الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE DR. YAHIA FARES DE MEDEA

FACULTE DE TECHNOLOGIE

Département du Génie Électrique



Mémoire de Fin d'Études

Présenté pour l'obtention du Diplôme
de Master en Electronique

Option : Electronique des Systèmes Embarqués

THEME

Système de contrôle et supervision d'irrigation basé sur l'Internet des Objets

Proposé et dirigé par,

Dr. BOUHEDDA Mounir

Préparé et présenté par,

Melle. DJELLOUT Khaoula

Melle. SAIDI Amina

Thèse préparée au sein du Laboratoire des Systèmes Electroniques Avancés (SEA) de l'Université de Médéa

Année Universitaire 2017-2018

Remerciement

Avant tout, nous remercions Allah le tout-puissant qui nous ‘a donné la force et la patience afin de réaliser ce modeste travail, au terme duquel, il nous ‘est un agréable devoir de formuler nous vifs remerciements à tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à notre formation tant morale qu'intellectuelle.

Nous tenons à présenter un remerciement bien distingué à notre encadreur ***Dr. BOUHEDDA Mounir*** *pour son soutien, son aide, et ses conseils qui nous ont guidés durant l’élaboration de ce travail.*

Nous voudrait aussi remercier ***Mr. HAOUACINE Hamza*** *pour nous avoir donné l’opportunité de rejoignez le Master à l'université Yahia Fares à Médéa, pour ses conseils et ses encouragements qu’il nous a apporté durant ces deux ans.*

Sans oublier ***Dr. OULD ZMIRLI Mohamed*** *et* ***Mr. REGGAI****.*

Notre reconnaissance va également à l’ensemble des Enseignants qui vont honorer le jury.

En fin nous adressons nos sincères reconnaissances à tous ceux qui ont été présents aux moindres services, Merci infiniment...

Je tiens à dédier ce modeste travail à :

A mes très chers parents qui m'ont beaucoup soutenu, encouragé et qui ont fait de moi ce que je suis aujourd'hui ;

A ma chère sœur et meilleur amie Nesrine et son mari Bilel et son adorable enfant Mohamed Rayan ;

A mes chers frères : Mohamed et Houssem ;

A toutes ma famille ;

A ma chère copine et binôme Djellout Khawla et à toute sa famille;

A mes meilleures amies Sarah et Meriem ;

A toute la promotion ESE 2018 ;

Aux Concepteurs Universels ;

A Tous ceux qui veulent savoir ;

A Tous ceux qui veulent servir autrui ;

Qu'Allah les garde…

Amina

Je dédie cette thèse à :

Ma chère mère, *qui a sacrifié pour ma réussite. Aucune dédicace ne saurait être assez éloquente pour exprimer ce que elle mérite Merci pour son amour, son soutien et ses précieux conseils.*

Mon cher père, *qui peut être fier et peut trouver le résultat de longues années de sacrifices. Merci pour les valeurs nobles, l'éducation et le soutien permanent venu de vous.*

A mes oncles *Rabeh et Youcef et* ***mes tantes*** *Chahrazed ,Fatima ,Nasira et houriya qui n'ont cessé d'être pour moi des exemples de persévérance, de courage et de générosité.*

A mon cher frère *Okba qui je l'aime pour son amour et son soutien.*

A mes chères sœurs *, Hadjira, Asma ,Amina ,Sara.*

les mots ne suffisent guère pour exprimer l'amour et l'affection que je porte pour vous.

A ma chère copine et binôme *Amina Saidi ,en témoignage des bons et des dures évènements que nous avons passé ensemble.*

et à toute sa famille.

A toutes mes amies et les gens qui m'aiment .

Je vous dédie ce travail avec tous mes vœux de bonheur.

Khaoula

ملخص:

الهدف من هذا العمل هو السيطرة على الري والإشراف على بعض المعلمات المائية من الدفيئة. لهذا الغرض ، يتم تحقيق إنترنت الأشياء على أساس اردوينو.

كلمات مفتاحية : نظام الري ، المعلمات المائية ، التحكم ، إنترنت الأشياء.

Résumé :

L’objectif de ce travail est le contrôle de l'irrigation et la supervision de quelques paramètres hydriques d’une serre. A cet effet, l’internet des objets basés sur Arduino est réalisé.

Mots clés : Système d'irrigation, paramètres hydriques, contrôle, internet des objets.

Abstract:

The aim of this work is the control of irrigation and the supervision of some water parameters of a greenhouse. For this purpose, the Internet of Things based on Arduino is realized.

Keywords: Irrigation system, water parameters, control, internet of things.

Sommaire

Chapitre I : Présentation et problématique d'un système d'irrigation 1
I.1. Introduction 2
I.2. Présentation des systèmes d'irrigations 2
I.2.1. Définition d'irrigation 2
I.2.2. Pourquoi irriguer 2
I.2.3. Importance de l'irrigation 3
I.3. Les différentes techniques d'irrigation agricole existants 4
I.3.1. Les systèmes d'irrigation de surface ou les systèmes d'irrigation gravitaire 5
I.3.1.1. Irrigation par bassins 5
I.3.1.2. Irrigation par sillons / à la raie 6
I.3.1.3. Irrigation par planches 6
I.3.1.4. Avantages de l'irrigation de surface 7
I.3.1.5. Inconvénients de l'irrigation de surface 7
I.3.2. L'irrigation par aspersion 8
I.3.2.1. Avantages de l'irrigation par aspersion 8
I.3.2.2. Inconvénients de l'irrigation par aspersion 8
I.3.3. L'irrigation localisée ou micro-irrigation 9
I.3.3.1. L'irrigation goutte à goutte enterrée : cela consiste à quoi exactement 10
I.3.3.2. Avantages de l'irrigation localisée 11
I.3.3.3. Contraintes de l'irrigation localisée 12
I.4. Conclusion 12
Chapitre II : Implémentation et réalisation d'un système d'irrigation basé Internet des Objets 13
II.1. Introduction 14
II.2. L'internet des Objets 14
II.2.1. Définition 14
II.2.2. Caractéristiques des IOT 15
II.2.3. Catégories d'internet of things 16
II.2.4. La communication à l'aide d'IOT 16
II.2.5. Domaines d'application d'internet of things 16
II.3. Cloud Computing 17
II.3.1. Définition 17
II.3.2. Différentes solutions Cloud 17
II.3.2.1. Le Cloud Privé 17
II.3.2.2. Le Cloud public 17
II.3.2.3. Le Cloud hybride 17
II.3.3. Caractéristiques de Cloud 18
II.3.3.1. Libre-service à la demande 18
II.3.3.2. Large accès au réseau 18
II.3.3.3. Mise en commun des ressources 18
II.3.3.4. Élasticité rapide 18
II.3.3.5. Service mesuré 18
II.3.4. Modèles de services Cloud Computing 19
II.3.4.1. Logiciel en tant que service (SaaS) 19

II.3.4.2. Plate-forme en tant que service (Paas) 19
II.3.4.3. Infrastructure en tant que service (Iaas) 19
II.4. Fonctionnements et limites de Cloud et IOT 20
II.5. Implémentation de Cloud et Internet of things en irrigation 20
II.6. Contrôle et supervision d'un système d'irrigation intelligent 22
II.7. Le module Arduino 22
II.7.1. Description 22
II.7.2. Caractéristiques 23
II.7.3. Alimentation 23
II.7.4. Mémoire 24
II.7.5. Communications 25
II.7.6. Logiciel 25
II.8. Conclusion 26
Chapitre III: Implémentation et réalisation d'un système d'irrigation basées sur l'Internet des Objet……27

III.1. Introduction 28
III.2. Système d'irrigation automatisé proposé 28
III.2.1. Étapes du processus 29
III.2.2. Dispositifs matériels et technologie 29
III.3. Les Diagrammes et Schéma bloc de système 30
III.4. Montage et programmation des dispositifs 32
III.4.1. Le capteur d'humidité de sol 32
III.4.2. Le capteur de niveau d'eau 33
III.4.3. Le module Wifi ESP826 34
III.4.4. Le module Relais 35
III.4.5. La pompe 36
III.4.6. L'electrovanne 37
III.4.7. Les Leds et le buzzer 38
III.5. Montage et programmation des dispositifs avec la carte Arduino 38
III.5.1. Le code de configuration ESP8266 pour l'Arduino 38
III.5.2. Montage du système de capteur d'humidité de sol 40
III.5.3. Montage du système de capteur de niveau d'eau 41
III.5.4. Montage de la pompe 42
III.6. Supervision et Contrôle d'irrigation via internet 43
III.6.1. Déscription de ThingSpeak 43
III.6.2. Création d'un compte ThingSpeak 44
III.6.3. Affichage d'humidité de sol 45
III.6.4. Le contrôle des plugins 46
III.6.5. Le contrôle de température 48
III.6.6. TimeControl en utilisant twitter 48
III.7. Conclusion 50

Listes des figures

Figure I.1. Modes et surfaces irriguées par regions en algerie. 4
Figure I.2. Les bassins charentais de la région Longres - Saint-Fraigne 5
Figure I.3. L'irrigation à la raie. 6
Figure I.4. L'irrigation par planches.. 7
Figure I.5. L'irrigation par aspersion.. 8
Figure I.6. L'irrigation localisée (Le goutte à goutte). 9
Figure I.7. L'irrigation localisée (les micro-asperseurs). 10
Figure I.8. L'irrigation localisée (l'irrigation goutte à goutte enterrée SDI).. 10
Figure II.1. Domaines d'application d'internet of things. 15
Figure II.2. Interconnexion entre différentes types de Cloud 17
Figure II.3. L'agriculture urbaine rencontre l'Internet des Objets.. 21
Figure II.4. Composants techniques de l'Arduino……23
Figure II.5. L'environnement de programmation Arduino IDE.……25
Figure III.1. Utilisation de système d'irrigation intelligent.. 29
Figure III.2. Diagramme de bloc de système. 30
Figure III.3. Schéma réel du bloc…..……..31
Figure III.4. Présentation de capteur d'humidité de sol.. 32
Figure III.5. Présentation de capteur de niveau d'eau. 33
Figure III.6. Présentation de modulae wifi ESP8266 34
Figure III.7. Le Module relais JQC-3FF-S-Z.. 35
Figure III.8. La pompe d'eau 36
Figure III.9. L'electrovanne 220V ELBI type 329 1 voie. 37
Figure III.10. Les différents types de leds et le buzzer. 38
Figure III.11. Le code de configuration ESP8266 pour l'Arduino 39
Figure III.12. Montage de module ESP8266 WIFI avec l'Arduino.. 39
Figure III.13. Montage du capteur d'humidite de sol avec arduino. 40
Figure III.14. Lecture de la valeur analogique d'humidiité depuis le capteur et la transformer a une valeur numerique 40
Figure III.15. Montage du capteur de niveau d'eau avec arduino. 41
Figure III.16. Lecture des valeurs depuis les pin analogiques. 41
Figure III.17. Montage de la pompe d'eau avec arduino.. 42
Figure III.18. Code d'activation de la pompe.. 42
Figure III.19. installation finale de systéme d'irrigation. 43
Figure III.20. Fenêtre d'inscription de ThingSpeak 44
Figure III.21. Fenêtre de la création channel 44
Figure III.22. Fenêtre de channel crée……..……..45
Figure III.23. Affichage de valeurs d'humidité a 2 :00 chaque jour. 45
Figure III.24. Affichage de valeurs d'humidité de 00.00 d'hier jusqu'à l'heure actuelle.…...46
Figure III.25. Création de plugin. 46
Figure III.26. Affichage de plugin crée. 46
Figure III.27. Création de Callback 47
Figure III.28. Affichage de Callback crée. 47
Figure III.29. Button d'irrigation de TalkBack 47

Figure III.30. Execution de la commande irrigation_on 48
Figure III.31. Execution de la commande irrigation_off.. 48
Figure III.32. Affichage de Température.. 48
Figure III.33. Association d'un compte Twitter à ThingSpeak..... 49
Figure III.34. Création de TimeControl à ThingSpeak. 49
Figure III.35. Sauvegarde de TimeControl dans ThingSpeak..... 50

Liste des tableaux

Tableau I.1. Mode d'irrigation par régions en Algérie (ha). 4
Tableau III.1. Les caractéristiques de capteur d'humidité de sol.. 32
Tableau III.2. Les caractéristiques d'electrovanne. 37

Selon une récente étude réalisée par Markess [1], 91 % des décideurs métier et informatique aurait mis en place des projets reposants ou faisant appel à des solutions de Cloud Computing. Parmi les secteurs qui plébiscitent le plus cette technologie, on retrouve les opérateurs, la distribution et le commerce et l'agriculture, les services et les industries, les banques et les assurances, et enfin les ministères et les collectivités. Autant dire que, tous les types de structures sont concernés.

Toujours selon cette étude, le Cloud apporte de nombreux avantages : il permet de mieux adapter les ressources dans le temps (42 % des répondants), il permet de disposer rapidement d'un environnement de travail (41 % des répondants) et enfin, il permet d'accéder rapidement à des ressources lorsque celles-ci sont insuffisantes ou non existantes (40 % des répondants) [1].

Le Cloud est utilisé dans les systèmes d'irrigation afin d'aider les producteurs agricoles à gérer, contrôler, programmer et superviser efficacement les différents systèmes d'irrigation. Ils sont prêt à travailler dans des déférentes environnements de production cultures, favorise ainsi la collaboration en temps réelle, les usages Web, l'analyse des données, les usages mobiles ou encore la création et la gestion de contenu.

L'objectif principal de notre travail est de concevoir une solution technologique, basée internet et appréhendable permettant de faciliter la tache de surveillance des plantes et d'assurer la bonne gestion de notre ressource vital. Ce mémoire est structuré en trois chapitres : Le premier chapitre proposera une présentation et problématique de notre système d'irrigation automatique, la notion et caractéristiques du Cloud et l'internet of things utilisé sont présentés en détail dans le chapitre II. Dans le chapitre III, une solution basée sur l'internet des objets utilisant Arduino est présentée.

Chapitre I :

Présentation et problématique d'un système d'irrigation

I.1. Introduction

Dans cette partie consacrée à la présentation des différentes notions théoriques en relation avec le sujet traité, on va donner dans un premier temps une présentation de l'irrigation intelligente, avant de passer dans un deuxième temps à la mise sous loup des différentes techniques d'irrigation agricole existants (types, avantages et inconvénients).

I.2. Présentation des systèmes d'irrigations

L'irrigation agricole est une technique artificielle utilisée sur des terres agricoles, dans le but d'augmenter leurs rendements, surtout quand il y a un manque ou une insuffisance d'eau de pluie. En outre, l'agriculture irriguée consomme environ 70% des ressources mondiales en eau.

I.2.1. Définition d'irrigation

L'irrigation est le procédé dans lequel l'eau douce est fournie aux plantes à intervalles réguliers est ou selon besoin pour leur culture:

- en cas de manque ou d'insuffisance d'eau d'origine naturelle (pluie ou nappe phréatique);
- dans des régions arides ou au climat très sec ;
- pour des cultures qui demandent plus d'eau qu'elles ne peuvent en trouver sur place (maïs, coton...).

Généralement on parle d'« arrosage » pour les petites surfaces (jardinage) réservant le terme d'« irrigation » pour les surfaces plus importantes (agriculture de plein champ, horticulture) [2].

I.2.2. Pourquoi irriguer

L'irrigation agricole et artificielle est utilisée afin d'augmenter les rendements :

- L'irrigation améliore les rendements des terres agricoles par l'apport de l'eau nécessaire à une forte croissance.
- L'irrigation est combinée la plupart du temps à un apport d'intrants chimiques (fertilisants...).

I.2.3. Importance de l'irrigation

Dans les prochaines années, la production alimentaire mondiale devra doubler pour répondre à la demande de population accrue. 80% de cette augmentation de la production alimentaire devra provenir de terres existantes et 60% de cette augmentation de la nourriture.

La production devra provenir de terres irriguées. Sans irrigation, l'agriculture est très limitée et si les précipitations diminuent à moins de 30 cm, l'agriculture devient impossible sans irrigation, Cela augmente le rendement des cultures. Il protège de la famine. Il aide à cultiver des cultures supérieures avec l'approvisionnement en eau selon les besoins des cultures.

En fin de compte, cela aide au développement économique. L'eau d'irrigation améliore les conditions dans le sol, augmente la teneur en eau des fibres végétales, dissout les nutriments et les rend disponibles pour les plantes. L'irrigation affecte les conditions de température en régulant la température de la couche de surface du sol et de l'air et aussi permet le contrôle de la croissance et du développement des plantes et l'amélioration de la qualité de la récolte.

I.3. Les différentes techniques d'irrigation agricole existants

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. Le tableau I.1. donne des statistiques sur le Mode d'irrigation (Aspersion, Localisée, Gravitaire) par rapport aux régions en Algérie, Ces résultats sont représentées par un histogramme décrit dans la figure I.1. [3].

Tableau I.1. Mode d'irrigation par régions en Algérie (ha).

	Est	**Centre**	**Ouest**	**Sahara**	**Total**	**%**
Aspersion	32026	12625	20282	21054	85987	25,45
Localisée (Goutte a goutte)	42272	11523	22708	6672	83175	24,60
Gravitaire	66801	19232	14077	68777	168887	49,95
Total	141099	43380	57067	96503	338049	100%

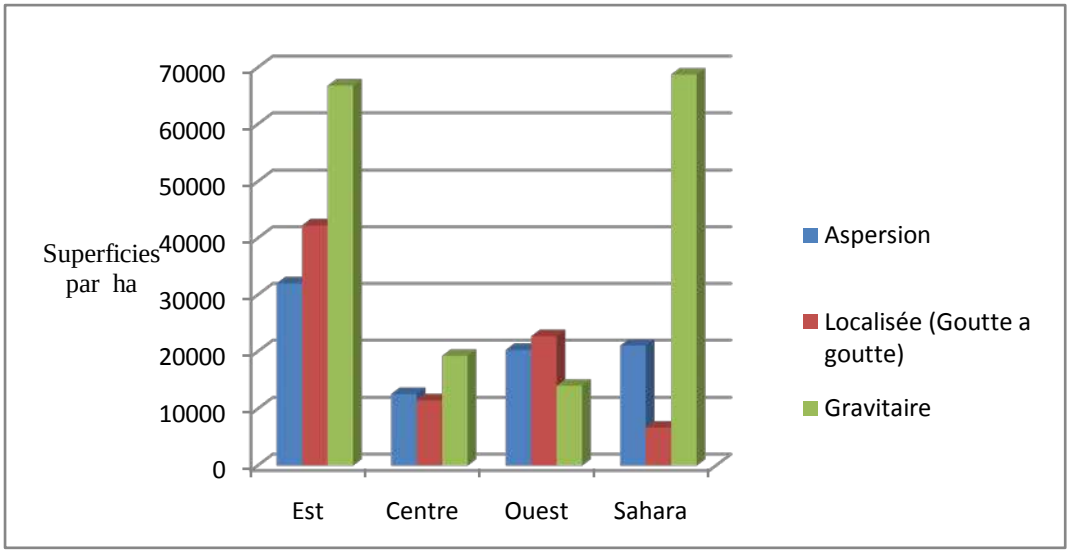


Figure I.1. Modes et surfaces irriguées par regions en algerie.

I.3.1. Les systèmes d'irrigation de surface ou les systèmes d'irrigation gravitaire

L'irrigation de surface consiste à amener l'eau au point le plus haut du terrain et à la laisser s'écouler par gravité. L'eau est ensuite distribuée au champ, soit par submersion (irrigation par bassins), soit dans des sillons en terre (irrigation par sillons /a la raie) ou bien par ruissellement à la surface d'une planche d'arrosage (irrigation par planches). [4]

I.3.1.1. Irrigation par bassins

Les bassins sont constitués de cuvettes en terre, à fond à peu près plat, entourées de diguettes de faible hauteur ou levées. Ces levées sont conçues pour empêcher le passage de l'eau aux champs adjacents. Cette technique est utilisée, d'une façon générale, pour l'irrigation des rizières sur terrain plat, des terrasses à flanc de coteau, ou pour l'irrigation des arbres fruitiers. En général, cette technique d'irrigation s'applique à toutes les cultures qui peuvent tolérer la submersion par les eaux pour une longue durée (e.g. 12-24 heures). [4]

La figure I.2. représente un exemple de l'utilisation de cette technique.



Figure I.2. Exemple d'irrigation par bassins.

I.3.1.2. 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'infiltre 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 comme le montre la figure I.3.

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 (e.g. 12-24 heures).



Figure I.3. L'irrigation à la raie.

I.3.1.3. Irrigation par planches

Les planches sont des bandes de terrain, aménagées en pente douce et séparées par des diguettes. Elles sont aussi appelées calants ou planches d'arrosage. 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. La lame d'eau introduite ruisselle en descendant la pente de la planche, guidée par les diguettes des deux côtés de celle-ci comme le montre la figure I.4.

.



Figure I.4. L'irrigation par planches.

I.3.1.4 Avantages de l'irrigation de surface

- techniques anciennes, bien connues ;
- coût d'investissement faible à la parcelle pour l'agriculteur ;
- pas d'apport énergétique extérieur ;
- alimentation des nappes phréatiques ;
- augmentation de la biodiversité [5].

I.3.1.5 Inconvénients de l'irrigation de surface

- temps de main d'œuvre pour la répartition et la surveillance important ;
- coûts importants en cas d'ouvrages d'art (aqueduc, galerie…)
- « pertes » d'eau importantes dans les canaux selon la nature du sol : nécessité d'étanché les lits des branches principales ;
- lieu de points de distribution fixe, parcellaire relativement figé ;
- nécessite un terrain plat ou un nivellement ;
- faible efficience ;
- estimation du volume réellement consommé difficile ;
- pollution possible par déversement [5].

I.3.2 L'irrigation par aspersion

L'aspersion est une technique d'irrigation par laquelle l'eau est apportée aux plantes sous la forme d'une pluie artificielle comme le montre la figure I.5. Les deux dispositifs les plus utilisés pour la mettre en œuvre sont les asperseurs rotatifs et les canons d'arrosage. Parmi les facteurs qui affectent la conception d'un système d'aspersion figurent la quantité d'eau à apporter, la pluviométrie souhaitée, la pression disponible, les caractéristiques du sol, des plantes et du vent et des conditions particulières comme la possibilité de gel. La pluviométrie dépend de la quantité d'eau à apporter, mais aussi de la pente, du type de sol et de sa couverture végétale.



Figure I.5. L'irrigation par aspersion.

I.3.2.1 Avantages de l'irrigation par aspersion

- pas de pertes d'eau dans les conduites de transport (si entretien régulier) ;
- parcellaire non figé ;
- Technique adaptée à tout type de sol ;
- possibilité de lutte anti-gel [6].

I.3.2.2 Inconvénients de l'irrigation par aspersion

- investissement pour l'agriculteur important ;
- besoins énergétiques importants en cas de pompage ;
- maintenance des installations collectives onéreuse ;
- faible dimension des buses d'aspersion ou des goutteurs nécessitant une eau filtrée ;
- infiltrations moindres, donc alimentation des nappes phréatiques moins marquée [6].

I.3.3 L'irrigation localisée ou 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 comme le montre la figure I.6. 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. La micro-irrigation comprend : **les micro-asperseurs** montré dans la figure I.7**, le goutte à goutte et l'irrigation goutte à goutte enterrée (SDI)** montré dans la figure I.8**.**

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 de pratiquer la lutte antigel, d'avoir une plus grande flexibilité lors des arrosages et une sensibilité plus faible au colmatage.

Les systèmes goutte à goutte apporte l'eau directement sur ou dans le sol (SDI) et ne mouillent qu'une partie seulement du sol [7].



Figure I.6. L'irrigation localisée (Le goutte à goutte).



Figure I.7. L'irrigation localisée (les micro-asperseurs).



Figure I.8. L'irrigation localisée (l'irrigation goutte à goutte enterrée SDI).

I.3.3.1 L'irrigation goutte à goutte enterrée : cela consiste à quoi exactement

L'irrigation apparaît comme une des solutions de l'adaptation de l'agriculture au changement climatique. Parmi les technologies de précision pour économiser la ressource, le système du goutte-à-goutte enterré qui permet d'apporter l'eau directement aux racines de la plante avec une économie d'eau allant jusqu'à 30 % par rapport à un système classique par aspersion sans baisse de rendement.

Irriguer oui, mais pas plus qu'il n'en faut. Ainsi, pourrait-on résumer le principe du « goutte-à-goutte enterré ».

On alimente en eau la plante et pas le sol, ainsi on évite les évaporations de surface souvent accrue par la présence de mauvaises herbes. En apportant l'eau directement aux racines des plantes cultivées, cette technique permet de réduire l'impact environnemental de l'irrigation. Constitué d'un système de gaines équipées de goutteurs et enterrées dans le sol à plus de 30cm de profondeur, le procédé a le double avantage d'apporter aux plantes l'eau qu'il leur faut et de permettre à l'agriculteur de labourer en surface [8].

I.3.3.2 Avantages de l'irrigation localisée

- Il est fortement conseillé dans les régions où la pénurie d'eau est chronique. Ce système peut, en effet, engendrer des économies d'eau allant de 20 à 50% par rapport à l'irrigation gravitaire.

- L'irrigation localisée est d'une grande utilité lorsque les eaux destinées à l'arrosage sont saumâtres, puisque le sol, restant tout le temps humide, présente un potentiel hydrique faible, ce qui rend l'eau disponible en continu**.**

- L'alimentation hydrique des cultures est régulière car le système de la micro-irrigation utilise des doses faibles et des fréquences élevées des apports d'eau. Les pertes d'eau par évaporation sont notamment très faibles.

- L'irriguant gère les tours d'eau d'une manière relativement aisée en matière de vitesse d'exécution des arrosages.

- L'alimentation minérale des cultures peut être maîtrisée car le système de la micro-irrigation s'adapte facilement à ce qu'il est convenu d'appeler fertigation et selon laquelle les engrais minéraux sont injectés directement dans l'eau d'irrigation.

- Les arrosages sont complètement indépendants vis-à-vis des autres techniques culturales telles que la récolte.

- Les risques de maladies sont fortement réduits car le feuillage n'est pas mouillé, d'où la diminution de l'impact des problèmes cryptogamiques**.**

I.3.3.3 Contraintes de l'irrigation localisée

Malgré tous les avantages de l'irrigation localisée, ce système est plutôt considéré comme une technologie qu'une simple technique culturale. Toutes ces qualités énoncées ci-dessus peuvent s'avérer inexactes dans le cas d'une mauvaise conception du réseau d'irrigation, d'une gestion médiocre des arrosages, d'un mauvais choix du matériel ou encore d'une maintenance défectueuse des composantes du système [9].

I.4 Conclusion:

Dans ce chapitre nous avons expliqué la notion d'irrigation enterrée automatique qui est une technologie très utile pour l'économie de l'eau, aussi nous avons abordé quelques explications des types de système d'irrigation et ensuite, nous avons discuté tout ce qui concerne l'irrigation goutte a goutte.

Chapitre II :

Internet des objets et Arduino

II.1. Introduction

Aujourd'hui, le Cloud et l'Internet des choses sont appliquées dans le but d'atteindre un niveau plus élevé d'intégration et d'accéder aux données en temps réel. Dans cette partie, on va donner une définition sur la notion d'Internet des objets et le terme Cloud Computing, ses caractéristiques, ses limites et ses fonctionnement, avant de passer à la mise sous loupe d'Implémentation de ces derniers en irrigation et les différentes techniques de les contrôler, par la suite on va donné une description bien detaillée sur l'arduino, c'est grace à t'il , la communication est possible entre IOT et Cloud pour la mise en disponibilité d'un système intelligent fiable.

II.2. L'internet des Objets

II.2.1. Définition

Selon l'Union internationale des télécommunications, l'Internet des objets (IdO) est une « *infrastructure mondiale pour la société de l'information, qui permet de disposer de services évolués en interconnectant des objets (physiques ou virtuels) grâce aux technologies de l'information et de la communication interopérables existantes ou en évolution* ». En réalité, la définition de ce qu'est l'Internet des objets n'est pas figée. Elle recoupe des dimensions d'ordres conceptuel et technique.

D'un point de vue conceptuel, l'Internet des objets caractérise des objets physiques connectés ayant leur propre identité numérique et capables de communiquer les uns avec les autres. Ce réseau crée en quelque sorte une passerelle entre le monde physique et le monde virtuel.

D'un point de vue technique, l'IdO consiste en l'identification numérique directe et normalisée (adresse IP, protocoles smtp, http...) d'un objet physique grâce à un système de communication sans fil qui peut être une puce RFID, Bluetooth ou Wi-Fi [10].

La figure II.1. représente qu'il existe une panoplie de domaines d'applications pour les secteurs de l'internet des objets, du machine to machine et des objets connectés que ce soit dans le monde industriel ou dans la vie de tous les jours.



Figure II.1. Domaines d'application d'internet of things.

II.2.2. Caractéristiques des IOT

Les caractéristiques fondamentales de l'IdO sont les suivantes :

a) Inter-connectivité : En ce qui concerne l'IoT, tout peut être interconnecté avec l'information et la communication mondiales Infrastructure.

b) Services liés aux choses: l'IoT est capable de fournir services liés aux choses dans les contraintes des choses, telles que la protection de la vie privée et la cohérence sémantique entre physique les choses et leurs choses virtuelles associées.

c) Hétérogénéité: Les dispositifs de l'IoT sont hétérogènes basé sur différentes plates-formes matérielles et réseaux. Ils peuvent interagir avec d'autres appareils ou plates-formes de service à travers différents réseaux.

d) Changements dynamiques: l'état des périphériques change dynamiquement, par exemple, dormir et se réveiller, connecté et / ou déconnecté comme ainsi que le contexte des dispositifs, y compris l'emplacement et la vitesse. De plus, le nombre d'appareils peut changer de façon dynamique.

e) Énorme échelle: Le nombre d'appareils qui doivent être gérés et qui communiquent entre eux sera au moins un ordre de grandeur plus grand que les dispositifs connectés à l' Internet actuel. Encore plus critique sera la gestion des données générées et leur interprétation aux fins de l'application. Cela concerne la sémantique des données, ainsi que des données efficaces manipulation.

f) Sécurité: Comme nous gagnons des avantages de l'IoT, nous ne devons pas oublier à propos de la sécurité. En tant que créateurs et destinataires de l'IoT, nous doit concevoir pour la sécurité. Cela inclut la sécurité de notre personnel données et la sécurité de notre bien-être physique. Sécuriser les points d'extrémité, les réseaux et les données se déplaçant à travers tout cela signifie créer un paradigme de sécurité.

g) Connectivité: la connectivité permet l'accessibilité au réseau et compatibilité. L'accessibilité est mise en réseau tout en la compatibilité fournit la capacité commune de consommer et produire des données.

II.2.3. Catégories d'internet of things

Internet des objets est définissais en trois catégories comme suit:

- ✓ Les gens aux gens,
- ✓ les gens à machiner / choses,
- ✓ Choses / machine à choses / machine, Interagir via internet.

II.2.4. La communication à l'aide d'IOT

Internet of Things (IoT) est une infrastructure mondiale pour la société de l'information, permettant des services avancés interconnexion (physique et virtuel) des choses basées sur existant et l'évolution de l'information interopérable et de la communication les technologies.

Avec l'Internet des Objets, la communication est étendue via Internet à toutes les choses qui nous entourent. L'Internet de Les choses sont beaucoup plus que de la machine à la machine communication, réseaux de capteurs sans fil, réseaux de capteurs,2G / 3G / 4G, GSM, GPRS, RFID, WI-FI, GPS, microcontrôleur, microprocesseur etc…[11].

II.2.5. Domaines d'application d'internet of things

Les applications potentielles de l'IoT sont nombreuses et variées, pénétrer dans pratiquement tous les domaines de la vie quotidienne , les entreprises et la société dans son ensemble. L'IoT l'application couvre les environnements / espaces "intelligents" dans les domaines tels que: transport, bâtiment, ville, life style, vente au détail, agriculture, usine, chaîne d'approvisionnement, urgences, soins de santé, interaction des utilisateurs, Culture et tourisme, environnement et énergie.

II.3. Cloud Computing

II.3.1. Définition

Le Cloud Computing (L'informatique en nuage en Français) fournit des services ou des applications informatiques en ligne, accessibles partout, à tout moment, et de n'importe quel terminal (Smartphone, PC, tablette). Pour être plus précis, le Cloud Computing permet de partager, chez un fournisseur d'offres Cloud, une infrastructure, une solution applicative ou encore une plateforme à tout utilisateur qui en fait la demande via un simple site internet en libre-service, la figure II.2. montre l'interconnexion entre différentes types de Cloud.

II.3.2. Différentes solutions Cloud

II.3.2.1. Le Cloud Privé

Le Cloud Privé est un mode de consommation de l'informatique s'appuyant sur des ressources (serveur, stockage, réseau, licences logicielles..) mises à disposition exclusive d'une entreprise.

II.3.2.2. Le Cloud public

Le Cloud public est une structure souple et ouverte, géré par un fournisseur tiers. Plusieurs utilisateurs (individuels ou entreprises) peuvent y accéder via Internet. Avec le Cloud public, de multiples entités se partagent les mêmes ressources informatiques.

II.3.2.3 Le Cloud hybride

Le Cloud hybride est une structure mixte qui permet de combiner les ressources internes du Cloud privé à celles externes du Cloud public.

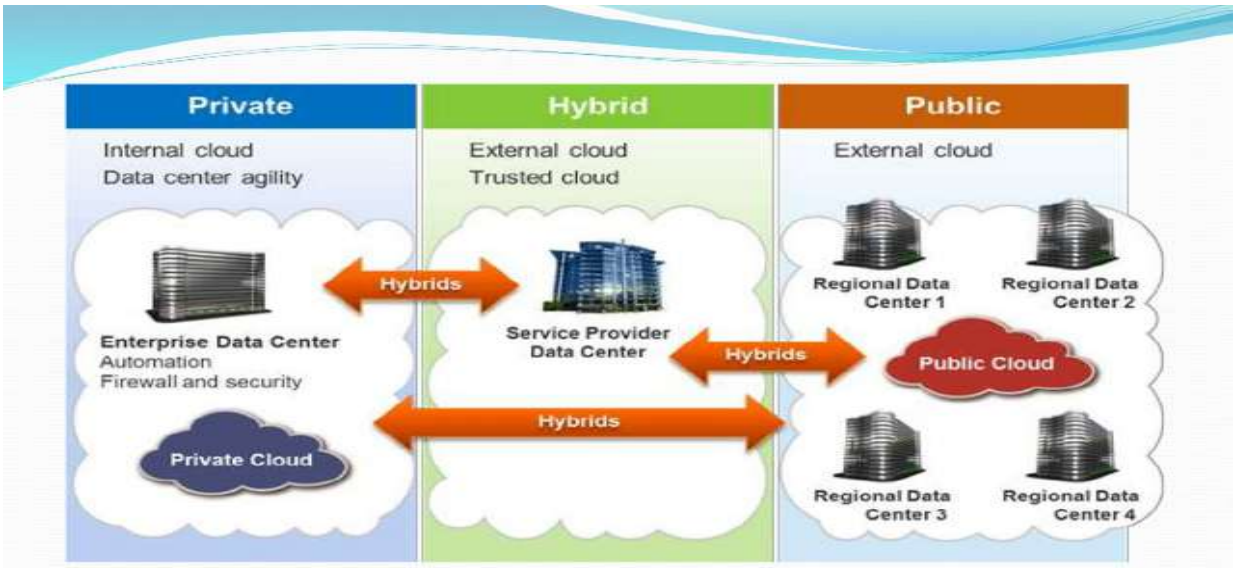


Figure II.2. Interconnexion entre différentes types de Cloud.

II.3.3. Caractéristiques de Cloud

Le Cloud peut avoir plusieurs caractéristiques.

II.3.3.1. Libre-service à la demande: Un consommateur peut provisionner unilatéralement des capacités de calcul, telles que l'heure du serveur et le stockage réseau, au besoin automatiquement sans nécessiter de interaction avec chaque fournisseur de services.

II.3.3.2. Large accès au réseau: Les capacités sont disponibles sur le réseau et accessibles via la norme mécanismes qui favorisent l'utilisation par des plates-formes client hétérogènes minces ou épaisses (téléphones mobiles, tablettes, ordinateurs portables et postes de travail).

II.3.3.3. Mise en commun des ressources: Les ressources informatiques du fournisseur sont regroupées pour servir plusieurs consommateurs en utilisant un modèle multi-locataire, avec différentes ressources physiques et virtuelles dynamiquement affecté et réaffecté en fonction de la demande des consommateurs.

II.3.3.4. Élasticité rapide: Les capacités peuvent être provisionnées et libérées de manière élastique, dans certains cas automatiquement, à l'échelle rapidement vers l'extérieur et vers l'intérieur en fonction de la demande. Au consommateur, les capacités disponibles pour l'approvisionnement semblent souvent illimitées et peuvent être approprié dans n'importe quelle quantité à tout moment.

II.3.3.5. Service mesuré: Les systèmes Cloud contrôlent et optimisent automatiquement l'utilisation des ressources en exploitant une capacité de mesure à un certain niveau d'abstraction approprié au type de service (stockage, traitement, bande passante et comptes d'utilisateurs actifs). L'utilisation des ressources peut être surveillé, contrôlé et signalé, fournissant la transparence pour le fournisseur et consommateur du service utilisé.

II.3.4. Modèles de services Cloud Computing

Les fournisseurs de cloud proposent des services pouvant être regroupés en trois catégories:

II.3.4.1. Logiciel en tant que service (SaaS)

Dans ce modèle, une application complète est offerte au client, en tant que service à la demande. Une seule instance du service s'exécute sur le cloud et plusieurs utilisateurs finaux sont desservis. Du côté des clients, il n'est pas nécessaire d'investir d'avance dans les serveurs ou licences de logiciels, tandis que pour le fournisseur, les coûts sont réduits, car une seule application doit être hébergé et maintenu. Aujourd'hui, le SaaS est proposé par des entreprises telles que Google, Salesforce, Microsoft, Zoho, etc [12].

II.3.4.2. Plate-forme en tant que service (Paas)

Ci, une couche de logiciel, ou environnement de développement est encapsulé et offert en tant que service, sur lequel d'autres niveaux plus élevés de service peuvent être construits. Le client a la liberté de créer ses propres applications, qui s'exécutent sur le fournisseur Infrastructure. Pour répondre aux exigences de gérabilité et d'évolutivité des applications, PaaS fournisseurs offrent une combinaison prédéfinie de systèmes d'exploitation et de serveurs d'applications, tels que la plate-forme LAMP (Linux, Apache, MySql et PHP), J2EE restreint, Ruby, etc App Engine de Google, Force.com sont quelques-uns des exemples populaires de PaaS [12].

II.3.4.3. Infrastructure en tant que service (Iaas)

IaaS fournit des capacités de stockage et de calcul de base services standardisés sur le réseau. Serveurs, systèmes de stockage, équipement de réseau, données l'espace central etc. sont regroupés et mis à disposition pour gérer les charges de travail. Le client déploie généralement son propre logiciel sur l'infrastructure. Quelques exemples courants sont Amazon ,GoGrid, 3 Tera,.. etc [12].

II.4. Fonctionnements et limites de Cloud et IOT

L'Internet des Objets (IoT) et le Cloud Computing développent tous deux des technologies. Le Cloud Computing a été développé pour fournir un support à IoT en travaillant comme une sorte de front-end et il est basé sur le concept de permettre aux utilisateurs d'effectuer des tâches informatiques en utilisant des services fournis avec Internet. Le cloud computing permet un accès réseau approprié, à la demande et évolutif à un pool partagé de ressources informatiques configurables. L'architecture IoT basée sur le cloud inclut les fonctionnalités de la plateforme IoT basée sur le cloud et son interaction avec trois principaux modèles de cloud computing: IaaS (infrastructure en tant que service), Paas (plateforme en tant que service) et SaaS (logiciel en tant que service). L'intégration cloud et IoT permet de nouveaux scénarios, pour des services et applications intelligents, tels que la détection en tant que service (SaaS), DataBase en tant que service (DBaaS), la vidéosurveillance en tant que service (VSaaS) et bien d'autres.

Les protocoles de mise en réseau tels que IPv6 sur réseau personnel sans fil à faible consommation (6LoWPAN) et IPv6 sur Bluetooth Low Energy sont utilisés pour les réseaux sous contrainte dans l'IoT et l'intégration dans le cloud. Les protocoles de couche de liaison de données pour les appareils IoT tels que IEEE 802.15.4, IEEE 802.11ah, Z-Wave, WirelessHART, Bluetooth et Zigbee sont utilisés pour la communication à courte distance pour les objets IoT.

Les applications du cloud intégré et de l'IoT incluent l'agriculture, la vidéosurveillance, les soins de santé, la ville intelligente, la maison intelligente et le comptage intelligent. L'intégration IoT et cloud implique plusieurs défis et problèmes tels que la standardisation de la communication machine to machine (M2M). efficacité énergétique des dispositifs de transmission et de traitement des données, big data générée par plusieurs dispositifs, sécurité et confidentialité, méthodologie d'intégration, pricing et facturation, communication réseau, stockage, etc.

II.5. Implémentation de Cloud et Internet des objets en irrigation

Le Cloud Computing et Internet of Things (IoT) sont deux technologies très différentes qui font déjà partie de notre vie. Leur adoption et leur utilisation devraient être de plus en plus omniprésentes, ce qui en fait des composants importants de l'Internet du Futur. Un nouveau paradigme où Cloud et IoT sont fusionnés est considéré comme perturbateur et comme

facilitateur de plusieurs applications. Dans notre projet, nous concentrons notre attention sur l'intégration de Cloud et d'IoT, ce que nous appelons le paradigme CloudIoT pour réaliser le système d'irrigation intelligent.

Dans le système d'irrigation proposé, l'Internet des objets joue un rôle majeur. Le but de l'IoT dans ce système est de partager les données aux utilisateurs. Ainsi, le serveur IoT est connecté avec le module Wi-Fi. L'information du sol est transmise au réseau Wi-Fi via le circuit de conditionnement de signal des différents capteurs.

Les informations physiques du sol telles que l'humidité du sol sont envoyées à le Wi-Fi, alors il est partagé à l'utilisateur en utilisant IoT, si la teneur en humidité du sol est inférieure à la valeur de référence, la commande à partir de l'appareil de l'utilisateur est transmis à la section de terrain via le serveur IoT puis le système d'irrigation est activé et l'eau est fournie au champ, cette information est également transmise à l'utilisateur. C'est le processus en chaîne de ce système d'irrigation particulier proposé. La figure II.3. représente l'utilisation d'Internet des Objets dans l'agriculture urbaine.

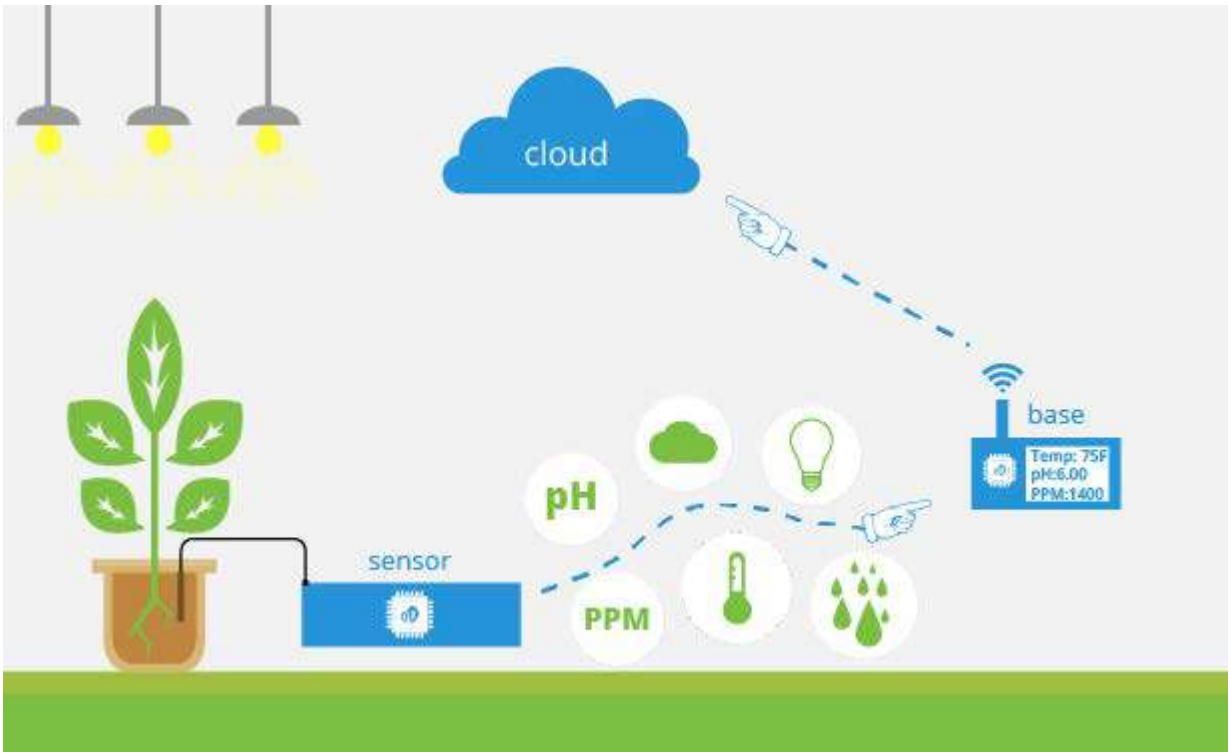


Figure II.3. L'agriculture urbaine rencontre l'Internet des Objets.

II.6. Contrôle et supervision d'un système d'irrigation intelligent

Les agriculteurs avaient rarement de bons contrôles sur les cultures et souffraient également de grandes pertes dues à des conditions météorologiques imprévues et peu pratiques. Il existe des situations où les agriculteurs irriguent leurs cultures sans connaître les prévisions météorologiques. En conséquence, cette situation conduit à une mauvaise gestion de l'eau.

Avec le concept d'Internet des Objets et la puissance du nuage, il est possible d'utiliser des dispositifs à bas coût pour surveiller et être informé sur le statut d'une zone agricole en temps réel. Ainsi de fournir la conception et la mise en œuvre d'un système intelligent d'irrigation et de surveillance qui sert à traiter les données reçues des capteurs dans la ferme et les prévisions météorologiques pour mieux informer les agriculteurs.

Le système intelligent d'irrigation et de surveillance est constitué de capteurs qui recueillent des données telles que l'humidité de sol et le niveau d'eau avec une l'importation de température a l'aide d'un site web météo. Les données brutes sont transmises à la plate-forme Cloud, et sont ensuite traitées via Arduino qui sert à fournir une décision éclairée lorsque l'irrigation est requise. L'agriculteur est informé de la décision d'irriguer ou non via une application web ou une application mobile [13].

II.7. Le module Arduino

II.7.1. Description

Arduino est une plate-forme de prototypage d'objets interactifs à usage créatif constituée d'une carte électronique et d'un environnement de programmation. Sans tout connaître ni tout comprendre de l'électronique, cet environnement matériel et logiciel permet à l'utilisateur de formuler ses projets par l'expérimentation directe avec l'aide de nombreuses ressources disponibles en ligne.

Pont tendu entre le monde réel et le monde numérique, Arduino permet d'étendre les capacités de relations humain/machine ou environnement/machine.

Arduino est un projet dont les sources sont ouvertes : c'est à dire que les plans, les schémas, etc sont accessibles et libres de droits. De plus, la très importante communauté d'utilisateurs et de concepteurs permet à chacun de trouver les réponses à ses questions et apporte un travail énorme de documentation du projet [14].

II.7.2. Caractéristiques

Arduino Uno est une carte microcontrôleur basée sur l'ATmega328P. Il possède 14 broches d'entrée / sortie numériques, 6 entrées analogiques, un quartz à 16 MHz, une connexion USB, une prise d'alimentation, un connecteur ICSP et un bouton de réinitialisation. Il contient tout le nécessaire pour supporter le microcontrôleur; connectez-le simplement à un ordinateur avec un câble USB ou alimentez-le avec un adaptateur AC-DC ou une batterie pour commencer. "Uno" signifie un en italien et a été choisi pour marquer la sortie d'Arduino Software (IDE) 1.0. Le conseil d'Uno et la version 1.0 d'Arduino Software (IDE) étaient les versions de référence d'Arduino, maintenant évolué vers des versions plus récentes. La carte Uno est la première d'une série de cartes Arduino USB et le modèle de référence de la plate-forme Arduino, voir la figure II.4. ci-dessous [15].

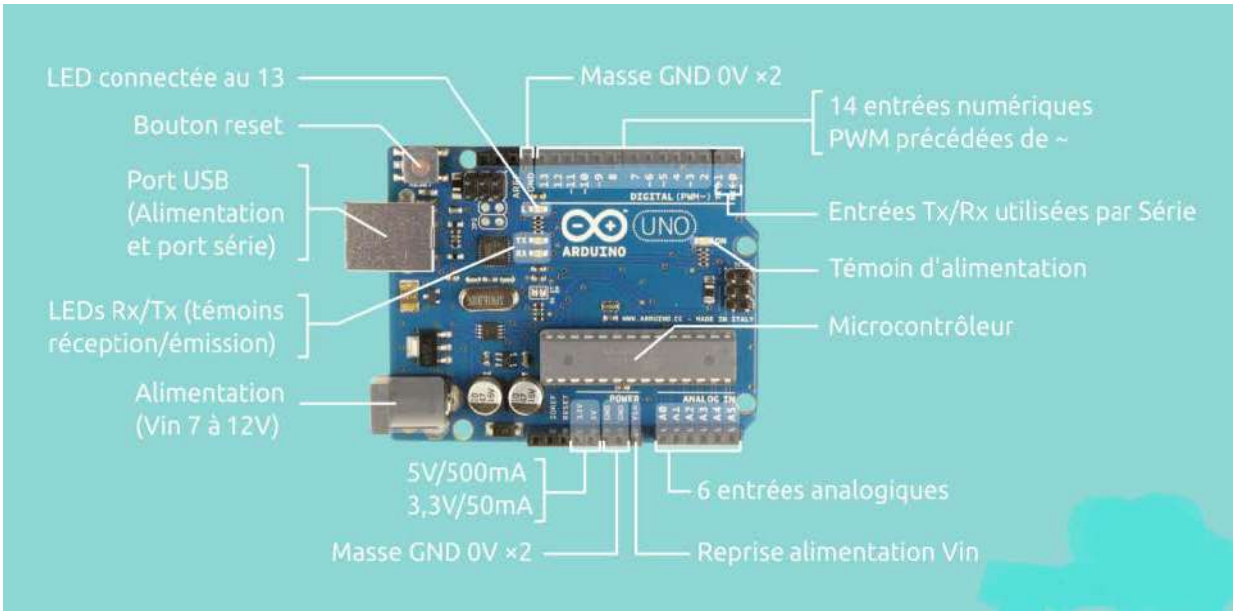


Figure II.4. Composants techniques de l'Arduino.

II.7.3. Alimentation

La carte Arduino Uno peut-être alimentée soit via la connexion USB (qui fournit 5V jusqu'à 500mA) ou à l'aide d'une alimentation externe. La source d'alimentation est sélectionnée automatiquement par la carte.

L'alimentation externe (non-USB) peut être soit un adapteur secteur (pouvant fournir typiquement de 3V à 12V sous 500mA) ou des piles (ou des accus). L'adaptateur secteur peut

être connecté en branchant une prise 2.1mm positif au centre dans le connecteur jack de la carte. Les fils en provenance d'un bloc de piles ou d'accus peuvent être insérés dans les connecteurs des broches de la carte appelées Gnd (masse ou 0V) et Vin (Tension positive en entrée) du connecteur d'alimentation.

La carte peut fonctionner avec une alimentation externe de 6 à 20 volts. Cependant, si la carte est alimentée avec moins de 7V, la broche 5V pourrait fournir moins de 5V et la carte pourrait être instable. Si on utilise plus de 12V, le régulateur de tension de la carte pourrait chauffer et endommager la carte. Aussi, la plage idéale recommandée pour alimenter la carte Uno est entre 7V et 12V [15].

Les broches d'alimentation sont les suivantes :

- VIN. La tension d'entrée positive lorsque la carte Arduino est utilisée avec une source de tension externe (à distinguer du 5V de la connexion USB ou autre source 5V régulée). Vous pouvez alimenter la carte à l'aide de cette broche, ou, si l'alimentation est fournie par le jack d'alimentation, accéder à la tension d'alimentation sur cette broche [15].
- 5V. La tension régulée utilisée pour faire fonctionner le microcontrôleur et les autres composants de la carte (pour info : les circuits électroniques numériques nécessitent une tension d'alimentation parfaitement stable dite "tension régulée" obtenue à l'aide d'un composant appelé un régulateur et qui est intégré à la carte Arduino). Le 5V régulé fourni par cette broche peut donc provenir soit de la tension d'alimentation VIN via le régulateur de la carte, ou bien de la connexion USB (qui fournit du 5V régulé) ou de tout autre source d'alimentation régulée.
- 3V3. Une alimentation de 3.3V fournie par le circuit intégré FTDI (circuit intégré faisant l'adaptation du signal entre le port USB de votre ordinateur et le port série de l'ATmega) de la carte est disponible : ceci est intéressant pour certains circuits externes nécessitant cette tension au lieu du 5V). L'intensité maximale disponible sur cette broche est de 50mA
- GND. Broche de masse (ou 0V).

II.7.4. Mémoire

L'ATmega 328 a 32Ko de mémoire FLASH pour stocker le programme (dont 0.5Ko également utilisés par le bootloader). L'ATmega 328 a également 2ko de mémoire SRAM

(volatile) et 1Ko d'EEPROM (non volatile - mémoire qui peut être lue à l'aide de la librairie EEPROM) [15].

II.7.5. Communications

La carte Arduino Mega2560 dispose de toute une série de facilités pour communiquer avec un ordinateur, une autre carte Arduino, ou avec d'autres microcontrôleurs. L'ATmega2560 dispose de quatre UARTs (Universal Asynchronous Receiver Transmitter ou émetteur-récepteur asynchrone universel en français) pour communication série de niveau TTL (5V) et qui est disponible sur les broches 0 (RX) et 1 (TX). Un circuit intégré ATmega8U2 sur la carte assure la connexion entre cette communication série de l'un des ports série de l'ATmega 2560 vers le port USB de l'ordinateur qui apparaît comme un port COM virtuel pour les logiciels de l'ordinateur. Le code utilisé pour programmer l'ATmega8U2 utilise le driver standard USB COM, et aucun autre driver externe n'est nécessaire. Cependant, sous Windows, un fichier .inf. est requis. Le logiciel Arduino inclut une fenêtre terminal série (ou moniteur série) sur l'ordinateur et qui permet d'envoyer des textes simples depuis et vers la carte Arduino.

II.7.6. Logiciel

L'environnement de programmation Arduino (EDI en français et IDE en anglais) est une application écrite en Java inspirée du langage Processing. L'IDE permet d'écrire, de modifier un programme et de le convertir en une série d'instructions compréhensibles pour la carte, voir la figure II.5. ci-dessous

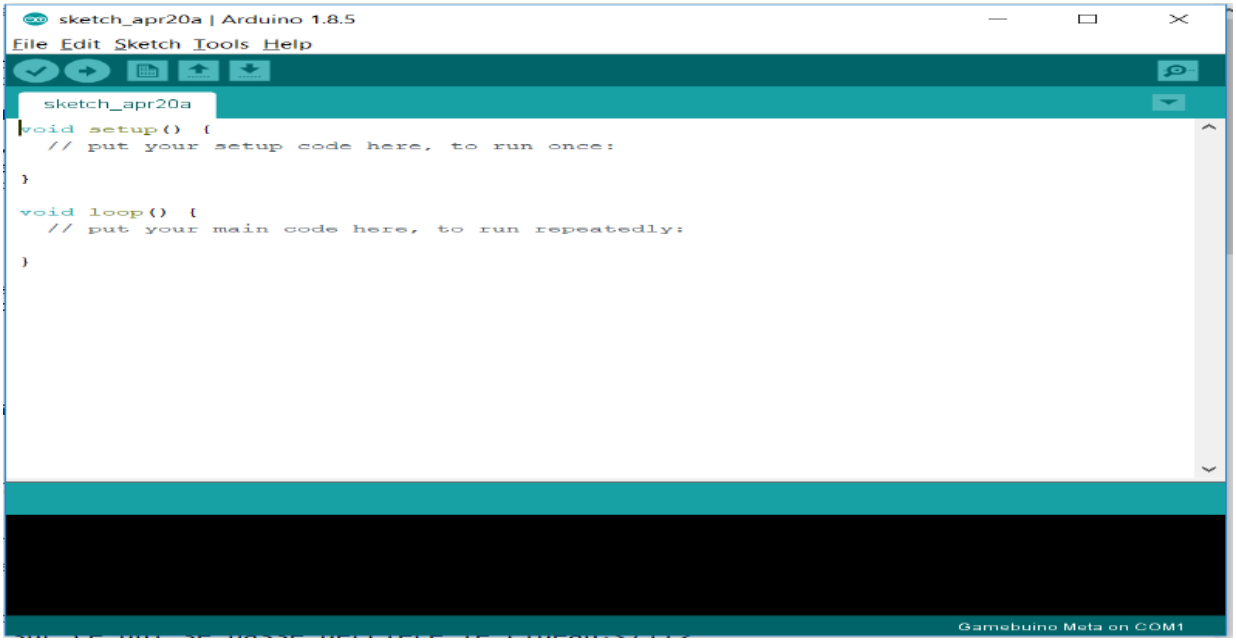


Figure II.5. L'environnement de programmation Arduino IDE.

II.8. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté l'Iot et le Cloud, en donnant les définitions, les caractéristiques, catégories, La communication et la zone d'application d'IOT et les différentes solutions et modèles de services du Cloud ainsi qu'une description globale sur le module Arduino Uno.

Chapitre III :

Implémentation et réalisation d'un système d'irrigation basées sur l'Internet des Objets

III.1. Introduction

Dans cette partie, nous présentons notre implémentation technique et pratique à la fois, qui s'agissait de la programmation pour le contrôle d'un système d'irrigation. Puis nous passons à la représentation de notre système commandée localement ou à distance à travers internet en utilisant un Pc ou Smartphone.

Ce projet s'inscrit dans le développement de systèmes électroniques embarqués appliquées pour le contrôle à distance.

Ce chapitre représente les parties essentielles de notre projet. On présentera les étapes de la conception et la réalisation du projet comme suit :

- Présentation des composants utilisés.
- La réalisation du système d'irrigation.
- L'application pour la connexion du système au Cloud.

II.2. Système d'irrigation automatisé proposé

On va développer un système d'irrigation automatisé avec Cloud et IOT pour optimiser l'utilisation de l'eau pour les terrains agricoles. Le système a un réseau sans fil distribué composée de capteur d'humidité du sol qui mesure le niveau d'humidité des différentes zones. En outre, une passerelle d'unité gère les informations du capteur et transmet des données. Un algorithme a été développé avec des intervalles de l'humidité du sol qui a été programmé dans un arduino afin de prendre une décision d'irriguer ou bien non la plante, cette dernière est faite à condition que le réservoir ne soit pas vide. Pour cela, nous utilisons un capteur de niveau d'eau, qui est utilisé pour détecter le niveau de l'eau dans le réservoir.

Ce système offre la possibilité de détecter la température extérieure importée d'un site web météo comme le montre la figure III.1.
Si le niveau d'humidité est dans des intervalles biens déterminés, on peut savoir l'état de sol s'il est sec ou humide, ce qui ouvre l'électrovanne et fournit ainsi l'eau pour irriguer le terrain. Le Cloud permet d'importer les informations à partir des sites ainsi que le contrôle.

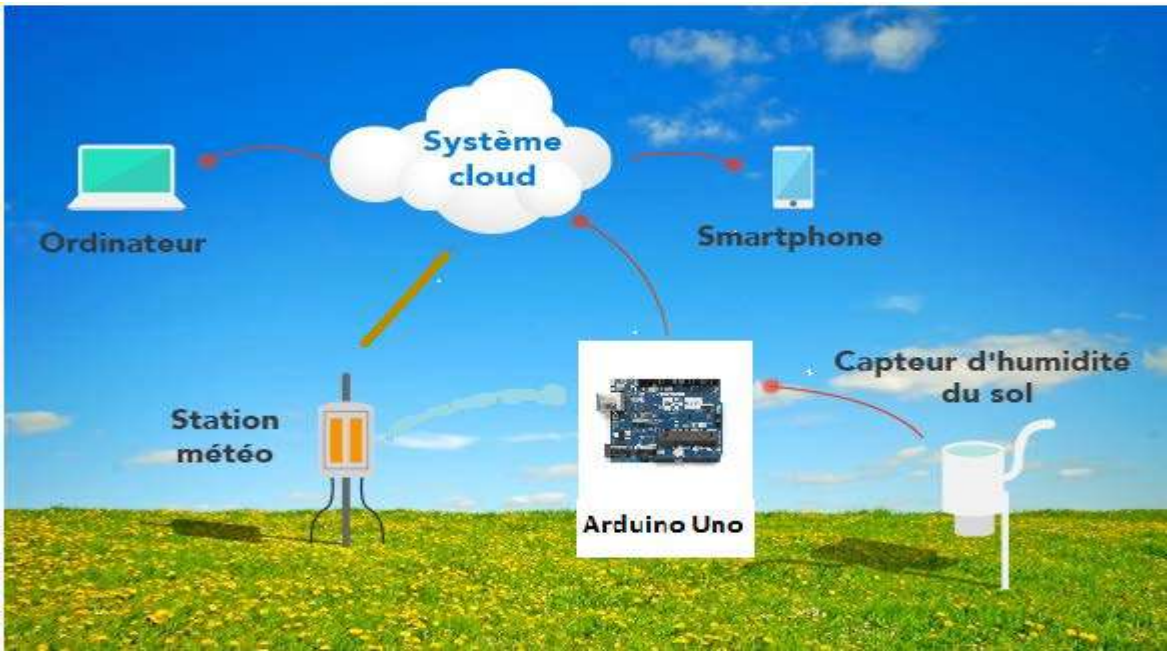


Figure III.1. La communication de système d'irrigation intelligent.

II.2.1. Étapes du processus

- Lorsque l'alimentation est activée, l'arduino s'active.
- Lorsque l'arduino s'active, le capteur est activé.
- Si le niveau d'humidité est bas et le capteur de niveau d'eau ne détecte pas le niveau bas, l'électrovanne est ouverte pour arroser le terrain.
- Si le niveau d'eau est bas dans le réservoir, il declanche la pompe a travers le relais.
- Toutes les informations sont stockées dans le Cloud.
- Si la valeur de température importée de site web et afficher dans le Cloud est supérieure a un seuil bien déterminé, l'utilisateur peut déclencher l'irrigation a distance grâce a l'utilisation de plugin et callback au niveau de thingspeak.
- L'utilisateur peut superviser ou contrôler à partir de son téléphone intelligent ou PC.

II.2.2. Dispositifs matériels et technologie

Les équipements utilisés dans le montage de la maquette sont les suivant :

- Une carte Arduino Uno
- Un module Wifi ESP8266-01
- Un capteur de niveau d'eau
- Un capteur d'humidité de sol
- Une Pompe
- L'électrovanne et les relais
- Un PC ou Smartphone
- Des Leds
- Un buzzer
- Des fils de connexion

Technologies

- IDE Arduino
- ThingSpeak

III.3. Les Diagrammes et Schéma bloc de système

La structure du schéma utilisé est illustrée dans les figure ci-dessus (Figure III.2), dans la première figure, nous expliquons le diagramme de bloc de système ou l'arduino est liée au différents accessoires nécessaires du système comme le capteur d'humidité de sol, le relais, le capteur de niveau d'eau, applications commandé par Android comme la température, plus des accessoires passifs. Pour plus de visibilité, la deuxième figure (Figure III.3) représente la structure réelle du système utilisé.

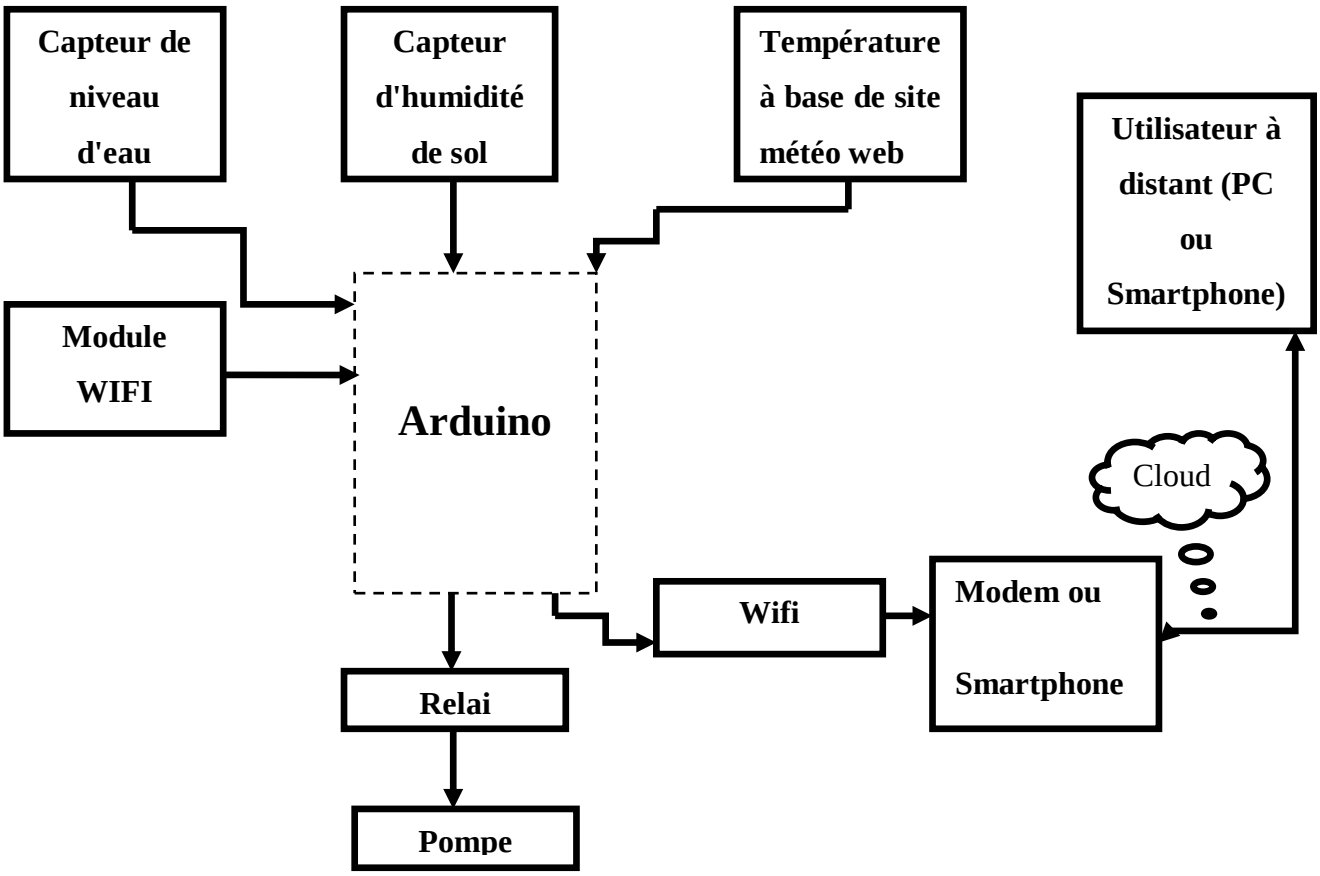


Figure III.2. Diagramme de bloc de système.

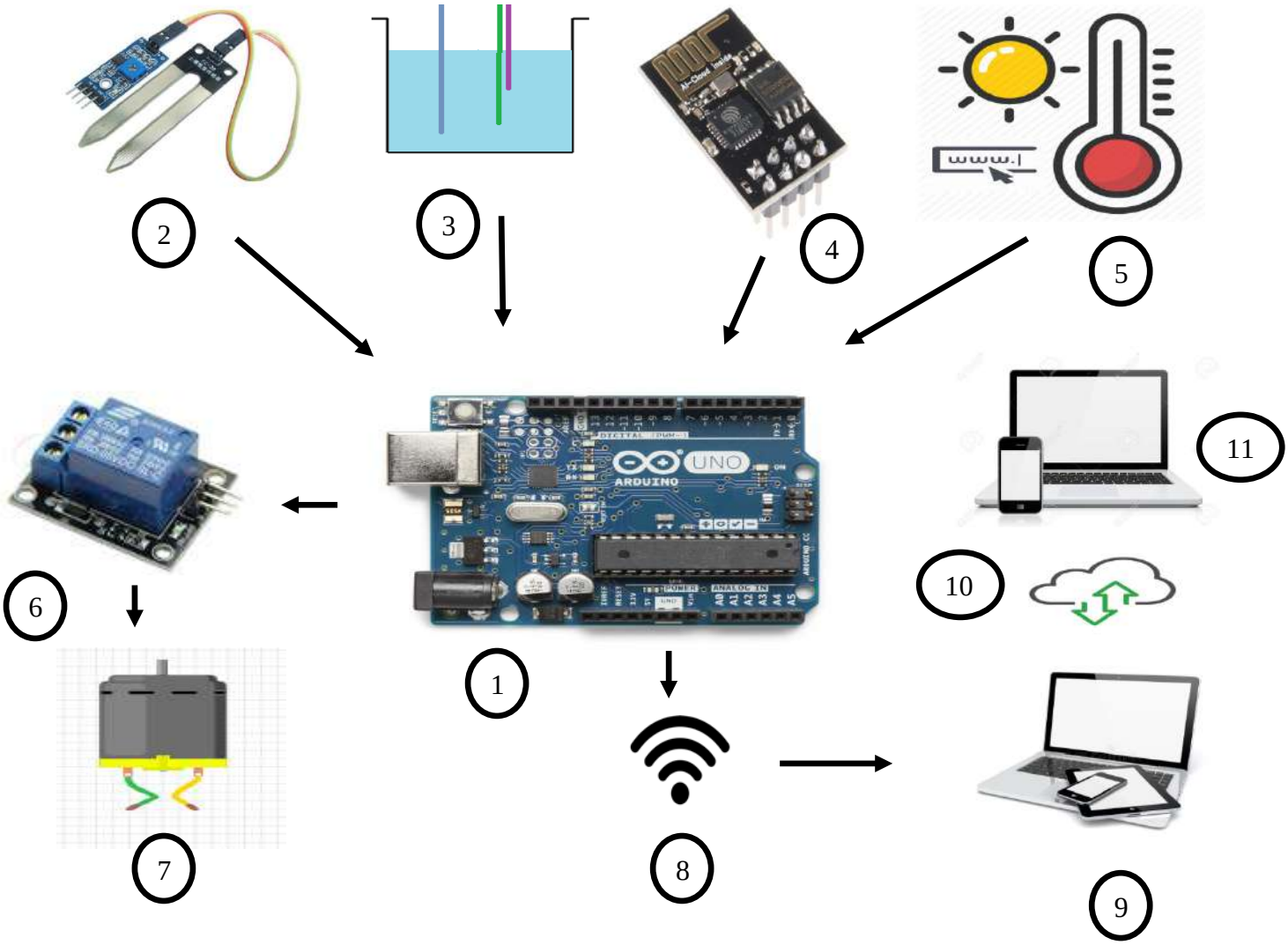


Figure III.3. Schéma réel du bloc.

Composants de schéma réel du bloc

1. Une carte Arduino Uno
2. Un capteur d'humidité de sol
3. Un capteur de niveau d'eau
4. Un module Wifi ESP8266-01
5. Importation de la température depuis un site météo web
6. Relais
7. Une Pompe
8. Wifi
9. Modem ou Smartphone
10. Cloud
11. Un PC ou Smartphone

III.4. Montage et programmation des dispositifs

La réalisation de la partie commande est basée sur les modules électroniques suivants :

III.4.1. Le capteur d'humidité de sol

a) Description

La détection d'humidité de sol est faite à travers le capteur présenter ci-dessous dans la figure III.4, il est composé de YL 69 YL 38 qui peut être utilisé pour déterminer l'humidité du sol ou juger s'il y a de l'eau autour du capteur. Pour l'utiliser, il suffit de l'insérer dans le sol et ensuite lu. Il est composée de double mode de sortie, sortie analogique plus précis avec un trou de boulon fixe pour une installation facile, ainsi qu'un sol sonde dimension env. 6 cm x 3 cm [16].



Figure III.4. Présentation de capteur d'humidité de sol.

b) Caractéristiques

Le tableau III.1. donne les caractéristiques du capteur d'humidité de sol.

Tableau III.1. Les caractéristiques de capteur d'humidité de sol.

Article	Min	Max	Unité
Tension	3.3	5	V
Courant	0	35	mA
GND	/	/	/
D0: interface de sortie numérique (0 et 1)	/	/	/
A0: interface de sortie analogique	/	/	/

c) Rôle

Mesurer le taux d'humidité présent dans le sol, La mesure est basée sur la lecture de la valeur analogique dans sol qui varie en fonction de son taux d'humidité et envoyer au microcontrôleur.

III.4.2. Le capteur de niveau d'eau

a) Description

Un capteur de niveau est un dispositif électronique qui permet de mesurer la hauteur du matériau, en général du liquide l'eau par exemple, dans un réservoir ou un autre récipient, il est illustré par la figure III.5.

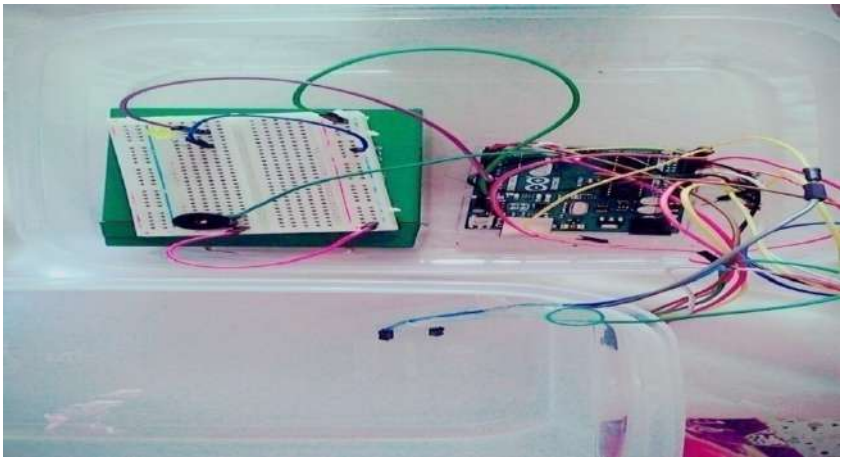


Figure III.5. Présentation de capteur de niveau d'eau.

b) Principe de fonctionnement

Le capteur de niveau d'eau va faire varier la tension du pin A0 entre 0 Volt et 5 Volts. Il lit la valeur numérique de pin A2 et pin A3.

Si A2<1000 et A3<1000 : Le réservoir est inferieur au niveau haut et supérieur au niveau bas, la led reliée au pin D2 s'allume et s'éteint si elle égale au niveau haut.

Si A2<1000 et A3>1000: Le réservoir est inférieur au niveau bas, le buzzer relié au pin D3 s'active et la led s'éteint.

Sinon si le réservoir est plein la led et le buzzer s'éteignent.

c) Rôle

- Informer le cerveau (carte électronique arduino) de niveau d'eau dans le réservoir.
- Informer la pompe qui va remplir le réservoir s'il n'y a pas d'eau.
- Permet l'irrigation à l'aide d'électrovanne tanqu'il ne détecte pas le niveau bas.

III.4.3. Le module Wifi ESP8266

a) Description

La figure III.6. représente le module WiFi ESP8266 qui est un Soc autonome avec une pile de protocoles TCP / IP intégrée qui permet à n'importe quel microcontrôleur d'accéder au réseau WiFi utilisée. L'ESP8266 est capable d'héberger une application ou de décharger toutes les fonctions réseau Wi-Fi d'un autre processeur d'application.

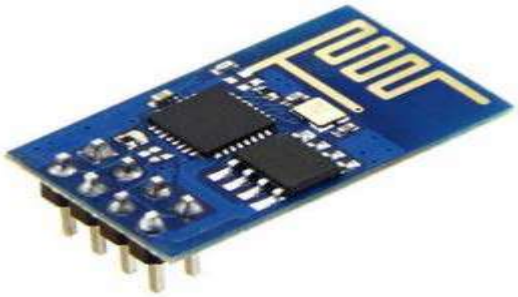


Figure III.6. Présentation de module wifi ESP8266.

b) Principe de fonctionnement

Le module série Wifi qui fonctionne en effet dans les 2 sens : il utilise une liaison série TX/RX pour recevoir et envoyer des données, et se comporte donc comme un hôte pour les applications Wifi, mais il peut également confier toutes les fonctions liées au réseau Wifi à un autre processeur d'application.

c) Rôle

Ce tout petit module de communication permettant d'instaurer une liaison Wifi complète et autonome avec le microcontrôleur Arduino.

III.4.4. Le module Relais

a) Description

Comme son nom l'indique, il sert en tout premier lieu à " relayer ", c'est à dire à faire une transition entre un courant faible et un courant fort. Mais il sert également à commander plusieurs organes simultanément grâce à ses multiples contacts synchronisés. Il autorise des temporisations, des verrouillages, des impulsions..., les fonctions d'un relais sont aussi nombreuses que différentes [17], voir la figure III.7. ci-dessous.



Figure III.7. Le Module relais JQC-3FF-S-Z.

b) Caractéristiques

- charge maximale: AC 250 V/10A, DC 30 V/10A
- courant de déclenchement: 5mA et tension de fonctionnement: 5 V
- taille du module: 50x26x18.5mm (L x P x H) avec quatre boulons de montage trous, diamètre 3.1mm
- DC +: positive alimentation (VCC) et DC-: alimentation négative (GND)
- DANS: peut être haute ou faible relais de contrôle de niveau
- NO: normalement ouvert relais interface et NC: normalement fermé relais interface
- COM: Interface Commune Relais

c) Rôle

Le module relais puissance 1 canal 5v - JQC-3FF-S-Z contrôlé par Arduino et connecter a l'électrovanne et la pompe afin de d'allumer et atteindre a distance.

III.4.5. La pompe

a) Description

La figure III.8. est un appareil qui déplace des fluides (liquides ou gazeux), ou parfois boues, par action mécanique. Les pompes fonctionnent par un mécanisme (généralement à mouvement alternatif), et il consomme de l'énergie, y compris l'électricité, ou l'énergie éolienne de fonctionnement manuel, pour effectuer un travail mécanique en déplaçant le fluide. Une pompe d'eau aspire de l'eau à un point A dans le but de la refouler à un point B. Le point A peut être un puits, une rivière, une piscine, un bassin de jardin, un point d'eau et le point B un jardin, un tuyau d'arrosage, un égout, un fossé etc…



Figure III.8. La pompe d'eau.

b) Rôle

La pompe d'arrosage permet de remplir le réservoir.

III.4.6. L’électrovanne

a) Description

L’électrovanne 220V ELBI type 329 1 voie illustré par la figure III.9. s’agit concrètement d’un robinet électrique proposant deux positions : ouverte ou fermée. En fonction de sa position, il permet alors de déclencher ou d’arrêter l’arrivée d’eau. Cette action se fait généralement de manière automatique grâce à l'intégration d'un programmateur dans le système, qui facilite la tâche de régler à la fois le débit et la durée d’ouverture de l’électrovanne[18].



Figure III.9. L’électrovanne 220V ELBI type 329 1 voie.

b) Caractéristiques

Tableau III.2. Les caractéristiques d’électrovanne.

Alimentation	220V
Fréquence	50/60Hz
Température max	90°C
Entrée	ø 3/4"
Sortie	ø 10,5 mm
Degrés d'inclinaison	180°

c) Rôle

L’électrovanne est un élément essentiel d’un système d’irrigation intégré. Cet accessoire permet d’ouvrir ou de fermer l’arrivée d’eau de façon automatique, cette fonction peut s'effectuer également via un arduino.

III.4.7. Les Leds et le buzzer

a) Description

Une diode électroluminescente (abrégé en DEL en français, ou LED, de l'anglais : *light-emitting diode*), est un dispositif opto-électroniquecapable d'émettre de la lumière lorsqu'il est parcouru par un courant électrique. Une diode électroluminescente ne laisse passer le courant électrique que dans un seul sens et produit un rayonnement monochromatique ou polychromatique non cohérent à partir de la conversion d'énergie électrique lorsqu'un courant la traverse, voir la figure III.10 ci-dessous.

La figure III.10 représente un bipeur est un élément électromécanique ou piézoélectrique qui produit un son caractéristique quand on lui applique une tension : le bip.

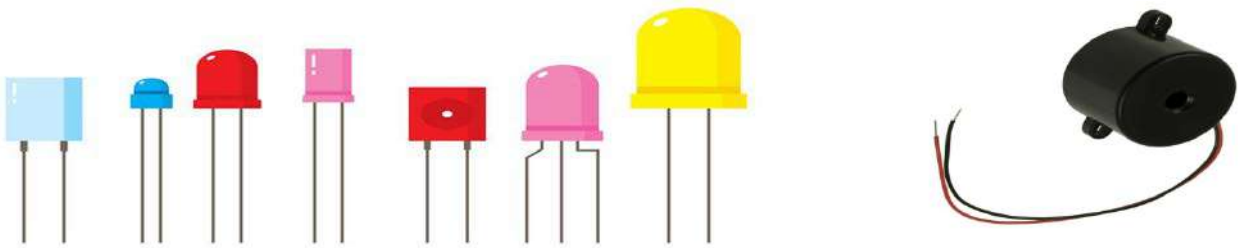


Figure III.10. Les déférents types de leds et le buzzer.

b) Rôle

Les leds sont utiliser pour tester et indiquer le niveau d'eau dans le réservoir (niveau haut ou bas), le buzzer sert à faire un bip lorsque le niveau d'eau atteint un certain niveau.

III.5. Montage et programmation des dispositifs avec la carte Arduino

Dans cette partie, on montrera comment relier et programmer le matériel utilisé pas à pas :

III.5.1. Le code de configuration ESP8266 pour l'Arduino

Pour écrêter le code de module Wifi avec l'Arduino il faut utiliser la bibliothèque SoftwareSerial.h :

#include< SoftwareSerial.h>

Pour mettre en oeuvre cette bibliothèque. Il faut tout d'abord falloir l'inclure dans le projet. Au choix, soit en cliquant sur « Library/Import/SoftwareSerial » dans l'IDE Arduino (inclus de base) ou alors en ajoutant la ligne precedente en haut du programme.

Une fois que la bibliothèque est là, alors il nous faudra l'utiliser. Cette bibliothèque nous donne l'accès à un objet nommé SoftwareSerial. Nous pouvons donc créer une instance de cet objet en écrivant :

SoftwareSerial esp8266(Rx, Tx);

Rx et **Tx** seront les numéros des broches sur lesquelles sont connectées les broches d'émission/réception de notre module wifi. On a donc dans le programme suivant:

```
{
  Serial.begin(115200);
  pinMode(electrovanne, OUTPUT);
  digitalWrite(electrovanne, LOW);

  Serial.print("Connecting to the Newtor
  WiFi.begin(ssid, password);
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED)
  {
    delay(500);
    Serial.print(".");
  }
  Serial.println("WiFi connected");
  server.begin();  // Starts the Server
  Serial.println("Server started");
```

Figure III.11. Le code de configuration ESP8266 pour l'Arduino

Pour le montage de module ESP8266 WIFI avec l'Arduino Le matériel que nous avons utilisé est le suivant :

- Un module ESP8266 WIFI avec l'Arduino.
- Une Carte Arduino

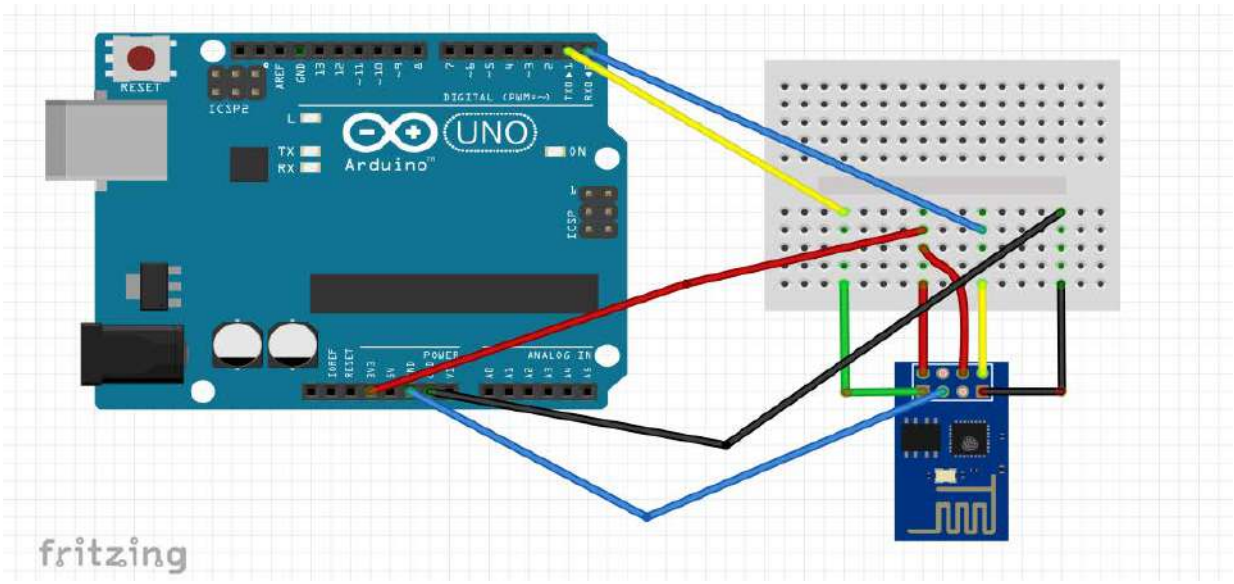


Figure III.12. Montage de module ESP8266 WIFI avec l'Arduino.

III.5.2. Montage du système de capteur d'humidité de sol

Ce dispositif permet de mésurer l'humidité de sol, Il compare l'humidité de sol définie dans le progarmme et celle présente et envoie cette mesure au arduino qui décide d'irriguer ou non la plante.

Le matériel que nous avons utilisé est le suivant :

- Un capteur d'humidite de sol.
- Une Carte Arduino

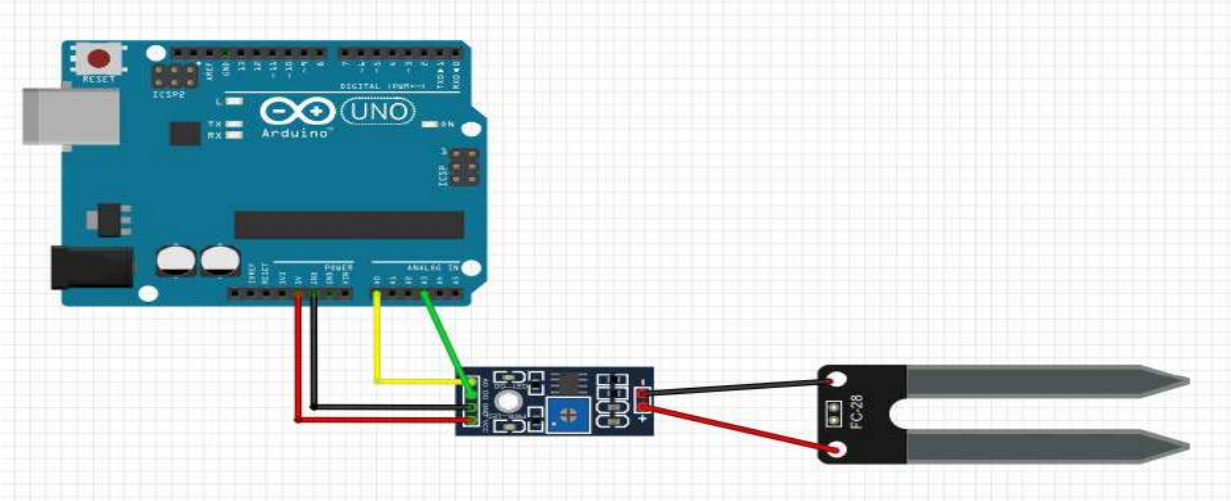


Figure III.13. Montage du capteur d'humidite de sol avec arduino.

Codage avec l'Arduino

Le capteur d'humidité de sol lit la valeur d'humidité si elle est supérieure ou égale a 1000, il affiche un message de «le capteur n'est pas dans le sol ou déconnecter », si la valeur est dans l'intervalle]1000,600] affiche un message de «le sol est sec », si la valeur est inferieure strictement a 600, il affiche un message de «le sol est humide ».

```
  if(valeur_capteur  >= 1000) {
   Serial.println("capteur n'est pas dans le Soil ou déconnecté (humidité <= 2% )");
   delay(9000); }
   else if(valeur_capteur  < 1000 && valeur_capteur >= 600)    {
   Serial.println("le sol est sec( 2%< humidité<= 41%)");
   delay(9000);
  }else
  if(valeur_capteur  < 600 && valeur_capteur >= 370){
   Serial.println("le sol est  humide(humidité > 41%)");

  }
  delay(50);
}
```

Figure III.14. Lecture de la valeur analogique d'humidité depuis le capteur et la transformer a une valeur numérique.

III.5.3. Montage du système de capteur de niveau d'eau

Ce dispositif permet de détecter le niveau d'eau, Il allume la led lorsequ'il atteint le niveau bas, et faire un bip a l'aide de buzzer lorsque qu'il attient le niveau haut.

Le matériel que nous avons utilisé est le suivant :

- Une Carte Arduino
- Led
- Buzzer
- Réservoir

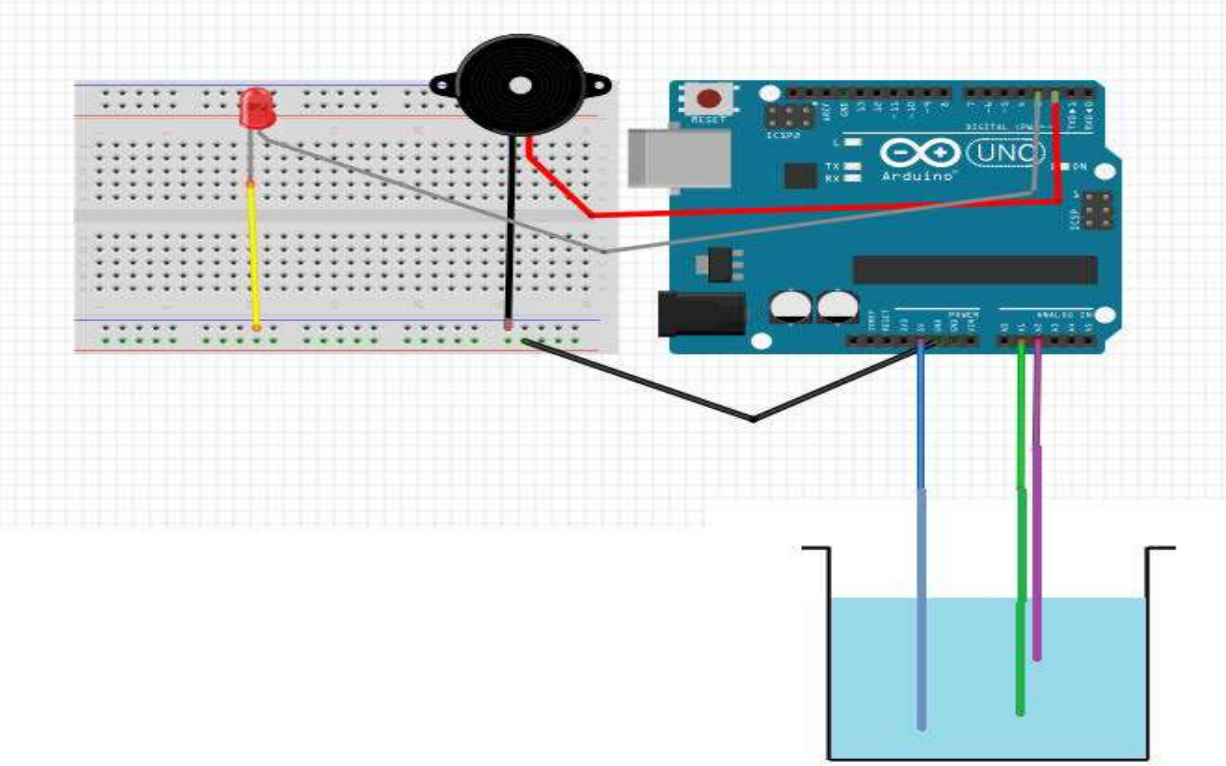


Figure III.15. Montage du capteur de niveau d'eau avec arduino.

Les deux lignes suivantes de la figure III.16. permettent de lire la valeur analogique de pin A1 et pin A2.

```
void loop()
{
  int w = analogRead(A1); //read the value from analog pin A1
  int g = analogRead(A2);//read the value from analog pin A2
```

Figure III.16. Lecture des valeures depuis les pin analogiques.

III.5.4. Montage de la pompe

La pompe d'arrosage permet de remplir le réservoir pour irriguer, un bip senior sera ecouté du l'activation d'un buzzer.

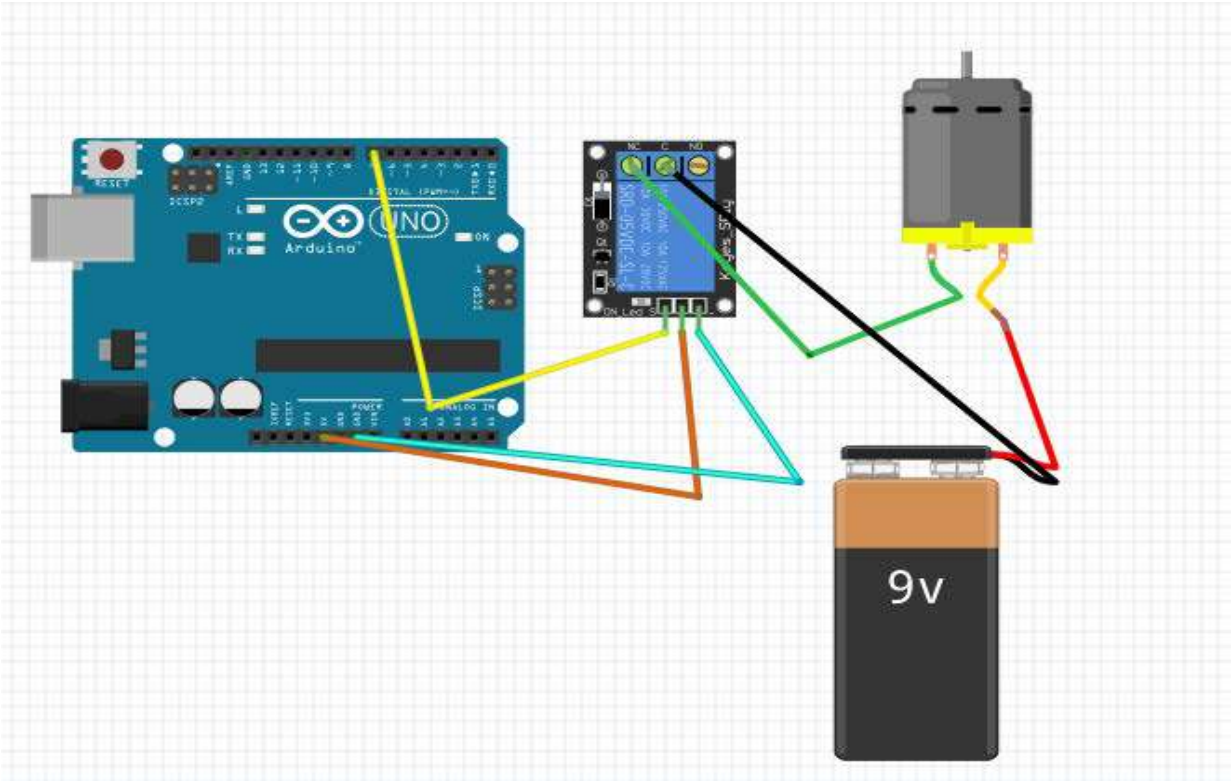


Figure III.17. Montage de la pompe d'eau avec arduino.

L'instruction digitalWrite (in3, HIGH) permet d'activer la pompe qui est brancher d'un pin in3.

```
 if   (flag == 1) // le reservoir est vide
{
   digitalWrite(pompePin, HIGH);
  Serial.println("Pompe on");
}


 if (flag == 2) //le reservoir est plein
{
   digitalWrite(pompePin, LOW);
  Serial.println("Pompe oFF");
}
```

Figure III.18. Code d'activation de pompe.

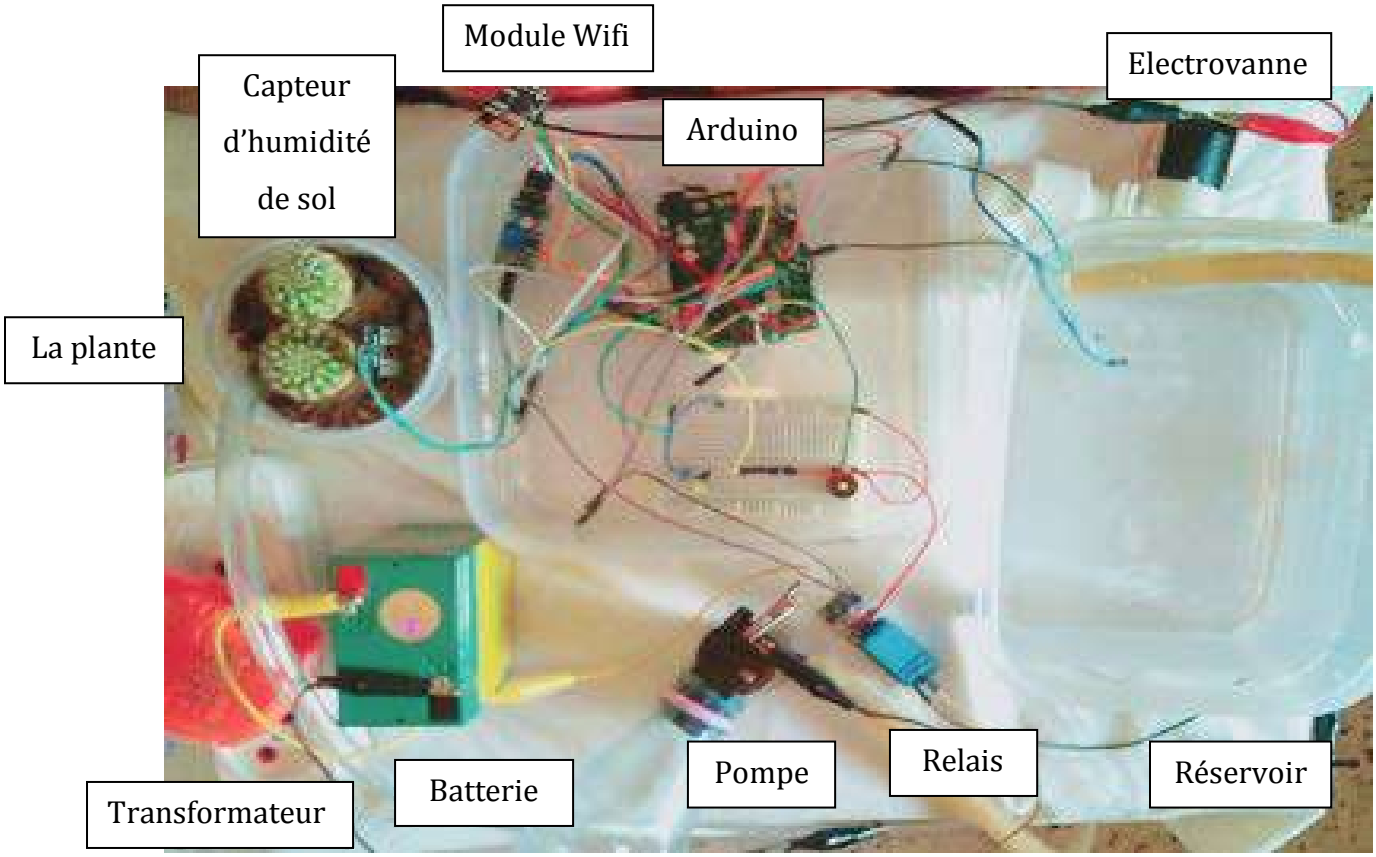


Figure III. 19: installation finale de systéme d'irrigation.

III.6. Supervision et Contrôle d'irrigation via internet

Pour faire une supervision et contrôle d'un syseteme d'irrigation à distance en utilisant la plateforme CloudIOT « ThingSpeak », il s'agit d'une visualisation au niveau d'internet grace à matlab analysis et contrôle en utilisant des plugins.

III.6.1. Déscription de ThingSpeak

ThingSpeak est une API et une application open source pour l'« Internet des objets », qui permet d'agréger, de visualiser et d'analyser des flux de données en direct dans le nuage. ThingSpeak fournit des visualisations instantanées des données envoyées par des appareils à ThingSpeak. Avec la possibilité d'exécuter du code MATLAB dans ThingSpeak, l'utilisateur peut effectuer une analyse et un traitement en ligne des données au fur et à mesure. ThingSpeak est souvent utilisé pour le prototypage et la vérification de concept des systèmes Ido nécessitant des analyses [19].

III.6.2. Création d'un compte ThingSpeak

D'abord on va créer un compte mathworks qui nous permet de créer un compte thingSpeak. Ensuite on va créer un channel nomé système d'irrigation intelligent associé à un ID et un mot de passe (figure III.20., III.21. et III.22.).

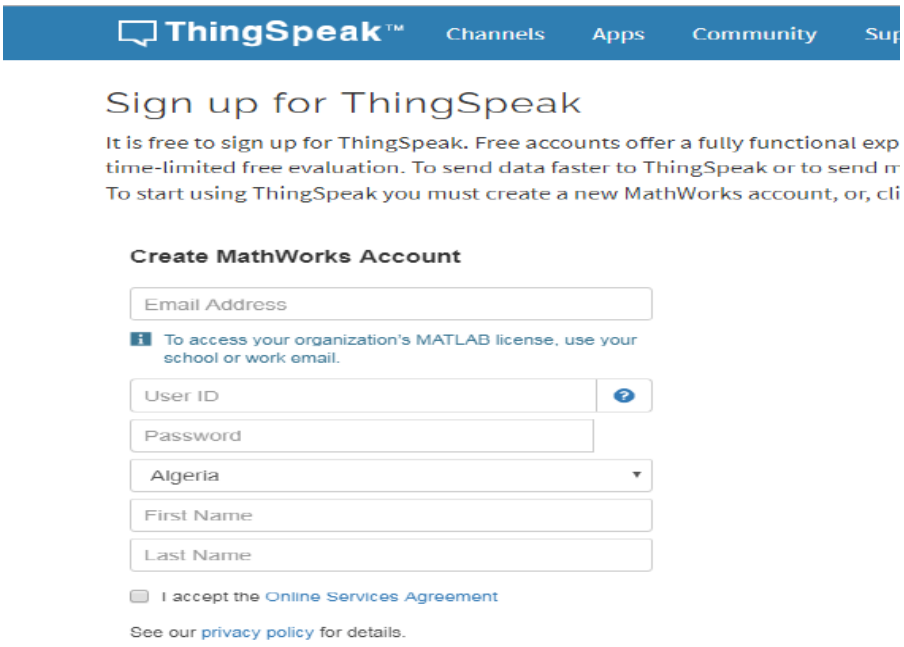


Figure III.20. Fenêtre d'inscription de ThingSpeak

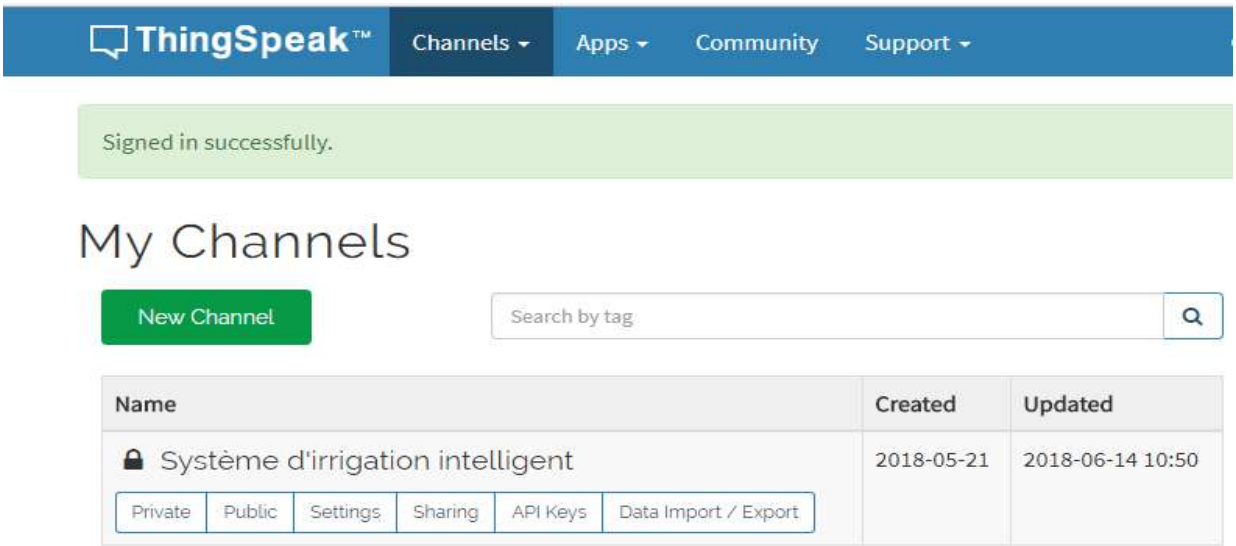


Figure III.21. Fenêtre de la création channel.



Figure III.22. Fenêtre de channel crée.

III.6.3. Affichage d'humidité de sol

La visualisation dans notre système est réalisée au niveau des champs pour afficher les valeurs d'humidité de sol sous forme des diagrammes, ou les valeurs sont prélevés à des périodes bien déterminés afin de superviser l'état de sol, comme le montre la figure III.23. et III.24.

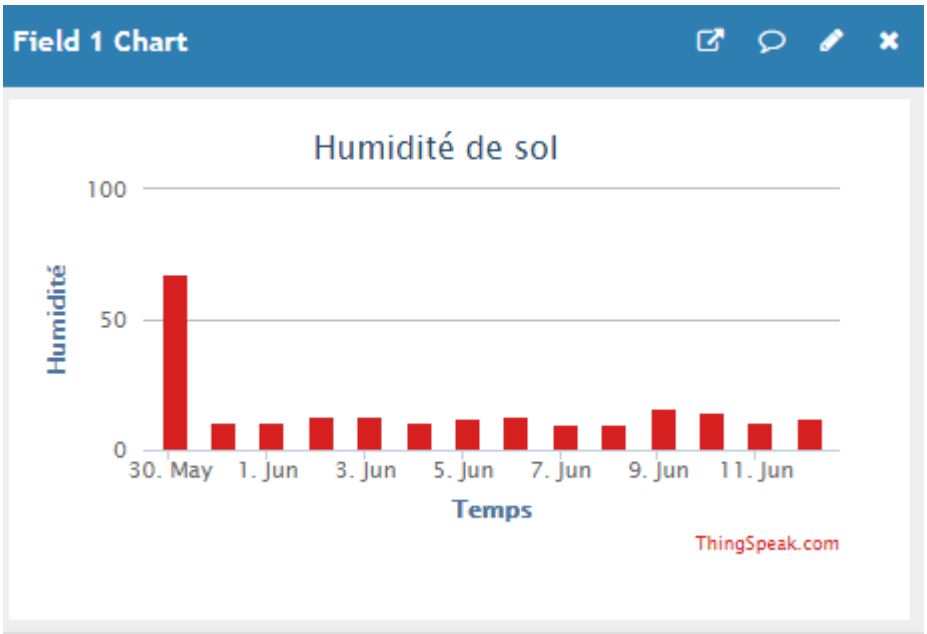


Figure III.23. Affichage de valeurs d'humidité a 2 :00 chaque jour.

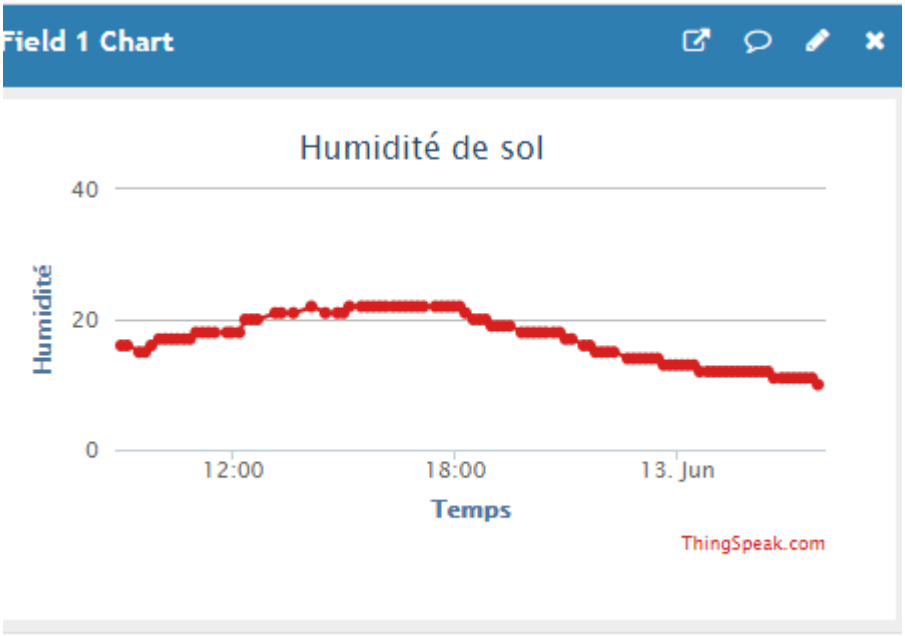


Figure III.24. Affichage de valeurs d'humidité de 16/06/2018 à 00.00 jusqu'à 17/06/2018 à 6 :00.

III.6.4. Le contrôle des plugins

Le contrôle est appliqué avec les plugins qui sert à afficher les boutons et l et les swishes, les TalkBack qui fait les commandes ON/OFF. Ceci permet de faire le contrôle à travers internet (figure III.25. et III.26.).

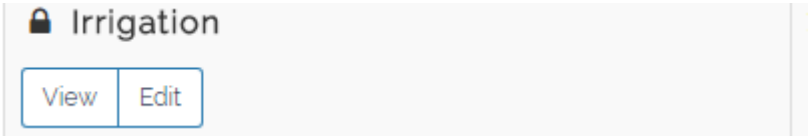


Figure III.25. Création de plugin.

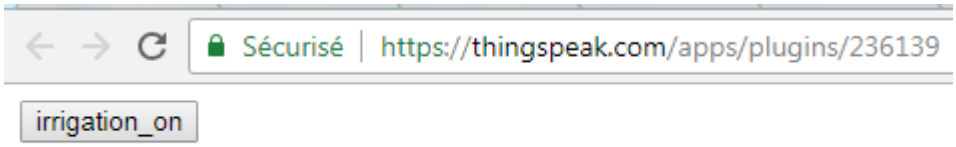


Figure III.26. Affichage de plugin crée.

Les figure suivantes montre la méthode de création d'un TalkBack qui permet à n'importe quel périphérique d'agir sur les commandes en file d'attente. Par exemple, si vous avez un système d'irrigation équipée d'une connexion Wi-Fi et d'un capteur d'humidité de sol, vous pouvez mettre en file d'attente des commandes pour irriguer ou non votre plante. Lorsque le système d'irrigation détecte une valeur inferieure d'humidité, irrigue la plante [20].

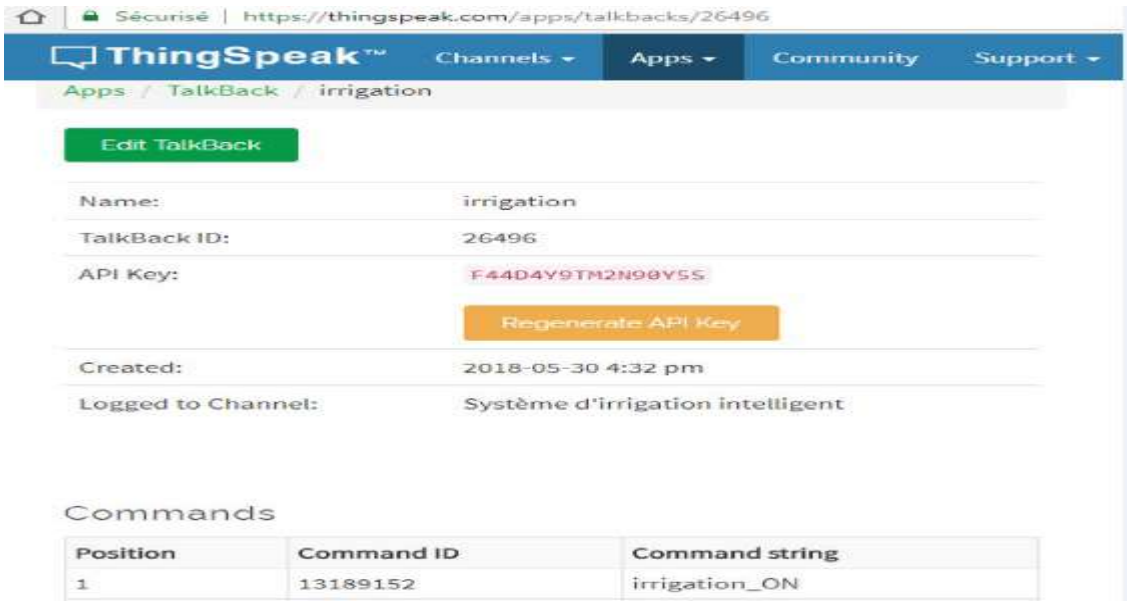


Figure III.27. Création de TalkBack.



Figure III.28. Affichage de TalkBack crée.

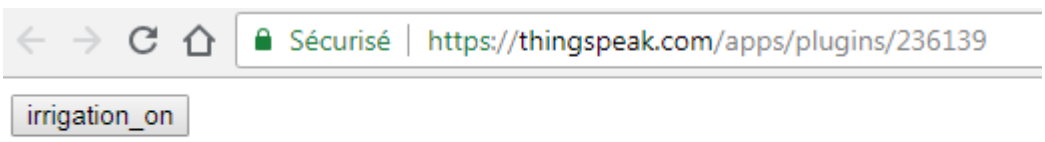


Figure III.29. Button d'irrigation de TalkBack.

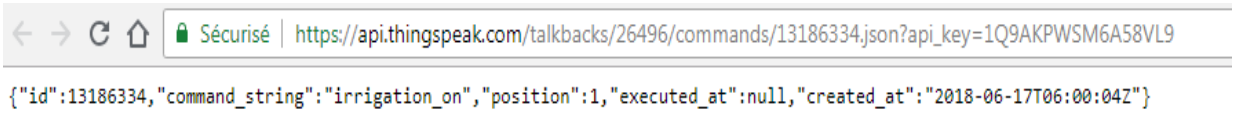


Figure III.30. Execution de la commande irrigation_on.

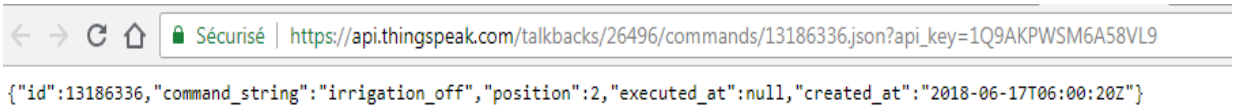


Figure III.31. Execution de la commande irrigation_off.

III.6.5. Le contrôle de température

On a réalisé un capteur de température virtuel grâce à un code source dans Matlab analysis qui fait importer la valeur de température actuelle d'un site web météo et l'afficher dans ThingSpeak, afin de permettre à l'utilisateur de faire une commande à distance d'irrigation si la température est élevée (figure III.32.).

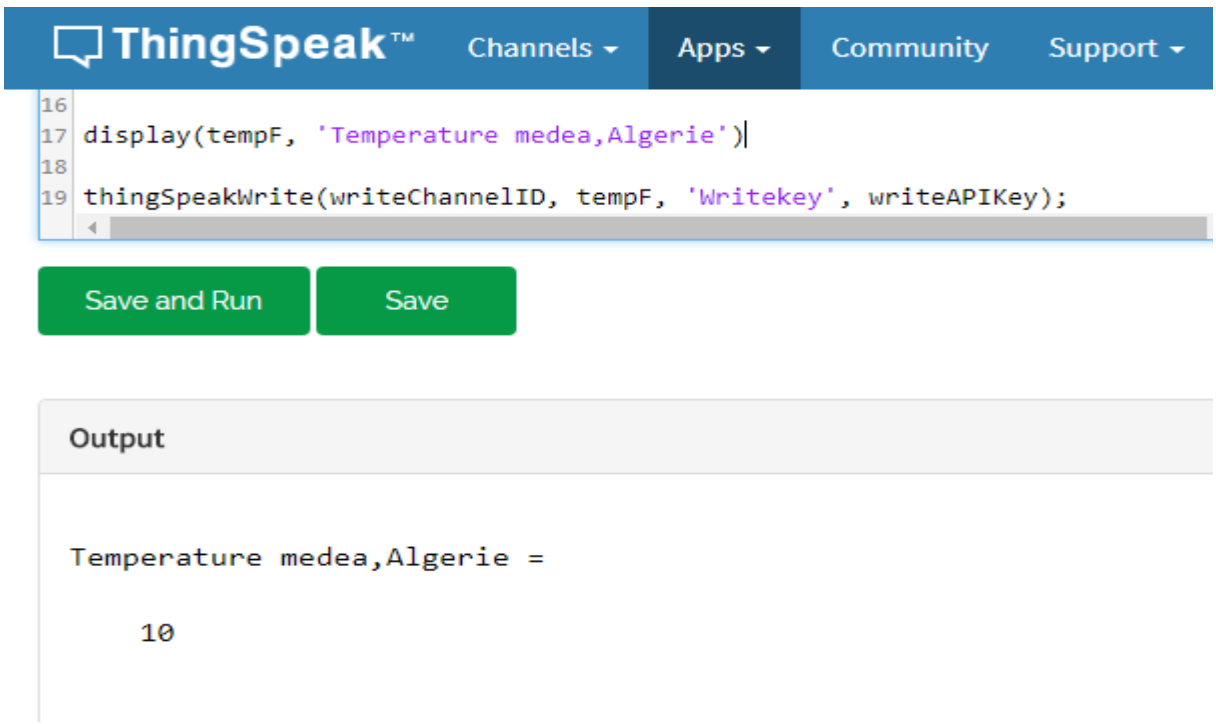


Figure III.32. Affichage de Température.

III.6.6. TimeControl en utilisant twitter

TimeControl peut être utilisé pour envoyer des Tweets automatiquement à des heures prédéterminées. Dans notre système, nous enverrons un Tweet chaque heure avec l'heure

actuelle et la valeur actuelle d'humidité du sol. La première étape consiste à associer un compte Twitter à ThingSpeak comme il est illustré dans la figure III.33.



Figure III.33. Association d'un compte Twitter à ThingSpeak.

Ensuite, nous allons créer un nouveau TimeControl comme le montre la figure III.34. et la figure III.35.

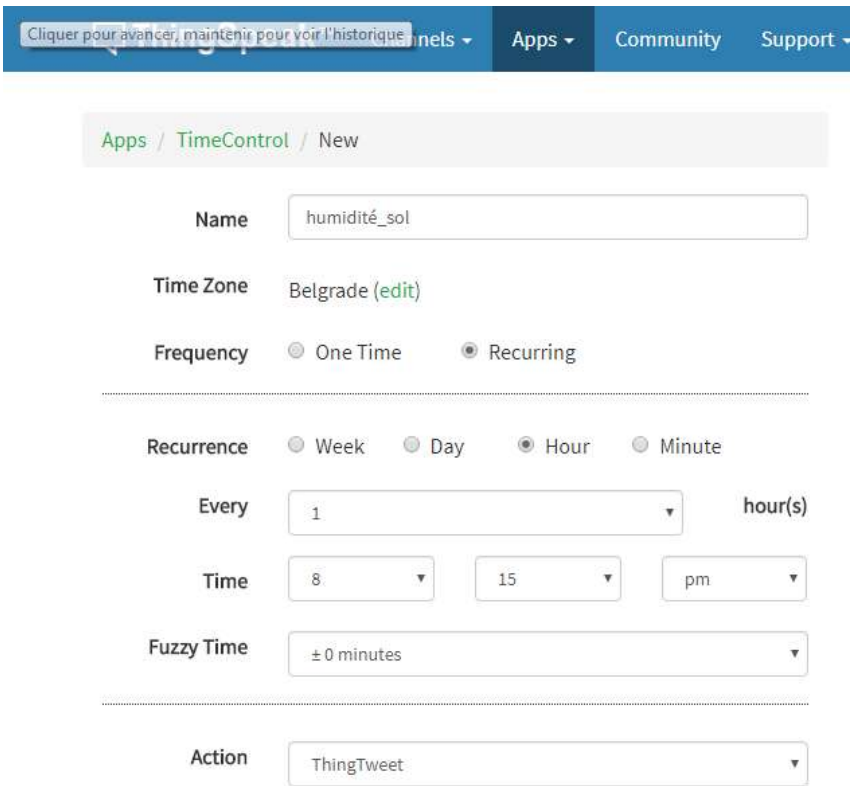


Figure III.34. Création de TimeControl à ThingSpeak.

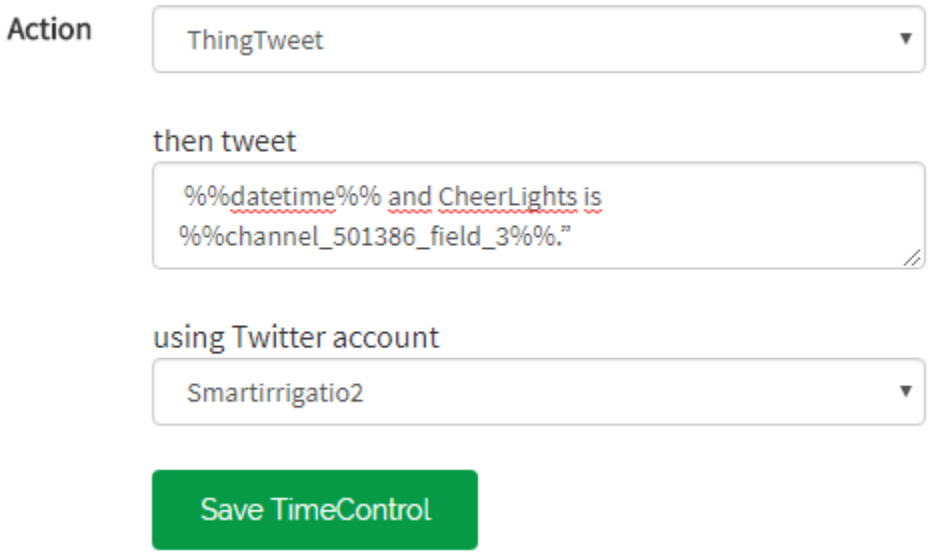


Figure III.35. Sauvegarde de TimeControl dans ThingSpeak.

III.7. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté en détail la réalisation de notre projet. Nous avons commencé par la description de notre dispositifs matériels et technologie. Ensuite, nous décrivons et réalisons notre montage de matériel Arduino et notre programmation avec IDE Arduino pas à pas.

Nous avons constitué un système d'irrigation intelligent, il est capable de gérer l'irrigation lui même à distance, de prévenir en cas ou la plante est sèche et de gérer l'irrigation de façon économique. Toutes ses fonctionnalités sont possibles grâce à un système centralisé.

Conclusion générale

L’objectif de notre travail consistait à l’étude et la réalisation d’un système d’irrigation intelligent base sur le Cloud.

Pour accomplir cette tache, nous avons étudié les types système d’irrigation existant en définissant les principales insuffisances afin de proposer notre solution automatique. Ensuite, nous avons fait la conception en utilisant plusieurs dispositifs montés au microcontrôleur. Enfin, nous avons choisi ThingSpeak comme solution de l’Ido.

Celle-ci consistait en une application d'Internet des objets (IoT) open source et une API pour stocker et récupérer des données à partir de choses utilisant le protocole HTTP sur Internet ou via un réseau local. Elle permet aussi la création d'applications de journalisation de capteurs, d'applications de suivi de localisation et d'un réseau social comme Twitter pour la supervision.

Enfin, ce travail était vraiment un ajout pour nous parce que nous n'avions pas eu l'occasion de travailler sur un sujet comme celui-ci auparavant, donc nous avons eu la chance de découvrir les différents concepts sur le fonctionnement des différents dispositifs.

Au cours de notre projet, nous avons eu quelques problèmes comme la façon de connecter notre Arduino avec le serveur web et d'obtenir des informations à partir de celui-ci, ainsi que de contrôler l'ensemble du système avec ses différents composants.

Pour continuer à travailler sur ce sujet, nous proposons de créer une application Androïde independament d’une application tierce qui peut être l'interface de communication entre l'utilisateur et le système d'irrigation, il sera très utile pour le rendre beaucoup plus simple pour l'utilisateur.

[1] Ivision it as a service, https://www.ivision.fr/le-cloud-au-coeur-du-nouveau-role-de-la-dsi, Consulté le 15/03/2018.

[2] Aquariophilie AquaPortail, https://www.aquaportail.com/definition-12892-irrigation.html, Consulté le 04/02/2018.

[3] International Irrigazette, http://irrigazette.com/fr/articles/les-techniques-dirrigation-agricole, Consulté le 10/02/2018.

[4] K. Prins, M. Kay, M. Heibloem, Division de la mise en valeur des terres et des eaux, ”Méthodes d'irrigation” Manuel de formation n° 5,1990, Rome, Italie.

[5] Canaux & Territoire, http://www.canaux-et-territoire.info/dotclear/?2009/12/24/38-les-techniques-d-irrigation-i-irrigation-gravitaire, Consulté le 15/02/2018.

[6] Canaux & Territoire, http://www.canaux-et-territoire.info/dotclear/?2009/12/24/39-les-technique-d-irrigation-ii-irrigation-sous-pression, Consulté le 17/02/2018.

[7] Rachel Barta, Broner, Joël Schneekloth and Reagan Waskom, “Les techniques d'irrigation agricole”, Colorado High Plains Irrigation Practices Guide,09 oct 2015.

[8] Irstea, http://www.actions-territoires.irstea.fr/eau/irrigation-goutte-a-goutte-enterre, Consulté le 25/02/2018.

[9] Bio-enligne, https://www.bio-enligne.com/fertilisation/294-localisee.html, Consulté le 20/02/2018.

[10] Futura Tech, https://www.futura-sciences.com/tech/definitions/internet-internet-objets-15158, Consulté le 12/03/2018.

[11] Oliver Wyman, “Internet des objets, les business models remis en cause”, IoT Part1, 2015.

[12] Futura Tech, https://www.futura-sciences.com/tech/definitions/informatique-cloud-computing-11573, Consulté le 15/03/2018.

[13] Yuthika Shekhar, Ekta Dagur, Sourabh Mishra, “Intelligent IoT Based Automated Irrigation System” International Journal of Applied Engineering Research ISSN 0973-4562 Volume 12, Number 18 (2017) pp. 7306-7320.

[14] Floss Manuals, https://fr.flossmanuals.net/arduino/vous-avez-dit-arduino, Consulté le 25/03/2018.

[15] Arduino, https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3, Consulté le 21/03/2018.

[16] AliExpress, https://fr.aliexpress.com/item/New-Arrival-YL-69-Soil-Hygrometer-Humidity-Detection-Module-Soil-Moisture-Water-Sensor-For-Arduino-10PCS/1610510246.html, Consulté le 25/03/2018.

[17] AlainCanduro, http://alain.canduro.free.fr/relais.htm, Consulté le 14 /05/2018.

[18] Habitat, https://www.m-habitat.fr/entretien-de-jardin/arrosage/l-electrovanne-d-arrosage-3495_A, Consulté le 15 /05/2018.

[19] DesignSpark, https://www.rs-online.com/designspark/thingspeak-a-free-internet-of-things-iot-platform, Consulté le 20 /05/2018.

[20] Mathworks, https://fr.mathworks.com/help/thingspeak/talkback-app.html, Consulté le 17 /06/2018.