

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA-BOUMERDES



Faculté de Technologie

Mémoire de Master

Présenté par

CHELOUTI Ouiza

Filière : Automatique

Option : Automatique et Informatique Industrielle

Systeme de fertirrigation automatique

Devant le jury :

MESSAOUDI	Nourddine	MCA	UMBB	Président
AHRICH	Aimed	MCA	UMBB	Examineur
MILOUDI	Lalia	MCB	UMBB	Encadreur

Année Universitaire : 2019/2020

Remerciement

Tout d'abord je remercie le bon Dieu puissant de la bonne santé et la patience qu'il m'a donné tout au long de mes études.

Je présente mes remerciements avec mon profond respect à ma promotrice

Mm MILOUDI Lalia

Pour son suivi, sa patience et son aide, tout le long de la réalisation de ce travail.

Mes remerciements s'adressent également aux membres de jury qui m'ont fait l'honneur d'accepter de juger mon travail et à tous ceux qui ont participé de près ou de loin à l'élaboration de ce mémoire.

Je tiens à remercier tous mes enseignants du département de système d'ingénierie électrique

Je termine par un grand remerciement à ma maman ainsi qu'à ma grande sœur Nadjat et toute ma famille et mes amis pour leur soutien.

DÉDICACE

Je dédie ce travail à :

Ma chère mère qui n'a vécu que pour me voir réussir dans ma vie et avoir un bon statut social, A l'âme de mon père, qui j'ai toujours souhaité qu'il me voie grandir et réaliser tout ce qu'il souhaitait.

Mes chères sœurs et chers frères, et ses enfants.

A mes chères cousine, sœurs et amies, Saida et Amina qui ont été toujours à mes coté.

A mon jumeau d'âme Oussama qui m'encourageait toujours.

A tous ceux qui sont proches de moi et je n'ai pas cités leurs noms.

Résumé :

Ce projet est une étude et une simulation d'un système agricole qui combine la fertilisation et l'irrigation afin de réduire le gaspillage de ces ressources, qui ne sont pas pleinement absorbés par la plante. Donc le but de cette étude est de mettre en place un système où la fertilisation et l'arrosage sont localisés auprès de la plantes et mise en marche juste en cas de besoin, ce système de fertirrigation automatique est à base de microcontrôleur Arduino.

Abstract:

This project is a study and simulation of an agricultural system that combines fertilization and irrigation in order to reduce the wastage of these resources, which are not fully absorbed by the plant. So the goal of this study is to put a system where fertilization and watering are localized near to the plants and turned on just when needed, this automatic fertigation system is based on an Arduino microcontroller.

ملخص:

هذا المشروع هو عبارة عن دراسة ومحاكاة لنظام زراعي يجمع بين التسميد والري لتقليل من التبذير من هذه الموارد التي لا تصل إلى النبات بالكامل. لذا فإن الهدف من هذا الدراسة هو إنشاء نظام يمتد التسميد والري موضعين للنبات وتشغيلها عند الحاجة فقط، يعتمد نظام التسميد التلقائي هذا على متحكم اريوينو

Sommaire

Introduction générale.....	1
Chapitre I : Généralité sur l’agriculture et l’irrigation	
I.1. introduction.....	2
I.2. Généralité sur l’agriculture.....	2
I.2.1. Les fondamentaux besoins des plantes.....	2
I.2.1.1. La lumière.....	2
I.2.1.2. L’air.....	2
I.2.1.3. L’eau.....	3
I.2.1.4. les nutriments.....	3
I.2.2. La fertilisation.....	3
I.3. L’irrigation agricole	4
I.3.1. L’irrigation gravitaire.....	4
I.3.1.1. Les avantages et les inconvénients de l’irrigation gravitaire.....	5
I.3.2. L’irrigation par aspersion	6
I.3.2.1. Les éléments d’une couverture d’asperseurs.....	6
I.3.2.2. Les avantages et les inconvénients de l’irrigation par aspersion.....	7
I.3.3. La de micro-irrigation	8
I.3.3.1. Les micro-asperseurs	8
I.3.3.2. Les systèmes d’irrigation goutte à goutte	8
I.3.3.2.1. Equipement du système goutte à goutte	9
I.3.3.2.2. Les avantages et les inconvénients de goutte à goutte.....	10
I.3.4 Comparaison entre les systèmes d’irrigation agricole	11
I.4. la fertirrigation	11
I.4.1. Avantage de la fertirrigation.....	11

I.4.2. Inconvénients de la fertirrigation.....	12
I.4.3. Les règle de la fertirrigation	12
I.4.4. Caractéristiques des engrais utilisés en fertirrigation.....	13
Conclusion	14

Chapitre II : L'irrigation par le microcontrôleur Arduino

II.1 Introduction.....	15
II.2. Choix de technique d'irrigation.....	15
II.3. Présentation du système	15
II.3.1. Définition du système	15
II.3.2 Principe de fonctionnement.....	16
II.3.3. Organigramme du système	17
II.4. Présentation des logiciels et composants utilisés.....	17
II.4.1. Arduino	17
II.4.1.1 Pourquoi Arduino UNO.....	18
II.4.1.2.Le logiciel Arduino IDE	19
II.4.1.3. Partie matériel d'Arduino	19
II.4.1.4. Constitution de la carte	21
II.4.2 Présentation générale Proteus Professional.....	22
II.4.2.1. ISIS.....	23
II.4.3. Les composants principaux utilisés pour le projet	23
II.4.3.1. Capteur de niveau d'eau.....	23
II.4.3.1.1. Présentation du capteur.....	23
II.4.3.1.2. Principe de fonctionnement.....	24
II.4.3.2. Capteur d'humidité du sol.....	25
II.4.3.2.1. Présentation du capteur.....	25
II.4.3.3. Les relais et les pompes à eau.....	26

II .4.3.3.1. Principe de fonctionnement et la constitution d'une pompe à eau.....	26
II .4.3.3.2. Les relais	26
II.4.3.4. Electrovanne.....	27
Conclusion	28

Chapitre III : Simulation et Résultats

III.1. Introduction	29
III.2. Présentation du système de fertirrigation automatique	29
III.2.1. Principe de fonctionnement.....	30
III.3. Choix de matériels.....	31
III.4. La simulation	34
III.4.1. Le programme Arduino	34
III.4.2. Explication de programme.....	37
III.4.3. La simulation sur proteus	38
III.4.4. Les résultats et les interprétations	40
Conclusion	43
Conclusion générale.....	44

Table des figures

Figure I.1: les éléments d'une installation de couverture d'aspersion.....	7
Figure I.2 : Système d'irrigation goutte à goutte	9
Figure II.1 : Schéma synoptique.....	16
Figure II.2 : Organigramme du système.....	17
Figure II.3 : l'interface de logiciel Arduino IDE	19
Figure II.4 : Architecture de la carte arduino UNO.....	20
Figure II.5 : Constitution de la carte Arduino UNO.....	21
Figure II.6 : Logiciel de CAO Proteus.....	22
Figure II.7 : l'interface de ISIS Proteus.....	23
Figure II.8 : Détecteur niveau d'eau.....	24
Figure II.9 : l'enquête de capteur.....	25
Figure II.10 : Module de capteur d'humidité du sol.....	26
Figure II.11 : Fonctionnement de l'électrovanne.....	28
Figure III.1 : schéma présentatif du système.....	31
Figure III.2 : schéma fonctionnel du système de fertirrigation.....	32
Figure III.3 : le symbole d'arduino sur ISIS Proteus.....	33
Figure III.4 : Le symbole du potentiomètre.....	33
Figure III.5 : Le symbole du moteur 12V.....	34
Figure III.6 : Le symbole des relais.....	34
Figure III.7 : Le symbole de la diode.....	34
Figure III.8 : Le symbole d'un transistor.....	35
Figure III.9 : Le symbole de la résistance.....	35

Figure III.10 : Le programme sur l'interface arduino.....	39
Figure III.11 : Le schéma de circuit général.....	39
Figure III.12 : La fenêtre de paramètres d'arduino.....	40
Figure III.13 : L'activation de système de fertilisation.....	41
Figure III.14 : L'activation de système de remplissage.....	41
Figure III.15 : L'activation de système d'arrosage.....	42
Figure III.16 : Le système en arrêt.....	42

Liste des tableaux

Tab .II.1 : Caractéristiques des engrais utilisés en fertirrigation	13
---	----

Introduction générale

Gagnée par la déferlante du numérique et du digital, l'agriculture mondiale a connu au cours des deux dernières décennies de profonds changements. Les nouvelles technologies ont bouleversé le quotidien des agriculteurs et les modes de gestion des exploitations agricoles. En vue de booster son rendement et améliorer la qualité de ses produits, l'agriculteur fait appel désormais à des applications, solutions intelligentes, en vue d'une gestion efficace de son exploitation. Malgré le développement remarquable des matières premières agricoles algériennes, la non-utilisation des technologies modernes agricoles reste une réalité qu'il faut changer et l'Algérie ne peut pas demeurer en marge de cette nouvelle révolution agricole.

Dans ce cadre, l'objectif de ce mémoire est d'étudier un système agricole automatique qui combine entre deux parties principales dans l'agriculture, l'irrigation et la fertilisation, ce qui nous donne un nouveau système qui est connu sous le terme « la fertirrigation » ou « la fertigation », donc le but est d'inclure la fertilisation dans un système d'irrigation. Ce nouveau système permet une amélioration des rendements, mais ouvre surtout la voie à une agriculture raisonnée générant une économie des ressources.

D'abord, nous allons commencer ce mémoire par une recherche bibliographique sur l'agriculture pour identifier les différentes techniques d'irrigation et prendre une vue générale sur la fertilisation, afin de choisir la bonne technique d'irrigation qui convient avec le système désiré.

Puis, le deuxième chapitre sera consacré pour introduire le système de fertirrigation automatique à base de microcontrôleur Arduino , en définissant les différentes classes du système, et en présentant les composants et les environnements des logiciels nécessaires pour accomplir la simulation et la réalisation plus tard.

Pour le dernier chapitre, nous allons définir les étapes que nous allons suivre pour atteindre le but de cette étude, ainsi qu'une présentation détaillée du système. Finalement, nous allons voir les résultats et leurs interprétations. Le système de fertirrigation automatique sur lequel nous allons travailler, est juste un prototype que l'on utilise à petite échelle.

Chapitre I : Généralité sur l'agriculture et l'irrigation

I.1. introduction

Depuis l'antiquité, l'homme a découvert l'agriculture et l'a développé à travers le temps, jusqu'à nos jours, plusieurs études sont en cours pour améliorer la qualité et le rendement des cultures agricoles. L'économie des grands pays du monde se base sur l'agriculture car elle constitue un secteur très important, et le développement de ce secteur conduit au développement du pays.

L'Algérie dispose d'une vaste superficie arable, une diversité de plantation et de la culture et d'un climat adéquat presque pour tout type de culture. Le but de ce chapitre est de visionner en général l'agriculture en abordant les besoins essentiels de la culture agricole ainsi que la fertilisation et les systèmes d'irrigation qui sont deux étapes très importantes dans la croissance des cultures agricoles afin de choisir le meilleur système et le plus efficient.

I.2. Généralité sur l'agriculture

I.2.1. Les fondamentaux besoins des plantes

Les plantes sont des organismes vivants qui doivent être dans un environnement convenable qui répond à leurs besoins et conditions de base pour un croisement meilleur. Ces fondamentaux besoins sont la lumière, l'air, l'eau et les nutriments [1].

I.2.1.1. La lumière

Les plantes obtiennent généralement la lumière dont elles ont besoin du Soleil, mais elles peuvent aussi pousser à la lumière artificielle. L'énergie lumineuse leur permet de fabriquer un type de sucre appelé glucose, qu'elles utilisent comme source d'énergie. Les plantes produisent du glucose à l'intérieur d'une partie de leurs cellules foliaires appelée chloroplaste. Chaque chloroplaste contient un pigment vert appelé chlorophylle, qui permet aux plantes d'absorber l'énergie de la lumière.

Le manque de lumière ralentit la croissance des plantes, mais l'excès de lumière peut les faire sécher et aussi assécher le sol où elles vivent. Les plantes ont différentes exigences de lumière. Certaines ont besoin d'une luminosité élevée ou directe, tandis que d'autres peuvent se développer sous un éclairage plus faible ou indirect [1].

I.2.1.2. L'air

L'air contient plusieurs gaz, notamment de l'azote, de l'oxygène, du dioxyde de carbone et de la vapeur d'eau. En utilisant l'énergie de la lumière, les plantes allient

Chapitre I : Généralité sur l'agriculture et l'irrigation

chimiquement le dioxyde de carbone et l'eau pour créer du glucose et de l'oxygène. On appelle ce procédé photosynthèse.

L'oxygène contenu dans l'air est aussi absorbé par les plantes. Comme les animaux, les plantes ont besoin d'oxygène pour respirer. La respiration cellulaire est le processus de décomposition de molécules, comme le glucose, en énergie [1].

I.2.1.3. L'eau

Les plantes ont besoin d'eau pour la photosynthèse. L'eau est absorbée par les racines et monte à travers les tiges jusqu'aux chloroplastes des feuilles. L'eau aide aussi au transport d'éléments nutritifs de la terre à la plante. Une trop petite quantité d'eau peut faire flétrir ou ramollir la plante, tandis qu'une trop grande quantité peut faire pourrir ses racines [1].

I.2.1.4. les nutriments

Les plantes ont besoin de trouver dans le sol des éléments nutritifs majeurs et des oligoéléments pour se développer correctement, ces éléments sont retrouvés naturellement dans le sol ou bien en fertilisant pour des résultats meilleurs.

Les éléments nutritifs sont mentionnés comme suit:

- L'azote est un élément essentiel pour la croissance et la production des nouveaux tissus des plantes.
- Le phosphore stimule le développement des racines et entre en jeu dans la floraison et la fructification.
- Le potassium permet à la plante de réguler l'eau et de lutter contre les agressions.
- Des éléments minéraux tels que le calcium, le magnésium, le fer, le bore, le manganèse et le soufre sont également importants pour les végétaux, que ce soit pour assurer des mécanismes essentiels, la production de composés aromatiques ou assurer les défenses des plantes face aux agresseurs (élaboration de poisons ou de composés répulsifs) [2].

I.2.2. La fertilisation

La fertilisation consiste à apporter à un milieu de culture, tel que le sol les éléments minéraux nécessaires à l'alimentation de la plante. Les objectifs de la fertilisation visent à obtenir le meilleur rendement possible avec la meilleure qualité et au moindre coût.

Chapitre I : Généralité sur l'agriculture et l'irrigation

En outre s'y ajoute le souci de préservation de la fertilité du sol et de la qualité de l'environnement, particulièrement en agriculture durable.

La fertilisation a pour but de conserver ou améliorer la productivité d'une terre. La fertilisation constitue l'un des éléments de l'ensemble des techniques culturales retenues pour réaliser un objectif de production donnée. Elle doit être raisonnée en fonction:

- du sol.
- du climat.
- des précédents culturaux.
- des variétés cultivées.
- des possibilités d'alimentation en eau [3].

I.3. L'irrigation agricole

Les systèmes d'irrigation agricole sont des méthodes pour apporter de l'eau aux cultures et ils sont classifiés en irrigation de surface, irrigation par aspersion et irrigation goutte à goutte (ou micro irrigation) [4].

I.3.1. L'irrigation gravitaire

La technique de l'irrigation gravitaire consiste à arroser les cultures en faisant ruisseler l'eau à la surface du sol, le transport d'eau se fait généralement par des canaux fonctionnant à surface libre

C'était la seule méthode possible jusqu'au milieu du 20^{ème} siècle, par la suite, d'autres techniques d'irrigation ont été découvertes, mais l'irrigation gravitaire reste la plus répandue en particulier dans les pays en voie de développement à cause de son faible coût de construction de ses réseaux d'irrigation par rapport à d'autres systèmes. En contre partie l'efficacité de ces réseaux est faible, le plus souvent inférieure à 30%. En outre, ils nécessitent une main d'œuvre abondante [3][4].

Les systèmes d'irrigation de surface sont classés dans l'ordre croissant de leur efficacité en :

- **L'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 méthode est généralement utilisée sur les terrains vallonnés

Chapitre I : Généralité sur l'agriculture et l'irrigation

lorsqu'il n'est pas possible d'implanter des planches, des bassins ou des raies et où l'eau à apporter est suffisante [5].

- **L'irrigation par planches** : L'Irrigation par planche consiste à faire couler une mince couche d'eau sur un sol incliné de 0,2 à 3%. Le débit à déverser est en fonction de la pente, de la largeur et de la longueur de la planche [4].

- **L'irrigation à la raie** : L'irrigation à la raie ou par rigole convient parfaitement au sol présentant une pente comprise entre 0,2 et 3%. Les sillons sont séparés d'une distance variant entre 0,6 et 1,25 m, selon le type de sol et la culture. Suivant le débit dont on dispose, on peut irriguer un ou plusieurs sillons à la fois. Les raies peuvent être parallèles ou perpendiculaires à la rigole permanente d'amenée d'eau [4].

- **L'irrigation par bassins** : Les bassins sont généralement de forme rectangulaire, nivelés (pente 0,1 à 1%) et entourés par une digue pour éviter le ruissellement la taille des bassins est de 40 à 50 m², cette technique est connue sous le nom "Robta". La mise en eau des bassins est généralement ni dirigée, ni contrôlée et elle peut être efficiente si un débit important est disponible pour recouvrir rapidement la parcelle. Quelques cultures et types de sol ne se prêtent pas à l'irrigation par bassins et elle convient mieux aux sols peu filtrants et aux cultures denses à enracinement profond.

Cette technique occasionne une perte importante de superficie, due au nombre important de cloisonnements [4][5].

I.3.1.1. Les avantages et les inconvénients de l'irrigation gravitaire

a) Les avantages [6]

- Coût d'investissement faible, relativement aux systèmes plus développés comme le goutte-à-goutte ou l'aspersion.
- Besoin en énergie faible ou nul.
- Technique éprouvée.
- Insensibilité au vent.
- Bonne adaptation à l'épandage d'eaux usées.
- Possibilités d'utiliser les eaux salées.
- Les végétaux ne sont pas mouillés, ce qui est favorable sur le plan phytosanitaire

b) Les inconvénients [6]

- Pertes importantes d'eau surtout par infiltration profonde.

Chapitre I : Généralité sur l'agriculture et l'irrigation

- Les sillons longitudinaux gênent le déplacement latéral des engins.
- Besoins importants en main d'œuvre.
- Lenteur de l'arrosage.
- L'uniformité de l'arrosage dépend directement de planage des parcelles, d'où l'importance de nivellement laser.
- Inadaptation aux sols filtrants.
- Surface consommée par les canaux et les rigoles.

I.3.2. L'irrigation par aspersion

Permis les techniques d'irrigation utilisées en Algérie, l'irrigation par aspersion est largement répandue dans plusieurs régions dans le pays. L'irrigation par aspersion fait partie des techniques d'irrigation sous pression, elle requiert obligatoirement une mise en pression préalable de l'eau. L'eau parvient aux cultures d'une façon qui imite la chute naturelle de la pluie, grâce à l'utilisation des divers appareils de projection alimentés sous pression, choisis et disposés de façon à obtenir la répartition la plus uniforme possible de la pluviométrie. Dans la littérature l'efficacité en irrigation par aspersion se situe le plus souvent entre 55% et 85% [7].

I.3.2.1. Les éléments d'une couverture d'asperseurs [5]

Les éléments d'une couverture d'asperseurs sont les suivants :

➤ **La conduite principale:** elle relie la station de pompage ou la borne d'irrigation aux porte-rampes. Enterrée, ou disposée en surface, la conduite a généralement un diamètre de 3 à 6 pouces

➤ **Le porte-rampe :** c'est la canalisation qui relie le point d'alimentation en eau de la parcelle, aux différentes rampes disposées sur celle-ci. Ils sont constitués d'éléments de tuyaux rigides à raccords rapides, afin de faciliter leur manipulation.

➤ **Les rampes :** Sont constituées de tuyaux rigides à raccords rapides. Elles portent des prises qui permettent de brancher les asperseurs.

➤ **L'asperseur :** Est caractérisé par le diamètre de sa buse qui définit, pour une pression déterminée, le débit de l'asperseur, la portée de jet et la répartition de l'eau (pluviométrie) le long de jet. Il existe des asperseurs équipés d'une seule buse (mono buse), et des asperseurs équipés de deux buses (double buse) de diamètre différent.

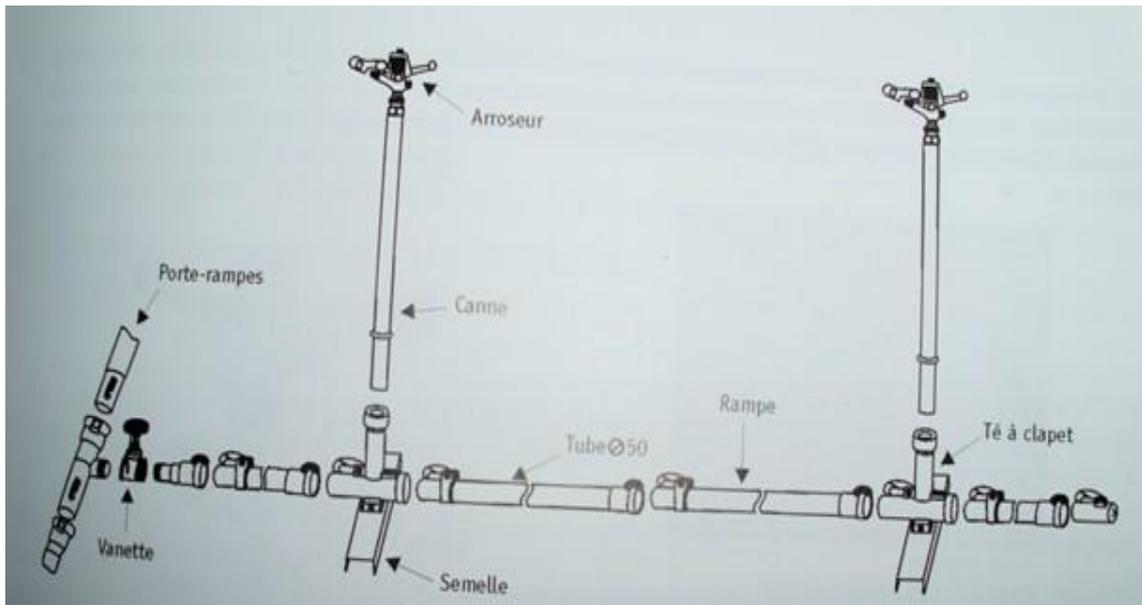


Figure I.1: les éléments d'une installation de couverture d'asperseurs [7]

I.3.2.2. Les avantages et les inconvénients de l'irrigation par aspersion [7]

a) Les avantages

- Elle s'adapte à n'importe quel type de terrain (accidenté, pente nulle... etc.).
- Elle peut être employée quelque soit la nature du sol si ce dernier sera très perméable.
- Elle permet une oxygénation de l'eau.
- Elle présente une économie de l'eau, qui peut atteindre 50%.
- Elle met à la disposition des exploitations des conditions d'arrosage très souples, en région aride, l'aspersion permet une protection antigel et fertilisante.

b) les inconvénients de l'aspersion

- Investissements initiaux élevés (manuel de la FAO, 2008)
- Favorise l'apparition des problèmes phytosanitaires en créant un milieu propice aux champignons, insectes et autres maladies ;
- Développement des mauvaises herbes ;
- Elle favorise l'évaporation qui est d'autant plus intense que les gouttelettes sont fines.

Chapitre I : Généralité sur l'agriculture et l'irrigation

- Tassement progressif du sol ou érosion éventuel de celui-ci.
- Eau chargée provoque l'abrasion très rapide des buses d'aspersion.
- Un minimum de précaution doit être pris pour éviter le colmatage surtout avec la buse de petit diamètre.

I.3.3. La de micro-irrigation

La micro-irrigation est une technique d'irrigation apportant l'eau sur le sol lentement, avec une fréquence élevée, une pression de fonctionnement et des débits faibles et contrôlés. La micro-irrigation comprend : les micro-asperseurs et l'irrigation le goutte à goutte.

Les systèmes de micro-irrigation arrosent selon une fréquence élevée créant ainsi dans le sol des conditions d'humidité optimales pour la plante. Avec une gestion appropriée, la micro-irrigation économise de l'eau car celle-ci est apportée en faible quantité uniquement dans la zone racinaire ce qui évite les pertes par percolation profondes [5].

I.3.3.1. Les micro-asperseurs

Ce système comprenant, les mini diffuseurs, les microdiffuseurs et les brunisseurs correspondent à des petits distributeurs placés sur de petits tubes allongés au-dessus de la surface du sol. L'eau projetée dans l'air parcourt une faible distance avant d'atteindre le sol. Avec cette technique, la faible surface mouillée par le distributeur est contrôlée aisément avec exactitude et peut présenter différentes formes correspondant aux types d'arrosage choisis. Les installations d'irrigation par micro-asperseurs permettent d'avoir une plus grande flexibilité lors des arrosages et une sensibilité plus faible au colmatage [5].

I.3.3.2. Les systèmes d'irrigation goutte à goutte

Le système d'irrigation goutte-à-goutte est une technique moderne, plus sophistiquée et plus efficace puisqu'elle permet de diminuer la consommation d'eau, aujourd'hui mis en œuvre dans les pays développés.

Dans son principe, la goutte à goutte, ou l'irrigation localisée, n'est en fait qu'une amélioration des techniques traditionnelles. Il consiste à apporter l'eau sous faible pression jusqu'aux racines de chacune des plantes et à la distribuer au compte goutte, en surface ou en souterraine à l'aide de petits tuyaux, posés sur le sol ou enterrés. Bien menée, cette technique

Chapitre I : Généralité sur l'agriculture et l'irrigation

permet de notablement diminuer la consommation d'eau ; elle n'humidifie que la portion de sol située au voisinage immédiat des racines et elle limite les pertes par évaporation, ruissellement ou infiltration profonde [9].

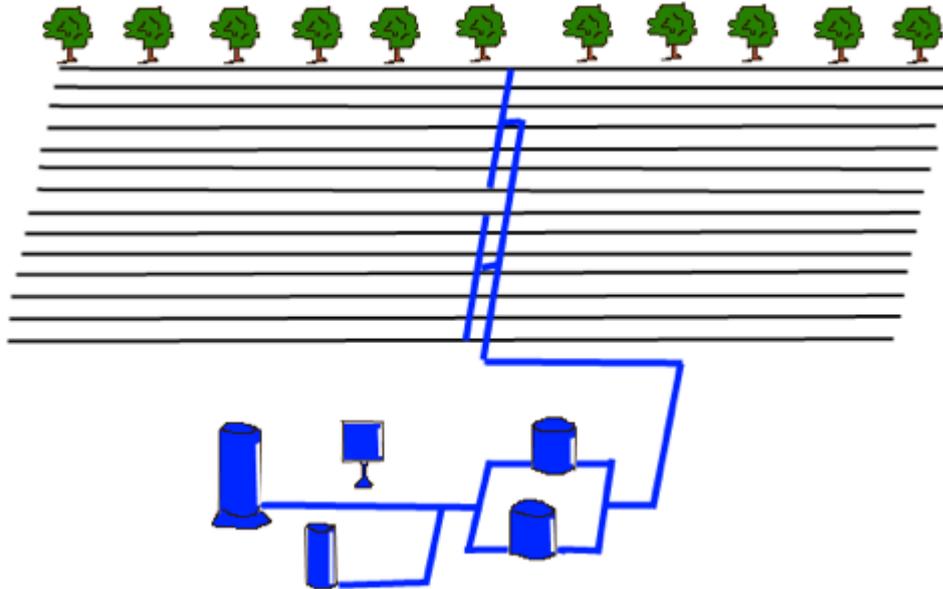


Figure I.2 : Système d'irrigation goutte à goutte

I.3.3.2.1. Equipement du système goutte à goutte [9]

Un système goutte à goutte élémentaire est composé des éléments qui assurent et surtout contrôlent le transport de l'eau depuis la source d'eau : forage, puits, réservoir, rivière jusqu'aux racines des plantes, même l'eau de récupération peut être utilisée (avec des filtres). Ces différents éléments sont :

- **Une pompe :** une pompe dont le débit conditionne la surface à irriguer. La pression à assurer au niveau des "goutteurs" est peu élevée (0,5 à 1 kg/cm², ou encore 5 à 10 m de colonne d'eau) de sorte qu'il est possible de se passer de pompe en surélevant simplement le réservoir de stockage d'eau à 7 ou 8 mètres du sol, tenant compte d'une perte de charge de 200 à 300 gr dans le filtre ; il faudra dans ce cas lutter contre les algues et les micro-organismes qui se développent dans un tel réservoir, notamment en couvrant celui-ci ou en assurant la désinfection à l'eau de javel.
- **Un filtre à sable :** élément nécessaire seulement si l'eau est chargée en matière organique (cas de l'eau de récupération ou de réservoir)

Chapitre I : Généralité sur l'agriculture et l'irrigation

➤ **Un filtre à tamis, ou plus souvent, à lamelles** : filtre indispensable pour éliminer les particules inertes risquant d'obturer les "goutteurs", la qualité de filtrage plus ou moins grande dépend du type de goutteur.

➤ **Un ou plusieurs régulateurs de pression** : appareil assurant, grâce à un clapet à ressort ou tout autre système mécanique, une pression d'entrée. On ajoute un manomètre pour vérifier le bon fonctionnement du système.

➤ **Un ou plusieurs tuyaux secondaires** : ces tuyaux amènent l'eau à l'entrée des parcelles à irriguer et alimentent les tubes goutte à goutte ; le diamètre doit être suffisamment grand pour éviter de fortes variations de pression entre les différents tubes tertiaires (tubes goutte à goutte), il est calculé en fonction du débit et de la longueur.

➤ **Un réseau de tubes goutte à goutte (tubes tertiaires)** : Ces tubes sont accouplés sur un tube secondaire par un raccord et ils amènent l'eau au pied de chaque plant ; l'arrosage est assuré par les goutteurs insérés à distance régulière dans le tuyau. Les caractéristiques essentielles en sont l'écartement des goutteurs, le débit nominal de ceux-ci à une pression donnée et l'homogénéité exigée pour ce débit entre le début et la fin du tube : à ces paramètres définis par la culture, on ajoute la longueur et la pente du terrain pour calculer le diamètre du tube.

➤ **Les goutteurs** : initialement, il s'agissait d'ajutages courts se greffant sur le tuyau tertiaire. Ces systèmes sophistiqués sont coûteux, en conséquence ils réclament soins et entretiens scrupuleux ainsi que des manipulations soigneuses afin de garantir une durée de vie aussi longue. Depuis quelques années, les fabricants proposent des systèmes moins coûteux où les goutteurs sont montés en série sur des tuyaux plus légers et moins durables, mais surtout moins chers. Le goutteur comprend toujours trois éléments : un micro-filtre suivi d'un système de chicanes de réduction de pression puis d'une chambre de sortie. La qualité d'un goutteur repose sur sa faible sensibilité à l'obstruction et sur l'homogénéité de son débit même en cas de faible variation de pression.

I.3.3.2.2. Les avantages et les inconvénients de goutte à goutte

a) Les avantages

- Permet une économie de l'eau (50 à 70% par rapport au gravitaire et 30% par rapport à l'aspersion)
- Contribue à une augmentation des rendements, de l'ordre de 20 à 40% ainsi à l'amélioration de la qualité des produits maraîchers.
- La réduction de la surface extérieure humectée diminue les pertes par évaporation

Chapitre I : Généralité sur l'agriculture et l'irrigation

directe de la surface du sol.

- Réduit le coût de la main d'œuvre impliquée dans les opérations de l'irrigation.
- Réseaux facile à installer.
- diminution du risque de maladies foliaires grâce à la faible humidité au niveau du

feuillage.

- Le développement des cultures et accès facile aux parcelles pour la réalisation des différentes opérations culturales.

- L'irrigation goutte à goutte s'adapte aussi à tout type de terrain irrigable [9][10].

b) Les inconvénients

- Risques d'obstruction des émetteurs
- Coûts initiaux élevés
- Accumulation de sel à la surface du sol
- Influence négligeable sur le microclimat
- Limitation du volume des racines [10].

I.3.4 Comparaison entre les systèmes d'irrigation agricole

Les techniques d'irrigation agricole sont des méthodes pour apporter de l'eau aux cultures et sont classifiées en irrigation de surface, irrigation par aspersion et micro irrigation. Décider de sélectionner une technique d'irrigation ou de passer à une technique plus efficiente est compliqué. D'un point de vue de la préservation de l'eau, le choix est simple, les économies en eaux augmentent lorsque l'on passe de l'irrigation de surface à l'aspersion et de l'aspersion à la micro irrigation. Cependant, le succès d'une technique d'irrigation sera très dépendant du site, de facteurs de situation ainsi que du niveau de gestion utilisé. La technique d'irrigation existante doit être évaluée très précisément avant de passer à une autre technique [5].

I.4. la fertirrigation

La fertirrigation consiste en l'injection dans l'eau d'irrigation d'une solution mère concentrée pour obtenir une solution nutritive appelée solution fille. Elle permet d'apporter les éléments nutritifs par le réseau de micro-irrigation.

La fertirrigation permet de minimiser les pertes de fumure par lessivage et améliorer l'efficacité de l'utilisation des engrais en les mélangeant à l'eau d'irrigation en localisée [3].

Chapitre I : Généralité sur l'agriculture et l'irrigation

L'opération de fertirrigation est faite en générale manuellement, ou avec des techniques traditionnelles, l'objectif de notre étude est de développer et d'automatiser la technique de fertirrigation à l'aide d'un microcontrôleur Arduino, autrement dit, d'assurer que le processus s'exécute sans aucune intervention humaine et d'éliminer les risques de sur-fertilisation ou sur-arrosage, car il s'exécute seulement en cas de besoin et cela pour une petite échelle.

I.4.1. Avantage de la fertirrigation [3]

La pratique de la fertirrigation permet:

- Une utilisation correcte et économe de l'eau et des éléments minéraux au sol pour une meilleure utilisation par la plante;
- Un bon contrôle de l'état ionique de la rhizosphère;
- Une économie de la main d'œuvre pour l'application des engrais
- Localisation des apports à proximité des racines;
- Intervention possible à tout moment, ce qui permet la correction des carences
- Meilleur contrôle des doses apportées, ce qui évite les pertes par lessivage et accroît l'efficacité.

I.4.2. Inconvénients de la fertirrigation [3]

Les principaux inconvénients de la fertirrigation sont les suivants:

- Difficulté d'apporter des engrais en cas de sol saturé en eau;
- Obturation des orifices des distributeurs, ce qui nécessite de les nettoyer et d'utiliser une solution d'acide nitrique (NH₃), afin d'enlever le colmatage

I.4.3. Les règles de la fertirrigation [3]

Les règles suivantes sont indispensables pour une bonne conduite de la fertirrigation :

- Utilisation des engrais à grand pouvoir de solubilité.
- L'engrais utilisé doit être bien solubilisé dans l'eau, afin d'éviter le colmatage du réseau d'irrigation.
- La pression doit être suffisante en tête de station et au niveau des rampes afin de permettre une répartition homogène sur la parcelle.
- Les filtres doivent être régulièrement nettoyés et fonctionnels
- L'injection de l'engrais dans le réseau doit être faite à l'amont du filtre à tamis.

Chapitre I : Généralité sur l'agriculture et l'irrigation

- Le matériel d'injection doit être fiable.
- La canalisation principale doit comporter un clapier anti-retour pour éviter tout risque de pollution de la ressource en eau par les engrais.

Lorsque l'une ou l'autre de ces règles n'est pas respectée, des anomalies peuvent apparaître

- élévation du taux de salinité du sol, sur-fertilisation ou sous alimentation hydrique et minérale, perte par lessivage des éléments nutritifs etc. Par conséquent, la fertilisation doit être adoptée au niveau du rendement recherché, à la fertilité du sol et aux moyens de l'irrigation.

I.4.4. Caractéristiques des engrais utilisés en fertirrigation

Les caractéristiques des principaux engrais utilisés en fertirrigation (dosage et solubilité dans l'eau) sont portées dans le tableau ci-dessous [3].

Engrais produit	Masse molaire	Dosage (% du poids)	Solubilité produit /100 L eau à 20°C)
KNO ₃ (nitrate de potasse)	101	13%N+46% K ₂ O	30
K ₂ SO ₄ (sulfate de potasse))	174	48% K ₂ O	10
MAP (sulfate monoammonique)	115	12%N+55%P ₂ O	40
HNO ₃ (acide nitrique)	63	22 % N 03N	100
MgSO ₄ (sulfate de magnésium)	120	16 % MgO	10
NH ₄ NO ₃ (ammonitrate)	80	16,5% NO ₃ N+16,5 % NH ₄ N	190
Mg(NO ₃) ₂ .6H ₂ O (nitrate de magnésie hydraté)	256	11% NO ₃ N+16% MgO	25
Ca(NO ₃) ₂ (nitrate de chaux anhydre)	164	17% NO ₃ N +33,6% CaO	120

Tab .II.1 :Caractéristiques des engrais utilisés en fertirrigation[3]

Chapitre I : Généralité sur l'agriculture et l'irrigation

Conclusion

Après une recherche bibliographique, j'ai entamé le chapitre par une brève description sur les besoins des plantes et des cultures agricole. Ensuite, j'ai parlé sur la fertilisation et son influence positif sur la croissance des cultures, puis j'aborderé les différents systèmes d'irrigation en détails. Enfin, j'ai introduit la fertirrigation qui est une combinaison entre la fertilisation et l'irrigation.

D'après cette recherche bibliographique, j'ai constaté que le système d'irrigation goutte à goutte est le plus efficace par rapport à la consommation d'eau, et le plus convenable pour la fertirrigation et les systèmes d'irrigation automatisés.

Chapitre II : Irrigation par le microcontrôleur Arduino

II.1 Introduction

L'agriculture intelligente est une révolution de l'agriculture classique qui implique la réorientation des systèmes agricoles afin de soutenir efficacement le développement alimentaire. Le principal objectif de l'agriculture intelligente est d'accroître la productivité et les revenus agricoles et d'économiser les ressources.

Pour ce chapitre nous allons étudier introduire un système de fertirrigation automatique, ainsi que nous allons aborder et présenter les différents éléments que nous allons utiliser.

II.2. Choix de technique d'irrigation

Dans le chapitre précédent nous avons abordé les différents types d'irrigation avec leur avantage et inconvénient, nous avons conclu que la micro-irrigation précisément le goutte à goutte est la plus fiable et avec une faible consommation d'eau.

D'autre part, pour notre projet nous avons choisis cette technique à cause de la facilité d'utilisation et la possibilité de l'automatisation.

II.3. Présentation du système

II.3.1. Définition du système

Notre projet consiste à étudier un système d'irrigation ou de fertirrigation intelligente, c'est à dire, arroser et fertiliser les plantes au même temps sans une intervention humaine, autrement dit, irrigation des plantes avec des eaux contient des fertilisants pour but de consommer la main-d'œuvre, le temps et le coût.

La commande est faite à l'aide d'un microcontrôleur Arduino qui va recevoir un signal d'entrée qui est un signal analogique du capteur d'humidité qui mesure l'humidité du sol, et du capteur d'eau qui mesure le niveau d'eau dans un réservoir, puis ce signal sera transformer à un signal numérique qui sera être envoyer comme un signale de sortie aux actionneurs qui sont les relais des pompes et de l'électrovanne.

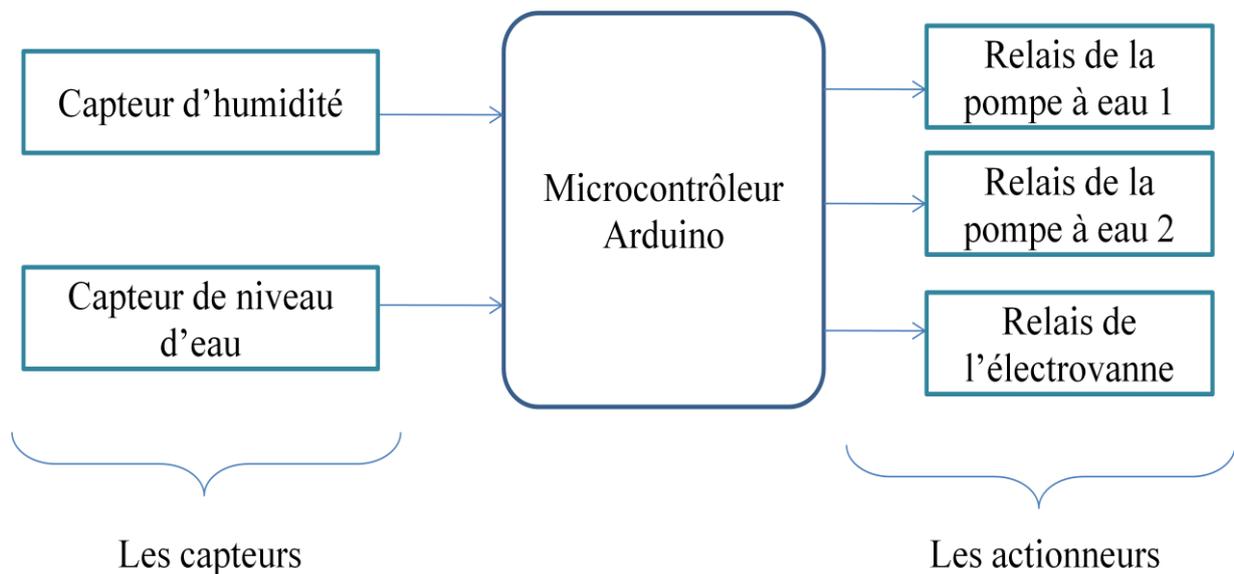


Figure II.1 : Schéma synoptique.

II.3.2 Principe de fonctionnement

Le principe de fonctionnement de notre système est simple, Ce projet consiste à réaliser un dispositif d'arrosage automatique pour des plantes, qui déclenche une arrivée d'eau seulement en cas de besoin. Utilisable pour une seule plante ou pour une petite plantation, ce système pourra être éventuellement répliqué à différentes échelles. Il permettra d'entretenir les plantes en absence de l'être humain, ou de gérer la croissance d'espèces particulièrement sensibles à l'humidité en établissant des réglages fins. Ce dispositif d'arrosage automatique offrira l'occasion d'étudier l'utilisation d'un signal analogique provenant d'un capteur pour activer un actionneur.

nous avons comme signal d'entrée le capteur d'humidité qui mesure l'humidité du sol en permanence, en mesurant le changement de la conductivité de la terre entre les bornes du capteur et transformer ce changement en tension, tant que l'humidité est inférieure à la valeur requise, la pompe d'arrosage qui est reliée avec le réservoir est en marche, vu que la pompe est en marche, le niveau d'eau dans le réservoir se diminue, là, le capteur de niveau d'eau nous indique la valeur de niveau d'eau, si le niveau d'eau est bas la pompe de remplissage de réservoir est en marche, jusqu'à ce que le réservoir est rempli, le volume d'eau ajouté va diluer la concentration de fertilisant dans le réservoir donc l'électrovanne du fertilisant sera ouverte pour un instant prédéterminé, la durée d'ouverture de l'électrovanne est déterminée par rapport au débit de l'électrovanne ainsi que la concentration des fertilisants requise dans le réservoir et le besoin de la plante.

II.3.3. Organigramme du système

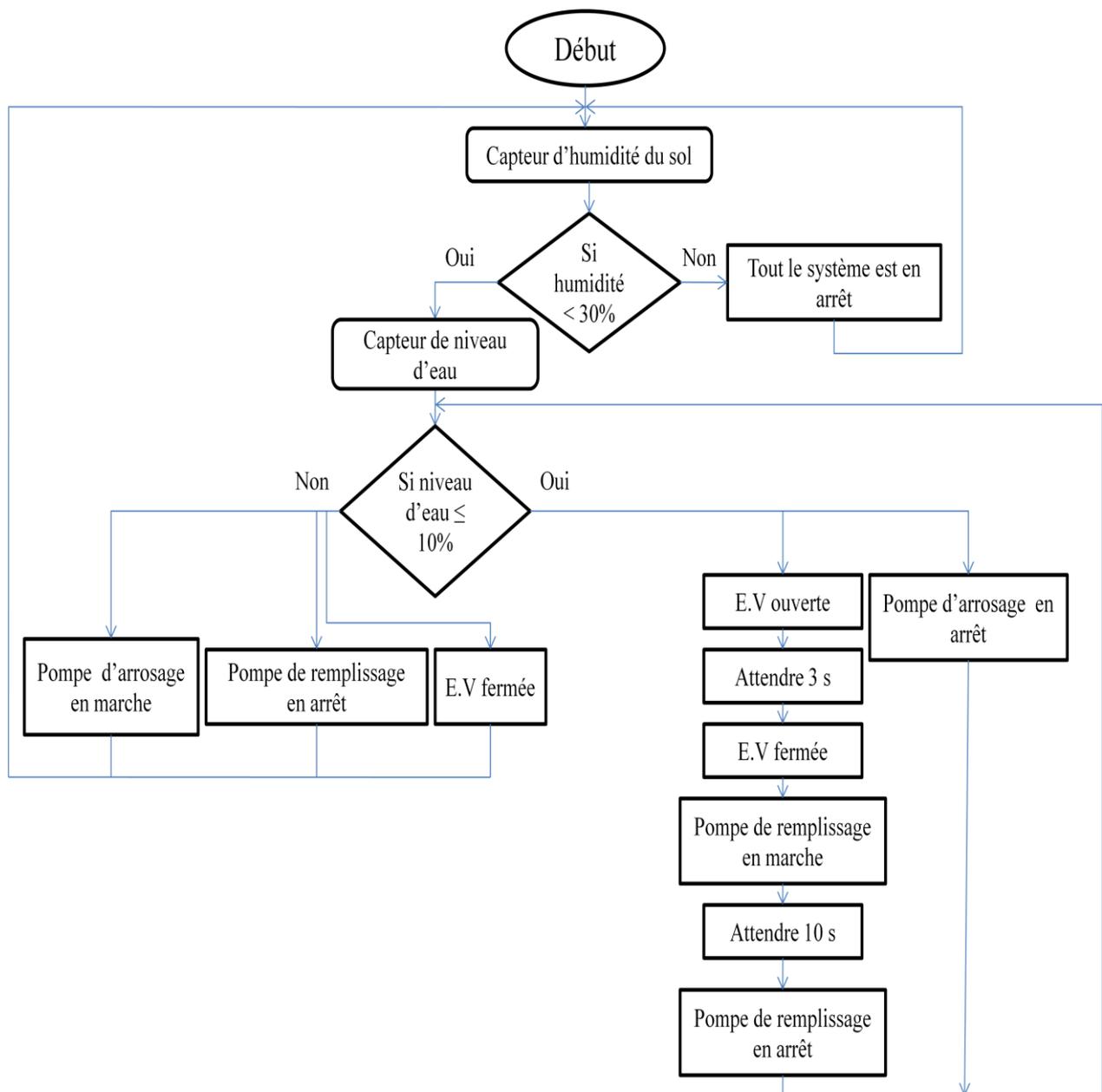


Figure II.2 : Organigramme du système

II.4. Présentation des logiciels et composants utilisés

II.4.1. Arduino

Arduino est une plate-forme électronique open-source basée sur des logiciels et du matériel facile à utiliser qui permet d'apprendre l'électronique tout en se familiarisant avec la programmation informatique. Le Arduino est composé d'un logiciel « Arduino IDE » et

Chapitre II : Irrigation par le microcontrôleur Arduino

comme matériel d'une carte Arduino ou microcontrôleur avec différentes types et versions [11].

II.4.1.1 Pourquoi Arduino UNO

Il y a de nombreuses cartes électroniques qui possèdent des plateformes basées sur des microcontrôleurs disponibles pour l'électronique programmée. Tous ces outils prennent en charge les détails compliqués de la programmation, et les intègrent dans une présentation facile à utiliser. De la même façon, le système Arduino simplifie la façon de travailler avec les microcontrôleurs, tout en offrant à personnes intéressées plusieurs avantages cités comme suit:

- **Le prix (réduits)** : les cartes Arduino sont relativement peu coûteuses comparativement aux autres plates-formes. La moins chère des versions du module Arduino peut être assemblée à la main, (les cartes Arduino pré-assemblées coûtent moins de 2500 Dinars).

- **Multi plateforme** : le logiciel Arduino, écrit en JAVA, tourne sous les systèmes d'exploitation Windows, Macintosh et Linux. La plupart des systèmes à microcontrôleurs sont limités à Windows.

- **Un environnement de programmation clair et simple** : l'environnement de programmation Arduino (le logiciel Arduino IDE) est facile à utiliser pour les débutants, tout en étant assez flexible pour que les utilisateurs avancés puissent en tirer profit également.

- **Logiciel Open Source et extensible** : le logiciel Arduino et le langage Arduino sont publiés sous licence open source, disponible pour être complété par des programmeurs expérimentés. Le logiciel de programmation des modules Arduino est une application JAVA multi plateformes (fonctionnant sur tout système d'exploitation), servant d'éditeur de code et de compilateur, et qui peut transférer le programme au travers de la liaison série (RS232, Bluetooth ou USB selon le module).

- **Matériel Open source et extensible** : les cartes Arduino sont basées sur les Microcontrôleurs Atmel ATMEGA8, ATMEGA168, ATMEGA 328, les schémas des modules sont publiés sous une licence créative Commons, et les concepteurs des circuits expérimentés peuvent réaliser leur propre version des cartes Arduino, en les complétant et en les améliorant. Même les utilisateurs relativement inexpérimentés peuvent fabriquer la version sur plaque d'essai de la carte Arduino, dont le but est de comprendre comment elle fonctionne pour économiser le coût [12].

II.4.1.2. Le logiciel Arduino IDE

Les créateurs d'Arduino ont développé un logiciel pour que la programmation des cartes arduino soit visuelle, simple et complète à la fois. C'est ce que l'on appelle une IDE, qui signifie *Integrated Development Environment* ou Environnement de Développement « Intégré » en français (donc EDI). L'IDE affiche une fenêtre graphique qui contient un éditeur de texte et tous les outils nécessaires à l'activité de programmation. Vous pouvez donc saisir votre programme, l'enregistrer, le compiler, le vérifier, le transférer sur une carte.

Le langage de programmation utilisé est le C++, compilé avec `avr-g++`⁸, et lié à la bibliothèque de développement Arduino, permettant d'utiliser la carte et ses entrées/sorties. La mise en place de ce langage standard rend aisé le développement de programmes sur les plates-formes Arduino à toute personne maîtrisant le C ou le C++[10].



Figure II.3 : l'interface de logiciel Arduino IDE

II.4.1.3. Partie matériel d'Arduino

Chapitre II : Irrigation par le microcontrôleur Arduino

Une carte Arduino est une petite carte électronique programmable équipée d'un microcontrôleur donc doté d'un processeur et de mémoire. Il permet, à partir d'événements détectés par des capteurs, de programmer et commander des actionneurs [4].



Figure II.4 : Architecture de la carte arduino UNO [4]

Un microcontrôleur est constitué par un ensemble des éléments qui ont chacun une fonction bien déterminée. Il est en fait constitué des mêmes éléments que sur la carte mère d'un ordinateur :

- **La mémoire**

Il en possède 5 types :

- La mémoire Flash : C'est celle qui contiendra le programme à exécuter. Cette mémoire est effaçable et réinscriptible.
- RAM : c'est la mémoire dite "vive", elle va contenir les variables de votre programme. Elle est dite "volatile" car elle s'efface si on coupe l'alimentation du microcontrôleur.
- EEPROM : C'est le disque dur du microcontrôleur. Vous pourrez y enregistrer des infos qui ont besoin de survivre dans le temps, même si la carte doit être arrêtée. Cette mémoire ne s'efface pas lorsque l'on éteint le microcontrôleur ou lorsqu'on le reprogramme.
- Les registres : c'est un type de mémoire utilisé par le processeur.
- La mémoire cache : c'est une mémoire qui fait la liaison entre les registres et la RAM.

- **Le processeur**

C'est le composant principal du microcontrôleur. C'est lui qui va exécuter le programme qu'on lui donnera à traiter. On le nomme souvent le CPU. Pour que le microcontrôleur fonctionne, il lui faut une alimentation, Cette alimentation se fait en générale

Chapitre II : Irrigation par le microcontrôleur Arduino

par du +5V. D'autres ont besoin d'une tension plus faible, du +3,3V. En plus d'une alimentation, il a besoin d'un signal d'horloge. C'est en fait une succession de 0 et de 1 ou plutôt une succession de tension 0V et 5V. Elle permet en outre de cadencer le fonctionnement du microcontrôleur à un rythme régulier. Grâce à elle, il peut introduire la notion de temps en programmation.

II.4.1.4. Constitution de la carte [4].

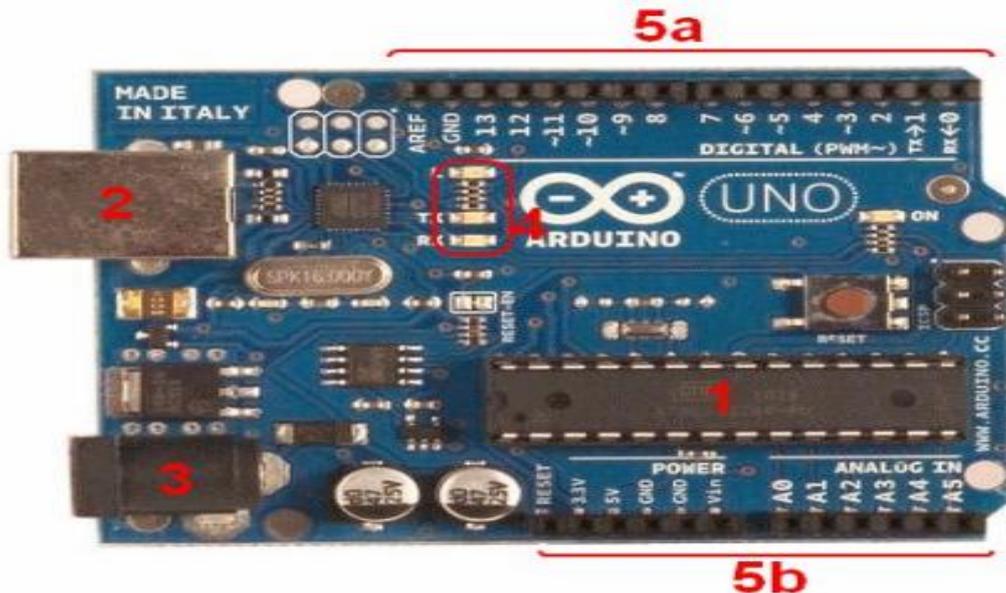


Figure II.5 : Constitution de la carte Arduino UNO [4]

1 : Le microcontrôleur Il va recevoir le programme et le stocker dans sa mémoire puis l'exécuter.

2 et 3: Alimentation Pour fonctionner, la carte a besoin d'une alimentation. Le microcontrôleur fonctionnant sous 5V, la carte peut être alimentée en 5V par le port USB (en 2) ou bien par une alimentation externe (en 3) qui est comprise entre 7V et 12V. Cette tension doit être continue et peut par exemple être fournie par une pile 9V. Un régulateur se charge ensuite de réduire la tension à 5V pour le bon fonctionnement de la carte.

4 : Visualisation Les trois "points blancs" entourés en rouge sont des LED dont la taille est de l'ordre du millimètre. Ces LED servent à deux choses :

- Celle tout en haut du cadre : elle est connectée à une broche du microcontrôleur et va servir pour tester le matériel. Note : Quand on branche la carte au PC, elle clignote quelques secondes.

Chapitre II : Irrigation par le microcontrôleur Arduino

- Les deux LED du bas du cadre : servent à visualiser l'activité sur la voie série (une pour l'émission et l'autre pour la réception). Le téléchargement du programme dans le microcontrôleur se faisant par cette voie, on peut les voir clignoter lors du chargement.

5a, 5b : La connectique La carte Arduino ne possédant pas de composants qui peuvent être utilisés pour un programme, mis à part la LED connectée à la broche 13 du microcontrôleur, il est nécessaire de les rajouter. Mais pour ce faire, il faut les connecter à la carte (en 5a et 5b). C'est grâce à cette connectique que la carte est "extensible", car l'on peut y brancher tous types de montages et modules, Par exemple, la carte Arduino Uno peut être étendue avec des shields, comme le « Shield Ethernet » qui permet de connecter cette dernière à internet.

II.4.2 Présentation générale Proteus Professional

C'est une suite logicielle destinée à l'électronique. Développé par la société Labcenter Electronics, les logiciels inclus dans Proteus Professional permettent la CAO (Construction Assistée par Ordinateur) dans le domaine électronique. Deux logiciels principaux composent cette suite logicielle: (ISIS, ARES, PROSPICE) et VSM. Cette suite logicielle est très connue dans le domaine de l'électronique. De nombreuses entreprises et organismes de formation (incluant lycée et université) utilisent cette suite logicielle. Outre la popularité de l'outil, Proteus Professional possède d'autres avantages

- Pack contenant des logiciels facile et rapide à comprendre et utiliser.
- Le support technique est performant.
- L'outil de création de prototype virtuel permet de réduire les coûts matériel et logiciel lors de la conception d'un projet [13].

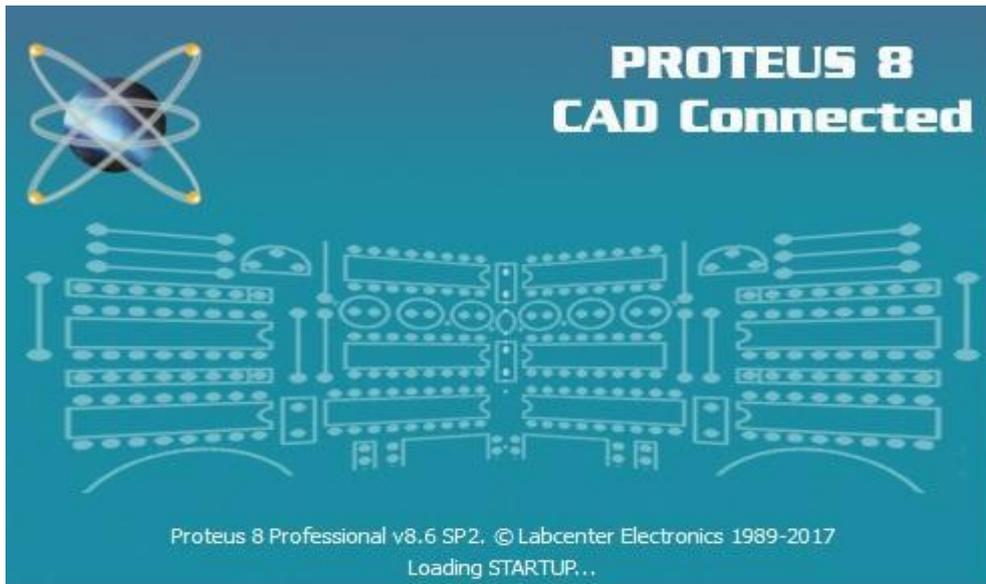


Figure II.6 : Logiciel de CAO Proteus

II.4.2.1. ISIS

Le logiciel ISIS de Proteus Professional est principalement connu pour éditer des schémas électriques. Par ailleurs, le logiciel permet également de simuler ces schémas ce qui permet de déceler certaines erreurs dès l'étape de conception. Indirectement, les circuits électriques conçus grâce à ce logiciel peuvent être utilisés dans des documentations car le logiciel permet de contrôler la majorité de l'aspect graphique des circuits [13].

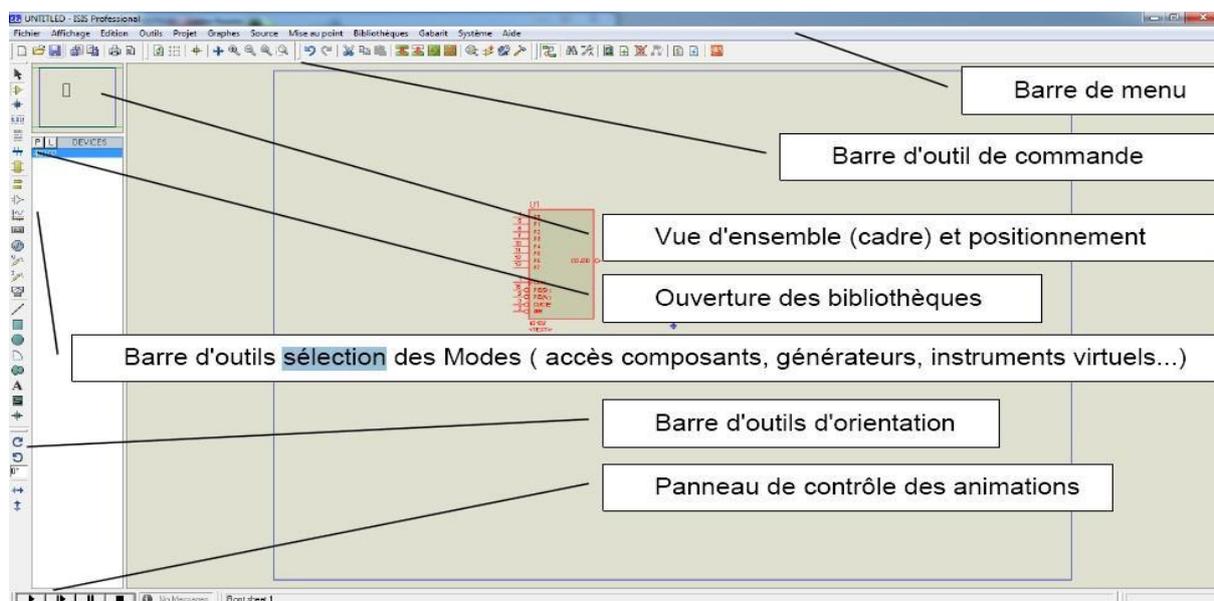


Figure II.7 : l'interface de ISIS Proteus[14]

Chapitre II : Irrigation par le microcontrôleur Arduino

II.4.3. Les composants principaux utilisés pour le projet

II.4.3.1. Capteur de niveau d'eau

II.4.3.1.1. Présentation du capteur [15]

Un capteur d'eau ou capteur de niveau d'eau est un appareil qui permet de détecter la présence de l'eau ou le niveau d'eau en mesurant la conductivité de l'eau.

Le capteur a une série de dix pistes de cuivre exposées, dont cinq sont des pistes de puissance et cinq sont des pistes de détection. Ces traces sont entrelacées de manière à ce qu'il y ait une piste de sens entre toutes les deux pistes de puissance. Habituellement, ces pistes ne sont pas connectées mais sont pontées par l'eau lorsqu'elles sont submergées. Il y a une LED d'alimentation sur la carte qui s'allume lorsque la carte est mise sous tension.

Le capteur de niveau d'eau n'a que 3 broches à connecter qui sont :

- Vcc : La broche d'alimentation du capteur. Il est recommandé d'alimenter le capteur entre 3,3 V et 5 V.
- GND : est la masse.
- Le signal : est une sortie analogique qui sera connectée à l'une des entrées analogiques de votre Arduino.

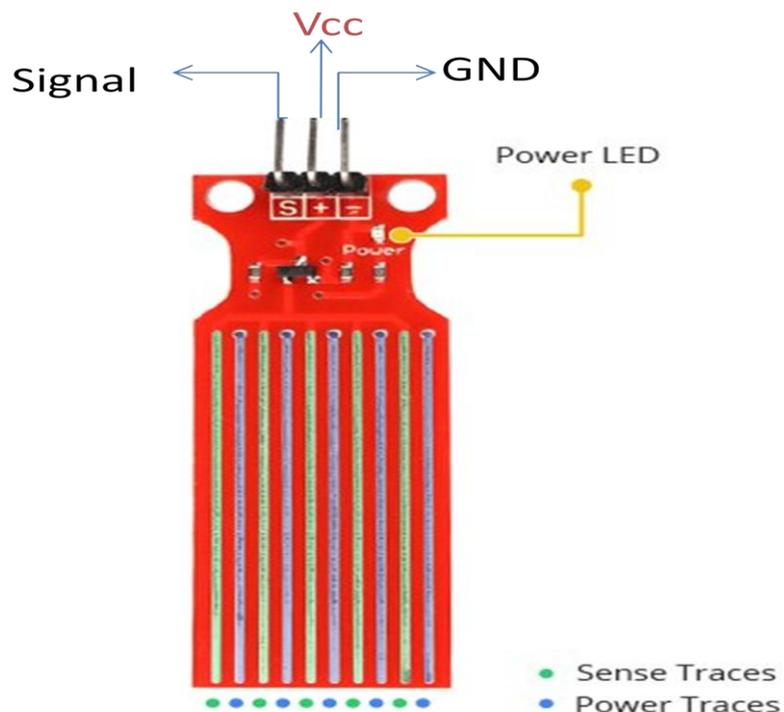


Figure II.8 : Détecteur niveau d'eau [15]

Chapitre II : Irrigation par le microcontrôleur Arduino

II.4.3.1.2. Principe de fonctionnement

Le fonctionnement du capteur de niveau d'eau est assez simple. La série de conducteurs parallèles exposés, ensemble, agit comme une résistance variable (tout comme un potentiomètre) dont la résistance varie en fonction du niveau d'eau ; le changement de résistance correspond à la distance entre le haut du capteur et la surface de l'eau.

La résistance est inversement proportionnelle à la hauteur de l'eau:

- Plus le capteur est immergé dans l'eau, il en résulte une meilleure conductivité et une résistance plus faible.
- Moins le capteur est immergé dans l'eau, entraîne une mauvaise conductivité et une résistance plus élevée.

Le capteur produit une tension de sortie en fonction de la résistance, qui en mesurant nous pouvons déterminer le niveau d'eau [15].

II.4.3.2. Capteur d'humidité du sol [16]

II.4.3.2.1. Présentation du capteur

Le capteur d'humidité du sol est un capteur qui peut mesurer la conductivité électrique de la terre. Un capteur d'humidité du sol typique comporte deux composants :

La sonde :

Le capteur contient une sonde en forme de fourche avec deux conducteurs exposés qui pénètre dans le sol ou n'importe où ailleurs où la teneur en eau doit être mesurée.

Il agit comme une résistance variable dont la résistance varie en fonction de l'humidité du sol.

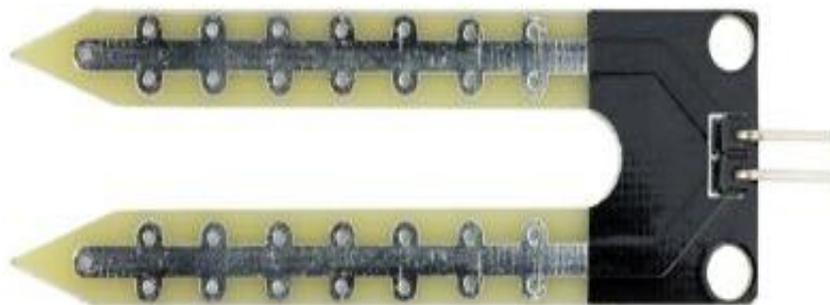


Figure II.9 : l'enquête de capteur [16]

Chapitre II : Irrigation par le microcontrôleur Arduino

Le module :

Le capteur contient également un module électronique qui relie la sonde à l'Arduino. Le module produit une tension de sortie en fonction de la résistance de la sonde et il est mis à disposition sur une broche de sortie analogique (AO).

Le même signal est envoyé à un comparateur de haute précision LM393 pour le numériser et il est mis à disposition sur une broche de sortie numérique (DO). Le module dispose d'un potentiomètre intégré pour le réglage de la sensibilité de la sortie numérique (DO). Vous pouvez définir un seuil en utilisant un potentiomètre; De sorte que lorsque le niveau d'humidité dépasse la valeur de seuil, le module émettra LOW sinon HIGH.

En dehors de cela, le module dispose de deux LED. Le voyant d'alimentation s'allume lorsque le module est sous tension. La LED d'état s'allumera lorsque la sortie numérique passe à LOW.

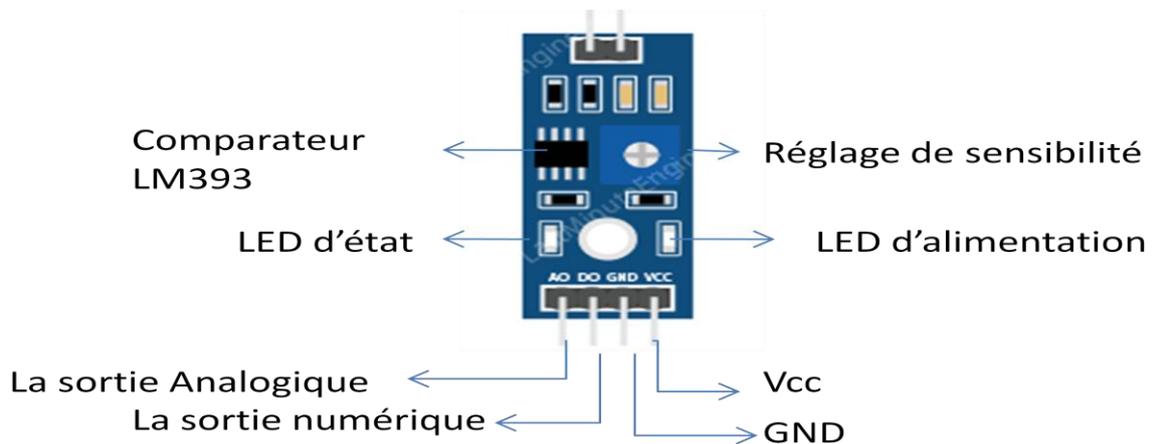


Figure II.10 : Module de capteur d'humidité du sol [16]

II .4.3.3. Les relais et les pompes à eau

II .4.3.3.1. Principe de fonctionnement et la constitution d'une pompe à eau

Une pompe est constituée par:

- une roue à aubes tournant autour de son axe.
- un distributeur dans l'axe de la roue.
- un collecteur de section croissante, en forme de spirale appelée volute.

Chapitre II : Irrigation par le microcontrôleur Arduino

Le liquide arrive dans l'axe de l'appareil par le distributeur et la force pousse le projecteur vers l'extérieur de la turbine. Il acquiert une grande énergie cinétique qui se transforme en énergie de pression dans le collecteur où la section est croissante.

L'utilisation d'un diffuseur (roue à aubes fixe) à la périphérie de la roue mobile permet une diminution de la perte d'énergie [4].

II .4.3.3.2. Les relais :

Le relais est un composant électromécanique qui permet d'ouvrir ou fermer un contact.

Le relais comporte deux parties :

- une bobine qui induit un champ magnétique lorsqu'elle est parcourue par un courant électrique. C'est la partie commande.
- un contact ou interrupteur mis en mouvement lorsque le champ magnétique est présent. C'est la partie puissance. Le courant circulant à travers ce contact peut atteindre plusieurs Ampère.

Ces deux parties sont isolées électriquement (ce phénomène s'appelle l'isolation galvanique) et présente l'avantage de protéger le microcontrôleur contre les éventuels problèmes de surtension ou surintensité pouvant apparaître sur la partie commande [17]

II.4.3.4. Electrovanne [18]

a) - Description

Une électrovanne (électrovalve) est une vanne électriquement commandée, Grâce à cet organe il est possible d'agir sur le débit d'un fluide dans un circuit par un signal électrique. Il existe deux types d'électrovannes : tout ou rien et proportionnelle. Nous utiliserons l'électrovanne TOR.

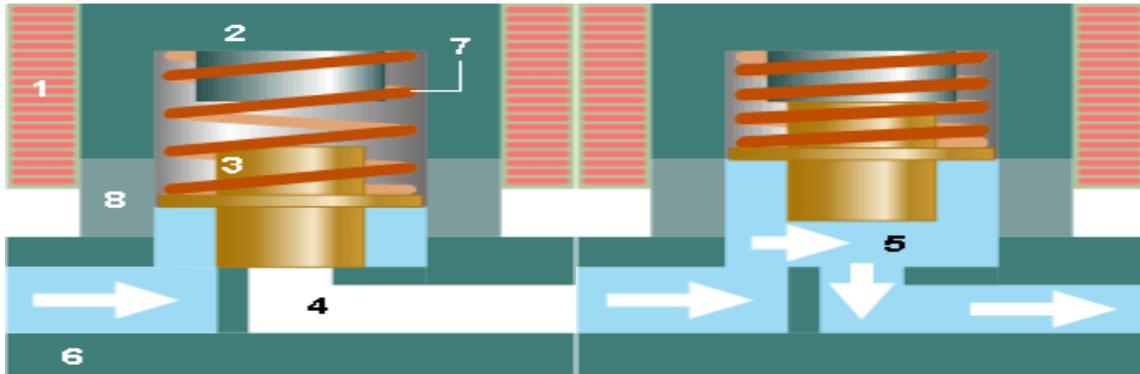
b)- Electrovanne tout ou rien

L'état change suivant qu'elles soient alimentées électriquement ou non. Il existe deux sortes d'électrovannes tout ou rien :

- Les électrovannes dites normalement ouvertes, qui sont entièrement ouvertes en l'absence d'alimentation électrique (absence de tension) et qui se ferment lorsqu'elles sont alimentées électriquement.
- Les électrovannes dites normalement fermées, qui sont entièrement fermées en l'absence d'alimentation électrique et qui s'ouvrent lorsqu'elles sont alimentées.

c) - Principe de fonctionnement

Un courant électrique alimente une bobine qui crée un champ magnétique dans lequel se déplace le noyau, ce noyau pilote l'ouverture et la fermeture de l'entrée de l'électrovanne.



Électrovanne hors tension (fermée). Électrovanne sous tension (ouverte).

Figure II.11 : Fonctionnement de l'électrovanne [18]

Avec :

- 1- Bobinage.
- 2- Armature concentrant le champ magnétique.
- 3- Noyau mobile.
- 4- Clapet de fermeture.
- 5- Siège du clapet.
- 6- Corps de vanne.
- 7- Ressort.
- 8- Partie métallique non conductrice de
- 9- champ magnétique [18].

Conclusion

Ce chapitre est pour but de définir et présenter le système de fertirrigation intelligente. D'abord, nous avons introduit le système d'irrigation approprié pour notre étude. Puis, nous avons présente le système de fertirrigation intelligente et leur principe de fonctionnement en détails. Nous avons aussi présenté les outils de travail avec lesquels nous avons réalisé notre projet, à travers cette liste d'outils, nous avons constaté que notre projet est en relation avec l'automatisme, l'informatique et même l'électronique appliquée. Cela nous a enrichie le savoir et nous a permis d'avoir une idée sur tous ces domaines. Ce qui va être introduit dans le chapitre prochain est tout ce qui est en relation avec le développement, la programmation et les étapes de réalisation du programme de gestion d'un système de fertirrigation.

III.1. Introduction

Le but principal de notre projet est d'arriver de simuler ou réaliser un système qui combine la fertilisation et l'irrigation dans un seul système automatique pour minimiser la consommation d'eau et augmenter le rendement de récoltes. Dans ce chapitre nous allons voir les différentes étapes que nous avons suivies pour atteindre notre but ainsi qu'une présentation détaillée du système.

III.2. Présentation du système de fertirrigation automatique

Notre projet consiste à étudier un système de fertirrigation automatique, d'abord, la fertirrigation est définie comme une technique agricole consistant à appliquer des éléments fertilisants solubles dans l'eau par l'intermédiaire d'un système d'irrigation.

Notre système automatique est divisé en 3 parties essentielles :

- La fertilisation.
- Le remplissage de réservoir.
- L'arrosage.

Donc la première étape se fait pour but de distribuer uniformément l'engrais dans le réservoir de l'eau d'arrosage. Quand le système se met en marche, l'unité de fertilisation s'adapte automatiquement à la pression et au débit d'eau. Il injecte une quantité d'engrais au réservoir, proportionnellement au volume de réservoir pratiquement de l'eau.

Pour la deuxième étape, le remplissage de réservoir se fait uniquement lorsque le bassin est vide avec une pompe reliée avec une source d'eau.

La dernière étape consiste à amener l'eau au gouteur, uniquement si le sol est sec ou il est inférieur à la valeur requise. Cette technique est notamment rendue possible par le système d'irrigation du goutte-à-goutte.

Le but principal de cette étude est de proposer un système automatisé qui permet à utiliser des engrais et de l'eau d'irrigation régulièrement et uniquement en cas de besoin, par conséquent le volume d'engrais et d'eau gaspillée sera minimisé.

III.2.1. Principe de fonctionnement

Ce projet consiste à réaliser un dispositif d'arrosage automatique pour des plantes, qui déclenche une arrivée d'eau seulement en cas de besoin. Utilisable pour une seule plante ou pour une petite plantation, ce système pourra être éventuellement répliqué à différentes échelles. Il permettra d'entretenir les plantes en absence de l'être humain, ou de gérer la croissance d'espèces particulièrement sensibles à l'humidité en établissant des réglages fins. Ce dispositif d'arrosage automatique offrira l'occasion d'étudier l'utilisation d'un signal analogique provenant d'un capteur pour activer un actionneur.

Nous avons comme un signal d'entrée, le capteur d'humidité qui mesure l'humidité du sol en permanence, en mesurant le changement de la conductivité de la terre entre les bornes du capteur et transformer cette mesure en tension, tant que l'humidité est inférieure à la valeur requise qui est égale à 30%, la pompe d'arrosage est en marche, cette pompe est reliée avec le réservoir. Le niveau d'eau dans le réservoir est mesuré avec un capteur de niveau d'eau, si le niveau d'eau atteint le 10% la pompe de remplissage sera active et la pompe d'arrosage sera en arrêt jusqu'à où le réservoir sera rempli, si la pompe de remplissage est active l'électrovanne des fertilisants s'ouvrira pour une durée prédéterminée qui dépend au débit de l'électrovanne et de volume d'eau dans le réservoir. Pour ne pas dépasser la concentration des fertilisants nominale.

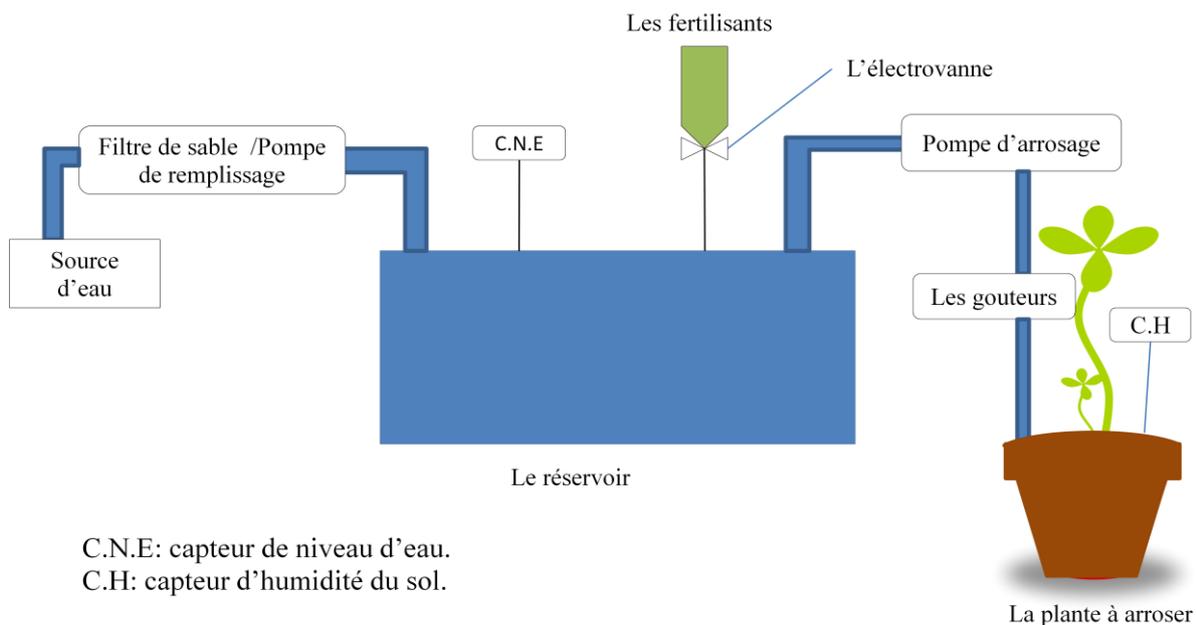


Figure III.1 : schéma présentatif du système

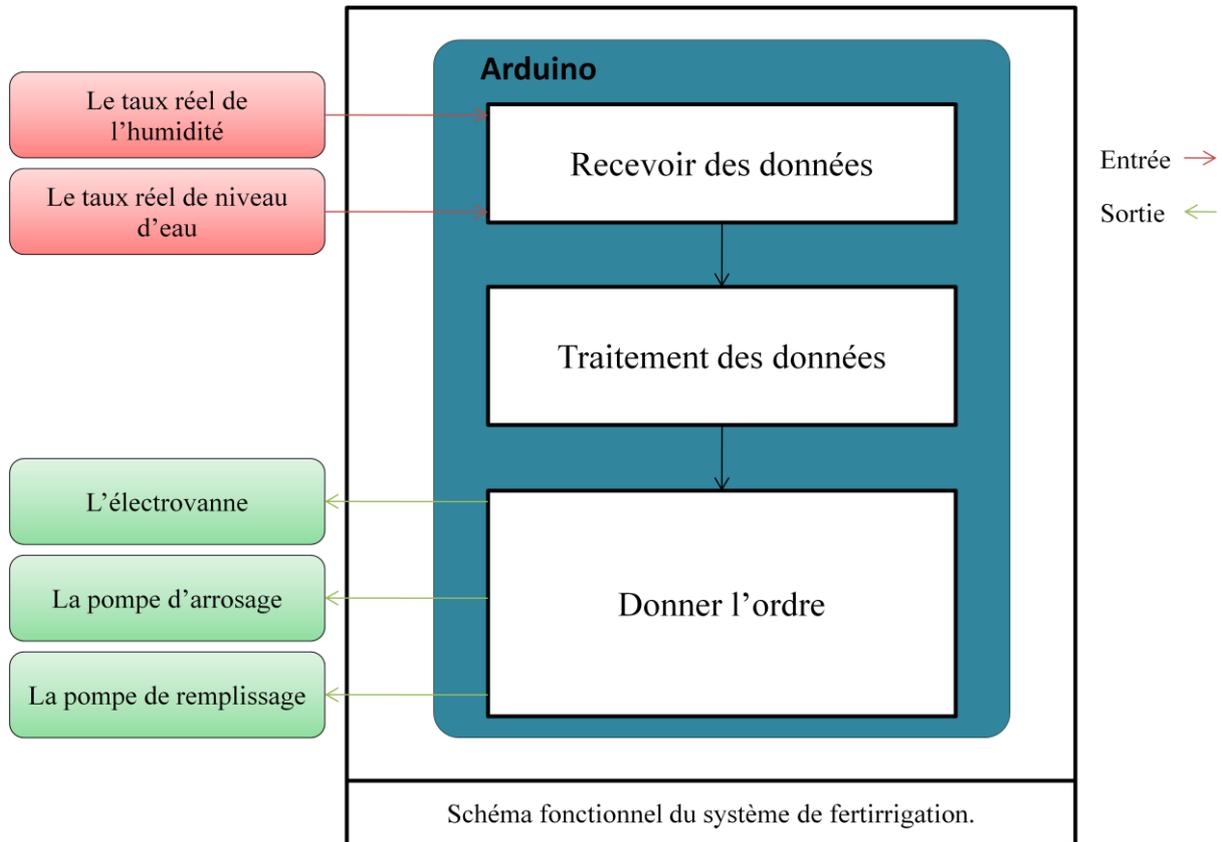


Figure III.2 : schéma fonctionnel du système de fertirrigation

III.3. Choix de matériels

Dans le chapitre précédent nous avons mentionné les différents composants et logiciels à utiliser pour effectuer la simulation et la réalisation. D'abord, le choix de ces logiciels a été effectué par rapport à la disponibilité des logiciels et des composants et la simplicité de la programmation et de réalisation. Le schéma ci-dessous montre le circuit général sur le logiciel Proteus.

Les composants utilisés sont cités comme suit :

- **La carte Arduino uno** : le microcontrôleur que nous avons utilisé pour commander les actionneurs.

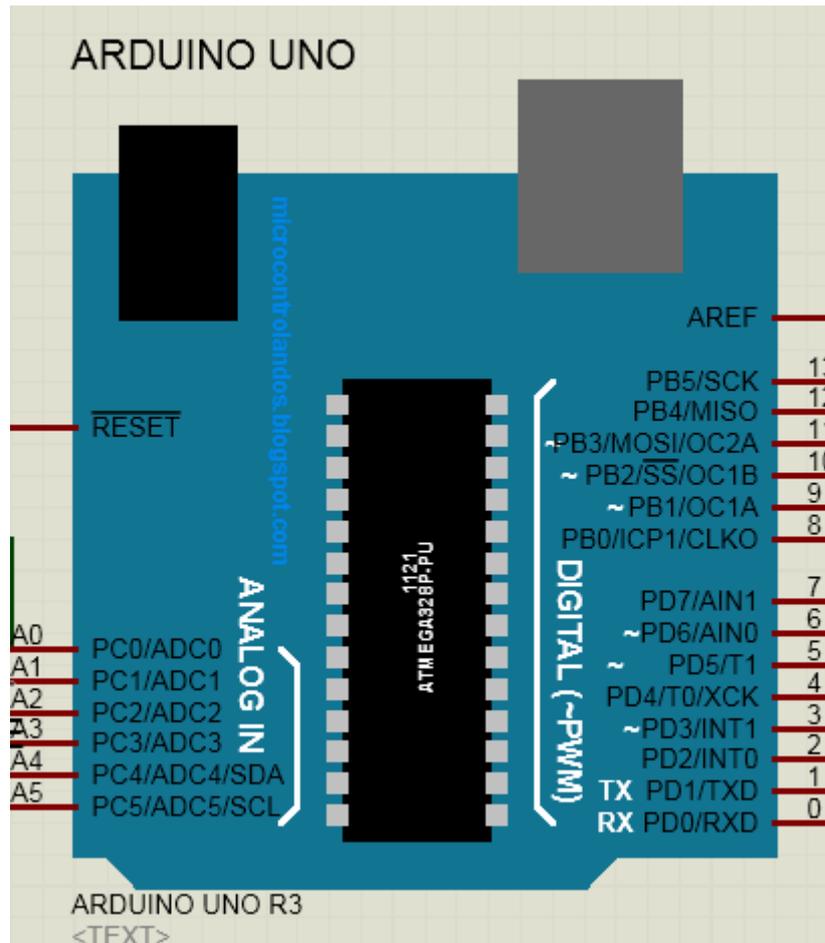


Figure III.3 : le symbole d'arduino sur ISIS Proteus

- **Le potentiomètre :** pour la simulation, les bibliothèques du capteur d'humidité du sol et du capteur de niveau d'eau ne sont pas disponibles sur Proteus, et vue que ces capteurs sont analogiques, donc nous les avons remplacés avec des potentiomètres.

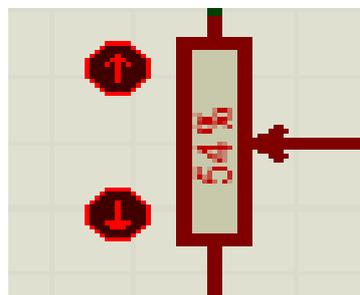


Figure III.4 : Le symbole du potentiomètre

- **Les moteurs :** La même chose que les capteurs, les pompes et l'électrovanne ne sont pas disponible donc nous avons utilisé les moteurs de 12V comme des actionneurs.

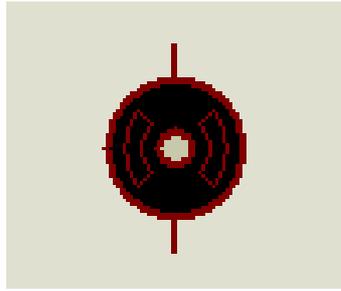


Figure III.5 : Le symbole du moteur 12V

- **Les relais de 5V/12V:** se sont utilisés pour une commande meilleure, et pour protection du microcontrôleur contre les éventuels problèmes de surtension ou surintensité pouvant apparaître sur la partie commande. les caractéristique de relais sont comme suit :
 - Résistance bobine : 35 ohms
 - Tension de la bobine de commande : 5V

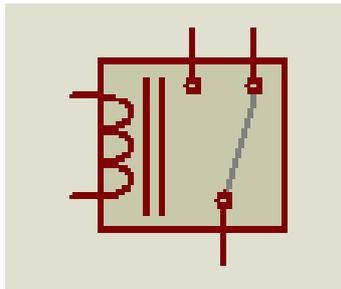


Figure III.6 : Le symbole des relais

- **Les diodes :** Du fait de la présence de la bobine, le circuit de commande doit supporter d'importantes surtensions lors de l'interruption du courant quand on cesse d'alimenter celle-ci. En effet, lorsque le courant bobine est brutalement coupé il se produit aux bornes de la bobine une très brève surtension inverse. il peut être très dangereux pour le transistor qui alimente le relais. Au blocage du transistor (interruption brutale du courant dans la bobine) apparaît sur le collecteur une brève surtension positive qui s'ajoute à la tension d'alimentation V_{cc} , d'où le risque de claquage du transistor ! C'est pour éviter ce phénomène de surtension qui peut aller jusqu'à la destruction du transistor que l'on monte une diode en parallèle de la bobine du relais, qui court-circuite l'impulsion. Cette diode est toujours montée en sens inverse de la tension d'alimentation, et s'appelle une diode de roue libre.

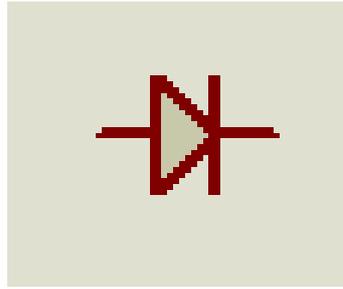


Figure III.7 : Le symbole de la diode

- **Les transistors :** la carte arduino ne peut délivrer que quelques dizaines de milliampères, et cela est insuffisant pour exciter le relais, pour cette raison, nous avons utilisé le transistor qui joue le rôle d'un interrupteur fermé lorsque le microcontrôleur envoie un signal haut, par conséquent, le circuit de commande du relais sera fermé.

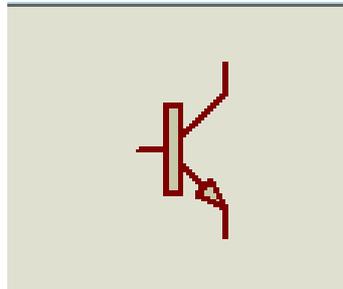


Figure III.8 : Le symbole du transistor

- **Les résistances $1k\Omega$:** cette résistance a été choisie pour que le courant circulant dans la base du transistor soit suffisant pour provoquer le collage du relais.

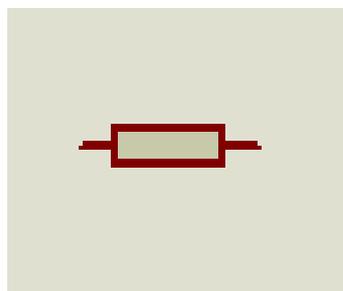


Figure III.9 : Le symbole de la résistance

III.4. La simulation

III.4.1. Le programme Arduino

Pour ce projet nous avons choisi le logiciel arduino qui est compatible avec le microcontrôleur Arduino uno et avec le logiciel de simulation Proteus, le langage de programmation est le langage C, donc nous avons créé le programme suivant :

```
int c_humidity= A0;  
int c_n_eau= A1;  
int r_pompe1=9;  
int r_pompe2=10;  
int r_electrovanne=11;
```

} La partie de déclaration

```
void setup() {  
  pinMode(A0,INPUT);  
  pinMode(A1,INPUT);  
  pinMode(9,OUTPUT);  
  pinMode(10,OUTPUT);  
  pinMode(11,OUTPUT);  
  Serial.begin(9600);  
}
```

} Le void setup

```
void loop() {  
  int humidityAnalog= analogRead (A0);  
  int humidity=map(humidityAnalog,1023,0,100,0);  
}
```

} La partie de la lecture et de mapping

Chapitre III : Simulation et Résultats

```
int niveau_eau_analog= analogRead(A1);
```

```
int niveau_eau= map (niveau_eau_analog,0,1023,0,100);
```

```
if (humidity <30 && niveau_eau>10 && niveau_eau<=100 )
```

```
{
```

```
digitalWrite (9,HIGH);
```

```
digitalWrite (10,LOW);
```

```
digitalWrite (11,LOW);
```

```
}
```

La partie d'arrosage

```
else if ( niveau_eau == 10)
```

```
{
```

```
digitalWrite (9,LOW);
```

```
digitalWrite (11,HIGH);
```

```
delay (3000);
```

```
digitalWrite (11,LOW);
```

```
digitalWrite (10,HIGH);
```

```
delay (10000);
```

```
digitalWrite (10,LOW);
```

```
}
```

La partie d'arrosage et de fertilisation

```
else
{ digitalWrite (9,LOW);
  digitalWrite (10,LOW);
digitalWrite (11,LOW);}
}
```

La partie 'else'

III.4.2. Explication de programme

a) - **La partie de déclaration de variables** : cette zone est conçue pour déclarer les variables et les pins, donc nous les avons déclarés comme suit :

- Pour l'entrée analogique A0 nous avons le capteur d'humidité du sol.
- Pour l'entrée analogique A1 nous avons le capteur de niveau d'eau.
- Pour l'entrée numérique 9 nous avons la pompe d'arrosage.
- Pour l'entrée numérique 10 nous avons la pompe de remplissage.
- Pour l'entrée numérique 11 nous avons l'électrovanne.

b) - **Le void setup** : Dans cette partie de programme la boucle ne s'exécute qu'une fois, cette partie est dédiée pour configurer les sorties et les entrées. Donc A0 et A1 sont des entrées analogiques et 9,10 et 11 sont des sortie numérique.

L'instruction **Serial.begin(9600)** passe la valeur 9600 comme paramètre de vitesse. Cela signifie que l'Arduino va échanger des messages avec le moniteur série, à un débit de données de 9600 bits par seconde. C'est-à-dire 9600 un ou zéro par seconde ; nous l'appelons communément vitesse de transmission.

c) - **Le void loop** : c'est une boucle où nous écrivons le contenu de programme à exécuter, le programme ici s'exécute d'une manière infinie.

d) -**La partie de la lecture et de mapping** : nous avons créés deux variables pour une lire la variation du capteur de niveau d'eau et l'autre pour le capteur d'humidité du sol. Puis nous avons créés d'autres deux variables pour le mapping, autrement dit, transformation de la valeur numérique de 0 à 1023 à un pourcentage.

e) - **La partie d'arrosage** : pour cette étape nous avons utilisé la boucle conditionnelle « if », c'est-à-dire, si l'humidité est inférieure à 30% et le niveau d'eau est entre 10% et 100% la pompe d'arrosage s'activera automatiquement et les autres actionneurs seront en arrêt.

f) - **la partie de fertilisation et de remplissage de réservoir** : Si le niveau d'eau atteint le 10%, la pompe d'arrosage se désactivera et l'électrovanne de fertilisation s'activera pour 3 secondes puis la pompe de remplissage de réservoir sera en marche pour 10 secondes.

N.B : les durées mentionnées sont aléatoires, car ils dépendent par rapport au débit de la pompe et de l'électrovanne ainsi que le volume de réservoir.

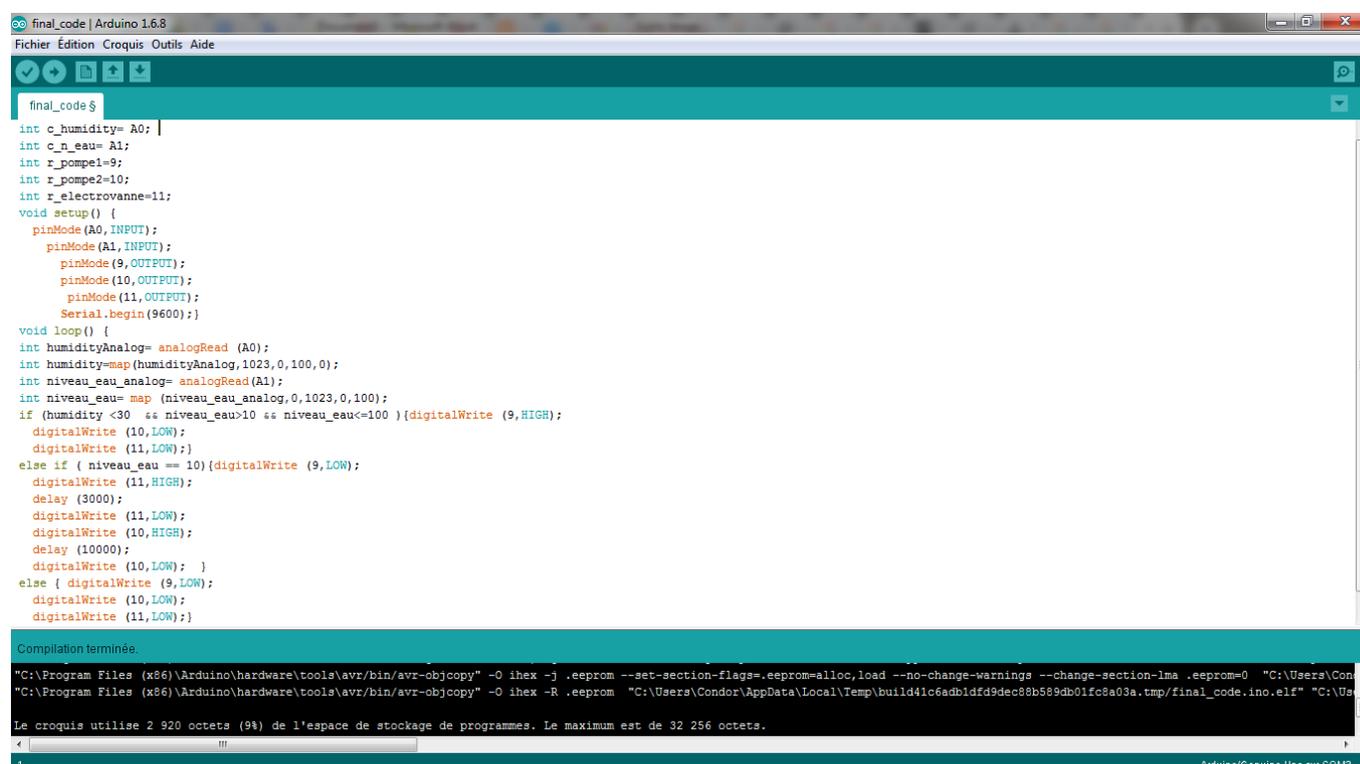
g)- **La partie 'else'** : Si les conditions précédentes ne sont pas vérifiées, le système sera en arrêt. Donc aucun actionneur ne sera active.

III.4.3. La simulation sur proteus

La simulation est faite dans 3 parties principales :

a) - Le programme

La création et la vérification du programme sur l'interface Arduino.



```
final_code | Arduino 1.6.8
Fichier Édition Croquis Outils Aide

final_code $
int c_humidity= A0; |
int c_n_eau= A1;
int r_pompe1=9;
int r_pompe2=10;
int r_electrovanne=11;
void setup() {
  pinMode(A0,INPUT);
  pinMode(A1,INPUT);
  pinMode(9,OUTPUT);
  pinMode(10,OUTPUT);
  pinMode(11,OUTPUT);
  Serial.begin(9600);}
void loop() {
int humidityAnalog= analogRead (A0);
int humidity=map(humidityAnalog,1023,0,100,0);
int niveau_eau_analog= analogRead(A1);
int niveau_eau= map (niveau_eau_analog,0,1023,0,100);
if (humidity <30 && niveau_eau>10 && niveau_eau<=100 ){digitalWrite (9,HIGH);
digitalWrite (10,LOW);
digitalWrite (11,LOW);}
else if ( niveau_eau == 10){digitalWrite (9,LOW);
digitalWrite (11,HIGH);
delay (3000);
digitalWrite (11,LOW);
digitalWrite (10,HIGH);
delay (10000);
digitalWrite (10,LOW); }
else { digitalWrite (9,LOW);
digitalWrite (10,LOW);
digitalWrite (11,LOW);}

Compilation terminée.
"C:\Program Files (x86)\Arduino\hardware\tools\avr\bin\avr-objcopy" -O ihex -j .eeprom --set-section-flags=.eeprom=alloc,load --no-change-warnings --change-section-lma .eeprom=0 "C:\Users\Con
"C:\Program Files (x86)\Arduino\hardware\tools\avr\bin\avr-objcopy" -O ihex -R .eeprom "C:\Users\Condor\AppData\Local\Temp\build41c6adb1dfd9dec88b589db01fc8a03a.tmp/final_code.ino.elf" "C:\Us
Le croquis utilise 2 920 octets (9%) de l'espace de stockage de programmes. Le maximum est de 32 256 octets.

1 Arduino/Genuino Uno sur COM3
```

Figure III.10 : Le programme sur l'interface arduino

b)- Montage de circuit sur Proteus

Pour cette partie nous avons d'abord installé la bibliothèque d'arduino car la version de proteus ne contient pas le microcontrôleur arduino. Puis nous avons passé au montage de circuit en mettant les composants l'un après l'autre.

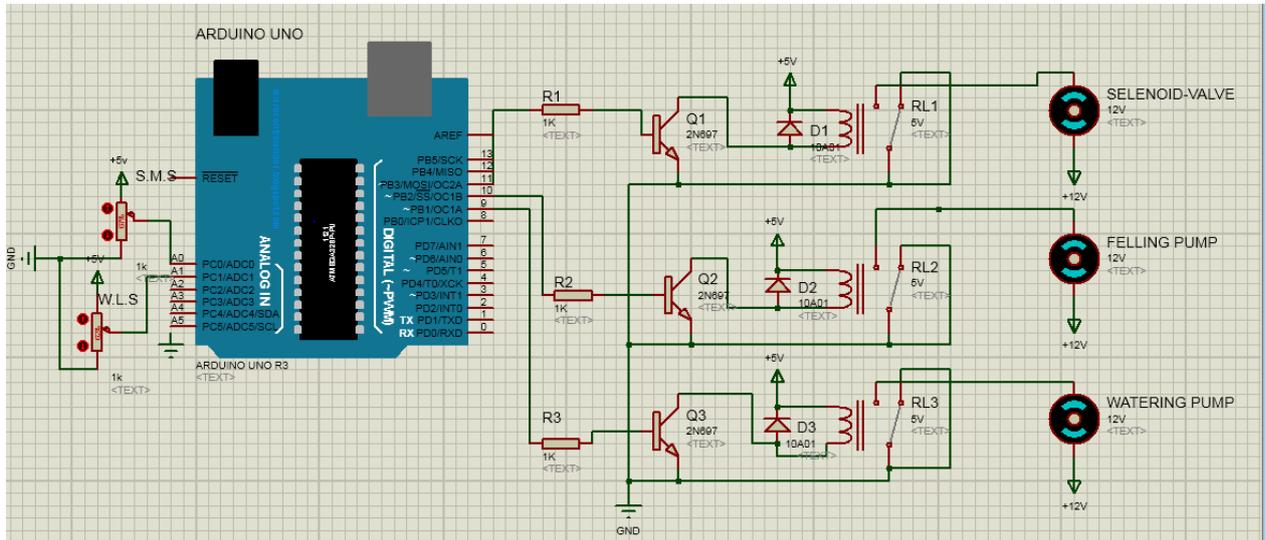


Figure III.11 : schéma de circuit général

c)- La création et l'importation de fichier HEX

La création d'un fichier HEX est pour l'exécution du programme sur Proteus, ce fichier va être créé après la vérification et la compilation du programme en cliquant sur « Croquis » puis sur « exporter les binaires compilés ». Après la création du fichier HEX, en cliquant sur le microcontrôleur, une fenêtre sera affichée, puis il faut copier le chemin de fichier dans la zone de programme file sur la fenêtre.

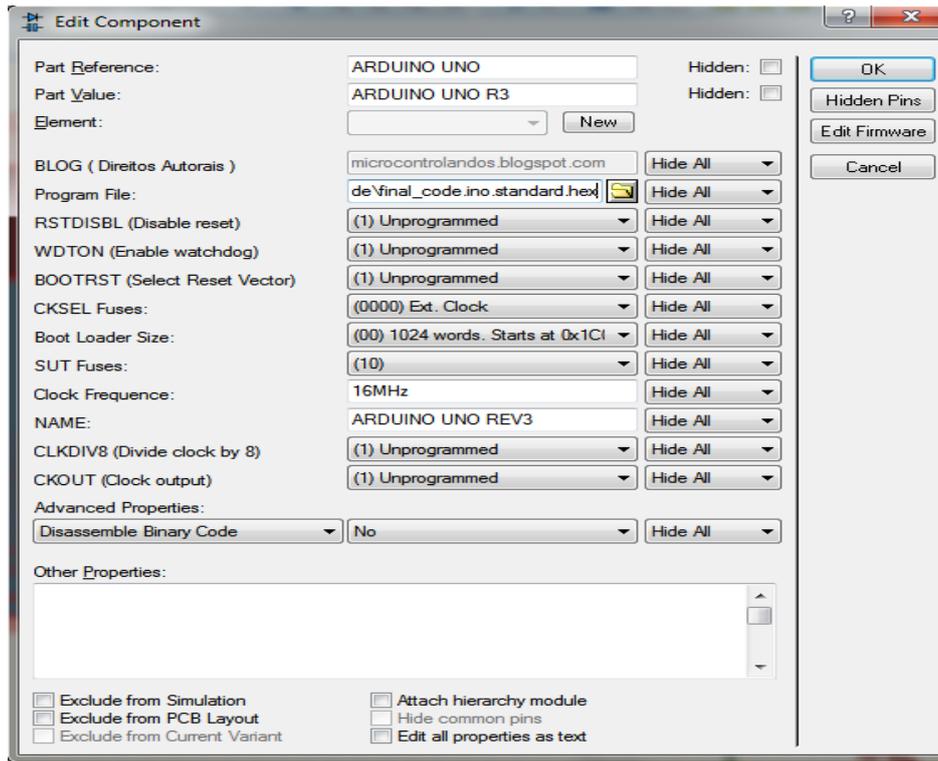


Figure III.12 : La fenêtre de paramètres d'arduino

III.4.4. Les résultats et les interprétations

Pour que nous puissions voir les résultats clairement, sur Proteus nous avons remplacés les actionneurs par des LED.

Après que nous avons fait les étapes nécessaires pour la simulation, on passe à l'exécution sur Proteus.

a) - **le premier cas :** la LED de l'électrovanne s'allume pour 3 seconds puis elle s'éteint lorsque le capteur de niveau d'eau atteint le 10% et l'humidité du sol est inférieure à 30%. Ça signifie que le microcontrôleur vérifie les conditions de fertilisation et exécute la partie de fertilisation.

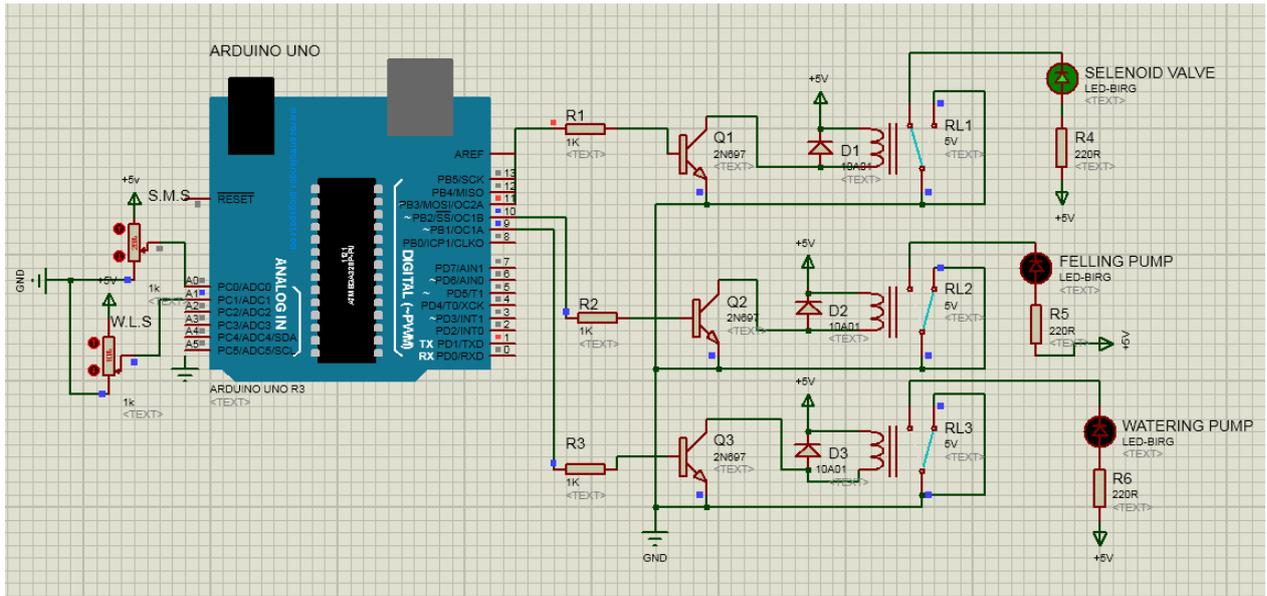


Figure III.13 : L'activation de système de fertilisation

b) - **Le deuxième cas :** après la fertilisation, le microcontrôleur passe à la partie de remplissage si les conditions sont encore vérifiées, dans ce cas, la LED qui remplace la pompe de remplissage s'allume pour 10 secondes (la durée n'est pas exacte car elle dépend au débit de la pompe et le volume de réservoir), dans ce temps le réservoir va être rempli, cela nous permet de passer à l'étape suivante.

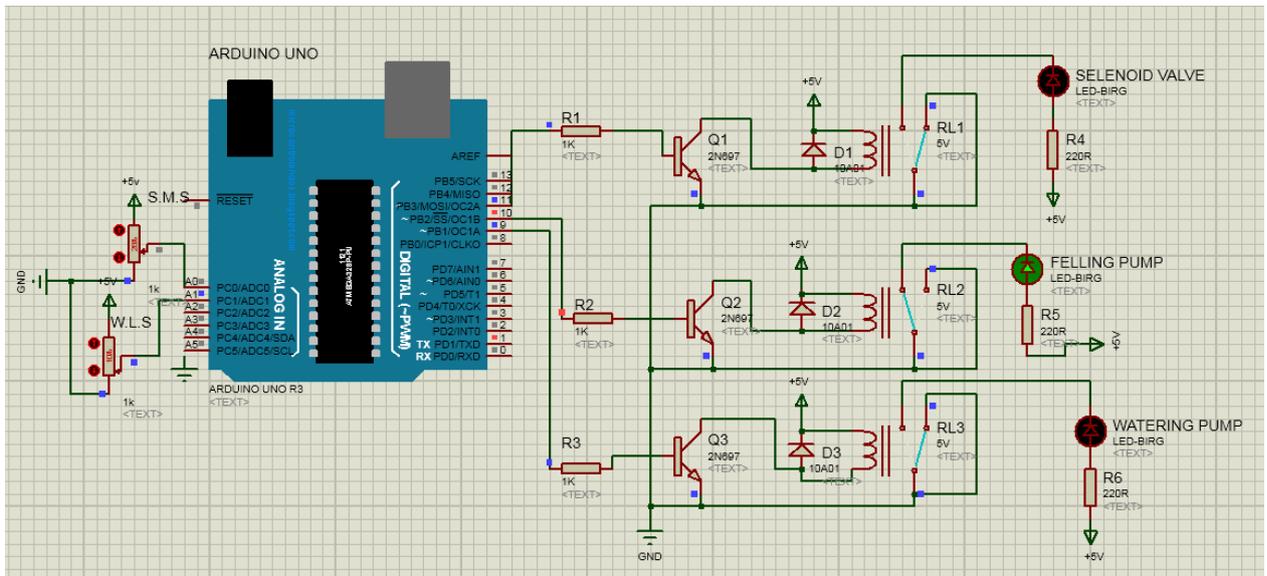


Figure III.14 : L'activation de système de remplissage

c) - **Le troisième cas** : si le réservoir est rempli ou bien la valeur délivrée par le capteur de niveau d'eau est supérieure à 10%, la LED d'arrosage s'allumera, ce qui montre que le système d'irrigation est actif. Et s'éteint lorsque l'humidité du sol s'augmente ou arrive à 30%.

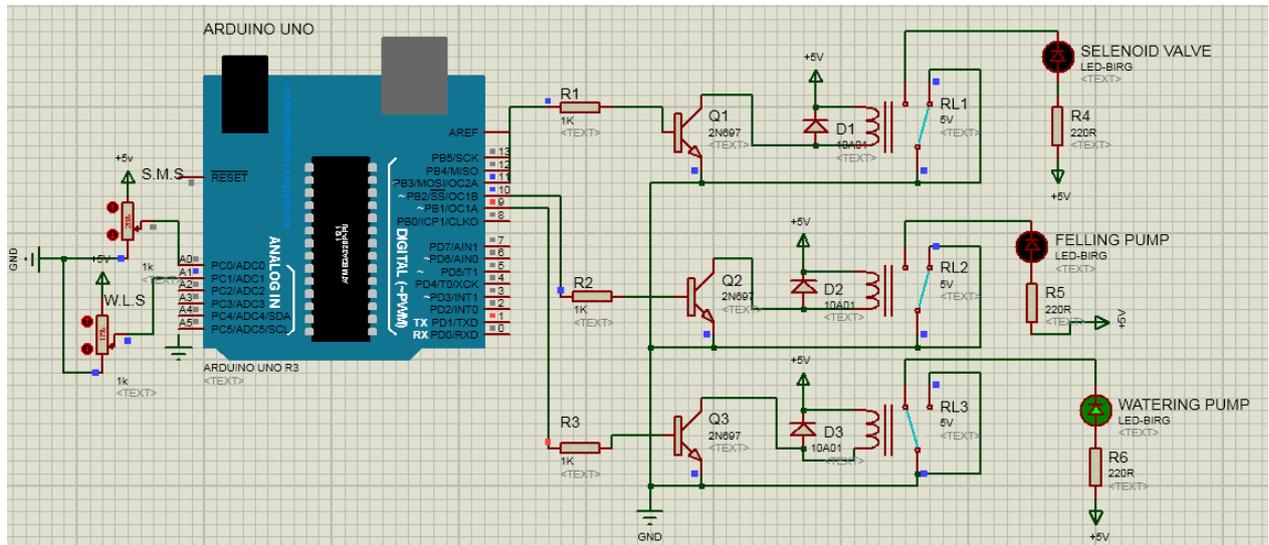


Figure III.15 : L'activation de système d'arrosage

d) - **Le dernier cas** : Si les conditions ne sont pas vérifiées les trois LEDs ne s'allument pas. Autrement dit, le système de fertirrigation ne fonctionne si et seulement si l'humidité du sol soit inférieure à la valeur requise. Donc, dans ce cas le système est en arrêt.

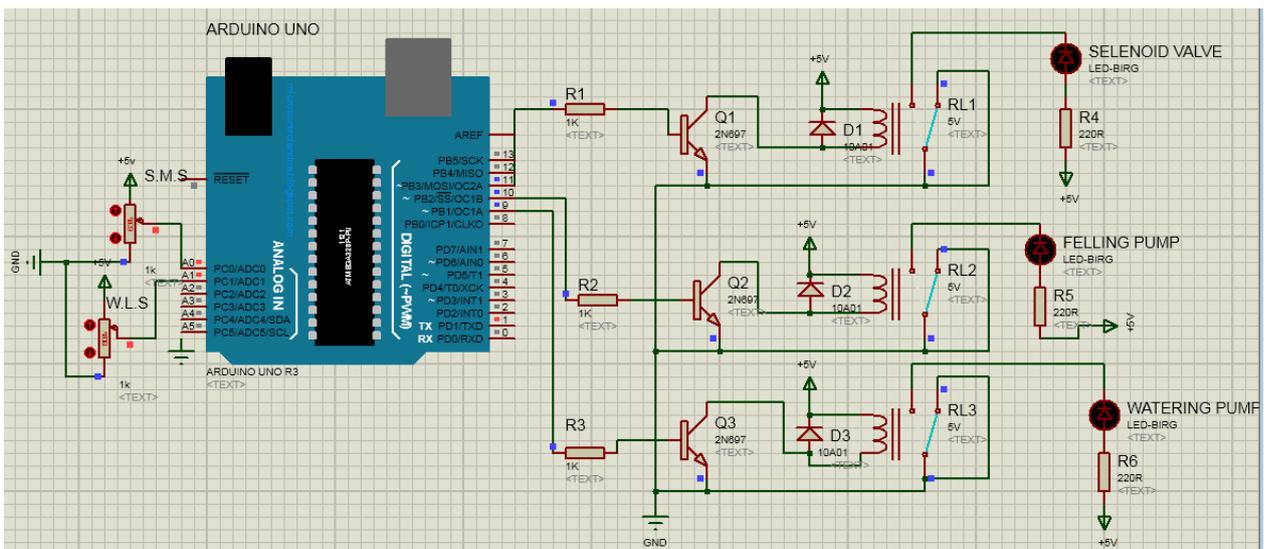


Figure III.16 : Le système en arrêt

Conclusion

Nous avons consacré ce chapitre pour la partie développement du système ainsi que pour les étapes de la réalisation du système de fertirrigation automatique.

Nous avons décrit le principe de notre projet ainsi que les environnements de développement. Par la suite nous avons présenté en détail la simulation de notre projet ou nous avons décrit le montage du matériel Arduino sur l'environnement ISIS Proteus et en détaillant le programme d'arduino et l'expliquer pas à pas.

Conclusion général

Notre projet consiste à donner un prototype d'un système agricole automatisé qui combine entre deux opérations essentielles qui sont la fertilisation et l'irrigation dans un seul système que nous appelons « système de fertirrigation automatique ».

Nous avons abordé le projet par une généralité sur l'agriculture pour avoir une idée général sur cette dernière, en précisant la fertilisation et les différentes techniques d'irrigation afin de choisir la technique la plus efficiente et la plus convenable avec le système désiré.

Ce système a été défini dans le deuxième chapitre en présentant leur principe de fonctionnement et le choix de technique d'irrigation qui convient avec le système. Nous avons aussi présentés les différents composants et les environnements de développement nécessaires pour accomplir la simulation. Finalement, le dernier chapitre a été consacré pour la simulation et pour les résultats et les interprétations. D'après les résultats obtenus, nous pouvons dire que le système de fertilisation automatique fonctionne selon l'algorithme que nous avons défini au départ, et qu'il n'est activé qu'en cas de besoin, ce qui confirme l'atteinte de l'objectif principal du projet, qui est de réduire le taux de gaspillage des ressources.

Notre projet était en relation avec plusieurs autres domaines comme l'automatisme, l'électronique appliquée ce qui nous a permis d'acquérir beaucoup de connaissances scientifiques. Nous avons appris aussi comment utiliser le logiciel Proteus ainsi que l'enrichissement avec plus d'information sur l'agriculture ce qui nous aidera à l'avenir si on veut réaliser ce thème sur terrain.

Le système actuel est évolutif, nous pouvons l'améliorer en ajoutant un PH mètre pour bien contrôler l'acidité d'eau, et d'utiliser un protocole sans fil tel que WIFI ou Bluetooth pour minimise les fils et les câbles pour la transmission de l'information. Un système de fertigation automatisé comme tous autres systèmes automatiques il peut être commandé ou contrôlé par une plateforme d'Androide.

A la fin nous souhaitons vivement que ce projet puisse servir comme élément de base pour d'autres études plus approfondies pour le faire intégrer sous des systèmes plus complexes.

Les Références Bibliographique

- [1] Parlons science : « Besoins des plantes ». [En ligne] (2019), disponible sur : <https://parlonssciences.ca/ressources-pedagogiques/documents-dinformation/besoins-des-plantes>, 26/09/2020.
- [2] Jardinier autrement : « Les besoins des plantes ». [En ligne], disponible sur : <https://www.jardiner-autrement.fr/les-besoins-des-plantes>, 26/09/2020.
- [3] Kebdani B et Missat L., 2013. « Etude de l'influence de type de la fertilisation et l'apport de fumure sur la culture de pomme de terre (*Solanum tuberosum*.L) », mémoire de Master 2 : Agronomie. Université de Tlemcen .
- [4] Lahlouh M et Azizou., 2018. « Etude et réalisation d'un système d'irrigation automatique », mémoire de Master 2 : Automatique et informatique industriel. Université de Khemis Miliana.
- [5] Barta B., Broner I., Schneekloth., Waskom R: « Les techniques d'irrigation agricole ». [En ligne] (09/10/2015), disponible sur : <https://irrigazette.com/fr/articles/les-techniques-dirrigation-agricole>, 25/09/2020.
- [6] Agronomie info : « irrigation gravitaire traditionnelle ». [En ligne], disponible sur : <https://agronomie.info/fr/irrigation-gravitaire-traditionnelle>
- [7] Agronomie info : « irrigation par aspersion ». [En ligne], disponible sur : <https://agronomie.info/fr/irrigation-par-aspersion> ,
- [8] Benouniche M, 2014. « Une innovation technique en train de se faire le goutte a goutte en pratique au maroc : acteurs, bricolages et effociences », thèse de doctorat :ECS Eaux Continentales et Société, Université Montpellier II Sciences et techniques Maroc.
- [9] Delaitte B., Vandeplas G., VANDERLINDEN F : « Irrigation goutte à goutte ». [PDF], disponible sur : <http://www.fao.org/3/a-az836f.pdf>, 26/09/2020.
- [10] Module de formation : « Irrigation au goutte a goutte ». [PDF], disponible sur : https://reca-niger.org/IMG/pdf/module_goutte_goutte_16_janv_19.pdf, 24/09/2020.
- [11] Positron libre : « Qu'est-ce que Arduino ? ». [En ligne], disponible sur : <https://www.positron-libre.com/electronique/arduino/arduino.php>, 02/10/2020

[12] Ammarkhodja N, 2018. « Etude et réalisation d'une alarme de température à base d'une carte arduino », Master 2 :Electronique Industrielle. Université MOULOUD MAMMERI Tizi Ouzou.

[13] TOURE M.L : « Cours de proteus professionnel ». [PDF], disponible sur : http://www.magoe.net/coursUniv/coursUniv_146_pdf.pdf

[14] Baci W 2019. « Gestion automatique des serres agricoles dans une ferme », master académique :Informatique.Université Mohamed Khider BISKRA.

[15] Last Minute Engineers: « Fonctionnement du capteur de niveau d'eau et interface avec Arduino ». [En ligne], disponible sur :

<https://lastminuteengineers.com/water-level-sensor-arduino-tutorial/#undefined>

[16] Last Minute Engineers: « Fonctionnement du capteur d'humidité du sol et interface avec Arduino ».[En ligne], disponible sur :

<https://lastminuteengineers.com/soil-moisture-sensor-arduino-tutorial/>

[17] Dominique, Guillaume, Jean-Luc : « Les relais électromagnétiques ». [En ligne] (08/12/2015), disponible sur : <https://www.locoduino.org/spip.php?article29>,(08/12/2020).

[18] Kherkhour B et Zerioul Z, 2016. « Conception et réalisation d'un système Domotique a base Arduino », Master professionnel : Electronique industrielle. Université MOULOUD MAMMERI,Tizi Ouzou