'aurait pas pu voir le jour. Nous sommes également reconnaissants envers l'Université Libre des Pays des Grands Lacs (ULPGL) pour nous avoir accueillis et accompagnés dans notre formation.

Un merci particulier à notre directeur, le professeur Alain AKWIR NKIEDEL, et à notre encadreur, le Chef des travaux Dieudonné MUSONGYA, pour leur précieuse guidance tout au long de la réalisation de ce travail.

Nous tenons à exprimer notre gratitude envers nos parents, Euphrasie KASONIA et KAMBALE KAMATE, pour leur soutien indéfectible sur tous les plans.

Un merci chaleureux à notre grande sœur, KAVIRA SIVALINGANA Anuarite, pour son soutien inestimable, tant moral que matériel.

À nos frères, sœurs et amis, ainsi qu'à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à notre réussite, nous vous adressons nos plus sincères remerciements pour votre soutien constant.

KASEREKA KASONIA Olivier

Résumé

Après l'identification des différents problèmes rencontrés tels que le sous-arrosage, le sur-arrosage et bien d'autres problèmes couramment rencontrés lors de l'arrosage notre solution proposée pour pallier à cela est le projet ci-présent qui est la conception et la réalisation d'un système d'arrosage automatique. Nous voyons que l'avantage de réaliser et d'utiliser l'automatisme dans l'arrosage des plantes est de diminuer l'intervention humaine et en plus de cela ce système est tout à fait réalisable et abordable. Notre projet de système d'arrosage intelligent utilise un microcontrôleur ESP8266, qui est programmé pour recueillir le signal d'entrée en fonction du taux d'humidité dans le sol, au niveau de sa sortie nous allons placer un relais électromagnétique qui va assurer le rôle d'actionner la pompe, Notre système envoie les informations du champ au serveur pour qu'on y accède facilement par un PC ou un smartphone mobile par l'intermédiaire d'une page web qui affiche les données relevées au niveau des capteurs du système pour ainsi permettre une commande à distance du système et cela en temps réel.

Mots-clés : Arrosage automatique, Internet des objets, capteur.

Abstract

After identifying the various problems encountered such as under-watering, over-watering and many other problems commonly encountered during watering our proposed solution to overcome this is the present project which is the design and the creation of an automatic watering system. We see that the advantage of creating and using automation in watering plants is to reduce human intervention and on top of that this system is completely feasible and affordable. Our intelligent watering system project uses an ESP8266 microcontroller, which is programmed to collect the input signal depending on the humidity level in the soil, at its output we will place an electromagnetic relay which will ensure the role to activate the pump, Our system sends the information from the field to the server so that it can be easily accessed by a PC or a mobile smartphone via a web page which displays the data recorded at the system sensors to thus allowing remote control of the system in real time.

Keywords: Automatic watering, Internet of Things, sensor.

Table des matières

Epigraphe	II
Dédicace	III
Remerciements	IV
Résumé	V
Abstract	VI
Table des matières	VII
Sigles et abréviations.....	IX
Liste des figures	X
Liste des tableaux	XII
Introduction générale.....	1
1. Contexte	1
2. Problématique.....	1
3. Hypothèses	2
4. Objectif du travail.....	2
5. Choix et intérêt du sujet	2
6. Méthodes et techniques	3
6.1. Méthodes.....	3
6.2. Techniques.....	3
7. Délimitation du sujet	3
8. Plan du travail.....	3
Chapitre 1. Généralités sur les systèmes d'arrosage.....	5
I.1. Introduction	5
I.2. Pourquoi arroser ?	6
I.3. Les différents types de systèmes d'irrigation.....	6
I.3.1. L'irrigation de surface.....	7
I.3.2. L'irrigation par aspersion.....	10
I.3.3. Irrigation aux gouttes à gouttes (micro-irrigation).....	11
I.4. Comparaison des méthodes d'irrigation.....	13
I.5. Système d'irrigation automatique (intelligent)	14
I.5.1. Etude des contrôleurs des systèmes d'arrosage automatique	15
I.5.2. Un système basé sur la technologie Arduino	16
I.5.3. Les avantages et inconvénients qu'offre un système d'arrosage automatique	17
I.6. Problèmes courants liés à l'arrosage	18

I.7. Quelques conseils pour éviter les problèmes d’arrosage	19
I.8. Conclusion partielle.....	19
Chapitre 2 : Conception du système d’arrosage automatique	20
II.1. Introduction	20
II.2. Description du schéma bloc de ce système	20
II.3. Fonctionnement du système d’irrigation.....	21
II.4. Présentation du cahier des charges	22
II.5. Description des différents éléments	23
II.5.1. ESP8266MOD (Espressif System Puce)	23
II.5.2. Capteur d’humidité et de température DHT-11	24
II.5.3. Le capteur d’humidité de sol capacitif	25
II.5.4. Le capteur de distance HC-SR04.....	26
II.5.5. Le relais (SRD-S-112D)	27
II.5.6. Le transistor bipolaire 2N2222A	28
II.5.7. La pompe à eau	29
II.5.8. Buzzer TMB12A12	29
II.5.9. Les LEDs	30
II.6. Organigramme fonctionnel du projet	31
II.7. Conclusion Partielle	31
Chapitre 3 : Réalisation du système d’arrosage	32
III.1.Introduction	32
III.2.Partie logicielle	32
III.2.1. Présentation du Logiciel Arduino IDE.....	32
III.2.2. Programmation des capteurs	33
III.2.3. Création d’un serveur web avec l’ESP8266.....	34
III.3.Partie matérielle	37
IV.3.1. Circuit de simulation avec la carte ARDUINO sous PROTEUS PROFESSIONAL	37
IV.3.2. Mise en marche	37
III.4.Conclusion partielle	44
Conclusion générale et perspectives.....	45
Bibliographie	46
Annexes	49

Sigles et abréviations

API : Application Programming Interface

CSS: Cascading Style Sheet

DHT: Digital Humidity and Temperature

ESP: Espressif System Puce

GND: Ground

GUI: Graphical User Interface

HTML: HyperText Markup Language

HTTP: HyperText Transfer Protocol

IP: Internet Protocol

IPS : Images Par Secondes

JS : JavaScript

LCD: Liquid Cristal Display

LED: Light Emitting Diode

PC: Personal Computer

PIC: Programmable Integrated Circuit

RDC : République Démocratique du Congo

RGB : Red Green Blue

ULPGL : Université Libre des Pays des Grands Lacs

USB: Universal Serial Bus

WWW: World Wide Web

Liste des figures

FIGURE 1: IMAGE ILLUSTRANT L'IRRIGATION DES PLANTES PAR UN ARROSOIR	6
FIGURE 2 : IMAGE ILLUSTRANT LE RUISSELLEMENT	7
FIGURE 3: PLANCHES EN COURS D'IRRIGATION	8
FIGURE 4: ILLUSTRATION DES SILLONS DANS UN CHAMP	9
FIGURE 5: IRRIGATION PAR BASSIN.....	9
FIGURE 6: IRRIGATION PAR ASPERSION	10
FIGURE 7: IRRIGATION AU GOUTTE A GOUTTE	12
FIGURE 8: SCHEMA BLOC DU SYSTEME A REALISER.....	21
FIGURE 9: ESP8266MOD , FIGURE 10: PINOUTS DU MODULE ESP8266	23
FIGURE 11: CAPTEUR D'HUMIDITE ET DE TEMPERATURE DHT-11	24
FIGURE 12: IMAGE D'UN CAPTEUR D'HUMIDITE DE SOL CAPACITIF	25
FIGURE 13: CAPTEUR DE DISTANCE ULTRASON HC-SR04	26
FIGURE 14: RELAIS ELECTROMAGNETIQUE.....	27
FIGURE 15: TRANSISTOR 2N2222A EN BOITIER TO-92	28
FIGURE 16: MINI POMPE SUBMERSIBLE A EAU 5V.	29
FIGURE 17: BUZZER ACTIF	29
FIGURE 18: DIODE ELECTROLUMINESCENTE	30
FIGURE 19: ORGANIGRAMME FONCTIONNEL DU PROJET	31
FIGURE 20: INTERFACE DU LOGICIEL ARDUINO IDE	33
FIGURE 21: PAGE WEB GIT POUR TELECHARGER LE SYSTEME DE FICHIER ESP8266.....	35
FIGURE 22: IMAGE ILLUSTRANT LE CHEMIN D'ACCES.	35
FIGURE 23: LISTES DES BIBLIOTHEQUES NECESSAIRES POUR LE PROJET	36
FIGURE 24: VARIABLES IDENTIFIANT LE RESEAU DE L'ESP8266.....	36
FIGURE 25: CIRCUIT DE SIMULATION SOUS PROTEUS.....	37
FIGURE 26: IMAGE DES RESULTATS ISSUS DES CAPTEURS SUR ECRAN LCD.....	38
FIGURE 27: ILLUSTRATION SUR LE CAPTEUR D'HUMIDITE DU SOL -> SOL SEC	38
FIGURE 28: ILLUSTRATION SUR LE CAPTEUR D'HUMIDITE DU SOL -> SOL HUMIDE	39
FIGURE 29: ILLUSTRATION DE LA MESURE DU NIVEAU D'EAU ET CIRCUIT D'ALARME.....	39
FIGURE 30: ILLUSTRATION DU CAS DE NIVEAU BAS DU RESERVOIR ET ENCLenchement DE LA POMPE	40
FIGURE 31: MAQUETTE GLOBALE DE NOTRE SYSTEME REALISE	41

FIGURE 32: CAPTEUR D'HUMIDITE DU SOL ENFUI DANS LA TERRE POUR EN RECOLTER LE TAUX D'HUMIDITE 41

FIGURE 33: CAPTEUR D'HUMIDITE ET DE TEMPERATURE DE L'AIR AMBIANT DANS LE CHAMP 41

FIGURE 34: CAPTEUR DE NIVEAU D'EAU PLACE SUR LE COUVERCLE DU RESERVOIR..... 41

FIGURE 35: POMPE IMMERGEE DANS LE RESERVOIR POUR ASPIRER DE L'EAU..... 41

FIGURE 36: ILLUSTRATION DE L'APPARITION DE NOTRE RESEAU SUR LE SMARTPHONE..... 42

FIGURE 37: SIGNALISATION DU NIVEAU D'EAU DANS LE RESERVOIR. (A) LEDS VERTES ALLUMÉES CAD NIVEAU NORMAL. (B) LEDS ROUGES ALLUMÉES CAD NIVEAU BAS ET DECLENCHEMENT DU BUZZER 43

FIGURE 37: LECTURE DES DONNEES DU CHAMPS AU NIVEAU DE LA PAGE WEB..... 43

FIGURE 38: RESULTATS FOURNIS PAR LES CAPTEURS VISUALISES AU MONITEUR SERIE..... 44

Liste des tableaux

TABLEAU 1: AVANTAGES ET INCONVENIENTS D'UNE IRRIGATION DE SURFACE..... 10

TABLEAU 2: AVANTAGES ET INCONVENIENTS DE L'IRRIGATION PAR ASPERSION..... 11

TABLEAU 3: AVANTAGES ET INCONVENIENTS DE LA MICRO-IRRIGATION (GOUTTE-A-GOUTTE) 13

TABLEAU 4: BROCHES DU SOIL MOISTURE SENSOR 26

TABLEAU 5: CARACTERISTIQUES DU TRANSISTOR BIPOLAIRE 2N2222A 29

TABLEAU 6: CARACTERISTIQUES D'UNE DIODE ELECTROLUMINESCENTE 30

Introduction générale

1. Contexte

Le développement social et économique d'un pays ne dépend pas uniquement de ses ressources naturelles, mais aussi de la valorisation de ces ressources par le gouvernement. En République démocratique du Congo, le secteur agricole n'a pas encore adopté les nouvelles tendances technologiques telles que l'automatisation de l'arrosage, ce qui entrave la productivité et rend le processus fastidieux. Ce sujet concerne la simplification de l'arrosage dans divers domaines tels que l'agriculture, la botanique (jardins botaniques), l'horticulture (cultiver des jardins décoratifs) et l'aménagement paysager (pelouses, parcs d'attraction), ainsi que l'hydroponie.

2. Problématique

Depuis toujours, l'arrosage des plantes est une tâche indispensable et essentielle pour qu'un jardin puisse rester épanoui par des feuilles. Pendant ce temps, cette action peut être une véritable préoccupation et aussi pleine de tas d'exigences, notamment avec le changement du climat où les pluies ne sont plus abondantes et aussi régulières [2]. Il peut arriver que le jardinier ou le propriétaire du jardin s'absente pendant une longue durée sans oublier aussi que l'arrosage étant une tâche de tous les jours il présente donc la fatigue dans son exercice.

Le problème crucial auquel sont confrontés des nombreux jardiniers ainsi que des cultivateurs c'est la difficulté de maintenir un arrosage suffisant donc régulier et adéquat pour des plantes car souvent ils sont indisponibles ou ils comptent sur les pluies qui aussi à leur tour manquent au rendez-vous, à part ceux-là d'autres problèmes peuvent se superposer tels que :

- L'oubli d'arroser : qui se présente souvent lorsque le chargé de cette tâche d'arrosage est peut-être en voyage ou occupé par autres choses ;
- Le sur-arrosage : il peut y avoir des cas où l'on arrose et qu'il pleuve ensuite ou bien qu'une personne arrose trop les plantes cela peut conduire à la destruction des racines et comme conséquence la plante peut mourir ;
- L'irrégularité dans l'exercice de cette tâche : le propriétaire est obligé de faire un calendrier d'arrosage car il doit éviter un arrosage excessif ou encore un arrosage insuffisant car cela nuit directement à la croissance normale des plantes ;
- Le gaspillage de l'eau causée par certains systèmes d'arrosage ;

- La difficulté à arroser les plantes en fonctions de leurs besoins spécifiques : cela est dû par le fait que le besoin en eau n'est pas du tout le même pour toutes les plantes.

Eu égard aux problèmes précédents, la question suivante fait donc objet de notre préoccupation :

Quels sont les techniques à mettre en place pour un arrosage précis et efficace ?

3. Hypothèses

La question précédente nous guide à reformuler l'hypothèse suivante :

Après avoir identifiés les problèmes liés à l'arrosage nous allons proposer un meilleur système d'arrosage qui mettrait en place ou permettrait la mise en place d'un arrosage précis et efficace qui met en jeu les nouvelles tendances technologiques tel que l'automatisme.

4. Objectif du travail

L'objectif de notre travail est d'analyser les problèmes courants qui sont rencontrés lors de l'arrosage des plantes et de proposer une solution simple et efficace qui est celle d'utiliser un système automatique d'arrosage des plantes.

5. Choix et intérêt du sujet

Notre choix s'est porté sur ce sujet car nous avons le souci d'améliorer et de rendre précise la tâche d'arrosage des plantes.

C'est alors dans cette dynamique que nous avons poussé notre intérêt sur le sujet présent [3].

Le présent travail présente un intérêt triple :

- Premièrement, un intérêt énormément d'ordre scientifique dans le cadre où il nous permet de marier diverses théories apprises à l'auditoire sur l'automatisme, l'IOT, l'électronique en générale, la programmation de systèmes embarquées.
- Deuxièmement, sur le plan social et sanitaire, ce système permet de doter les jardiniers d'un système simple et facile à utiliser dans l'exercice de l'arrosage des leurs plantes car avec celui-ci cette tâche sera moins fastidieuse et stressante.
- Troisièmement, sur le plan économique, il permettra d'économiser de l'eau lors de l'arrosage et permettra aussi l'arrosage des grandes superficies de champs sans contraintes et sans compter sur une grande main d'œuvre et permettra aussi la pratique même de l'hydroponie qui aussi à son tour présente plusieurs avantages économiques.

6. Méthodes et techniques

6.1. Méthodes

Dans ce présent travail nous avons eu à faire appel aux méthodes ci-après :

- **Méthode analytique** : avec cette méthode nous avons eu à rechercher et étudier les différents systèmes d'arrosages utilisés dans l'agriculture mais aussi nous avons eu à chercher des informations sur certains systèmes d'arrosage automatique existants en vue de bien modéliser le nôtre voire apporter certaines améliorations.
- **L'ingénierie système** : qui consiste à concevoir et à modéliser l'ensemble des composants d'un système embarqué, en incluant les diagrammes fonctionnels, les spécifications techniques et les interactions entre les différents éléments du projet.
[4]

6.2. Techniques

Dans les recherches qui ont conduit à l'élaboration ainsi qu'à la réalisation de ce travail, nous nous sommes servis de deux principales techniques dont :

- ✓ **L'interview** : cette procédure a consisté à poser des questions les différents acteurs dans l'agriculture dont les jardiniers et les propriétaires de espaces verts car ce sont eux qui sont plus visés par ce présent travail ;
- ✓ **La technique documentaire** : quant à celle-ci nous nous sommes plongées dans la recherche des certaines informations dans de documents physique que numériques.

7. Délimitation du sujet

Notre sujet présent concernant la conception et la réalisation d'un système d'arrosage automatique basé sur ESP8266 est limité à un usage des petits espaces verts tel que le jardin.

8. Plan du travail

Outre l'introduction et la conclusion générales, ce travail comprend quatre chapitres qui sont les suivants :

- Dans le premier chapitre intitulé *Généralités sur les systèmes d'arrosage*, nous définissons l'arrosage et présentons différentes techniques utilisées dans l'arrosage.
- Dans le deuxième chapitre intitulé *Conception du système d'arrosage intelligent*, nous allons présenter l'architecture du système ainsi que les composants de notre système et leurs principes de fonctionnement.

- Dans le troisième chapitre intitulé *Réalisation du système d'arrosage intelligent*, nous allons mettre en pratique les différentes choses vues dans les trois chapitres précédents.

Chapitre 1. Généralités sur les systèmes d'arrosage

I.1. Introduction

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

L'irrigation peut aussi avoir d'autres applications :

- L'apport d'éléments fertilisants au sol, soit, par aspersion, aux feuilles (fertilisation foliaire) ; dans la culture hydroponique, l'irrigation se confond totalement avec la fertilisation ;
- La lutte contre le gel, par aspersion d'eau sur le feuillage (vergers, vignobles) peut permettre de gagner quelques degrés de température précieux au moment des gelées printanières, voire dans certains cas par inondation.

Généralement il est d'usage d'employer le terme d'« **arrosage** » pour les petites surfaces (domaine de jardinage) réservant le terme d'« **irrigation** » pour les surfaces plus importantes (agriculture de plein champ, l'horticulture), mais il n'y a pas de norme en la matière.

Selon le glossaire international d'hydrologie, l'irrigation est un apport artificiel d'eau sur des terres à des fins agricoles. [5]

L'arrosage est un élément essentiel pour l'entretien d'un jardin et ainsi permettre une bonne croissance de nos cultures, que ce soit pour des plantes en pot sur une terrasse ou pour un grand jardin paysager voire même des grandes plantations. Il existe une variété de systèmes d'arrosage disponibles pour répondre aux besoins spécifiques de chaque jardin. Ces systèmes varient en termes de technologie utilisée, d'efficacité à remplir les besoins voulus et de coût en raison de l'optimisation et la consommation en eau, et il est important de choisir celui qui convient le mieux à votre jardin. Dans ce chapitre, nous explorerons les différents types de systèmes d'arrosage utilisés et discuterons de leurs avantages et inconvénients afin de nous aider à prendre la meilleure décision pour notre jardin.

I.2. Pourquoi arroser ?

Premièrement l'irrigation est un moyen efficace d'apporter de l'eau aux plantes de manière contrôlée et régulier. Elle permet de maintenir un niveau d'humidité optimal dans le sol, ce qui est essentiel pour la croissance et le développement des plantes. Actuellement on peut dire que l'irrigation constitue une piste de solution contre tous ces aléas des pluies et nous permet d'augmenter les espaces agricoles et encore une fois nous voyons que l'irrigation a pour effet de favoriser l'augmentation des rendements, et d'une manière générale d'intensifier et de stabiliser la production en se libérant des variations climatiques qui sont connues actuellement dans le monde.

I.3. Les différents types de systèmes d'irrigation

La desserte adéquate en eau est essentielle pour la croissance ou le développement végétatif des cultures. Lorsque les précipitations sont insuffisantes, l'irrigation serait nécessaire pour couvrir les besoins en eau des cultures. Il existe actuellement plusieurs méthodes d'irrigation pour la desserte en eau des cultures. Chaque méthode présente en même temps des avantages et des désavantages, qui doivent être pris en considération lors de la sélection de la méthode qui s'adapte le mieux aux conditions locales. [6].

La méthode d'irrigation la plus basique consiste à transporter de l'eau depuis la source (par exemple : un puits, un robinet, ...) jusqu'à chaque plante avec un bassin ou un arrosoir (voir figure ci-après).



Figure 1: Image illustrant l'irrigation des plantes par un arrosoir [7]

Cependant cette méthode d'irriguer les plantes nécessite beaucoup d'effort et occasionne donc une forte demande en main d'œuvre mais à part cela cette méthode va rester efficace pour les petits jardins et pour les plantes en pots exposées sur des terrasses où la source d'eau n'est jamais trop loin.

C'est pour cela donc que nous serons appelés à recourir aux autres méthodes d'irrigation pour les grands espaces agricoles tels que des plantations, de grands jardins botaniques, ...

Alors pour ces grandes superficies nous allons utiliser les méthodes plus spécialisées parmi lesquelles les suivantes sont couramment le plus utilisées : l'irrigation de surface (irrigation gravitaire), l'irrigation par aspersion et l'irrigation au goutte à goutte.

I.3.1.L'irrigation de surface

L'irrigation de surface consiste à amener l'eau au point le plus haut du terrain et à la laisser s'écouler par gravité. Après que l'eau soit au sommet elle sera ensuite redistribuée aux champs soit par submersion (les plantes seront submergées : l'irrigation par bassins), soit par sillons en terre (l'irrigation par sillons), par ruissellement (l'irrigation par ruissellement) ou soit par ruissellement sur une surface d'une planche d'arrosage (l'irrigation par planches).

On pourra alors les classer selon leur efficacité et mener nos études sur ces dernières.

I.3.1.1. Irrigation par ruissellement

L'eau d'irrigation est apportée par ruissellement à partir des fossés du champ sans vrai contrôle par des digues ou par d'autres méthodes limitant le mouvement de l'eau. Cette façon de faire est souvent comparée à une inondation sauvage car c'est un peu comme les eaux des pluies ruissellent. Bien que ces méthodes soient intéressantes pour leur faible coût initial et pour le travail demandé, elles ne le sont pas pour leur faible efficacité et leur faible uniformité. Cette méthode est généralement utilisée sur les terrains vallonnés lorsqu'il n'est pas possible d'implanter des planches, des bassins ou des raies et où l'eau à apporter est suffisante. [8]



Figure 2 : Image illustrant le ruissellement [9]

I.3.1.2. Irrigation par planches

L'irrigation par planches est l'apport d'eau sur des longues parcelles en pente et rectangulaire avec des conditions de drainage à l'extrémité basse du champ. Les planches sont disposées dans le sens de la plus grande pente, 30(environ 9mètres) à 65 pieds (environ 20mètres) de large, 300(environ 91 mètres) à 1300 pieds (397 mètres environ) de long avec de petites levées de terre entre les bandes pour canaliser l'eau durant l'irrigation. Le terrain entre les planches doit être nivelé perpendiculairement à la direction de l'eau. L'irrigation par planche convient très bien pour la plupart des types de cultures et de sol mais elle est favorisée par les sols ayant une vitesse d'infiltration lente et les cultures qui tolèrent un flaquage (le fait que l'eau stagne) prolongé. Dans le Colorado, l'irrigation par bassin est principalement utilisée sur des cultures denses comme la luzerne, l'herbe et les céréales basses mais pas sur les cultures en ligne. [8].

L'alimentation en eau des planches est faite de plusieurs façons : soit à l'aide de prises d'eau aménagées sur le canal d'amenée et équipées d'une vannette, soit par des siphons, ou bien par des tuyaux d'alimentation passant à travers les berges du canal d'amenée.



Figure 3: Planches en cours d'irrigation [10]

I.3.1.3. Irrigation par sillons/à la raie

Les sillons sont des petites rigoles en terre, aménagées dans le sens de la pente du terrain, pour transporter l'eau entre les rangées de cultures. L'eau s'infiltré dans le sol, principalement par les côtés du sillon, tout le long de son trajet dans le sens de la pente du terrain. Généralement, les plantes sont cultivées sur les billons séparant les sillons. Cette technique est valable pour l'irrigation de toutes les cultures en lignes et pour toutes les cultures qui ne tolèrent pas la submersion par les eaux de leur feuillage ou de leur collet pour une longue durée (exemple 12 à 24 heures). Les sillons sont alimentés par des prises d'eau aménagées sur les berges du canal d'amenée. Ces ouvrages de prise peuvent être soit de simples ouvertures aménagées sur les

berges du canal d'amenée, soit des siphons, ou bien des tuyaux d'alimentation passant à travers la berge du canal d'amenée.



Figure 4: Illustration des sillons dans un champ [11]

Toutes fois on peut essayer de faire une petite nuance entre une irrigation par sillons et une irrigation par raies en disant que : une irrigation par raies consiste à apporter de l'eau directement aux racines des plantes en utilisant des tuyaux enterrés sous le sol, tandis que l'irrigation par sillons consiste à creuser des sillons le long des rangées de plantes pour permettre à l'eau de s'infiltrer dans le sol et d'atteindre les racines. En résumé, l'irrigation par raies cible spécifiquement les racines des plantes, tandis que l'irrigation par sillons permet à l'eau de s'infiltrer dans le sol le long des rangées de plantes.

I.3.1.4. Irrigation par bassin

Les bassins sont généralement de forme rectangulaire, nivelés et entourés par une digue pour éviter le ruissellement. Cette technique est généralement utilisée pour l'irrigation de rizières sur terrain plat, ou des terrasses à flanc de coteau. Cette méthode est aussi utilisée pour l'irrigation des arbres fruitiers. En général, cette technique d'irrigation peut s'appliquer à toutes les cultures pouvant supporter la submersion par les eaux pendant des longues durées.



Figure 5: Irrigation par bassin [12]

I.3.1.5. Les avantages et les inconvénients de l'irrigation de surface ou gravitaire

Tableau 1: Avantages et inconvénients d'une irrigation de surface

Avantages	Inconvénients
Facilité apparente d'utilisation car un débit important peut être réparti.	La conduite de l'eau est ici délicate pour que l'on puisse assurer un mouillage régulier.
Ce sont des systèmes peu exigeants en main d'œuvre une fois mises en place.	Ces techniques nécessitent de colatures, mais, pour éviter les pertes d'eau, la durée d'arrosage ne doit pas dépasser 3 fois le temps mis par l'eau pour atteindre l'extrémité.
Bonne répartition de l'eau sur la surface exploitée par les racines de plantes.	La pente doit être très faible pour éviter les pertes en sous-sol.
La dose de l'eau est contrôlable.	Parfois toutes ces installations constituent des obstacles à la circulation des engins dans les champs.

I.3.2.L'irrigation par aspersion

L'aspersion est la technique d'irrigation agricole la plus courante. Irriguer par aspersion consiste à projeter l'eau pour qu'elle retombe en fines gouttelettes sur les plantes. Ce principe est mis en œuvre de diverses manières en fonction des contraintes du terrain et des équipements d'irrigation mobilisés. [13]

Dans les types d'irrigation par aspersion nous pouvons avoir les types suivants :



Figure 6: Irrigation par aspersion [14]

I.3.2.1. Irrigation au canon-enrouleur

Le canon d'irrigation agricole couplé à un enrouleur est l'équipement d'irrigation le plus courant. L'eau est apportée grâce à un tuyau enroulé sur une bobine puis projetée par un canon d'aspersion. Facile à mettre en place et à déplacer, la combinaison canon-enrouleur convient aux parcelles morcelées. Déplacer l'enrouleur et le canon nécessite cependant de mobiliser un tracteur et de la main-d'œuvre.

I.3.2.2. Irrigation par rampes frontales ou mobiles

Les rampes frontales sont des rampes mobiles se déplaçant en ligne droite. Les rampes de type hippodrome sont capables d'effectuer des rotations en bout de champ. Cet équipement motorisé est donc souvent installé sur les parcelles rectangulaires. Le guidage de la rampe se fait à l'aide d'un sabot positionné dans un sillon ou d'un câble. Les rampes sont souvent mises en place lorsque les normes de qualité sont très élevées. C'est le cas des productions horticoles de plein champ et des cultures sous contrats. Une installation d'irrigation par rampes frontales représente cependant un investissement important et ne convient qu'aux parcelles sans obstacle (ex. poteaux électriques, ...), plutôt rectangulaires.

I.3.2.3. Avantages et inconvénients de l'irrigation par aspersion

Tableau 2: Avantages et inconvénients de l'irrigation par aspersion

Avantages	Inconvénients
Il n'y a plus des nivellements dans le champ.	Les frais d'installations sont élevés.
Réduction de la main d'œuvre pour les travaux de préparations avant l'irrigation.	Il peut y avoir des pertes en eau par évaporation de l'eau projetée.
Possibilité de l'irrigation fertilisante et soignante.	Lavage des traitements phytosanitaires

I.3.3. Irrigation aux gouttes à gouttes (micro-irrigation)

La micro-irrigation dite encore « l'irrigation de précision » consiste à apporter l'eau au pied de la plante. Correctement conçue, une installation de micro-irrigation permet d'augmenter les rendements et de diminuer les besoins en eau, en fertilisants et en main-d'œuvre.

Alors que le changement climatique fait planer une menace quant au remplissage des nappes phréatiques et à la disponibilité de l'eau pour les usages agricoles, la micro-irrigation présente de sérieux atouts.

La micro-irrigation comprend : les micro-asperseurs, le goutte à goutte de surface et l'irrigation goutte à goutte enterrée.



Figure 7: Irrigation au goutte à goutte [15]

I.3.3.1. Irrigation par micro-asperseur

L'irrigation par micro-asperseur combine deux techniques : l'aspersion et le goutte-à-goutte. Les micro-asperseurs sont adaptés à un usage en milieu couvert (serres, tunnels). Cette méthode d'irrigation consiste concrètement en un réseau de gicleurs montés sur des piquets ou suspendus (installation pendulaire) dans la culture. L'eau est diffusée à basse pression dans un périmètre restreint (1 à 3 mètres).

La micro-aspersion permet d'arroser rapidement de grandes surfaces avec peu de main-d'œuvre, voire de manière totalement automatisée. L'irrigation par micro-asperseur est adaptée aux productions en pépinières.

I.3.3.2. Irrigation par goutte à goutte de surface

Les systèmes de goutte-à-goutte de surface sont basés sur un apport d'eau au pied de la plante. Ils reposent sur l'installation d'un tuyau auquel sont fixés des goutteurs simples, des goutteurs sur pics ou des capillaires (micro tubes). Le goutte-à-goutte ne mouille pas la plante. Il s'agit donc d'une solution idéale pour limiter le risque de prolifération de champignons. C'est également une méthode d'irrigation économe en eau et peu gourmande en énergie (eau à basse pression). Une telle installation suppose néanmoins un investissement conséquent et une surveillance régulière, en particulier pour éviter les obturations. Le goutte-à-goutte de surface est notamment utilisé pour les plantes en pot ou jardinières, ainsi qu'en viticulture (culture de la vigne).

A part ces deux il y a aussi un autre système d'arrosage qui est le goutte à goutte enterré où les tuyaux poreux sont placés sous la terre.

I.3.3.3. Avantages et inconvénients de l'irrigation goutte à goutte (micro-irrigation)

Tableau 3: Avantages et inconvénients de la micro-irrigation (goutte-à-goutte)

Avantages	Inconvénients
Cette technique nous présente un fort gain en temps car l'arrosage se fait presque automatiquement.	Toutes les plantes reçoivent exactement la même quantité d'eau.
Elle nous présente une grande économie d'eau et d'engrais.	Nettoyage périodique des filtres.
Forte diminution des risques liés aux maladies fongiques.	Vérification de bon fonctionnement et de raccordement des goutteurs au réseau.
Peut fonctionner parfaitement sur des cultures à grande et à petite échelle.	Nettoyage intégral du réseau.

I.4. Comparaison des méthodes d'irrigation

La comparaison des différentes techniques d'irrigation agricole conduit à croiser des paramètres naturels, techniques et économiques. Cette analyse se mène à l'échelle de chaque exploitation agricole et doit aboutir à identifier le système d'irrigation le plus adapté. Rationaliser la pratique de l'irrigation suppose cependant de conduire une réflexion globale et sur le long terme. Plusieurs leviers peuvent être activés simultanément pour favoriser les économies d'eau et la sobriété énergétique : modification des itinéraires techniques, choix variétal, modernisation du matériel d'irrigation existant, équipement en sondes d'irrigation... [13]

Les critères de comparaison des techniques d'irrigation

La technique d'irrigation adoptée doit répondre aux objectifs de production et s'adapter aux contraintes matérielles et naturelles de l'exploitation agricole. Certains critères doivent nécessairement être considérés :

- **Les objectifs de production** sont : les besoins des cultures en eau, les objectifs de rendement, les exigences de qualité (ex. cahier des charges), etc.
- **Les facteurs naturels** sont : la configuration du parcellaire (tailles, formes et dispersion des parcelles à irriguer, localisation des sources d'eau), la disponibilité de l'eau, le climat local, la nature des sols, etc.

- **Les moyens disponibles sur l'exploitation** qui sont : les moyens humains disponibles pour réaliser les réglages préalables, réaliser l'entretien ou déplacer le matériel, les capacités financières, etc.
- **Les performances du matériel** sont les suivantes : la performance énergétique, l'efficacité de l'eau apportée, la mobilité, etc.

La connaissance de ces différents éléments est indispensable pour que tout agriculteur puisse choisir le meilleur moyen pour irriguer ses récoltes. Le choix d'un système d'irrigation est aussi influencé par le contexte de flambée des prix de l'énergie et de tensions sur la ressource en eau. Les caractéristiques techniques du matériel d'irrigation, comme la performance énergétique et l'efficacité de l'eau apportée, sont déterminantes.

I.5. Système d'irrigation automatique (intelligent)

Un système d'arrosage automatique est un système conçu pour arroser les plantes, les pelouses, les caisses hydroponiques, et les jardins de manière automatique, sans nécessiter une intervention manuelle et humaine régulière. Ce type de système est souvent utilisé dans les espaces verts résidentiels, commerciaux et agricoles pour assurer un arrosage efficace et régulier des plantes.

Un système d'arrosage automatique est généralement composé de plusieurs éléments, tels que des programmeurs, des vannes d'arrosage, des tuyaux, des gicleurs ou des arroseurs, des capteurs d'humidité du sol, des capteurs de température et parfois même des dispositifs de contrôle à distance à travers des applications mobiles.

Chaque élément du système d'arrosage joue un rôle important comme nous pouvons le constater chez le programmeur qui lui permet de définir les plages horaires et la durée de l'arrosage, tandis que les vannes contrôlent le débit d'eau vers les différentes zones à arroser. Les gicleurs ou arroseurs à leur tour diffusent l'eau uniformément sur la surface à arroser. Les capteurs d'humidité du sol permettent de mesurer le niveau d'humidité du sol et de déclencher l'arrosage uniquement lorsque cela est nécessaire, ce qui contribue à économiser l'eau et enfin les capteurs de température seront là pour mesurer la température ambiante dans le jardin.

En gros, nous pouvons dire qu'un système d'arrosage automatique offre une solution pratique et efficace pour assurer un arrosage régulier et adapté aux besoins de plantes, tout en optimisant la consommation d'eau.

I.5.1. Etude des contrôleurs des systèmes d'arrosage automatique

Les contrôleurs des systèmes d'arrosage automatique sont des éléments essentiels qui permettent de programmer et de contrôler l'arrosage des espaces verts de manière automatique.

I.5.1.1. Fonctionnalité

Les contrôleurs peuvent offrir une gamme de fonctionnalités, telles que la programmation des plages horaires d'arrosage, la durée de l'arrosage, la gestion de plusieurs zones d'arrosage, la capacité à intégrer des capteurs d'humidité du sol, et parfois même la connectivité à des applications mobiles pour un contrôle à distance.

I.5.1.2. Types

Dans les systèmes d'arrosage automatique nous avons deux types généraux de contrôleurs : les systèmes à boucle de régulation ouverte et systèmes à boucle de régulation fermée.

a. Contrôleur à boucle de régulation ouverte

Ces systèmes d'arrosage automatique, possède un contrôleur qui lui n'exécute que le programme placé en son intérieur lorsque il sera actionner pour la tâche de l'irrigation qui va se passer selon les étapes suivantes : tout d'abord nous devons savoir que le contrôleur à boucle de régulation ouverte d'un système d'irrigation automatique fonctionne en utilisant des capteurs pour mesurer les conditions environnementales au niveau du champs telles que l'humidité du sol, la température et la luminosité (rayons solaires). Ces capteurs vont transmettre les données à notre contrôleur présent qui va utiliser ces données pour choisir enfin le moment propice pour activer l'irrigation.

Une fois que le contrôleur a déterminé que l'irrigation est nécessaire, il envoie un signal pour activer les vannes d'irrigation. Ces vannes libèreront de l'eau vers les zones d'irrigation appropriées, permettant ainsi d'apporter la quantité d'eau nécessaire aux plantes.

En utilisant la boucle ouverte, le contrôleur ne reçoit pas de retour d'information (feedback) sur l'efficacité de l'irrigation une fois qu'elle a été activée. En gros cela signifie que le contrôleur ne peut pas ajuster automatiquement le système en fonctions des résultats de l'irrigation. Cependant, ce type de système peut être efficace dans les situations où les conditions climatiques sont relativement stables et prévisibles, dans ce cas ici on peut juste mettre dans le contrôleur un programme activant l'irrigation selon un horaire donné et pendant un temps déjà préétabli au sein de ce dernier.

b. Contrôleur à boucle de régulation fermée

Ce contrôleur fonctionne d'une manière proche de celui à boucle ouverte mais la différence ici réside dans le fait qu'après même que le contrôleur ait actionné l'irrigation il continue de surveiller les conditions climatiques et environnementales pendant et après l'irrigation. Une fois l'irrigation terminée les capteurs vont encore transmettre de nouvelles informations au contrôleur.

Le contrôleur va ensuite comparer les nouvelles valeurs de données avec celle qu'on avait à l'initial pour évaluer l'efficacité de l'irrigation. Si nécessaire, le contrôleur ajuste automatiquement les paramètres d'irrigation, tels que la durée et la quantité d'eau, en fonction des résultats de l'irrigation précédente.

En utilisant la boucle fermée, le contrôleur peut ainsi ajuster automatiquement le système en fonction des résultats de l'irrigation, ce qui permet une gestion plus précise et efficace de l'irrigation en fonction de conditions climatiques non stables c'est ainsi.

En identifiant de manière particulière notre système à ce qui vient précédemment nous pouvons dire dans notre cas que l'entrée du système est constituée par les différents seuils des valeurs de l'humidité du sol et du niveau d'eau ; le correcteur est la carte chargée d'interpréter ces différentes données ; la partie actionneur est constituée de moteurs et la partie capteur est alors faite de nos différents capteurs utilisés.

I.5.2. Un système basé sur la technologie Arduino

Une irrigation automatique basée sur la technologie ARDUINO utilise des capteurs choisis dans notre cas comme le capteur d'humidité du sol, d'humidité de l'air, de la température ; on utilise des actionneurs tels que les électrovannes ou des motopompes et un microcontrôleur Arduino pour contrôler notre processus d'irrigation.

Alors voici certaines des avantages de l'utilisation de la technologie Arduino pour l'irrigation automatique :

1. **La flexibilité** : ici on voit que la technologie Arduino offre une grande flexibilité en termes de programmation car celle-ci est une plate-forme très flexible qui vous permet de connecter facilement plusieurs appareils et capteurs. [16]
2. **Facilité d'utilisation** : Arduino est facile à utiliser pour les débutants et les experts en électronique. Il offre une interface utilisateur graphique (GUI) simple qui vous permet de créer des projets sans nécessiter de connaissances avancées en programmation. [16]

3. **Communauté** : Arduino dispose d'une large communauté d'utilisateurs et de développeurs qui partagent leurs idées. Cela facilite la résolution et l'apprentissage de nouveaux concepts. [16]
4. **Prix** : Arduino est une plateforme très abordable qui offre un excellent rapport qualité/prix. [16]
5. **Documentation** : Arduino dispose d'une grande quantité de documentation et didacticiels qui facilitent l'apprentissage et développement de projets. [16]

I.5.3. Les avantages et inconvénients qu'offre un système d'arrosage automatique

Avantages du système d'irrigation automatique

Les systèmes d'irrigation automatique présentent les avantages suivants :

- **Economie d'eau** : les systèmes d'irrigation sont conçus pour distribuer la quantité d'eau nécessaire, au bon moment et de manière uniforme.
- **Gain de temps** : avec ces systèmes les propriétaires n'ont pas besoin de rester contrôler l'arrosage des jardins et ainsi ils trouvent l'occasion de faire autres choses pendant ce temps.
- **Précision** : les contrôleurs à boucle fermée permettent une gestion précise de l'irrigation.
- **Flexibilité** : nous remarquons que certains systèmes d'irrigation automatique peuvent être programmés pour s'adapter à des conditions météorologiques changeantes.

Inconvénients du système d'irrigation automatique

Mis à part les avantages que présentent les systèmes d'irrigation automatique nous aurons aussi à établir les inconvénients suivants :

- **Coût initial élevé** : l'installation d'un système d'irrigation automatique peut être coûteuse en raison de l'achat des équipements et des frais d'installation.
- **Maintenance requise** : les systèmes d'irrigation automatique nécessitent une maintenance régulière.
- **Risque de pannes techniques** : comme pour tout système électronique, il existe un risque de pannes techniques qui pourraient entraîner une mauvaise irrigation.
- **Le besoin d'électricité** : ce qui peut être un inconvénient dans les zones où l'électricité n'est pas facilement accessible.

I.6. Problèmes courants liés à l'arrosage

L'arrosage des plantes est une pratique importante pour assurer leur croissance et leur santé. Cependant, il peut parfois être source de problèmes s'il est mal exercé.

Ici nous remarquons différents problèmes couramment rencontrés lors de l'arrosage des plantes, tels que le sur-arrosage, le sous-arrosage, l'influence du climat, les erreurs fréquentes commises par les jardiniers, les conséquences d'un mauvais arrosage sur la santé des plantes, ainsi que les solutions pour éviter ces problèmes. En comprenant ces aspects nous pourront améliorer la pratique d'arrosage et par-dessus tout garantir la bonne croissance des plantes.

- 1) Le sur-arrosage est l'un de ces problèmes et peut présenter des conséquences néfastes sur leur santé et leur évolution tels que : la pourriture des racines [17], le développement des moisissures et des champignons, la mort de la plante [18], etc.
- 2) Le sous-arrosage peut avoir des conséquences néfastes sur la santé de la plante qui sont : la présence des feuilles et des fleurs flétries ou fanées, les feuilles jaunies, la croissance ralentie de la plante ainsi que la mort de la plante [18].
- 3) L'influence du climat sur l'arrosage :

En parlant du climat nous constaterons que ce dernier possède une influence majeure sur l'arrosage et la croissance des plantes, et surtout en ce temps où le réchauffement climatique sur notre planète qui vient aussi ajouter son impact sur ces deux aspects : croissance de la plante et son approvisionnement en eau.

Tout d'abord en ce qui concerne l'arrosage, le réchauffement climatique peut entraîner des périodes de sécheresse plus fréquentes et des températures plus élevées, ce qui peut augmenter les besoins en eau des plantes. Les plantes peuvent se dessécher plus rapidement et nécessiter une irrigation plus fréquente pour survivre. De plus, le changement climatique peut également perturber les schémas de précipitations, entraînant des variations dans la disponibilité de l'eau pour l'irrigation des cultures.

Ce que nous pouvons dire encore à propos de ceci est que le climat et le réchauffement climatique ont un impact significatif sur l'arrosage et la croissance des plantes alors Il est important de prendre en compte ces facteurs lors de la gestion des cultures et de mettre en place un système d'arrosage mettant en œuvre des pratiques d'irrigation adaptées pour garantir la santé et la productivité des plantes dans un environnement en évolution.

I.7. Quelques conseils pour éviter les problèmes d'arrosage

Pour éviter les problèmes liés à l'arrosage des plantes, voici quelques solutions pratiques :

- 1) Connaître les besoins spécifiques de chaque plante : Renseignez-vous sur les besoins en eau de chaque plante de votre jardin. Certaines plantes nécessitent un arrosage fréquent, tandis que d'autres préfèrent un sol plus sec.
- 2) Observer et surveiller régulièrement les plantes : Soyez attentif aux signes de stress hydrique ou de sur-arrosage, tels que le flétrissement, le jaunissement des feuilles, ou la pourriture des racines. Cela vous aidera à ajuster l'arrosage en conséquence.
- 3) Arroser au bon moment de la journée : Il est recommandé d'arroser tôt le matin ou en fin de journée pour éviter l'évaporation excessive de l'eau due à la chaleur du soleil.
- 4) Utiliser des techniques d'arrosage adaptées :
 - Privilégiez l'arrosage direct au pied des plantes plutôt que de les arroser par-dessus.
 - Utilisez des systèmes d'arrosage goutte-à-goutte pour une distribution uniforme de l'eau.
 - Évitez d'arroser de manière excessive.
- 5) Améliorer le drainage du sol : Assurez-vous que le sol a un bon drainage pour éviter l'accumulation d'eau autour des racines. Vous pouvez ajouter du compost ou du paillis pour améliorer la structure du sol.
- 6) Utiliser des indicateurs d'humidité du sol : Des outils tels que les sondes d'humidité du sol peuvent vous aider à déterminer si vos plantes ont besoin d'être arrosées ou non.

Note : En suivant ces conseils et en adaptant notre méthode d'arrosage en fonction des besoins spécifiques de nos plantes, nous pourrions éviter les problèmes liés à un arrosage inadéquat et favoriser une croissance saine et vigoureuse de notre jardin.

I.8. Conclusion partielle

Ce premier chapitre a été introductif car en lui nous l'en avons consacré à un rappel sur la littérature des systèmes d'irrigations ainsi que voir différents problèmes rencontrés lors de l'arrosage et donner des conseils pour éviter les conséquences liées à ces différents problèmes. Nous avons vu qu'ils en existent plusieurs types dont les principaux sont : l'irrigation de surface, l'irrigation par aspersion, l'irrigation au goutte à goutte et l'irrigation automatique dite intelligente qui est pour nous une technologie très efficace et utile pour la garantie de la bonne croissance de nos plantes ainsi que l'économie de l'eau.

Chapitre 2 : Conception du système d'arrosage automatique

II.1. Introduction

La réalisation d'un système d'arrosage automatique va consister en une conception minutieuse car on sera appelé à faire des analyses concernant son application afin d'atteindre les objectifs visés. Car cela va nous être utile pour le choix des éléments matériels du système aussi bien les caractéristiques que les outils (logiciels à utiliser, type de programmation sollicitée, ...) ce qui va assurer une simplicité et efficacité pendant le fonctionnement de notre système.

Nous savons très bien que pour notre système le choix des éléments va prendre en considération les facteurs économiques suivants : la taille, la consommation de l'énergie électrique réduite et l'économie de la quantité d'eau utilisée pour l'arrosage des plantes, cela dans le but de réaliser une structure non onéreuse.

Dans ce chapitre, nous allons présenter l'architecture du système ainsi que les composants de notre système et leurs principes de fonctionnement.

II.2. Description du schéma bloc de ce système

Notre système d'irrigation automatique étant basée sur la technologie Arduino nous allons remarquer que tous les composants de notre système vont tourner au tour de celui-ci, cela veut dire que nos capteurs y sont connectés, et les actionneurs également sans oublier nos différentes interfaces tels que le module wifi, le circuit de commutation à transistor.

Voici le schéma bloc de notre système :

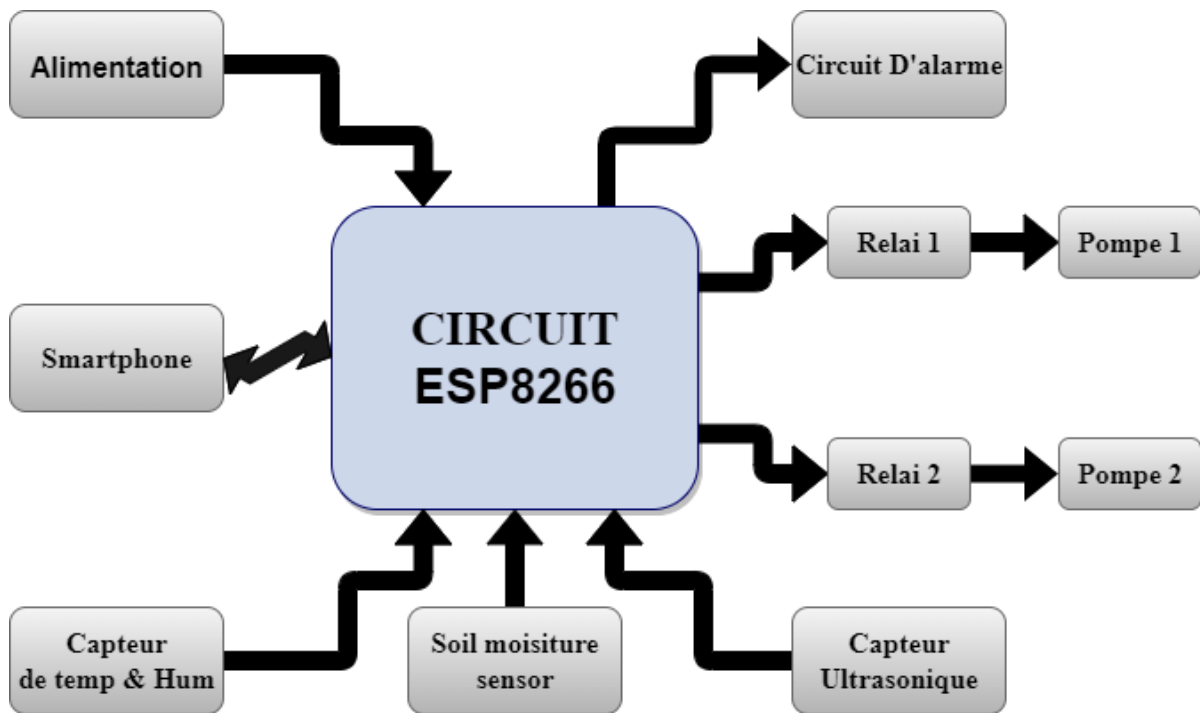


Figure 8: Schéma bloc du système à réaliser

II.3. Fonctionnement du système d'irrigation

Notre système d'irrigation va nous servir à améliorer le taux de production des certaines cultures agricoles cela en faisant la pêche aux informations sur les paramètres du jardin comme le degré de température ambiante dans la zone agricole ainsi que le taux d'humidité du sol, après cette collecte d'informations le système va les comparer avec celles fixées au préalable dans le programme.

Ici dans notre système le captage des données est effectué par les capteurs de température, de l'humidité du sol et un capteur à ultrasons pour mesurer le niveau de l'eau dans le réservoir qui si une fois il est vidé un buzzer sera déclenché pour alerter, ces informations arrivées au niveau de notre carte ESP8266 seront affichées sur un écran LCD ensuite les envoyer au smart phone via notre module wifi et ainsi permettre au propriétaire du jardin de regarder l'état de son jardin mais aussi il aura la possibilité de déclencher manuellement l'arrosage sur son application et sur le système physique.

Sans oublier que notre système est relié à une alimentation électrique qui va lui délivrer les différentes tensions nécessaires pour le fonctionnement de nos divers dispositifs électronique.

II.4. Présentation du cahier des charges

Pour ce système d'arrosage intelligent, nous allons utiliser une carte ESP8266MOD sur laquelle nous allons connecter les capteurs et les moteurs (pompes de l'eau).

Ces composants ci-présents seront contrôlés à distance grâce à une carte wifi qui va nous permettre de contrôler aussi notre système avec un téléphone Android soit via une application mobile ou soit via une page web.

Pour la réalisation de notre système d'arrosage intelligent nous avons besoin des éléments ci-après :

1. **Le circuit ESP8266** : celui-ci est un module NODE MCU (Wi-Fi et BT), comprenant un microcontrôleur ESP8266 qui sera porteur du programme de contrôle de l'arrosage automatique.
2. **Les capteurs** : qui vont nous permettre de réaliser un système d'arrosage à boucle fermée et ainsi mesurer les grandeurs physiques nécessaire pour pouvoir en informer le contrôleur et ainsi enclencher ou soit arrêter l'arrosage en fonctions de leurs résultats.

Ces capteurs sont :

- *Un capteur de température et d'humidité de l'air, le DHT-11* : celui-ci va mesurer et fournir les informations sur la température ambiante dans les champs.
 - *Un capteur d'humidité du sol (Capacitive Soil moisture sensor v1.2)* : celui-ci va nous fournir les informations sur le taux d'humidité au niveau du sol sur lequel se trouvent nos cultures.
 - *Un capteur de distance HC-SR04* : celui-ci va nous fournir les informations sur le niveau de l'eau dans le réservoir.
3. **Deux relais électromécaniques** qui seront commandés par la carte Arduino via des transistors utilisés en mode commutation et ce sont ces relais qui serviront à commander la partie puissance qui est constituée de deux pompes à eau.
 4. **Un transistor bipolaire**, exemple le TIP41C, jouera le rôle d'interrupteur pour notre relai vu que celui-ci ; le transistor est utilisé en commutation ;
 5. **Les actionneurs** : ce sont les composants finaux qui vont être acteurs de l'arrosage, dans notre cas ici présent il s'agit bien des *pompes à eau et un circuit d'alerte à Buzzer et leds*.

6. **Un smart phone** qui va permettre l'implémentation de l'interface de communication avec le système enfin de recevoir et d'envoyer les informations entre le système d'arrosage et l'utilisateur de ce dernier via *une page Web*.

L'interface de communication que nous allons utiliser est le l'ESP8266 WEB SERVER qui va nous permettre d'accéder à une page Web sur laquelle seront affichées les différentes données récoltées par nos capteurs.

II.5. Description des différents éléments

II.5.1. ESP8266MOD (Espressif System Puce)

Le module ESP8266MOD cadencé à 80MHz est une puce WiFi très populaire et largement utilisée dans le domaine de l'Internet des objets (IoT). Il est basé sur le microcontrôleur ESP8266 de la société Espressif Systems et intègre un processeur à architecture Xtensa LX106, un module WiFi, une mémoire flash et diverses interfaces périphériques.

Le module ESP8266MOD peut être programmé à l'aide de l'IDE Arduino en utilisant le support de la bibliothèque ESP8266, ce qui le rend accessible aux débutants en électronique et en programmation. Il est également compatible avec d'autres environnements de développement tels que PlatformIO, Blynk et Micropython. [19]

En résumé, le module ESP8266MOD est un composant polyvalent et puissant qui offre une connectivité WiFi abordable pour une variété d'applications IoT, y compris la domotique, les capteurs connectés, les systèmes de surveillance à distance, etc.



Figure 9: ESP8266MOD [20]

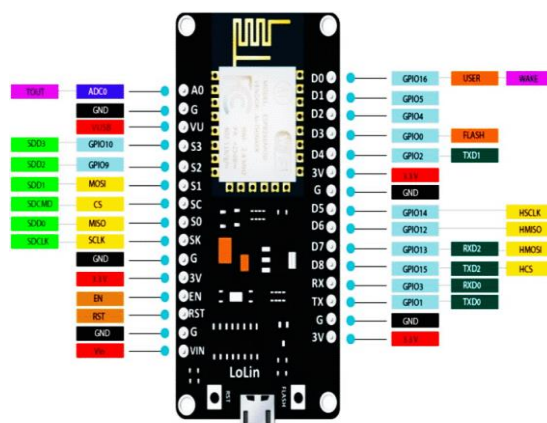


Figure 10: PinOuts du module ESP8266 [21]

II.5.2. Capteur d'humidité et de température DHT-11

a. Description générale

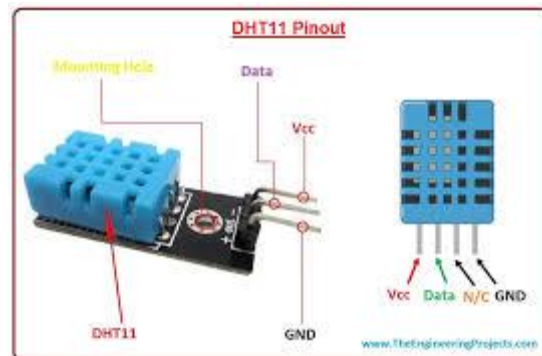


Figure 11: Capteur d'humidité et de température DHT-11 [21]

Le capteur DHT11 est un capteur de température et d'humidité populaire utilisé avec les microcontrôleurs tels qu'Arduino. Il est facile à utiliser et peut être utilisé pour mesurer la température et l'humidité dans une variété de projets, tels que notre système d'arrosage automatique, les systèmes de contrôle de l'environnement, les systèmes de surveillance de la météo et les systèmes de contrôle de la qualité de l'air. [22]

Le capteur DHT11 possède 4 broches qui permettent de connecter le capteur à un Arduino dans notre cas nous allons le connecter à un ESP8266 ou encore à tout autre dispositif électronique. Les broches sont :

1. **VCC** : c'est la broche d'alimentation qui doit être connecté à une source de tension de 3 à 5V pour alimenter le capteur.
2. **Data** : c'est la broche de communication qui est utilisée pour envoyer les données de température et d'humidité au dispositif connecté.
3. **NC** : c'est la broche non connectée.
4. **GND** : c'est la broche de masse.

b. Principe de fonctionnement

Le DHT11 utilise une technologie capacitive pour mesurer l'humidité relative dans l'air. Il comporte une électrode qui est exposée à l'air ambiant, qui est reliée à un circuit électronique intégré. Lorsque l'air est plus humide, l'électrode est recouverte d'une couche d'eau qui augmente la capacité de l'électrode. Le circuit électronique intégré mesure cette capacité et calcule l'humidité relative en fonction de cette mesure.

Pour mesurer la température, le DHT11 utilise un thermistor, qui est un composant qui a une résistance qui varie en fonction de la température. Le circuit électronique intégré mesure

la résistance du thermistor et calcule la température en utilisant une courbe de température calibrée.

Les données de température et d'humidité sont ensuite transmises à l'Arduino via un signal numérique sur un seul fil, qui peut être lu par la bibliothèque DHT11 pour obtenir les lectures de température et d'humidité. [22]

II.5.3. Le capteur d'humidité de sol capacitif : Capacitive Soil Moisture Sensor v1.2

a. Description générale



Figure 12: Image d'un capteur d'humidité de sol capacitif [23]

Le Capteur d'humidité de sol capacitif est un dispositif utilisé pour mesurer le taux d'humidité du sol. Il utilise la technologie de la capacité pour détecter les variations de conductivité électrique dans le sol, qui sont directement liées à l'humidité. Le V1.2 indique qu'il s'agit d'une version mise à jour du capteur, qui peut inclure des améliorations de performance ou des fonctionnalités supplémentaires par rapport à la version précédente. Il peut être utilisé dans diverses applications, notamment l'agriculture, la gestion de jardins, la surveillance de l'environnement et les systèmes de contrôle de l'irrigation. [24]

b. Principe de fonctionnement

Le capteur capacitif d'humidité de sol V1.2 utilise une technique de mesure de la capacité pour détecter l'humidité dans le sol. Il comprend généralement une électrode conductrice, comme une plaque métallique, qui est enfoncée dans le sol, ainsi qu'un circuit électronique qui mesure la capacité électrique entre l'électrode et le sol. Plus l'humidité dans le sol est élevée, plus la capacité électrique sera grande. Le circuit électronique convertit ensuite cette mesure en une valeur numérique qui peut être utilisée pour déterminer le taux d'humidité dans le sol. [24]

c. Les broches du capteur d'humidité de sol capacitif

Tableau 4: Broches du Soil moisture sensor [16]

Nom de broche	Fonction de broche
A ou AOUT ou OUT	Sortie analogique (l'équivalent de l'humidité du sol)
+ ou V+ VCC ou 5V	Tension d'alimentation positive (la plupart des capteurs sont compatibles de 3,3 V à 5 V)
GND ou – ou V-	Connexion de masse

II.5.4. Le capteur de distance HC-SR04

a. Description et principe de fonctionnement



Figure 13: Capteur de distance ultrason HC-SR04 [24]

Le HC-SR04 est un module ultrason permettant l'évaluation d'une distance de 2cm à 400cm. La mesure est réalisée "sans contact" et dispose d'une précision de 3mm dans les conditions optimales. Le module inclus un émetteur et un récepteur ultrason ainsi qu'une électronique de contrôle. Le fonctionnement de ce module s'apparente à celui d'un sonar de sous-marin et sa mise en œuvre est relativement simple.

Principe de fonctionnement du module :

1. Le module émet une onde sonar composée d'une série de 8 impulsions à 40 kHz. Un son à 40 KHz est inaudible pour l'oreille humaine capable de percevoir des sons entre 16Hz et 16KHz.
2. En utilisant la broche **Trig**, vous envoyez un signal pour activer le déclenchement de l'impulsion sonar.
3. L'avantage d'utiliser un son plus aigu est qu'il est directionnel (se propage en ligne droite) alors que les basses fréquences transitent plutôt par la matière.
4. Si le signal revient... la sortie passe au niveau haut durant toute la période où l'onde voyage vers l'objet et revient après avoir été réfléchi par ce dernier.

La distance évaluée = temps durant lequel le signal de sortie est au niveau haut x la vitesse du son (340m/s) ; Si le temps d'impulsion de sortie est inférieur à 60ms, vous pouvez également utiliser la formule simplifié $\text{distance_en_cm} = \text{temps_impulsion_}\mu\text{S} / 58$. [25]

b. Branchement

- **VCC** - alimentation 5V
- **Trig** - Entrée permettant de déclencher l'impulsion
- **Echo** - Sortie, permet de déterminer la réception de l'écho
- **GND** - La masse

c. Caractéristiques techniques

- Tension de fonctionnement : 5 V continu
- Consommation (en fonctionnement) : 15mA
- Fréquence de fonctionnement : 40Hz
- Distance Minimale : 2cm
- Distance maximale : 400cm (4m) (dans de bonnes conditions)
- Angle de mesure : 15 degrés

II.5.5. Le relais (SRD-S-112D)

a. Description



Figure 14: Relais électromagnétique [26]

Un relais est un interrupteur à commande électrique qui peut être active ou désactivé, laissant passer ou non le courant et il peut être contrôlé par des tensions faibles, comme 5V, 12V, 24V, etc.

b. Caractéristiques

- Type de relais : Electromagnétique
- Tension nominale de bobine : 12V DC
- Tension de commutation max : 250V AC

II.5.6. Le transistor bipolaire 2N2222A

a. Description ET Principe de fonctionnement

Le transistor bipolaire à jonctions (BJT) est un composant électronique à semi-conducteurs fonctionnant grâce à un courant d'alimentation. Il permet de moduler le passage du courant électrique : une faible intensité injectée dans la base suffit à contrôler un courant bien plus élevé circulant entre le collecteur et l'émetteur. Ce type de transistor peut également être utilisé pour amplifier des signaux faibles, servir d'oscillateur ou encore jouer le rôle de commutateur. [27]

Le transistor bipolaire 2N2222A est un transistor de type NPN à trois broches : la base (B), l'émetteur (E) et le collecteur (C). Il est encapsulé dans un boîtier TO-18 ou TO-92, ce qui le rend facile à intégrer dans les circuits électroniques.



Figure 15: Transistor 2N2222A en boîtier TO-92 [28]

Principe de fonctionnement :

Le transistor bipolaire fonctionne en contrôlant le courant qui circule entre l'émetteur et le collecteur en fonction du courant appliqué à la base. Lorsqu'un courant est appliqué à la base, des porteurs de charge sont injectés dans la zone de base du transistor, modifiant la conductivité de cette zone. Cela permet de contrôler le courant circulant entre l'émetteur et le collecteur. [27]

Dans le cas du transistor NPN 2N2222A, lorsque du courant est appliqué à la base, des électrons sont injectés dans la zone de base, ce qui crée un courant entre l'émetteur et le collecteur. Le courant de base contrôle donc le courant de collecteur, permettant ainsi d'amplifier ou de commuter des signaux électriques.

b. Caractéristiques

Tableau 5: Caractéristiques du transistor bipolaire 2N2222A [29]

Symbole	Paramètres	Conditions	Valeurs mins	Valeurs max	Unités
V_{cbo}	Tension base collecteur	Émetteur ouvert	-	75	V
V_{ceo}	Tension collecteur-émetteur	Base ouverte	-	40	V
P_{tot}	Puissance dissipée	$T_{amb} < 25^{\circ}\text{C}$	-	500	mW
F_r	Fréquence de fonctionnement	$I_c = 20\text{mA}$, $V_{vce} = 20\text{V}$, $F_r = 100\text{MHz}$	300	-	MHz
T_j	Température de jonction	-	-	200	$^{\circ}\text{C}$
H_{fe}	Gain	$I_c = 150\text{mA}$, $V_{vce} = 10\text{V}$	100	300	-

II.5.7. La pompe à eau

a. Description



Figure 16: Mini pompe submersible à eau 5V. [30]

b. Caractéristiques

- Alimentation : 3 à 5V
- Consommation : 100 à 200 mA
- Débit : 10 à 120 l/h

II.5.8. Buzzer TMB12A12

- Description



Figure 17: Buzzer actif [31]

Le buzzer TMB12A12 est un buzzer piézoélectrique, ce qui signifie qu'il utilise des cristaux piézoélectriques pour générer des vibrations sonores lorsqu'une tension électrique lui est appliquée. Il est généralement encapsulé dans un boîtier en plastique ou en métal pour protéger les composants internes.

Le modèle TMB12A12 est un buzzer actif, ce qui signifie qu'il intègre une électronique interne pour produire des sons sans avoir besoin d'un circuit externe pour générer des signaux sonores.

II.5.9. Les LEDs

a. Description

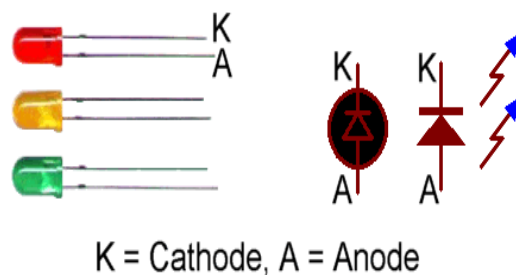


Figure 18: Diode Electroluminescente [32]

Une diode électroluminescente (abrégié en LED, de l'anglais : light-emitting diode) est un dispositif optoélectronique capable d'émettre la lumière lorsqu'il est parcouru (traversé) par un courant électrique. Une LED ne laisse passer le courant électrique que dans un seul sens, elle produit un rayonnement monochromatique ou polychromatique non cohérent à partir de la conversion d'énergie électrique lorsqu'un courant la traverse. Pour son câblage l'anode sera branchée à la borne + de la pile et la cathode à la borne – de la pile.

b. Caractéristiques

Tableau 6: Caractéristiques d'une Diode Electroluminescente

Couleur	Longueur d'onde (nm)	Tension de seuil (V)	Semi-conducteur utilisé
Rouge	$610 < \lambda < 760$	$1,63 < \Delta V < 2,03$	Arséniure de gallium-Aluminium (AlGaAs) Phosphore-séniure de Gallium (GaAsP)
Vert	$500 < \lambda < 570$	$2,18 < \Delta V < 2,48$	Nitride de gallium (GaN)Phosphure de gallium (GaP)

II.6. Organigramme fonctionnel du projet

Voici l'organigramme fonctionnel illustrant le fonctionnement du programme à embarquer dans le projet.

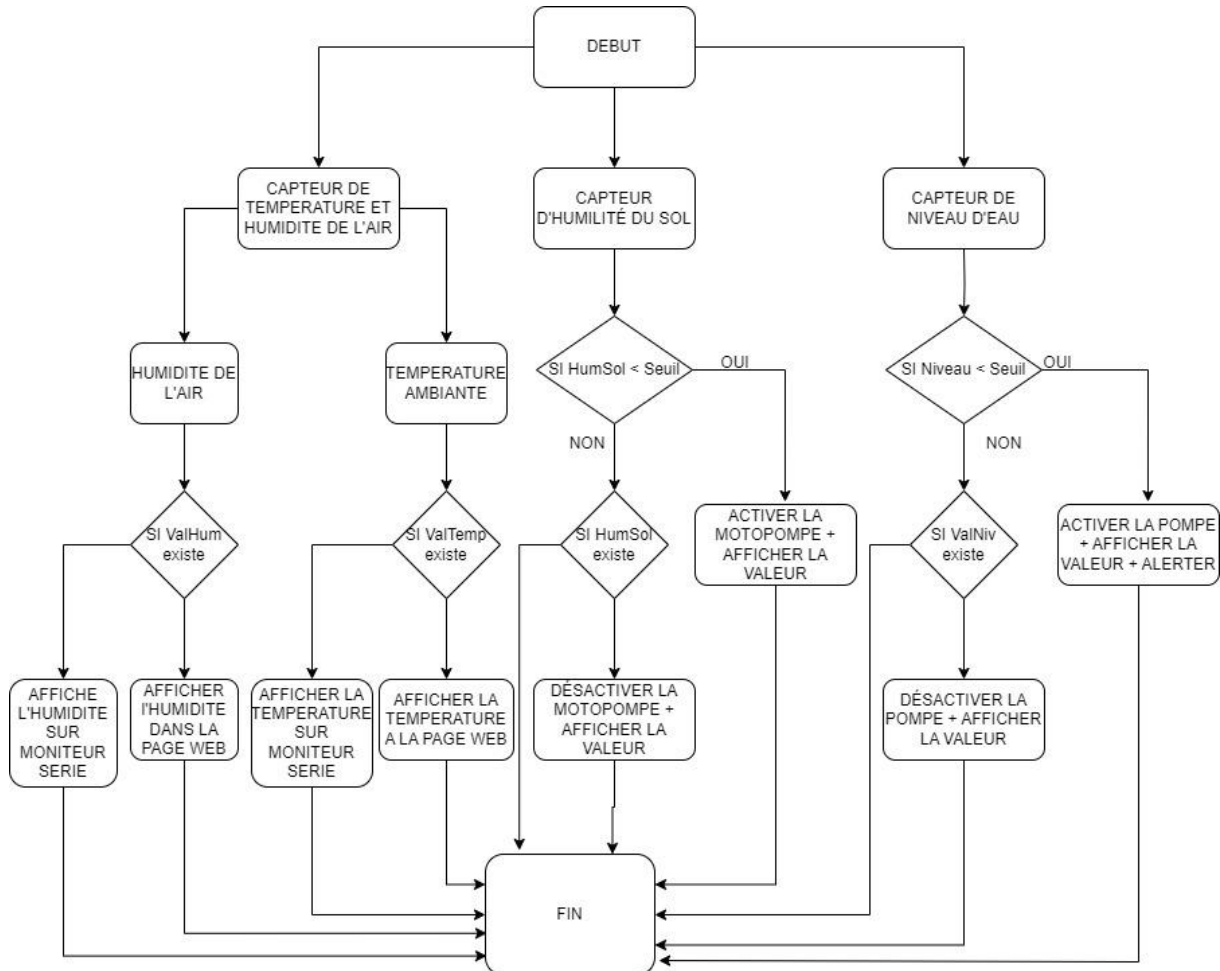


Figure 19: organigramme fonctionnel du projet

II.7. Conclusion Partielle

Dans ce chapitre portant sur la conception de notre système d'arrosage automatique nous avons alors une idée sur le système à réaliser avec son principe de fonctionnement. A savoir que ces éléments repris précédemment dans le cahier de charges sont les différents éléments constitutifs de notre système d'arrosage tout en justifiant le choix de chacun de par leurs différentes caractéristiques en fin de faciliter la réalisation de notre système d'arrosage automatique.

C'est dans le chapitre suivant que nous montrerons les différentes étapes, plus en détails que nous aurons suivies pour la réalisation de notre système d'irrigation automatique.

Chapitre 3 : Réalisation du système d'arrosage

III.1. Introduction

Dans ce chapitre final, nous abordons la réalisation de notre projet d'arrosage automatique qui est un système intelligent permettant de maintenir un niveau d'humidité optimal pour les plantes sans nécessiter une surveillance constante de l'homme.

Grâce à l'utilisation de capteurs de température, d'humidité du sol, de niveau d'eau, des microcontrôleurs et de pompes, ce système intelligent est capable de détecter le besoin en eau de plantes et d'ajuster automatiquement l'arrosage en conséquence mais aussi le niveau d'eau dans le réservoir sera surveillé pour éviter certains désagréments lors de l'arrosage.

Ce chapitre va consister à mettre en lumière le côté pratique de ce que nous avons eu à concevoir dans le chapitre précédent. Ce chapitre-ci sera subdivisé en deux grandes parties : l'une est logicielle dans laquelle nous présentons les outils utilisés pour le développement des programmes à embarquer dans notre microcontrôleur, et dans l'autre partie matérielle nous allons détailler les montages électroniques de notre système d'arrosage, communiquant avec le smartphone.

III.2. Partie logicielle

C'est dans cette partie où nous traitons les différents programmes pilotant notre système, à embarquer dans la carte ESP8266 à l'aide de l'IDE Arduino.

III.2.1. Présentation du Logiciel Arduino IDE

Le logiciel Arduino est un Environnement de Développement Intégré (IDE) open source et gratuit, téléchargeable sur le [site officiel Arduino](#).

L'IDE Arduino permet :

- D'éditer **un programme** : un programme est composé de **croquis** (sketch en Anglais), les programmes sont écrits en langage C ;
- De **compiler ce programme** dans le langage « machine » de l'Arduino, la compilation est une traduction du langage C vers le langage du microcontrôleur ;
- De **téléverser** le programme dans la mémoire de l'Arduino.
- De **communiquer** avec la carte Arduino grâce au **terminal** (ou **moniteur série**).

[33]

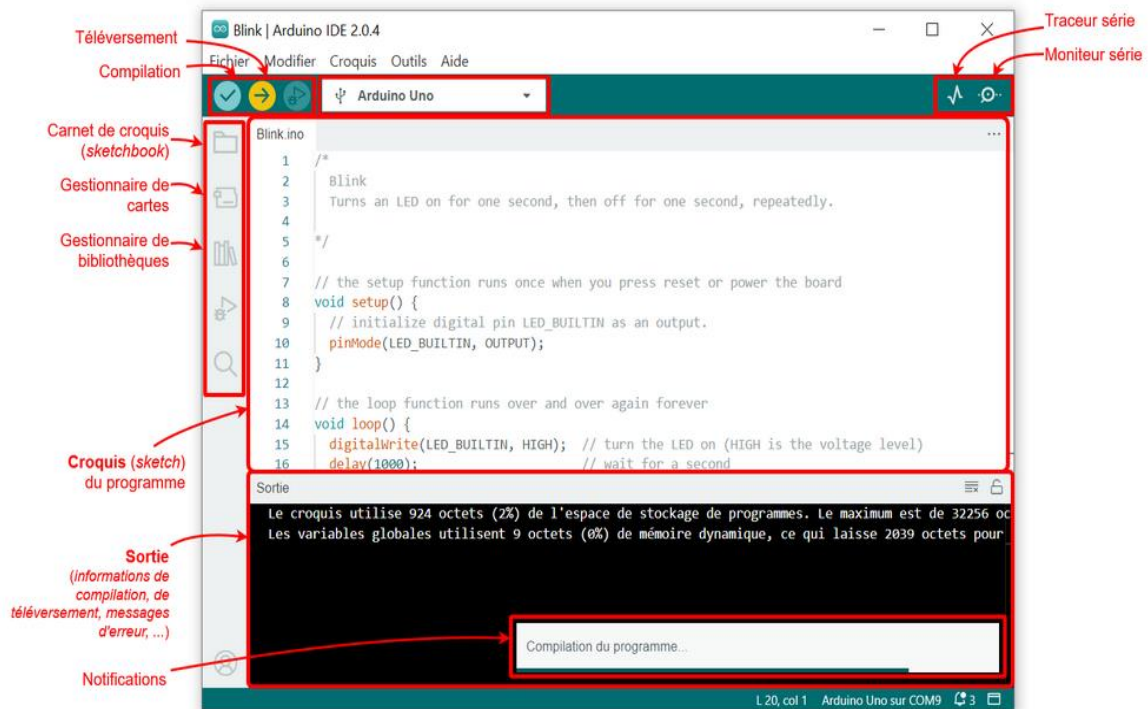


Figure 20: Interface du logiciel Arduino IDE [34]

III.2.2. Programmation des capteurs

Notre système d'arrosage automatique fonctionne selon le programme embarqué dans la carte ESP8266, et ici nous illustrerons son fonctionnement par des portions de codes qui mettent en marche les diverses parties de notre système.

Dans le système actuel, les capteurs de température et d'humidité du sol seront installés directement dans le champ. Le capteur d'humidité sera enterré dans le sol, à proximité des plantes, afin de collecter des données précises sur l'humidité et la température ambiantes. Par ailleurs, un capteur de niveau d'eau sera positionné au-dessus du réservoir pour fournir des informations en temps réel sur la quantité d'eau disponible.

Ensuite ces différentes données prélevées par nos capteurs seront transmises à la page web qui pourra les visualiser sur n'importe quel dispositif connecté à notre réseau.

❖ Capteur de température et d'humidité

Le capteur DHT11 prélève le degré de température en °C et le niveau d'humidité dans l'air exprimé en %, on présente la portion de code exécutant ces mesures et les envoyer à la page web, voir à l'Annexe 1 et Annexe 2.

❖ Le capteur de l'humidité du sol

Ce deuxième capteur est celui qui est enfoncé dans le terrain agricole, car c'est de là qu'il fait les prélèvements du taux d'humidité du sol qu'on va exprimer en % ; une portion du code est illustrée par l'Annexe 3.

❖ Capteur de niveau d'eau

Ce capteur placé au-dessus du réservoir mesure le niveau de l'eau à l'intérieur grâce aux ultrasons voire les codes aux annexes 4 et 5.

III.2.3. Création d'un serveur web avec l'ESP8266

Dans cette partie nous montrons comment on est parvenu à créer un serveur Web servant de fichiers HTML, CSS et JS stockés sur le système de fichier ESP8266 NodeMCU à l'aide de l'IDE Arduino. Ici dans notre code nous avons créé les fichiers Html, CSS et JS dans notre esquisse Arduino. [35]

Le serveur Web que nous avons créé nous a permis de :

- Contrôler la motopompe via la page Web grâce aux requêtes
- Avoir les données prélevées par les capteurs au niveau de la page web
- Afficher l'état actuel de la pompe d'arrosage

Prérequis pour la création du serveur Web

1. **Avoir L'IDE Arduino** déjà bien installé ;
2. **Installer la carte ESP8266** dans l'IDE Arduino;
3. **Plugin de téléchargement de ce système de fichiers :**

Pour télécharger des fichiers sur le système de fichiers Flash ESP8266 SPI, nous utilisons le plugin Filesystem Uploader.

Pour installer ce plugin dans l'IDE Arduino nous suivons les étapes suivantes :

- Cliquez sur le lien <https://github.com/esp8266/arduino-esp8266fs-plugin/releases> pour télécharger le fichier.

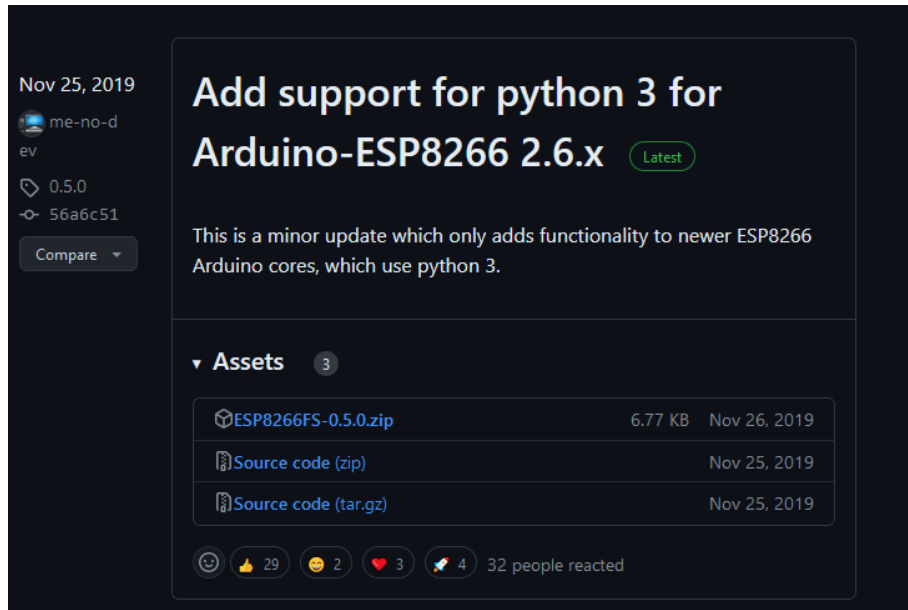


Figure 21: Page Web Git pour télécharger le système de fichier ESP8266

- Accéder au répertoire Arduino IDE et ouvrir dossier : Outils se trouvant dans le chemin d'accès suivant :



Figure 22: Image illustrant le chemin d'accès.

- Décompresser le fichier téléchargé. Zip vers le dossier « Tools », du coup on a une structure de données pareille : `<home_dir>/Arduino-<version>/Tools/esp8266fs.jar`
- Enfin, on redémarre notre IDE Arduino

4. Installation des bibliothèques nécessaires

Pour créer un serveur Web nous aurons besoin des librairies suivantes qui souvent ne sont pas disponible au téléchargement via le gestionnaire de bibliothèque Arduino IDE c'est pour cela que bon nombre d'entre eux seront accompagnés ici par leur lien de téléchargement sur le net.

Nous aurons donc besoin des bibliothèques suivantes :

- La librairie **ESPAsyncWebServer** : qui sera trouvé grâce au lien de téléchargement suivant <https://github.com/me-no-dev/ESPAsyncWebServer/archive/master.zip> ensuite on va décompresser le fichier .zip téléchargé ensuite le renommer en

ESPAsyncWebServer puis le copier dans le dossier des bibliothèques de notre Arduino IDE puis redémarrer le logiciel Arduino IDE.

➤ La librairie **ESPAsyncTCP** : qui sera trouvé grâce au lien de téléchargement suivant <https://github.com/me-no-dev/ESPAsyncTCP/archive/master.zip> ensuite on va suivre la même procédure que pour la première bibliothèque mais ici on va renommer le dossier en ESPAsyncTCP, en fin rouvrir l'Arduino IDE.

➤ Les librairies **ESP8266WiFi**, **ESP8266WebServer**, **WiFiClient** Elles sont facilement téléchargeables dans le gestionnaire des bibliothèques de notre Arduino IDE.

Le code sera organisé de manière suivante :

- Tout d'abord nous allons inclure les différentes bibliothèques nécessaires pour notre projet :

```
#include <Wire.h>
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <WiFiClient.h>
#include <ESP8266WebServer.h>
#include <DHT.h>
```

Figure 23: listes des bibliothèques nécessaires pour le projet

- Ensuite créer des variables contenant nos identifiants réseau :

```
const char* ssid = "Nom_du_resau";
const char* password = "mot_de_passe";
```

Figure 24: variables identifiant le réseau de l'ESP8266

- Définition du port pour notre serveur Web qui est le port 80 généralement par le code suivant : **ESP8266WebServer server (80) ;**
- Puis dans notre fonction de configuration void setup () nous mettrons le code tel illustré à l'Annexe 6 au niveau des Annexes :

En respectant les directives illustrées ci-haut nous parvenons à créer notre serveur Web avec ESP8266 WebServer et accéder à ce dernier une fois connecté au réseau établi via l'adresse IP défini qui est souvent le 192.168.4.1 tapé au niveau de notre navigateur web et c'est ainsi que nous aurons accès à notre ressource.

III.3. Partie matérielle

IV.3.1. Circuit de simulation avec la carte ARDUINO sous PROTEUS PROFESSIONAL

À la figure 25 voici le schéma de simulation de notre code à mettre pratiquement dans le microcontrôleur ESP8266 avec une carte Arduino sous proteus.

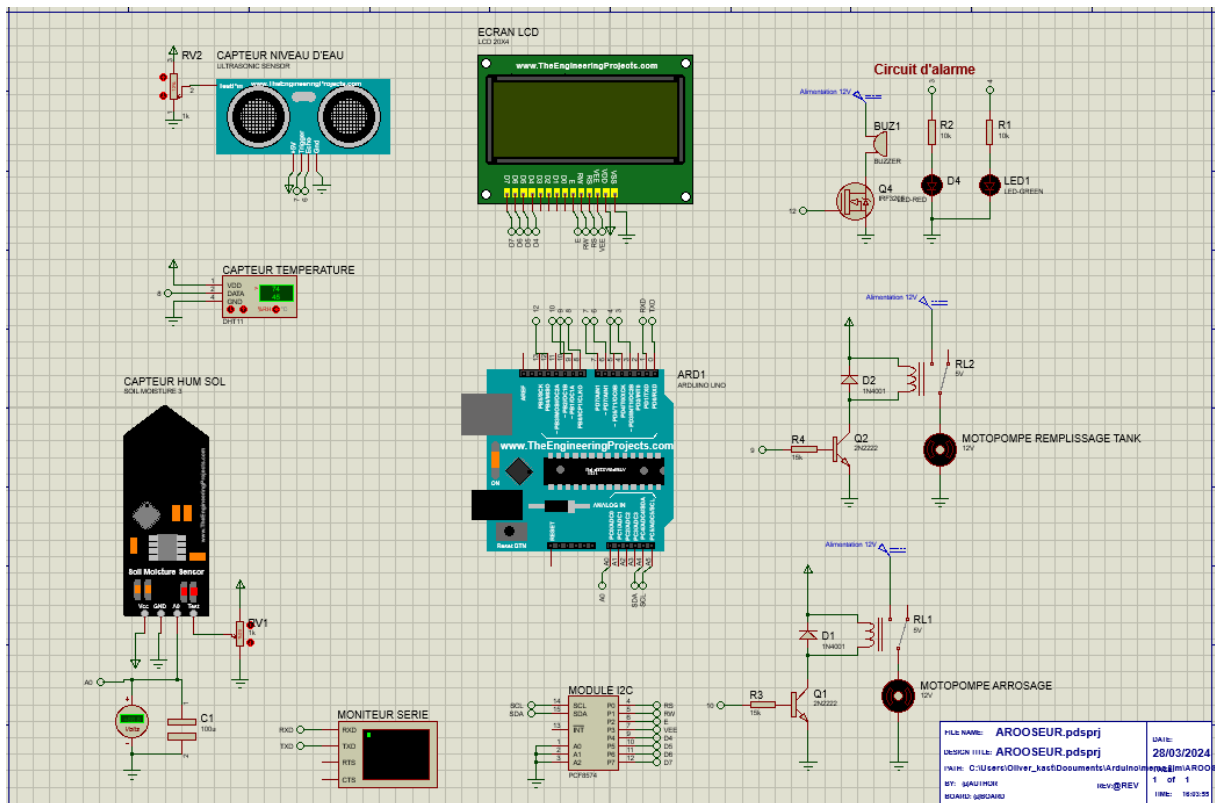


Figure 25: Circuit de simulation sous proteus

IV.3.2. Mise en marche

IV.3.2.1. Mise en marche de la simulation proteus

Après la réalisation du montage dans le logiciel Proteus Professional nous avons procédé à une simulation avec un écran LCD comme afficheur de données car ici nous n'avons pas eu la possibilité de simuler avec le smart phone et ici nous allons montrer les différents résultats trouvés lors de la simulation proteus du montage global mis ci-haut.

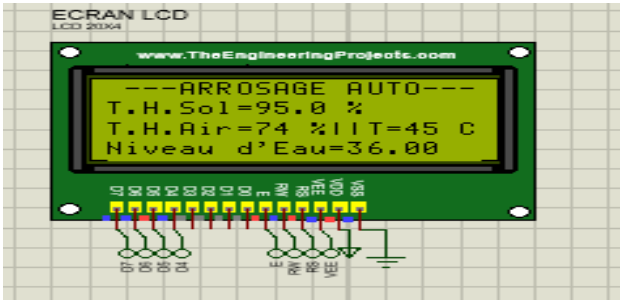


Figure 26: Image des résultats issus des capteurs sur écran LCD

IV.3.2.2. Déroulement de la mise en marche sous Proteus

a. Le capteur d’humidité du sol

Tout d’abord nous constatons ici sur le montage réalisé que le taux d’humidité est affiché sur l’écran LCD ensuite comparé au seuil que nous avons prédéfini dans le code pour enclencher ou arrêter l’arrosage de plantes c’est ainsi que sous ce seuil là le système va considérer le sol comme Sec et au-dessus du seuil comme humide, c’est alors que sur les figures suivantes nous verrons le résultat de cela dans le moniteur Série de la carte qui va nous afficher l’état sec ou humide du sol ainsi que un message signalant l’activation ou l’arrestation de la moto pompe chargé d’arroser et nous constaterons cela en regardant le contact du relais déjà à l’état fermé ou ouvert pour ainsi alimenter ou mettre hors service notre moto pompe.

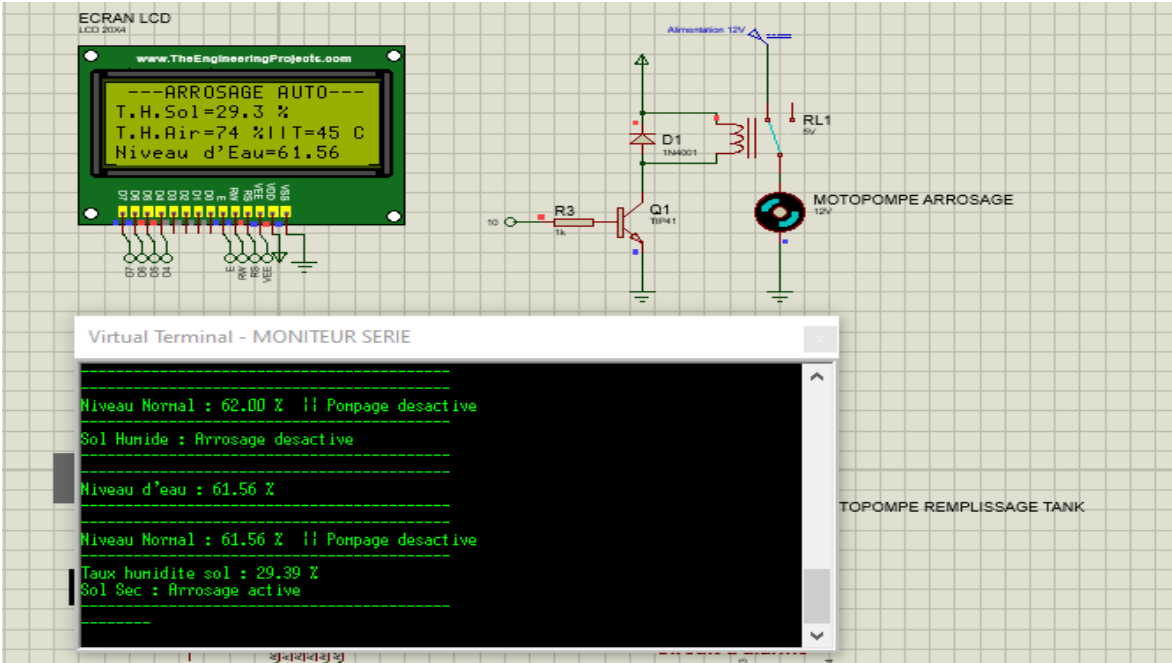


Figure 27: Illustration sur le capteur d'humidité du sol -> sol sec

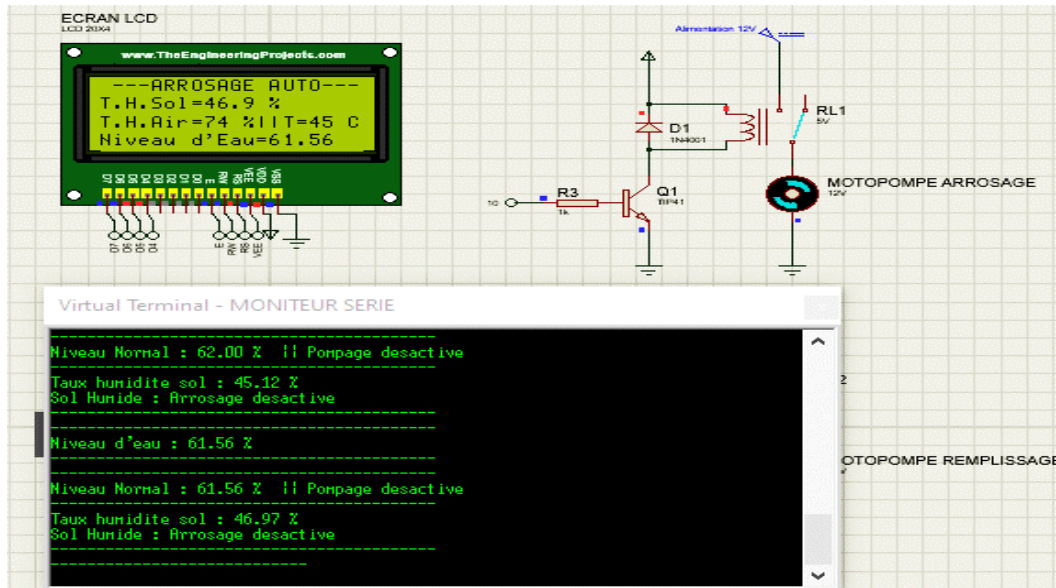


Figure 28: Illustration sur le capteur d'humidité du sol -> sol humide

b. Gestion de l'eau dans le tank par le capteur de niveau d'eau

Pour la gestion de l'eau le capteur ultrasonique disponible pour la simulation le niveau de l'eau sera simulé par un potentiomètre et c'est ce résultat que nous aurons à visualiser sur notre écran LCD et ainsi constater les différents comportements du système de pompage pour remplir le réservoir vis-à-vis de cela.

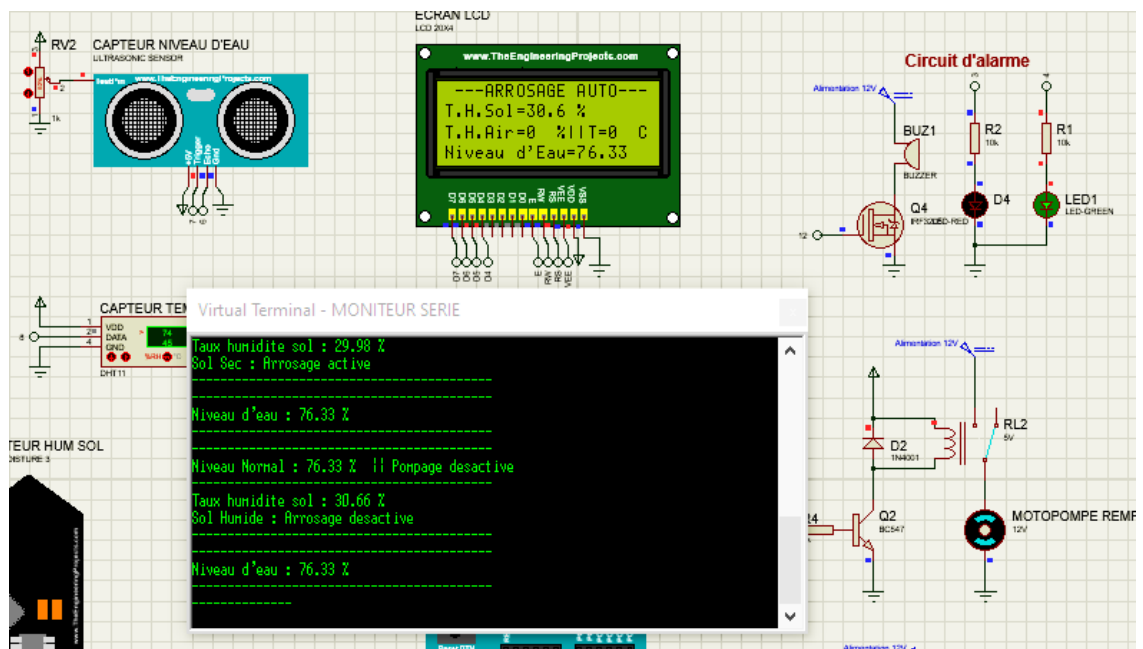


Figure 29: Illustration de la mesure du niveau d'eau et circuit d'alarme

Ici en tirant un peu attention nous remarquerons la présence d'un Buzzer et de deux LEDs dont l'une Rouge et l'autre Verte et ici nous voyons que lorsque le niveau d'eau est normal c'est la LED verte qui

est allumée et on remarquera plus tard lorsque le niveau est tellement bas que le circuit d'alarme sera enclenché par le retentissement du buzzer et l'allumage d'une LED rouge mais aussi le circuit de pompage pour le remplissage du réservoir est enclenché.

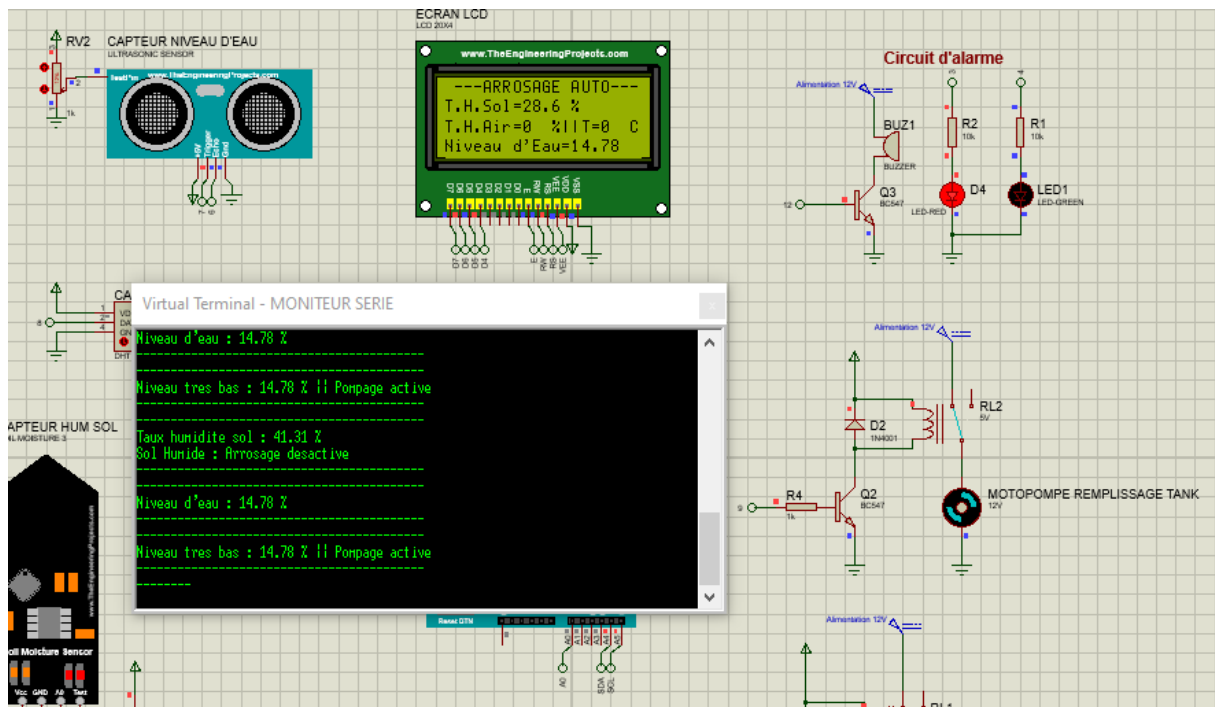


Figure 30: illustration du cas de niveau bas du réservoir et enclenchement de la pompe

IV.3.2.3. Mise en marche du montage réalisé

Avant de réaliser cette partie nous avons besoin de mettre ensemble les matériels essentiels (matériels présents dans le cahier de charge) pour la réalisation en fin de mettre en place notre maquette et faire fonctionner notre système d'arrosage automatique qui sera par le biais d'un programme basé sur la programmation du circuit esp8266 sur le quel est branché différents capteurs se chargeant de récolter les données sur le champs et ainsi nous les envoyer sur le serveur esp8266 d'où l'utilisateur pourra accéder à ses informations sur son smartphone, iPhone ou encore un ordinateur bref tout appareil pouvant se connecter à un réseau wifi et accéder au serveur moyennant un navigateur web où il aura à taper l'adresse IP de notre serveur et ainsi les données de nos capteurs pourront s'afficher là-bas et ça sera par le traitement de ces différentes informations récoltées que le programme dans notre microcontrôleur(PIC) va enclencher ou non nos différents actionneurs(motopompes,...).

Aux figures suivantes nous montrons la maquette du système réalisé ainsi que diverses parties de celle-ci :



Figure 31: Maquette globale de notre système réalisé



Figure 32: capteur d'humidité du sol enfui dans la terre pour en récolter le taux d'humidité



Figure 33: capteur d'humidité et de température de l'air ambiant dans le champ



Figure 34: Capteur de niveau d'eau placé sur le couvercle du réservoir



Figure 35: pompe immergée dans le réservoir pour aspirer de l'eau

IV.3.2.4. Déroulement de la mise en marche du système réalisé

- i. Tout d'abord les capteurs et actionneurs sont connectés sur notre système de contrôle ensuite placé chacun à sa place convenable tel qu'illustré sur les images précédentes qui sont les figures 31, 32, 33, 34, et 35 dans le but qu'ils puissent assurer au mieux leurs différents rôles que ça soit dans la récolte des données ou dans le déclenchement d'un certain événement.
- ii. Ensuite, après avoir testé nos composants décrits dans le chapitre précédent nous avons eu à réaliser notre circuit.
- iii. Lorsque le système est branché nous remarquerons sur la liste de réseaux sans fil disponible dans notre entourage sur notre appareil (téléphone portable, pc, ...) l'apparition du nom du réseau que nous avons configuré sur l'ESP8266 qui est « **kastIrrigation** ».

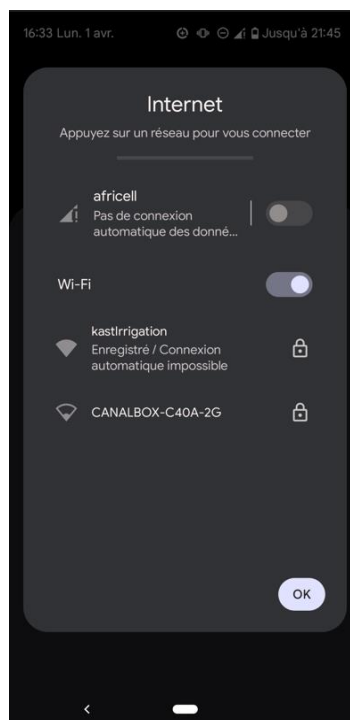


Figure 36: Illustration de l'apparition de notre réseau sur le smartphone.

- iv. Une fois qu'on est connecté au réseau wifi au niveau du navigateur on est appelé à entrer l'adresse IP suivant : 192.168.4.1 qui va nous conduire à notre page où nous serons présentées les différentes données récoltées au niveau du champs par les différents capteurs disponibles sur place ainsi que différents boutons de commande assurant la commande à distance du système.
Sur les figures 37(a), 37(b) et 38 suivantes nous allons illustrer ces différentes étapes :

- v. Une fois que l'on est connecté au réseau sur le système nous aurons à constater les résultats suivants :

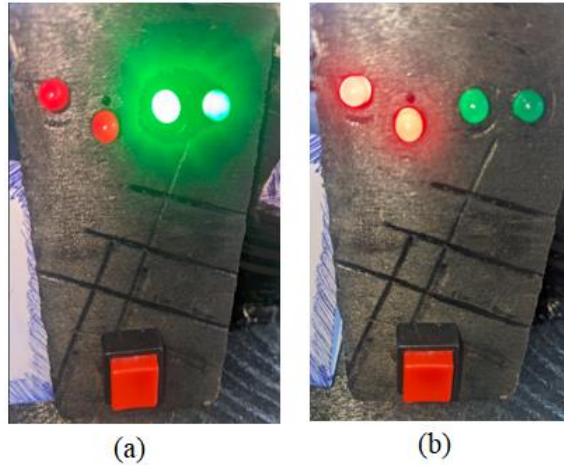


Figure 37: Signalisation du niveau d'eau dans le réservoir. (a) LEDs vertes allumées cà niveau normal. (b) LEDs rouges allumées cà niveau bas et déclenchement du buzzer

- o Pour la lecture des données des différents capteurs, ces derniéres seront affichées sur notre page Web et sur le moniteur Série d'Arduino lorsque la carte est connectée au PC via un c&able USB comme illustrée à la figure 39 suivante :

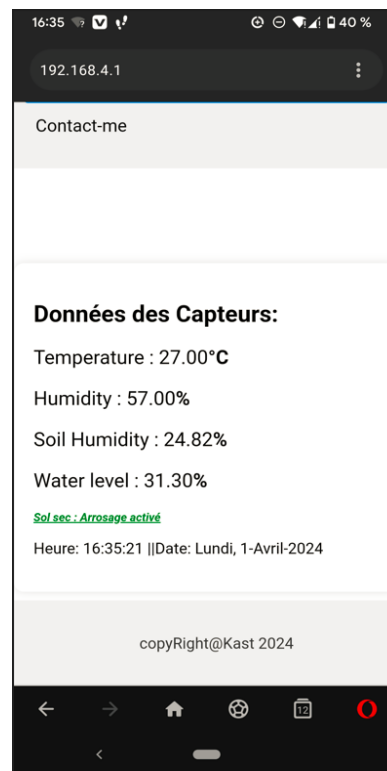
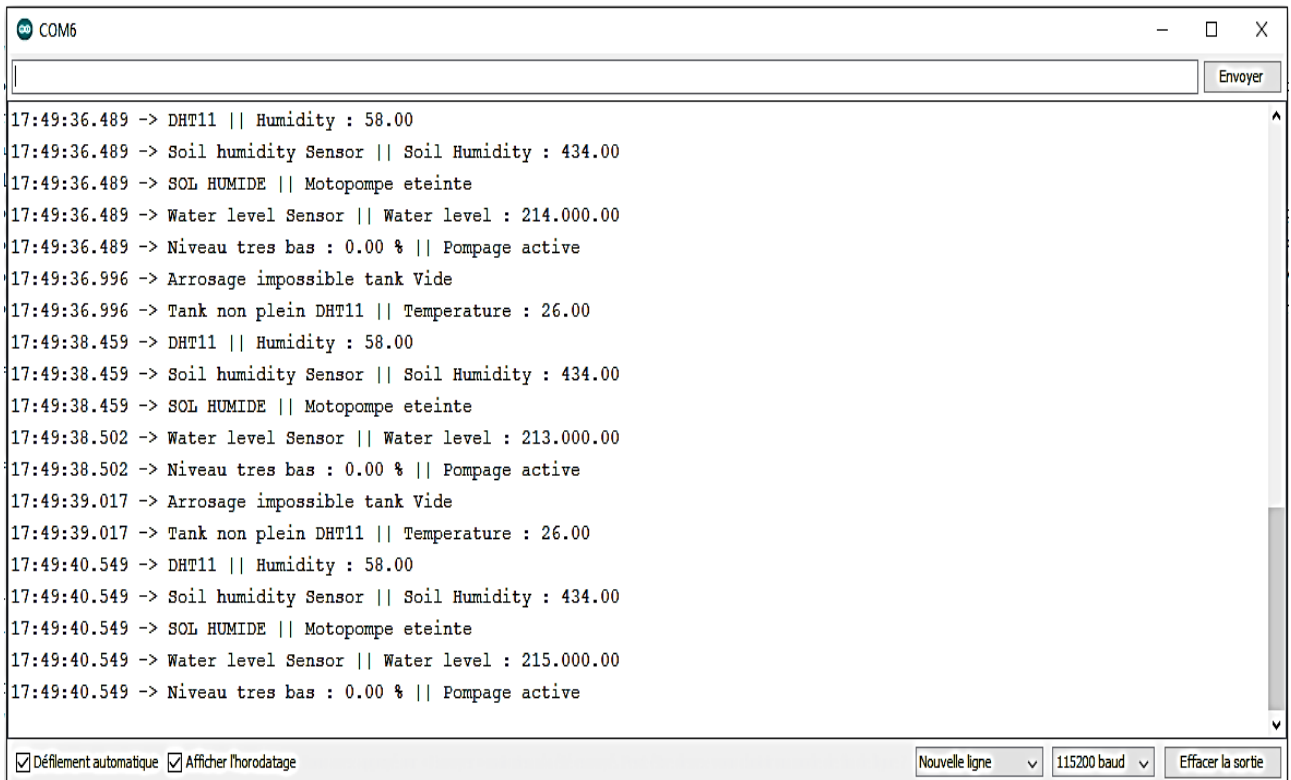


Figure 38: lecture des données du champ au niveau de la page Web



The screenshot shows a serial monitor window titled 'COM6'. The main area displays a series of timestamped log messages from a sensor system. The messages include data for DHT11 humidity, soil humidity, SOL HUMIDE status, water level, and pump status. The status messages indicate that the pump is currently active and that irrigation is impossible due to an empty tank. The control panel at the bottom includes checkboxes for 'Défilement automatique' and 'Afficher l'horodatage', and buttons for 'Nouvelle ligne', '115200 baud', and 'Effacer la sortie'.

```
17:49:36.489 -> DHT11 || Humidity : 58.00
17:49:36.489 -> Soil humidity Sensor || Soil Humidity : 434.00
17:49:36.489 -> SOL HUMIDE || Motopompe eteinte
17:49:36.489 -> Water level Sensor || Water level : 214.000.00
17:49:36.489 -> Niveau tres bas : 0.00 % || Pompage active
17:49:36.996 -> Arrosage impossible tank Vide
17:49:36.996 -> Tank non plein DHT11 || Temperature : 26.00
17:49:38.459 -> DHT11 || Humidity : 58.00
17:49:38.459 -> Soil humidity Sensor || Soil Humidity : 434.00
17:49:38.459 -> SOL HUMIDE || Motopompe eteinte
17:49:38.502 -> Water level Sensor || Water level : 213.000.00
17:49:38.502 -> Niveau tres bas : 0.00 % || Pompage active
17:49:39.017 -> Arrosage impossible tank Vide
17:49:39.017 -> Tank non plein DHT11 || Temperature : 26.00
17:49:40.549 -> DHT11 || Humidity : 58.00
17:49:40.549 -> Soil humidity Sensor || Soil Humidity : 434.00
17:49:40.549 -> SOL HUMIDE || Motopompe eteinte
17:49:40.549 -> Water level Sensor || Water level : 215.000.00
17:49:40.549 -> Niveau tres bas : 0.00 % || Pompage active
```

Figure 39: Résultats fournis par les capteurs visualisés au moniteur série

III.4. Conclusion partielle

Ce chapitre a été consacré à la réalisation d'un système d'arrosage automatique à l'aide d'une carte ESP8266. Cette carte communique avec un appareil (smartphone ou PC) via sa carte wifi, sur laquelle l'appareil est connecté. Nous avons ainsi vu comment le portable peut accéder aux informations des capteurs en temps réel. De plus, nous avons présenté différentes illustrations des étapes pour la réalisation de notre système, telles que la simulation Proteus, l'incorporation de l'ESP8266 dans le logiciel Arduino IDE, la maquette du montage, sans oublier les programmes mis au sein de la carte ESP8266.

Conclusion générale et perspectives

Notre étude a porté sur la conception et la réalisation d'un système d'arrosage automatique basé sur le microcontrôleur ESP8266. L'arrosage est devenu une préoccupation majeure en raison des changements climatiques, de la rareté des précipitations et des problèmes liés à la gestion de l'eau. Notre travail s'est articulé autour de quatre grandes parties.

Les tests effectués ont démontré l'efficacité du système en termes de collecte de données des capteurs et de gestion du niveau d'eau dans le réservoir, confirmant ainsi notre objectif d'optimiser l'arrosage.

Il est important de reconnaître que notre travail présente des limites et des possibilités d'amélioration. Comme toute recherche scientifique, il est sujet à des ajustements et à des développements ultérieurs par les prochains chercheurs pour affiner les résultats obtenus. De plus, la dimension humaine de cette étude implique une part de subjectivité dans l'analyse des données. Il est donc essentiel de rester ouvert aux critiques constructives et aux nouvelles perspectives qui pourraient enrichir notre compréhension du sujet traité.

Il faut souligner que malgré les défis rencontrés, tels que les limitations du module ESP8266 en termes d'entrées/sorties, nous avons obtenu des résultats positifs qui nous encouragent à envisager des améliorations pour l'avenir. Ces pistes incluent l'intégration d'une API météo, d'un capteur de débit, d'une base de données, de capteurs de pH et de salinité du sol, ainsi que la réflexion sur l'intégration de l'intelligence artificielle pour une gestion plus précise de l'arrosage.

Bibliographie

- [1] W. Nicola, «Rapport_de_projet_IMA_4, Hydroponie,» 2015-2016 .
- [2] N. ARROSAGE, «La végétation et son arrosage: une solution contre le changement climatique,» 9 juillet 2016. [En ligne]. Available: <https://www.n2b-arrosage.com//blog/arrosage-solution-changement-climatique/>.
- [3] «Les innovations digitales vont réinventer l'agriculture,» [En ligne]. Available: www.latribune.fr/. [Accès le juin 2023].
- [4] J.-R. R. J.-l. W. Dominique LUZEAUX, «Introduction à l'ingénierie système - Les concepts généraux,» *Techniques de l'ingénieur*, n° %1Réf : S7300 v1, 10 mars 2021.
- [5] «Wikipédia,» [En ligne]. Available: <https://fr.wikipedia.org/wiki/Irrigation>. [Accès le 6 mars 2024].
- [6] C. Brouwer, Division de la mise en valeur des terres, FAO, Gestion des eaux en irrigation, Manuel de formation no.5, Méthodes d'irrigation, Rome, 1990.
- [7] «Maxi mag,» 7 juillet 2021. [En ligne]. Available: <https://www.maxi-mag.fr/maison-jardin/jardin/comment-ne-pas-faire-mourir-ses-plantes.html>. [Accès le 6 mars 2024].
- [8] Israel Broner, Reqgen Watson, Rachel Barta, «Les techniques d'irrigation agricole,» *Irrigazette*, 9 Octobre 2015.
- [9] «Aquaportail.com,» 2006. [En ligne]. Available: <https://www.aquaportail.com/dictionnaire/definition/6677/ruissellement>. [Accès le 2024 mars 6].
- [10] «ResearchGate,» 2008. [En ligne]. Available: https://www.researchgate.net/figure/Planches-en-cours-dirrigation_fig43_332233359. [Accès le 2024 mars 6].
- [11] I. B. Rachel Barta, «Les techniques d'irrigation agricole,» 9 octobre 2015. [En ligne]. Available: <https://irrigazette.com/fr/articles/les-techniques-dirrigation-agricole>. [Accès le 6 mars 2024].
- [12] «Shutterstock,» 2024. [En ligne]. Available: <https://www.shutterstock.com/fr/search/basin-irrigation>. [Accès le 2024 mars 16].
- [13] A. GALLAND, «L'irrigation en grande culture,» *blog ISAGRI*, 3 mars 2023.
- [14] «Agronomie,» 2024. [En ligne]. Available: <https://agronomie.info/fr/irrigation-sous-pression/>. [Accès le 2024 mars 17].

- [15] «Agri Expo,» [En ligne]. Available: <https://www.agriexpo.online/fr/fabricant-agricole/systeme-arrosage-goutte-a-goutte-8601.html>. [Accès le 2024 mars 16].
- [16] Polaridad.es, «Polaridad.es,» [En ligne]. Available: <https://polaridad.es/fr/analyse-des-avantages-et-desavantages-d-arduino-dans-l-electronique-moderne>. [Accès le 28 janvier 2024].
- [17] Union des Entreprises pour la protection des jardins publics(UPJ), «La Clinique des plantes,» UPJ, 2022. [En ligne]. Available: <https://www.cliniquedesplantes.fr>. [Accès le 28 février 2024].
- [18] LEILA, «Promesse de fleurs,» 30 Juillet 2023. [En ligne]. Available: <https://promessedefleurs.com/conseil-plantes-jardin/ficheconseil/plante-assoiee-ou-trop-arrosee/>. [Accès le 28 février 2024].
- [19] «Module NodeMcu 8266 GO-TRONIC,» [En ligne]. Available: <https://www.gotronic.fr/art-module-nodemcu-esp8266-27744.htm>. [Accès le 7 mars 2024].
- [20] «NAYLAMP MECHATRONICS,» [En ligne]. Available: <https://naylampmechatronics.com/espressif-esp/153-nodemcu-v2-esp8266-wifi.html>. [Accès le 7 mars 2024].
- [21] D. Watson, «The engineering projects,» 2010. [En ligne]. Available: <https://www.theengineeringprojects.com/2018/08/esp8266-pinout-datasheet-features-applications.html>. [Accès le 7 mars 2024].
- [22] M. Soft, «Moussa Soft,» [En ligne]. Available: www.moussasoft.com/dht11. [Accès le 6 mars 2024].
- [23] «Deltakit,» 2024. [En ligne]. Available: <https://www.deltakit.net/product/capacitive-soil-moisture-sensor-v1-2/>. [Accès le 7 mars 2024].
- [24] M. Soft, «Moussa Soft,» 19 janvier 2024. [En ligne]. Available: <https://www.moussasoft.com/capteur-capacitif-dhumidite-de-sol-v1-2-arduino>. [Accès le 7 mars 2024].
- [25] M. Hobby, «Mc Hobby,» 2023. [En ligne]. Available: <https://shop.mchobby.be/fr/proximite-distance/561-capteur-distance-ultrason-hc-sr04-3232100005617.html>. [Accès le 7 mars 2024].
- [26] «Conrad,» 2015. [En ligne]. Available: <https://www.conrad.cz/cs/p/tru-components-srd-s-112d-1464395-rele-do-dps-monostabilni-1-civka-277-v-ac-12-a-1-ks-1570546.html>. [Accès le 7 mars 2024].
- [27] J. LeDuc, «DigiKey,» 21 12 2017. [En ligne]. Available: <https://www.digikey.fr/fr/articles/transistor-basics>. [Accès le 8 mars 2024].

- [28] «Nyereka Tech,» 2024. [En ligne]. Available: <https://nyerekatech.com/shop/2n2222a-npn-transistor/>. [Accès le 17 mars 2024].
- [29] F. S. conductor, 2N2222A Datasheet.
- [30] «ElectroMaShop,» [En ligne]. Available: <https://electromashop.com/produit/mini-pompe-dc-3-5v-70-120l-h-water-pump-pour-arduino/>. [Accès le 17 avril 2024].
- [31] «Fruugo,» [En ligne]. Available: <https://www.fruugo.be/10pcs-active-buzzer-3v-5v-12v-16r-tmb12a03-tmb12a05-tmb12a12-magnetique-long-beep-tone-continu-12095-12-95mm-16r-buzzer-passif/p-251932502-545566537?language=fr>. [Accès le 1 mai 2024].
- [32] «sonolec-musique.com,» [En ligne]. Available: https://www.sonelec-musique.com/electronique_theorie_led.html. [Accès le 17 mars 2024].
- [33] «arduino.blaisepascal.fr,» [En ligne]. Available: <https://arduino.blaisepascal.fr/presentation/logiciel/>. [Accès le 26 mars 2024].
- [34] «BlaisePascal,» [En ligne]. Available: <https://arduino.blaisepascal.fr/presentation/logiciel/>. [Accès le 24 mars 2024].
- [35] «Youpilab Education,» 11 octobre 2023. [En ligne]. Available: <https://education.youpilab.com/course/creation-dun-serveur-web-avec-esp8266>. [Accès le 25 mars 2024].
- [36] B. S. Mostefai Mohammed Amine, Introduction au Génie logiciel, 2011.
- [37] Prof. Dr. Ing. Olivier MUSHAGE, «Notes du Cours d'AUTOMATIQUE G3GEI,» Goma, 2019.
- [38] E. Some, «Electro Some,» [En ligne]. Available: <https://electrosome.com/interfacing-dht11-sensor-esp8266/>. [Accès le 7 mars 2024].

Annexes

Annexe 1 : Code de la fonction de lecture et envoi des données sur la température du capteur dht11

```
void handleDHT11Temperature(){
    float t = dht.readTemperature();
    String Temperature_Value = String(t) ;
    server.send(200, "text/plain", Temperature_Value);
    if(isnan(t)){
        Serial.println("Fail to read temperature from dht !") ;
    } else{
        Serial.print("DHT11 || Temperature : ") ;
        Serial.println(t) ;
    }
}
```

Annexe 2 : Code de la fonction de lecture et envoi des données sur l'humidité de l'air du capteur dht11

```
void handleDHT11Humidity(){
    float h = dht.readHumidity();
    String Humidity_Value = String(h);
    server.send(200, "text/plain", Humidity_Value);
    if(isnan(h)){
        Serial.println("Fail to read Humidity from dht !");
    }else{
        Serial.print("DHT11 || Humidity : ");
        Serial.println(h);
    }
}
```

Annexe 3 : Code de la fonction de lecture et envoi des données sur l'humidité du sol

```
void handleSoilHumidity(){
    float sensorValue = analogRead(sensorPin);
    float valhs = 1024 - sensorValue;
    float voltage = valhs / 205;
    float humidity = valhs / 9.83;
    String SoilHumidity_Value = String(humidity);
    server.send(200, "text/plain", SoilHumidity_Value);
    if(isnan(sensorValue)){
        Serial.println("Fail to read Soil Humidity from Soil Humidity Sensor !");
    }else{
        Serial.print("Soil humidity Sensor || Soil Humidity : ");
        Serial.println(sensorValue);
    }
}
```

Annexe 4 : Code de la fonction pour envoyer le niveau d'eau au server

```

void handleWaterLevel(){
  double distance = mesurerDistance();
  if(distance >= hauteur){
    niveau = 0.0;
  }else{
    niveau = 100 - ((distance * 100)/hauteur); //Convertir en percent
  }
  String WaterLevel_Value = String(niveau);
  server.send(200, "text/plain", WaterLevel_Value);
  if(isnan(niveau)){
    Serial.println("Fail to read Water Level to the Sensor !");
  }else{
    Serial.print("Water level Sensor || Water level : ");
    Serial.print(distance);
    Serial.println(niveau);
  }
}

```

Annexe 5 : Code pour la fonction du calcul du niveau d'eau

```

long mesurerDistance(){
  long duration, distance; // debut du scannage
  digitalWrite (trigPin, LOW);
  delayMicroseconds(2); // les temporisations sont utiles pour une bonne
performance du capteur
  digitalWrite(trigPin, HIGH);
  delayMicroseconds(10); //
  digitalWrite(trigPin, LOW);
  duration = pulseIn(echoPin, HIGH);
  distance = (duration/2) / 29.1; // Conversion de la distance en cm
  return distance;
}

```

Annexe 6 : Code pour la configuration du réseau dans la fonction void setup ()

```

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  delay(500);
  dht.begin();
  delay(500);
  WiFi.softAP(ssid, password);
  IPAddress myIP = WiFi.softAPIP();
  Serial.print("Access Point IP :");
  Serial.println(myIP);
  Serial.println("");
  server.on("/", handleRoot);
  server.on("/readSoilHumidity", handleSoilHumidity);
}

```

```

server.on("/readTemperature", handleDHT11Temperature);
server.on("/readHumidity", handleDHT11Humidity);
server.on("/readWaterLevel", handleWaterLevel);
server.on("/motoPompeOn", handlemotoPompeOn);
server.on("/motoPompeOff", handlemotoPompeOff);
server.on("/PompeTankOn", handlePompeTankOn);
server.on("/PompeTankOff", handlePompeTankOff);
server.onNotFound(handleNotFound) ;
server.begin() ;
}

```

Annexe 6 : Calcul de la résistance de base pour le transistor en commutation

Données fournies :

- Résistance du collecteur(R_c) = 400 Ω
- Gain du transistor(β) = 100
- Type de transistor : NPN (2N2222)
- Tension d'alimentation(V_{cc}) : 12V
- Tension base-émetteur(V_{BE}) = 0.7V
- Tension de base(V_B) = 5V

Calculs :

- Calcul du courant collecteur(I_c)

$$I_c = \frac{V_{cc}}{R_c} = \frac{12V}{400\Omega} = 0.03A$$

- Calcul du courant de base(I_b)

$$I_b = \frac{I_c}{\beta} = \frac{0.03A}{100} = 0.0003A = 0.3mA$$

- Calcul de la résistance de base(R_B)

$$R_B = \frac{V_B - V_{BE}}{I_b} = \frac{5V - 0.7V}{0.0003} = 14333.3\Omega = \mathbf{14.3K\Omega}$$

D'où la valeur normalisée de **15K Ω** de la série E12