



Université ABBES LAGHROUR Khenchela
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Industriel
جامعة عباس لغرور خنشلة
كلية العلوم والتكنولوجيا
قسم الهندسة الصناعية



N° Série :

Mémoire de fin d'étude

présenté pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Automatique.

**Spécialité : Automatique et informatique
industrielle.**

THEME

**Irrigation automatique des vergers
de pommes**

Réalisées par : - Mr KATTAR Fouad.

Devant Le Jury :

Président:

Mr. BOURAS Mustafa.

Encadreur:

Dr. SAHOUR Abdelhakim.

Examineur:

Mr. MOKHTARI Khalil.

Promotion 2021/2022

Résumé :

Notre projet consiste à mettre en œuvre un système d'irrigation automatique des vergers de pommiers basé sur un réseau de capteurs sans fil (WSN). Le système se compose d'une unité centrale de traitement basée sur la carte Arduino UNO en tant que calculateur et comprend divers capteurs tels que capteur de température, capteur d'humidité, anémomètre et des modules XBee. Ce contrôleur utilise une procédure de logique floue pour commander automatiquement la pompe d'irrigation. Ceci afin d'assurer l'humidité du sol nécessaire à la croissance des pommiers plus longtemps. Et réduit considérablement la durée et la fréquence d'irrigation. Ce qui contribuera à rationaliser la consommation d'eau et à augmenter la productivité des cultures.

L'irrigation automatique permet ainsi d'apporter la bonne quantité d'eau, au bon endroit, au bon moment, en rapport avec les conditions climatiques. Dans L'objectif d'être toute aussi productive avec moins de ressources ou alors d'avoir une production plus durable.

Mots clés : Irrigation, Automatique, Arduino, Capteur de température, capteur d'humidité, Humidité du sol, réseau sans fil, Verger de pommiers

Abstract :

This work is the implementation of an automatic irrigation system for apple orchards based on a wireless (WSN) and wired sensor network. The system consists of a central processing unit based on the Arduino UNO board as a computer and includes various sensors such as temperature sensor, humidity sensor, anemometer and XBee modules. This controller uses a fuzzy logic procedure to automatically control the irrigation pump. This is to ensure the soil moisture needed for the apple trees to grow longer. And significantly reduces the duration and frequency of irrigation. This will help rationalize water consumption and increase crop productivity.

Automatic irrigation thus makes it possible to bring the right quantity of water, to the right place, at the right time, in relation to the climatic conditions. In order to be just as productive with fewer resources or to have more sustainable production.

Keywords: Irrigation, Automatic, Arduino, Temperature, Humidity, Soil moisture, Apple orchards

ملخص :

هذا العمل عبارة عن تنفيذ نظام ري أوتوماتيكي لبساتين التفاح على أساس شبكة الاستشعار اللاسلكية (WSN) والسلكية. يتكون النظام من وحدة معالجة مركزية تعتمد على لوحة Arduino UNO كجهاز كمبيوتر ويتضمن مستشعرات مختلفة مثل مستشعر درجة الحرارة ومستشعر الرطوبة ومقياس شدة الريح ووحدات XBee يستخدم جهاز التحكم هذا إجراء منطقي غامض للتحكم تلقائيًا في مضخة الري. هذا لضمان رطوبة التربة اللازمة لنمو أشجار التفاح لفترة أطول. ويقلل بشكل كبير من مدة وتكرار الري. سيساعد هذا في ترشيد استهلاك المياه وزيادة إنتاجية المحاصيل. وبالتالي ، فإن الري الأوتوماتيكي يجعل من الممكن جلب الكمية المناسبة من المياه ، إلى المكان المناسب ، في الوقت المناسب ، فيما يتعلق بالظروف المناخية. من أجل أن تكون منتجًا بنفس القدر بموارد أقل أو أن يكون لديك إنتاج أكثر استدامة.

الكلمات المفتاحية : ري، اوتوماتيك، اردوينو، مستشعر درجة الحرارة، مستشعر الرطوبة، رطوبة التربة، شبكة لاسلكية، بستان التفاح

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

Mon cher père et ma chère mère ALLAH

Yarhamhoum

*Ma petite princesse *Nadine**

*Mon petit héros *Sami**

Ma chère épouse, qui m'a soutenu.

Mon cher frère et ses enfants

Mes chères sœurs et leurs enfants

Amis et toute la promotion de 2021-2022.

Remerciement

Je remercie en premier lieu ALLAH.

Tout d'abord, je souhaite adresser mes remerciements les plus sincères aux personnes qui m'ont apporté leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire.

*Je tiens à remercier particulièrement Docteur **Sahour Abdelhakim**, qui, en tant que Directeur de mémoire, s'est toujours montré à l'écoute et très disponible tout au long de la réalisation de ce mémoire.*

Je tiens à remercier les membres de l'honorable jury pour avoir accepté de juger ce travail.

Enfin mes remerciements tous mes proches et amis, qui ont toujours soutenue et encouragée au cours de la réalisation de ce travail.

Introduction Générale.....	1
----------------------------	---

Chapitre I : Généralités sur l'irrigation des vergers de pommiers

I.1 Introduction	3
I.2 Objectif de l'irrigation	3
I.3 Pommier.....	3
I.4 Risques liés aux conditions climatiques	4
I.4.1 Risque de GEL.....	5
I.4.2 Risque de Sécheresse	6
I.5. l'irrigation des vergers de pommes.....	7
I.5.1 Critères de choix des techniques d'irrigation.....	7
I.5.2 Types d'irrigation des vergers de pommes	7
I.5.2.1 Goutte-à-goutte	7
I.5.2.1.1 Avantages de l'irrigation par goutte à goutte	8
I.5..1.2 Inconvénients de l'irrigation par goutte à goutte.....	8
I.5.2 Irrigation par aspersion	9
I.5.2.2.1 Avantages de l'irrigation par aspersion	9
I.5.2.2.1 Inconvénients de l'irrigation par aspersion	9
I.5.2.3 Irrigation gravitaire	10
I.5.3 Efficience de l'irrigation.....	10
I.6. Facteurs affectant la détermination des besoins en eau	11
I.6.1 Humidité de sol	11
I.6.2 Perméabilité et capacité du sol pour l'eau	12
I.6.3 Les conditions climatiques.....	12
I.7. Système automatique d'irrigation	12
I.8 Problématique	13
I.9. Conclusion	13

Chapitre II : Généralités sur les équipements utilisés

II.1 Introduction	14
II.2 Partie Matérielle (Hardware)	14
II.2.1 Carte ARDUINO	14
II.2.1.1 Définition	14
II.2.1.2 Pourquoi ARDUINO	14

II.2.1.3 Les applications	15
II.2.1.4 Les différentes cartes ARDUINO	15
II.2.1.4.1 ARDUINO Nano	15
II.2.1.4.2 ARDUINO UNO + Wifi R3	16
II.2.2 Capteur de température et d'humidité DHT11	18
II.2.3 Capteur d'humidité de sol HC-28	19
II.2.4 Capteur Ultrason HC-SR04	20
II.2.5 Module relais SRD-05VDC-SL-C	21
II.2.6 Afficheurs LCD Keypad Shield 1602a.....	22
II.2.7 Anémomètre	23
II.2.8 Le module de communication Xbee	24
II.2.8.1 Définition.....	24
II.2.8.2 Zigbee	25
II.3 Partie Logiciel (Software)	26
II.3.1 Arduino IDE	26
II.3.2 Logiciel XCTU	28
II.3.3 Logiciel Fritzing	29
II.4. Configuration de modules XBee	30
II.5 Conclusion	34

Chapitre III : Conception et réalisation

III.1 Introduction	35
III.2 Architecture globale de système	35
III.3 Principe de fonctionnement	36
III.4. Modélisation mathématique	36
III.5 Partie HardWar	40
III.5.1 Unité de traitement	41
III.5.2 Capteur du température et d'humidité	41
III.5.3 Capteur d'humidité du sol HC-28	42
III.5.4 Le capteur de vitesse du vent	43
III.5.5 Afficheur LC KeyPad Shield	44
III.5.6 Nœud de capter sans fil	46
III.6 Programme principale	47
III.7 Organigramme	48
III.8 Validation	50

Sommaire :

III.9 Résultats et testes	52
III.10 Conclusion	54
Conclusion Générale	55
Bibliographie	56

Chapitre I :

Tableau (I.1) : Efficience potentielle de l'irrigation avec des systèmes d'irrigation bien conçus et bien gérés.....	11
Tableau (I.2) : Perméabilité de quelque type de Sol	12

Chapitre II :

Tableau (II.1) : Caractéristiques de la carte NANO.....	16
Tableau (II.2) : Commutateur DIP pour connecter les modules	16
Tableau (II.3) : Caractéristiques de la carte UNO +WiFi	17
Tableau (II.4) : Caractéristiques de	18
Tableau (II.5) : Caractéristiques de HC-28	19
Tableau (II.6) : Caractéristiques de HC-SR04	20
Tableau (II.7) : Caractéristiques relais SRD-05VDC-SL-C.....	21
Tableau (II.8) : Caractéristiques de module Xbee	24
Tableau (II.9) : Les normes de protocole Zigbee	25

Chapitre III :

Tableau (III.1) : Règles floues avec différentes catégories de paramètres	39
---------------------------------------------------------------------------------	----

Chapitre I :

Figure (I.1) : Verger de pomme	4
Figure (I.2) : Quelque type de pomme	4
Figure (I.3) : L'effet de GEL sur les arbres fruitiers	5
Figure (I.4) : L'effet de sécheresse sur les arbres	6
Figure (I.5) : Irrigation par goutte à goutte	8
Figure (I.6) : Répartition de l'eau avec microjets (l'irrigation par aspersion).....	9
Figure (I.7) : Irrigation gravitaire	10
Figure (I.8) : L'eau disponible dans les sols selon la texture des sols	11

Chapitre II :

Figure (II.1) : Carte Arduino NANO	15
Figure (II.2) : Carte Arduino UNO +WiFi	17
Figure (II.3) : Capteur DHT11	18
Figure (II.4) : Capteur HC-28	19
Figure (II.5) : Capteur HC-SR04.....	20
Figure (II.6) : Module relais SRD-05VDC-SL-C	21
Figure (II.7) : LCD Keypad Shield 1602a.....	22
Figure (II.8) : Anémomètre	23
Figure (II.9) : Module Xbee XB24CZ7UIT-004	24
Figure (II.10) : Xbee USB Adaptateur	25
Figure (II.11) : Réseau Zigbee	26
Figure (II.12) : Logiciel Arduino IDE 2.0.0.....	27
Figure (II.13) : Logiciel XCTU	28
Figure (II.14) : Logiciel Fritzing	29

Chapitre III :

Figure (III.1) : Architecture globale de système	35
Figure (III.2) : Les entrées et sortie du système	37
Figure (III.3) : Modèle de la logique floue	37
Figure (III.4) : Programme d'une règle avec le langage Arduino	40
Figure (III.5) : Brochage DHT11 avec l'UNO	41
Figure (III.6): Résultat du test se DHT11	42
Figure (III.7) : Brochage HC-28 avec NANO	42

Liste des figures:

Figure (III.8) : Résultat du test se HC-28.....	43
Figure (III.9) : Brochage Anémomètre avec UNO	43
Figure (III.10) : Brochage LCD KeyPad avec UNO	44
Figure (III.11) : L'affichage sur IHM locale.....	45
Figure (III.12) : Brochage de module Xbee (End Device) avec NANO	46
Figure (III.13) : Programme Xbee (End Device)	47
Figure (III.14) : Programme Xbee (Coordinator).....	47
Figure (III.15) : Organigramme de commande	49
Figure (III.16) : Schéma globale de l'application	50
Figure (III.17) : Photo de l'application	51
Figure (III.18) : Résultat du test sur Moniteur Série (cas de pompe est en marche).....	52
Figure (III.19) : Résultat du test sur Moniteur Série (cas de pompe est en arrêt)	53

Introduction

Générale

Introduction Générale

L'agriculture est une partie importante de l'économie mondiale. Selon les estimations actuelles, la population mondiale doublera d'ici 2050, les agriculteurs devront donc augmenter la quantité de cultures, mais en même temps, ils devront conserver l'eau pour l'agriculture. Face au changement climatique et aux multiples sollicitations de la ressource en eau. La majeure partie de l'eau utilisée dans l'agriculture est destinée à l'irrigation. L'irrigation dans les systèmes de culture agricoles étant le secteur le plus important en termes de gestion et d'utilisation de l'eau, la maîtrise des dépenses en eau demeure un enjeu majeur des industriels et des producteurs indépendants. Une irrigation consiste en un apport artificiel d'eau douce sur des terres à des fins agricoles, c'est donc une forme de précipitation artificielle utilisée pour favoriser la croissance des cultures agricoles, l'entretien des paysages, et la végétalisation des sols perturbés dans les zones arides et pendant les périodes de pluies insuffisantes ; Mais une irrigation inadaptée ou mal conçue peut-être une source de beaucoup de problèmes

Les systèmes agricoles traditionnels existants consomment une énorme quantité d'eau et d'énergie, avec plus de 69 % du volume mondial d'eau douce attribué à l'agriculture. Ce fait entraîne une dégradation des niveaux d'eau dans plusieurs aquifères, ainsi que la qualité de l'eau. On Algérie, l'agriculture consomme environ 66% des ressources en eau, et la gestion de ces ressources est un enjeu important, surtout après la baisse des taux de pluviométrie ces dernières années.

À cause de la pénurie d'eau, les opérations d'irrigation dépendent de l'eau de surface des puits, qui est la principale source d'irrigation pour les cultures. La wilaya de Khenchela, est l'une des principales régions productrices de pommiers, son climat est sec à semi-aride, avec des précipitations concentrées en hiver, et avec des températures élevées en été, l'évaporation totale, la transpiration et l'absorption intensive de l'eau remontent. Il y a beaucoup de pression sur les eaux souterraines à cause de cela.

De plus, le niveau technique du facteur humain est très faible avec la prédominance de méthodes anciennes et non scientifiques d'administration de l'irrigation dans les vergers de pommiers de la région. Cela est principalement dû au manque d'information et d'outils scientifiques adaptés aux besoins de dosimétrie et de fréquence d'irrigation. En fait, les agriculteurs se fient généralement à leur vue pour déterminer les quantités d'eau d'irrigation et font souvent des erreurs de calcul. Par conséquent, afin de maintenir une agriculture durable, il est très important d'améliorer la production et de réduire les coûts, en particulier l'eau.

D'où la recherche de systèmes qui aident les agriculteurs à économiser l'eau. Dans ce projet, nous travaillerons au développement d'un système d'irrigation automatique des vergers de pommiers, Ce qui permet aux sols de rester humides plus longtemps, la durée et la

Introduction Générale

fréquence des irrigations peuvent être considérablement réduites. Ce qui contribuera à rationaliser la consommation d'eau et à augmenter la productivité des cultures en liant les besoins en eau de l'arbre à la température et à l'humidité du sol et à un certain nombre d'autres facteurs tels que la qualité du sol, la température, vitesse du vent et autres.

S'appuyer sur l'utilisation de nouvelles techniques et la mise en place d'outils d'intelligence artificielle.

Le manuscrite est organisé comme suit

Le premier chapitre présente des Généralités sur l'irrigation des vergers de pommiers. Le deuxième chapitre présente des Généralités sur les équipements utilisés dans notre projet. Enfin, le troisième chapitre, présenté les différentes testes ainsi que les discussions.

Finalement nous terminons ce travail par une conclusion générale.

Chapitre I :

I.1 Introduction

L'eau est la base de la vie pour tous les êtres vivants, sa présence et sa préservation sont donc une nécessité absolue. Lorsque les précipitations sont faibles et insuffisantes, l'irrigation est nécessaire pour répondre aux besoins des cultures agricoles.

Avec l'irrigation, l'agriculteur dispose d'un moyen d'augmenter sa production, mais ce moyen doit être utilisé rationnellement pour éviter de gaspiller l'eau ou de détruire les cultures agricoles.

I.2 Objectif de l'irrigation

L'irrigation est généralement définie comme la pulvérisation d'eau dans le sol dans le but de fournir l'humidité essentielle à la croissance des plantes. Cependant, la définition large est que l'irrigation est l'application d'eau sur le sol à plusieurs objectifs [1] :

- Le lavage du sol pour éliminer les sels présents dans la couche supérieure du sol.
- Réduire le risque de la gelée.
- L'Arrosage de la terre avant de labourer, pour que les charrues pénètrent facilement dans le sol et réduisent la capacité requise pour le labour.
- La dissolution des engrais avec l'eau d'irrigation.

I.3 Pommier

C'est un arbre qui appartient à la famille des Rosacées et qui vient d'Asie du Sud. Il est considéré comme l'un des arbres les plus cultivés au monde en raison de sa valeur nutritionnelle, de sa facilité d'adaptation aux différents climats et de sa valeur économique car il est considéré comme un bon revenu financier ainsi que la qualité des produits obtenus dans l'industrie de transformation. : la préparation de jus de fruits, jus de pomme, confitures et gelées.

Le pommier s'adapte à une grande variété de climats, les meilleures conditions étant les journées chaudes avec des nuits fraîches et une forte radiation solaire. Il est résistant aux gelées mais le fruit s'endommage lorsque les températures descendent à -3°C . Puisque la floraison se produit plus tard que dans d'autres cultures à feuilles caduques, le risque de gelée est plus faible.

Il est moins exigeant que les autres arbres fruitiers car il s'adapte à des sols variés, idéalement bien drainés et moyens avec un pH autour de 6. Il tolère les sols calcaires et préfère une grande variété de modèles dans de nombreux types de sols.

Khenchela est considérée comme l'une des régions les plus productrices de pommes d'Algérie, en particulier la commune de Bouhamama, en raison du climat favorable dans lequel elle se caractérise [2].



Figure (I.1) : Verger de pommiers



Figure (I.2) : Quelque type de pomme

I.4 Risques liés aux conditions climatiques

Les producteurs de pommes font face à de nombreux risques climatiques qui peuvent être une source de dommages pour leurs arbres et leurs cultures. Il est important que les producteurs soient en mesure de reconnaître les risques climatiques propres à leur situation géographique, et qu'ils mettent en place des stratégies pour réduire ou éliminer les effets de ces derniers sur leur exploitation

Parmi les principaux risques liés aux conditions climatiques, nous les mentionnons :

I.4.1 Risque de GEL

Les dommages causés par le gel se manifestent sur les parties reproductives des fleurs, lorsque les températures chutent à 0 °C ou moins dans ce cas la pollinisation et la formation des graines ne peuvent pas se produire. Les dommages dus au gel peuvent aussi se produire sur la peau des fruits lorsque les tissus extérieurs de la fleur sont atteints par le gel. Cela donne souvent une roussissure, et dans les cas graves, les dommages peuvent complètement déformer le fruit.

Parmi les solutions de la lutte contre le gel Vaporisation d'eau

La vaporisation d'eau, à raison d'un très faible débit, entraîner à la formation de glace autour des inflorescences, et protégera ces dernières grâce à la faible quantité de chaleur libérée par les gouttelettes en gelant.

Dans ce cas ce système nécessite une très bonne source d'eau, parce qu'une fois démarrée, l'irrigation doit se poursuivre jusqu'au fonder la glace. S'il manque d'eau, tout va geler. De plus, le poids de la glace sur les arbres peut briser des branches.

L'irrigation par aspersion est également utilisée comme moyen de lutte contre le gel [3].



Figure (I.3) : L'effet de GEL sur les arbres fruitiers

I.4.2 Risque de Sécheresse

Les pommiers ont besoin d'eau pour se développer, se garder en santé et produire des fruits de qualité. Le manque d'eau à cause de la sécheresse a plusieurs conséquences : réduction de la croissance, dépérissement des pousses, diminution de la taille et du poids des fruits (année en cours et année suivante), réduction de la survie et de la croissance des arbres (jeunes arbres), répercussions négatives sur la qualité des fruits, réduction de la production de boutons à fruit (et des rendements des cultures subséquentes), carences nutritionnelles, augmentation des dommages hivernaux, augmentation de la production en alternance et accroissement des troubles physiologiques (taches amères).

Parmi les solutions de la lutte contre la sécheresse une irrigation supplémentaire par goutte à goutte



Figure (1.4) : L'effet de sécheresse sur les arbres fruitiers

I.5 l'irrigation des vergers de pommiers

Meilleure méthode d'irrigation c'est ce qui fournit à la terre l'humidité nécessaire à la croissance des pommiers sans perdre d'eau de celle-ci ou du sol, et sécurise les pommiers contre de courtes périodes de sécheresse, et lave les sels trouvés dans le secteur terrestre, pour obtenir la croissance des pommiers la plus grande et la plus fine, avec une efficacité d'utilisation de l'eau et l'excellence du rendement économique de la quantité limitée d'eau.

I.5.1 Critères de choix des techniques d'irrigation

- Le type du sol ;
- La pente de la parcelle ;
- La vitesse d'écoulement de l'eau ;
- Les travaux du sol ;
- Les cultures ;
- Les ressources en eau ;
- Le climat ;
- Qualité de l'eau (salée ou non) [4].

I.5.2 Types d'irrigation des vergers de pommiers (Techniques d'irrigation)

Les techniques d'irrigation agricoles sont des méthodes pour apporter de l'eau aux cultures pour en augmenter la production, et permettre leur développement normal en cas de déficit d'eau induit par un déficit pluviométrique et est classifiées en irrigation de surface, irrigation par aspersion et micro-irrigation.

I.5.2.1 Goutte-à-goutte

Dans l'irrigation goutte à goutte, l'eau est livrée à au pommier à faible dose entraînant ainsi l'humidification d'une fraction du sol. Ceci permet de limiter les pertes par évaporation et percolation. Elle permet aussi de réduire le développement des mauvaises herbes. Par conséquent, cette méthode d'irrigation a un haut degré d'efficacité de distribution d'eau. L'irrigation au goutte-à-goutte est aussi appelée micro-irrigation. Dans la plupart des cas, elle exige une automatisation à travers des contrôleurs associés à des pompes et des électrovannes [5].

I.5.2.1.1 Avantages de l'irrigation par goutte à goutte

- Convient aux terres désertiques sablonneuses et n'a pas besoin d'être nivelé.
- Fournir de l'eau d'irrigation et ne pas en perdre de grandes quantités.
- Une plus grande efficacité d'utilisation des engrais est enregistrée.
- Protégé l'environnement en évitant de laver les engrais et de ne pas les drainer aux eaux souterraines.
- La production agricole augmente en grande quantité.
- L'automatisation possible et même conseillée

I.5.2.1.2 Inconvénients de l'irrigation par goutte à goutte

- Coûts élevés du réseau d'irrigation.
- Problème du blocage fréquent des goutteurs.
- Les flexibles sont fréquemment endommagés et doivent être remplacés.
- Des problèmes d'accumulation de sel peuvent survenir autour de la zone d'irrigation.

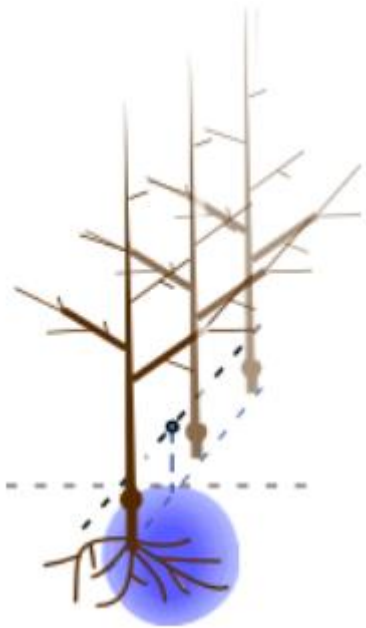


Figure (I.5) : Irrigation par goutte à goutte

I.5.2.2 Irrigation par aspersion

L'irrigation par aspersion est une technique relativement récente qui consiste à reproduire sur le sol le phénomène naturel de la pluie, avec toutefois le contrôle de l'intensité et de la hauteur de l'averse [6].

I.5.2.2.1 Avantages de l'irrigation par aspersion

- Convient aux terres sablonneuses du désert hautement perméable qui perdent rapidement de l'eau.
- Il provoque une abondance dans le sol où il n'a pas besoin de créer des canaux.
- Il n'est pas nécessaire de niveler le terrain.
- La déviation du sol ne se produit pas lors de son utilisation.
- Cela ne nécessite pas beaucoup de travailleurs.
- L'eau et les engrais peuvent être ajoutés par irrigation.
- Convient pour l'irrigation à partir de puits artésiens.
- Il fournit de grandes quantités d'eau.

I.5.2.2.1 Inconvénients de l'irrigation par aspersion

- Coûts élevés du réseau d'irrigation.
- Cela nécessite des travailleurs dotés de systèmes d'exploitation et de maintenance hautement expérimentés.
- Concentration de sels à la surface de la Terre.

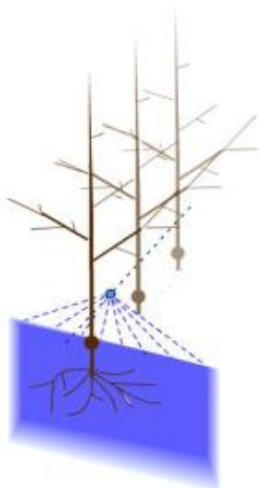


Figure (I.6) : Répartition de l'eau avec microjets (l'irrigation par aspersion)

I.5.2.3 Irrigation gravitaire

Il s'agit de la technique d'irrigation la plus ancienne. Elle utilise un canal à ciel ouvert qui apporte l'eau par gravité à des canaux de plus en plus petits, venant irriguer les pommiers. Ce système d'irrigation utilise énormément d'eau, d'autant plus qu'une grande partie se perd par évaporation, et ça c'est la plus inconvénients de ce type d'irrigation.



Figure (I.7) : Irrigation gravitaire

I.5.3 Efficience de l'irrigation

La préservation de l'eau d'irrigation peut être abordée à différentes échelles et avec des objectifs différents. L'agriculteur peut avoir un approvisionnement en eau limité, chercher à réduire ses coûts énergétiques ou encore être confrontée à des capacités de drainage limitées. L'efficience de l'irrigation à l'échelle de l'exploitation peut être améliorée par diverses solutions techniques pour réduire la consommation d'eau. L'irrigation goutte-à-goutte ou l'irrigation de précision à débit variable en sont des exemples. Cependant, les performances du système sont affectées par le degré de réutilisation des flux de retour, qui dépend de l'agencement hydraulique du système et des performances des unités élémentaires d'irrigation [7].

Système d'irrigation	Efficienc e potentielle (%)
Irrigation par aspersion	
Arrosage de précision à faible énergie	80 à 90
Arrosage à faible énergie	75 à 85
Pivot central	75 à 85
Micro-irrigation	
Micro asperseurs	85 à 90
Goutte à goutte sous la surface	> 95
Goutte à goutte en surface	85 à 95

Tableau (I.1) : Efficience potentielle de l'irrigation avec des systèmes d'irrigation bien conçus et bien gérés

I.6. Facteurs affectant la détermination des besoins en eau

La détermination des besoins en eau est très importante pour la réussite d'une culture. Ces besoins sont affectés par plusieurs facteurs tels que la méthode d'irrigation utilisée et l'efficacité de l'irrigation, notamment :

I.6.1 Humidité du sol

L'humidité du sol, c'est la quantité d'eau qu'il contient. Elle dépend de la qualité du sol (structure et texture) et de sa capacité à retenir l'eau. Un sol de qualité médiocre s'asséchera trop rapidement, comme par exemple un sol limoneux "sol sec" et/ou se gorgera d'eau en cas de pluie "sol humide".

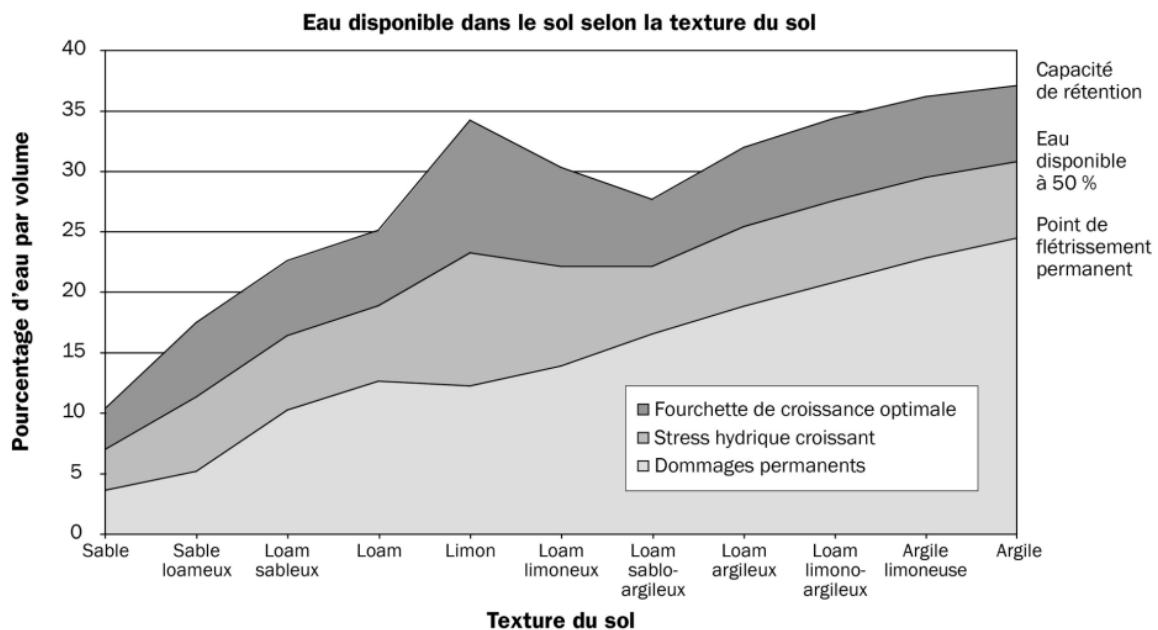


Figure (I.8) : L'eau disponible dans les sols selon la texture des sols

I.6.2 Perméabilité et capacité du sol pour l'eau

Perméabilité et capacité du sol pour l'eau : plus la perméabilité est grande, plus la capacité est faible. Cohésion : Le maintien des particules en elle-même. La force d'érosion de l'eau est d'autant plus élevée que la vitesse du liquide est plus grande cohésion. En outre l'imbibition du sol réduit par elle-même la force de cohésion en dispersant les agrégats. Les terres lourdes, possèdent un degré de cohésion élevé.

Nature	Grandeur k (m/s)	Degré de perméabilité
Sable très fin, sable limoneux, loess	10^{-5} à 10^{-7}	Faible
Limon compact, argile silteuse	10^{-7} à 10^{-9}	Très faible
Argile	10^{-9} à 10^{-12}	Pratiquement Imperméable

Tableau (I.2) : Perméabilité de quelque type de Sol

I.6.3 Les conditions climatiques

Les données climatiques donneront les indications nécessaires concernant les besoins en eau du pommier, notamment :

- La température de l'air.
- Le rayonnement global.
- La vitesse du vent.
- L'humidité relative.

I.7 Système automatique d'irrigation

On appelle irrigation automatique tout système d'irrigation permettant d'effectuer l'irrigation des plantations, automatiquement ou à l'aide d'un minimum d'intervention.

L'irrigation automatique permet ainsi d'apporter la bonne quantité d'eau, au bon endroit, au bon moment, en rapport avec les conditions climatiques.

On parle d'irrigation automatique programmée lorsque aucune intervention n'est nécessaire pour déclencher les cycles d'arrosage [8].

I.8 Problématique

Les vergers des agriculteurs peuvent être situés loin de leur résidence. Parfois, les agriculteurs doivent se rendre dans leur verger plusieurs fois par jour pour démarrer et arrêter les pompes à eau pour l'irrigation. Afin de supprimer ces difficultés pratiques, nous avons proposé un système est conçu pour s'occupe automatiquement de tous ces problèmes, basé principalement de la teneur en humidité du sol ainsi que de la température ambiante, l'humidité relative et la vitesse vent.

Actuellement, il existe de nombreuses techniques d'irrigation automatisées, et chaque système basé d'une méthode spécifique de contrôle de l'irrigation, y compris le calcul ou l'estimation des besoins en eau.

I.9 Conclusion

Ce chapitre introductif a été consacré à un rappel théorique sur les systèmes d'irrigation et leurs avantages et inconvénients, et nous avons également parlé des problèmes de l'irrigation traditionnelle et non automatisée, et de la solution proposée par nous pour résoudre ces problèmes.

Dans le chapitre suivant, nous allons détailler les composants du système que nous allons réaliser

Chapitre II :

II.1 Introduction

La réalisation d'un système d'irrigation automatique basée sur une analyse de leur conception afin d'atteindre sont objectifs, cela est nécessaire pour choisir les éléments de ce système.

Le choix des éléments doit prendre en compte les caractéristiques techniques qui assurent une plus grande flexibilité et efficacité pendant le fonctionnement ainsi les paramètres économiques suivants : la taille et la consommation énergétique très réduite, pour réaliser un système peu coûteux.

Dans ce chapitre, nous allons détailler différentes composantes du système à réaliser et le rôle de chaque élément.

II.2 Partie Matérielle (Hardware)

Le système d'irrigation automatique des vergers de pommiers comporte deux unités

Unité de captage des données localisée au le verger se compose d'un carte Arduino Nano, un capteur d'humidité de sol HC-28 utilisé pour détecter l'humidité du sol, et un module XBee qui utilisé tant que dispositif final (End Device) pour communication les données dans le réseau sans fil. Ces données sont collectées en continu à partir de capteurs et puis transmis au calculateur (l'unité de traitement).

Le calculateur se compose d'un capteur de température et l'humidité DHT11 utilisé pour détecter la température ambiante et l'humidité, un anémomètre, un capteur Ultrason HC-SR04 qui utilise dans notre projet pour indiquer le niveau de réservoir d'eau, un module XBee qui utilisait tant qu'un Coordinateur pour reçoit les données qui transmettent par End Device, un relais relié à la pompe, qui commence à pomper de l'eau vers le verger, un capteur de vitesse du vent, et un afficheur LCD pour afficher tous les données.

II.2.1 Carte ARDUINO

II.2.1.1 Définition

ARDUINO ce sont des cartes électroniques programmables (donc dotées d'un processeur et de mémoire) qui peut être programmé pour analyser et produire des signaux électriques, de manière à effectuer des tâches très diverses comme le pilotage d'un robot, contrôler et automatiser l'irrigation des vergers de pomme, ...etc [9].

II.2.1.2 Pourquoi ARDUINO

Il existe de nombreuses cartes électroniques avec des plates-formes basées sur des microcontrôleurs disponibles pour l'électronique programmable. 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 avec des avantages :

- Les cartes ARDUINO sont peu coûteuses étant donné l'étendue des applications possibles (Prix de la carte ARDUINO UNO R3 + Wifi R3 c'est 2500 DA).
- Le logiciel est compatible sous toutes les plateformes, à savoir : Windows, Linux et Mac OS.
- Le logiciel : gratuit et open source, développé en Java, dont la simplicité d'utilisation.
- Le matériel : cartes électroniques dont les schémas sont en libre circulation sur internet.

II.2.1.3 Les applications

Le système ARDUINO nous permet de réaliser un grand nombre d'applications dans tous les domaines, voici une liste non exhaustive de quelques possibilités :

- Contrôler des appareils domestiques.
- Donner une "intelligence" à un robot.
- Réaliser des jeux de lumières.
- Permettre à un ordinateur de communiquer avec une carte électronique et différents capteurs.
- Télécommander un appareil mobile (modélisme)
- Station météo.

II.2.1.4 Les différentes cartes ARDUINO

Dans notre projet, nous avons utilisé deux types de cartes ARDUINO.

II.2.1.4.1 ARDUINO Nano

La carte ARDUINO Nano est un produit plus spécifique que les autres cartes ARDUINO. Compacte, parfaite pour les applications un peu plus petites, mais malgré sa petite taille, elle contient une puissance intéressante pour permettre la construction d'objets intelligents et portables.

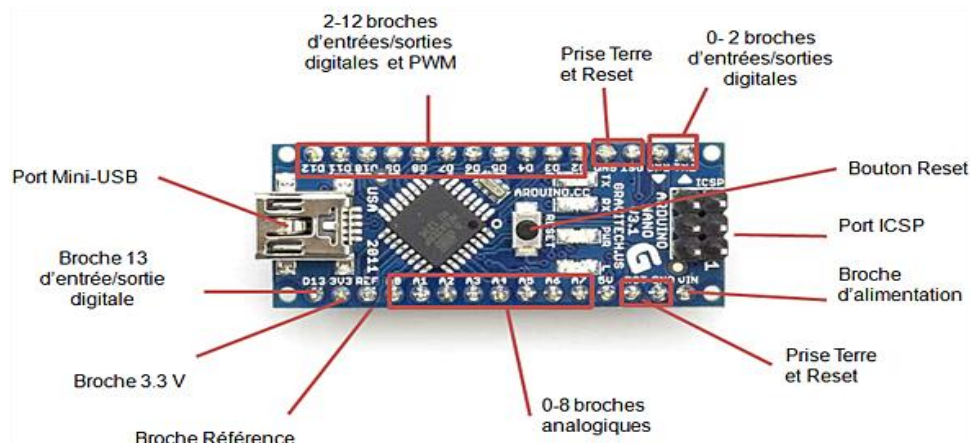


Figure (II.1) : Carte Arduino NANO

Tension de fonctionnement	5V
Tension d'alimentation (recommandée)	de 7 V à 12 V
Tension d'alimentation (maximum)	6 à 20 v
Courant maximale par broches	40 mA
Fréquence d'horloge	16MHZ
Entrées/sorties numériques	14 broches peuvent être utilisées en entrée ou en sortie avec un niveau logique de 5v
Entrées analogiques	8 broches dont les pins analogiques 6 et 7 ne peuvent pas être reconfigurées en pins digitales

Tableau (II.1) : Caractéristiques de la carte NANO

II.2.1.4.2 ARDUINO UNO + Wifi R3

Une intégration complète sur un conseil : ARDUINO Uno R3 ATmega 328 et WiFi ESP8266 avec mémoire 8 Mb. Tous les modules peuvent travailler ensemble ou séparément.

L'ARDUINO Uno est un microcontrôleur programmable qui permet de contrôler des éléments mécaniques : systèmes, lumières, moteurs, etc. Cette carte électronique permet donc à son utilisateur de programmer facilement des choses et de créer des mécanismes automatisés, sans avoir de connaissances particulières en programmation.

Elle est constituée de :

- Microcontrôleur ATmega328 :
- Mémoire flash de 32 Ko
- RAM d'un 2Ko de capacité
- EEPROM : C'est le disque dur du microcontrôleur. On y enregistre 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.
- ESP8266 : Circuit intégré à microcontrôleur avec connexion Wi-Fi qui permet de créer de très nombreux projets IoT et à faible coût.

Connection	DIP						
	1	2	3	4	5	6	7
ATmega328<->ESP8266	ON	ON	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
USB <->ATmega328	OFF	OFF	ON	ON	OFF	OFF	OFF
USB<->ESP8266 (Update firmware or sketch)	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	ON	ON
USB<->ESP8266 (communication)	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	ON	OFF
All independent	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF

Tableau (II.2) : Commutateur DIP pour connecter les modules

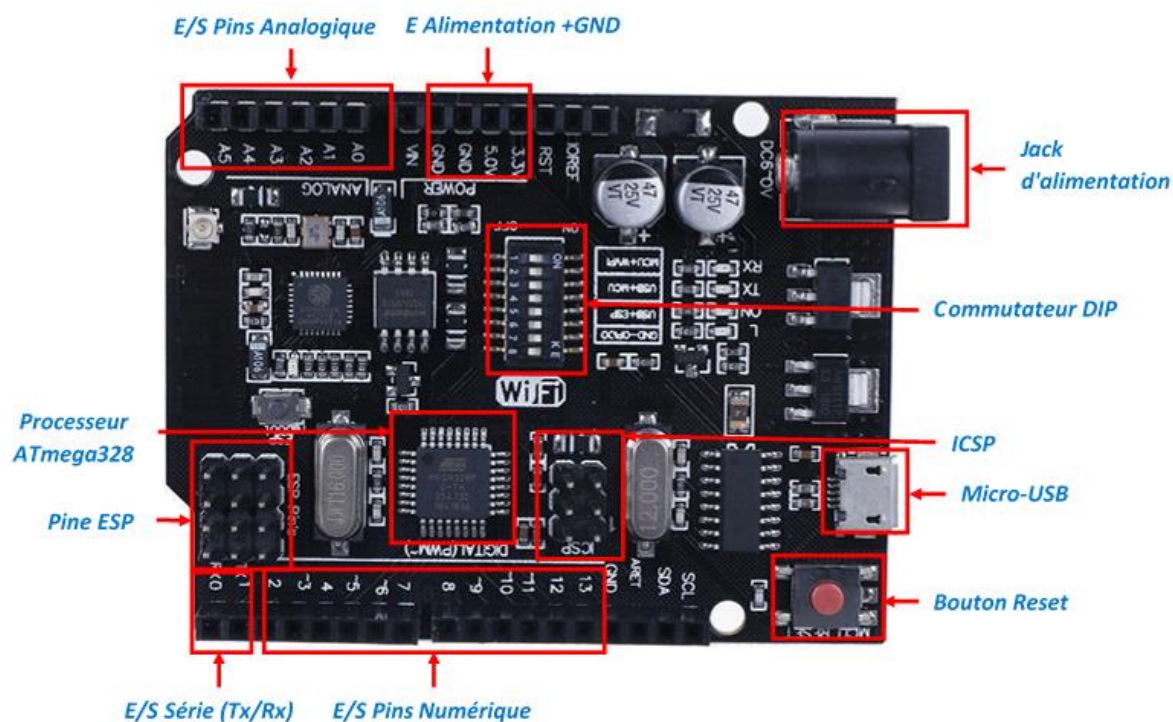


Figure (II.2) : Carte Arduino UNO + WiFi R3

Microcontroller	ATmega328
IC Wi-Fi	ESP8266
USB-TTL converter	CH340G
Power Out	5V-800mA
Power IN. USB	5V (500mA max.)
Power IN. VIN/DC Jack	9-24V
Power Consumption	5V 800mA
Logic Level	5V
WiFi	Wi-Fi 802.11 b/g/n 2.4 GHz
USB	Micro USB
Clock Frequency	16MHz
Operating Supply Voltage	5V
Digital I/O	14
Analog I/O	6
Memory Size	32Mb
Interface Type	serialOTA
Operating temperature	-40C°/+125C°
Length×Width	53.34×68.58mm

Tableau (II.3) : Caractéristiques de la carte UNO + WiFi R3

II.2.2 Capteur de température et d'humidité DHT11

DHT11 est un capteur numérique de température et d'humidité, le capteur composite contient une sortie de signal numérique calibré de la température et de l'humidité, application d'une technologie de collecte de modules numériques dédiés et de la technologie de détection de température et d'humidité, Le capteur comprend un sens résistif de composants humides et un dispositif de mesure de température, et connecté avec un microcontrôleur 8 bits haute performance.

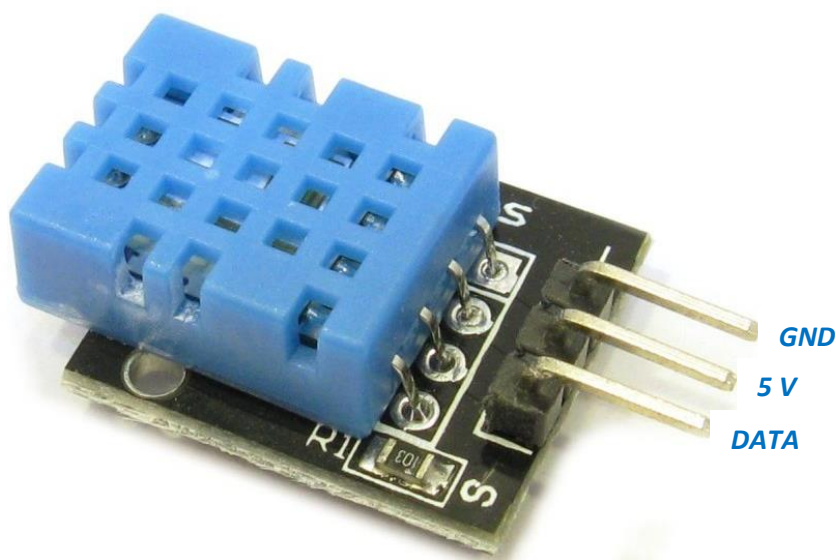


Figure (II.3) : Capteur DHT11

Alimentation	5Vcc
Signal de sortie	Signal numérique via un bus unique
Élément sensible	Condensateur polymère
Plage de mesure :	<ul style="list-style-type: none">• Température : 0 à 50 °C (± 2 °C)• Humidité : 20 à 90 %RH (± 5 % RH)
Connecteurs	Vcc, GND et Signal
Dimensions	23 x 17 mm

Tableau (II.4) : Caractéristiques de DHT11

II.2.3 Capteur d'humidité de sol HC-28 (Sol Moisture Sensor)

Le choix se portera sur le capteur d'humidité du sol (HC-28), ce capteur mesure l'humidité du sol à partir des changements de conductivité électrique de la terre (la résistance du sol augment avec la sécheresse), il est composé d'une platine qui constitue le conditionnement et une fourche résiné qui protègent contre l'oxydation et se plante verticalement dans la terre.

Le fonctionnement électrique de ce capteur est basé sur l'immersion des deux tiges, qui en contact avec le sol permettent la circulation d'un courant, ce qui permet la lecture du niveau d'humidité par rapport à la résistance. Plus y'a d'eau dans la terre, plus la conduction de courant entre les tiges est meilleure, en raison de la faible résistance, ce qui permet à la tension au niveau du capteur d'approcher 5V. Alors que la conductivité d'un sol sec est faible en raison d'une résistance élevée, résultant en un signal proche de 0V.

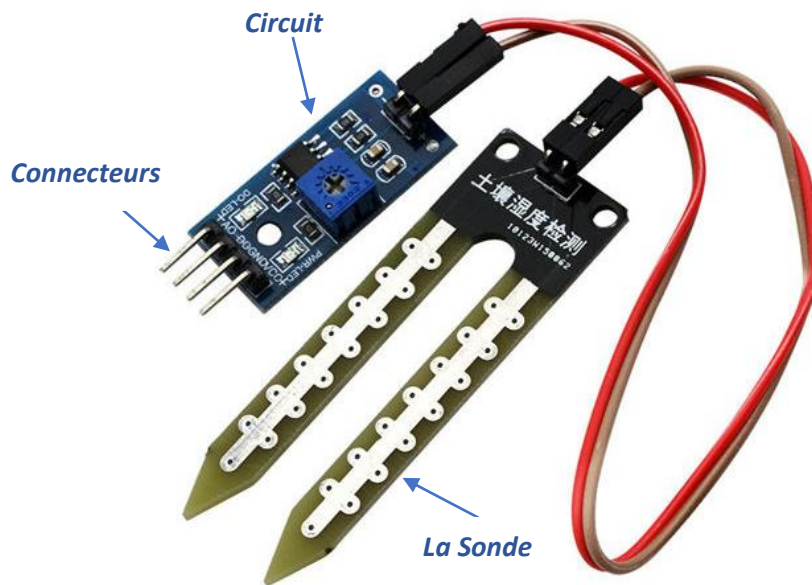


Figure (II.4) : Capteur HC-28

Alimentation	3,3 Vcc et 5 Vcc
Type de sortie	Analogique et Numérique
Puce de comparateur	LM393, stable
Connecteurs	Vcc, GND, Signal Analogique et Signal Numérique
Dimensions	<ul style="list-style-type: none"> • 14 x 32 mm pour le circuit. • 20 x 60 mm pour la sonde.

Tableau (II.5) : Caractéristiques de HC-28

II.2.4 Capteur Ultrason HC-SR04

Le capteur à ultrasons HC-SR04 est capable de mesurer la distance des objets situés de 2cm à 400cm du capteur avec une précision de 3mm. Le capteur est composé d'un émetteur d'ultrasons, d'un récepteur et du circuit de commande.

Le principe de fonctionnement :

1- Envoyer un signal numérique à l'état haut sur l'émetteur pendant 10 μ s.
 2- Le capteur envoie automatiquement 8 impulsions d'ultrasons à 40 kHz et détecte les signaux qui reviennent.

3- Si le signal revient, la durée de l'état haut du signal reçu correspond au temps entre l'émission des ultrasons et leur réception. Calcul de la distance :

Distance = (temps à l'état haut signal reçu * vitesse du son) / 2 (vitesse du son dans l'air : 340 m/s).



Figure (II.5) : Capteur HC-SR04

Alimentation	5 Vcc
Consommation (en fonctionnement)	15mA
Fréquence de fonctionnement	40Hz
Distance	Minimale : 2cm Maximale : 400cm (4m)
Angle de mesure	15 degrés
Signal d'entrée - trig	Déclenchement de la mesure : impulsion 10 μ S TTL
Signal de sortie - echo	Impulsion lorsque l'écho est reçu : signal TTL (dépend de la distance mesurée)
Branchement	VCC, Trig, Echo et GND
Dimensions	45 x 20 x 15mm

Tableau (II.6) : Caractéristiques de HC-SR04

II.2.5 Module relais SRD-05VDC-SL-C

Une carte ARDUINO fonctionne avec une tension de 5V. Pour des petits robots mobiles, cette tension est suffisante. Mais pour des robots plus gros et plus puissants, 5V est loin d'être suffisant. Il y a donc deux alimentations séparées, l'une pour le circuit 'de commande' et l'autre pour le circuit de 'puissance'.

Et pour faire le lien entre les deux circuits, il faut utiliser le module relais compatible

ARDUINO. Il est très compact et utilisable avec toutes les cartes ARDUINO. Son utilisation est très facile et il possède une deux LED pour visualiser l'état (LED verte pour l'état passant et la LED rouge pour l'état bloqué) du relais.

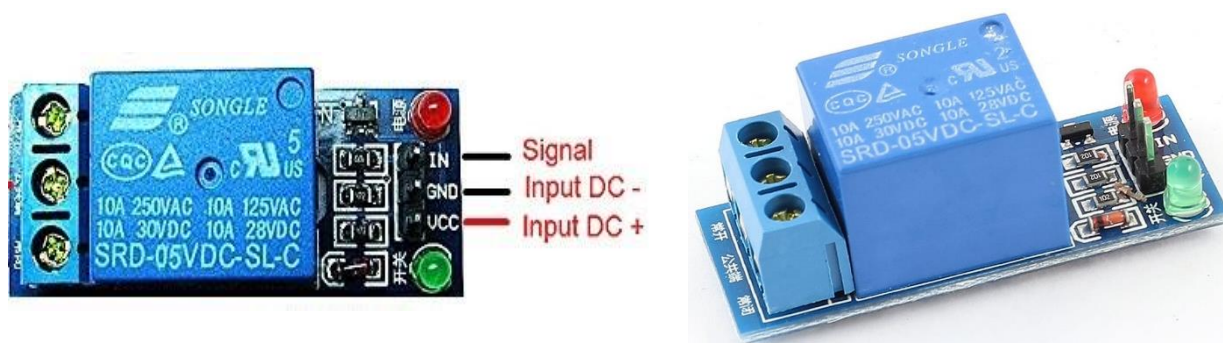


Figure (II.6) : Module relais SRD-05VDC-SL-C

Tension max	240V AC et 30V DC
Courant max	10A
Voltage de bobine	5V
Puissance	0.36W
Résistance de la bobine	55 Ohm
Dimensions	4.0 x 2.7 x 1.8 cm
Poids	14g

Tableau (II.7) : Caractéristiques relais SRD-05VDC-SL-C

II.2.6 Afficheurs LCD Keypad Shield 1602a

L'afficheur LCD est en particulier une interface visuelle entre le système et le conducteur. Son rôle est de transmettre les noms des panneaux au conducteur. Nous avons opté à utiliser un afficheur LCD (cristaux liquide) 2 lignes de 16 caractères chacune.

Parmi les différentes caractéristiques :

- 02 lignes de 16 caractères chacune.
- Texte en Blanc, Fond Bleu.
- Connecteur avec empattement de 2.54mm, il peut donc s'intégrer dans un breadboard (avec l'utilisation d'un pinHeader).
- Les broches sont notées à l'arrière de l'afficheur LCD. Cela facilite vraiment le câblage.
- Le rétro-éclairage utilise une LED dont l'intensité peut être contrôlé par l'intermédiaire d'une résistance (potentiomètre) ou d'un signal PWM. Le rétro-éclairage LED consomme nettement moins d'énergie d'un rétro-éclairage électroluminescent (beaucoup plus répandu).
- Peut être totalement contrôlé à l'aide de 6 broches digitales.

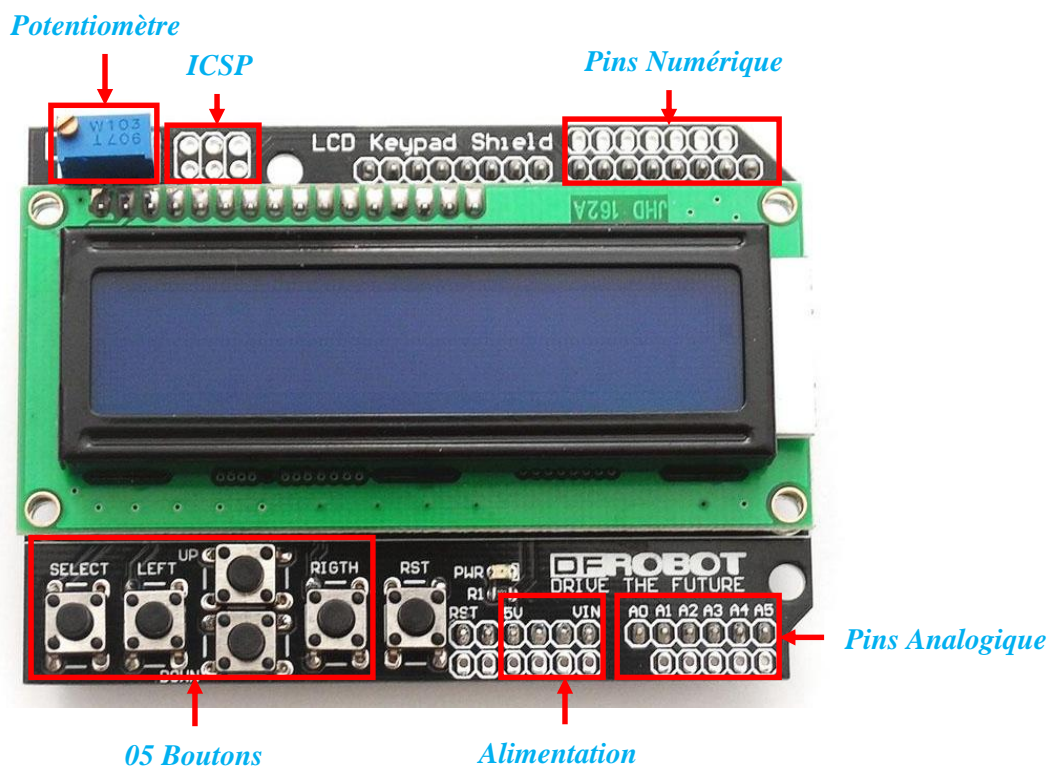


Figure (II.7) : LCD Keypad Shield 1602a

II.2.7 Anémomètre

Un anémomètre est un dispositif utilisé pour mesurer la vitesse du vent, et est un instrument de station météorologique commune. Cet anémomètre bien fait est conçu pour s'asseoir à l'extérieur et mesurer la vitesse du vent avec facilité.

Les caractéristiques techniques de l'anémomètre :

- Hauteur (base au centre) : 105 mm / 4.1"
- Centre de la tasse : 102 mm / 4"
- Longueur du bras : 70 mm / 2,8"
- Poids : 111,8 g
- Sortie : 0,4 V à 2 V
- Plage d'essai : 0,5 m/s à 50 m/s
- Vitesse du vent de départ : 0,2 m/s
- Résolution : 0,1 m/s
- Précision : Pire cas 1 mètre/s
- Vitesse maximale du vent : 70 m/s



Figure (II.8) : Anémomètre

II.2.8 Le module de communication Xbee

II.2.8.1 Définition

Les modules XBee sont des circuits de communication sans-fil utilisant les protocoles 802.15.4 et Zigbee, permettant de réaliser différents montages, d'une liaison série RS232 classique à un réseau maillé (mesh) auto-configuré.

Différents protocoles ont été implémentés sans que le packaging – désormais reconnaissable entre tous avec ses coins coupés - ne change. Il faut donc faire attention sur la série que vous utiliserez : le 802.15.4 des débuts jusqu'aux nouvelles séries 2, ZNet 2.5 ,S2C et ZB Zigbee. Les modules de séries différentes ne peuvent pas communiquer entre eux [10].

Alimentation	2,1 à 3,6 Vcc
Consommation	- réception : 28 mA - émission : 33 mA - < 1µA en veille
Protocole	ZigBee
Interface	- UART - SPI
Puissance	3,1 mW (+5 dBm)
Débit HF	250 kbps
Débit série	jusqu'à 1 Mbps
Portée moyenne	- 60 m en intérieur - jusqu'à 1200 m en extérieur
Sensibilité en réception	-100 dBm
Fréquence	2,4 GHz
Connecteur pour antenne	uFL (antenne non incluse)
Dimensions	28 x 25 x 10 mm
T° de service	-40 à +85 °C
Poids	3 g
Coût	7000 DA

Tableau (II.8) : Caractéristiques de module Xbee

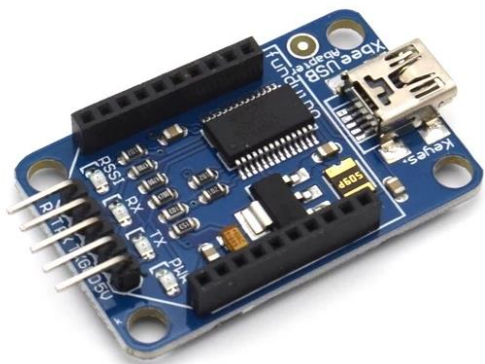


Figure (II.10) : Xbee USB Adaptateur



Figure (II.9) : Module Xbee XB24CZ7UIT-004

II.2.8.2 Zigbee

- Protocole de communication Basé sur le standard IEEE 802.15.4.
- Désigné spécialement pour les réseaux de capteurs sans fil (WSN).
- Utilisé principalement pour des applications qui nécessitent entre autres :
 - Faible consommation énergétique.
 - Le débit de transmission faible.
 - Sécurité de réseau.

IEEE	802.15.4
Besoin mémoire	4-32KB
Autonomie de la batterie	Années
Nombre de nœuds	65000 et +
Vitesse de transfert	250Kb/s
Portée	100 m

Tableau (II.9) : Les normes de protocole Zigbee

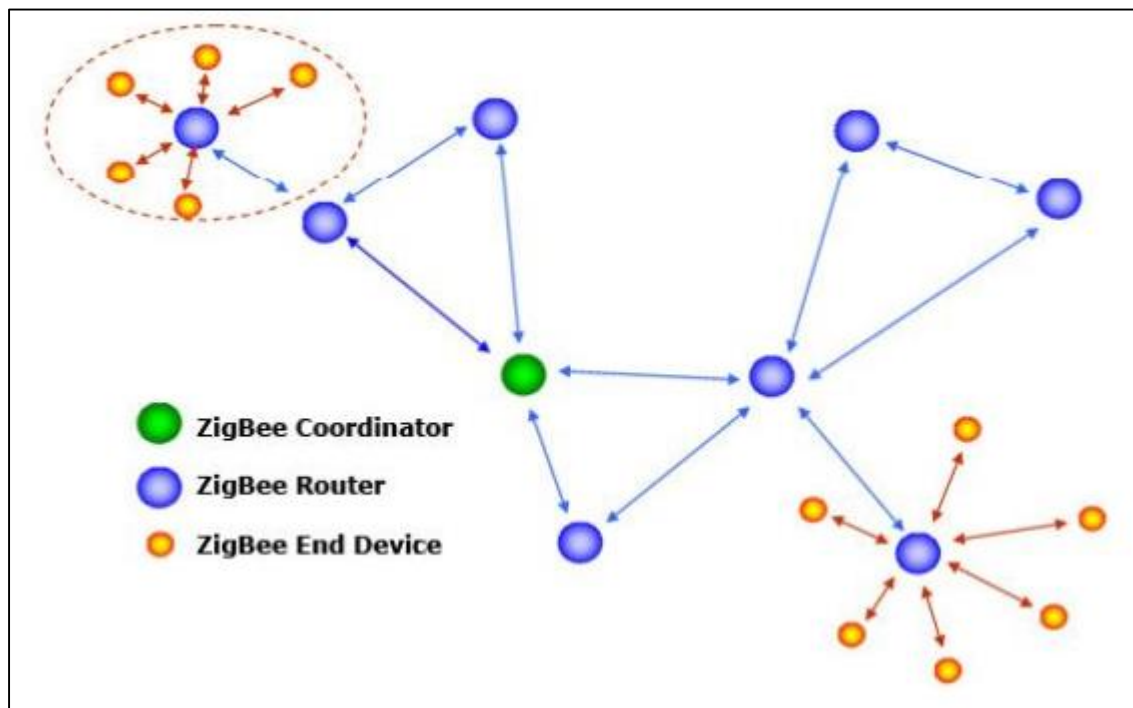


Figure (II.11) : Réseau Zigbee

II.3 Partie Logiciel (Software)

II.3.1 Arduino IDE

Est un logiciel officiel open source qui est principalement utilisé pour écrire et compiler le code dans le module ARDUINO. Ce dernier rend la compilation de code trop facile pour que même une personne ordinaire sans connaissances techniques préalables puisse s'initier avec le processus d'apprentissage.

Il est facilement disponible pour les systèmes d'exploitation comme MAC, Windows, Linux et s'exécute sur la plateforme Java qui comprend des fonctions et des commandes intégrées jouant un rôle essentiel pour le débogage, l'édition et la compilation du code dans l'environnement.

Le code principal, également appelé croquis, créé sur la plateforme IDE, générera finalement un fichier hexadécimal qui sera ensuite transféré et téléchargé dans le contrôleur de la carte.

L'environnement IDE contient principalement deux parties de base : l'éditeur et le compilateur où l'ancien est utilisé pour écrire le code requis et plus tard est utilisé pour compiler et télécharger le code dans le module ARDUINO donné.

Cet environnement prend en charge les langages C et C ++.

L'IDE Arduino permet :

- D'éditer un programme : des croquis (sketch en Anglais), les programmes sont écrits en langage C.
- De compiler ce programme dans le langage « machine » de l'Arduino, la compilation est une traduction du langage C vers le langage du microcontrôleur. (la console donne des information sur le déroulement de la compilation et affiche les messages d'erreur).
- De téléverser le programme dans la mémoire de l'Arduino, le téléversement (upload) se passe via le port USB de l'ordinateur une fois dans la mémoire de l'Arduino, le logiciel s'appelle un microgiciel. (La console donne des informations sur le déroulement du téléversement et affiche les messages d'erreur).
- De communiquer avec la carte Arduino grâce au terminal (ou moniteur série). pendant le fonctionnement du programme en mémoire sur l'Arduino, il peut communiquer avec l'ordinateur tant que la connexion est active (câble USB, ...)

II.3.2 Logiciel XCTU

XCTU est une application multiplateforme gratuite conçue pour permettre aux développeurs d'interagir avec les modules RF de Digi par le biais d'une interface graphique simple à utiliser. Elle comprend de nouveaux outils qui facilitent l'installation, la configuration et le test des modules RF XBee.

XCTU comprend tous les outils dont un développeur a besoin pour être rapidement opérationnel avec XBee. Des fonctions uniques comme la vue graphique du réseau, qui représente graphiquement le réseau XBee avec la force du signal de chaque connexion, et le constructeur de trames d'API XBee, qui aide intuitivement à construire et interpréter les trames d'API pour les XBee utilisés en mode API, se combinent pour rendre le développement sur la plateforme XBee plus facile que jamais.

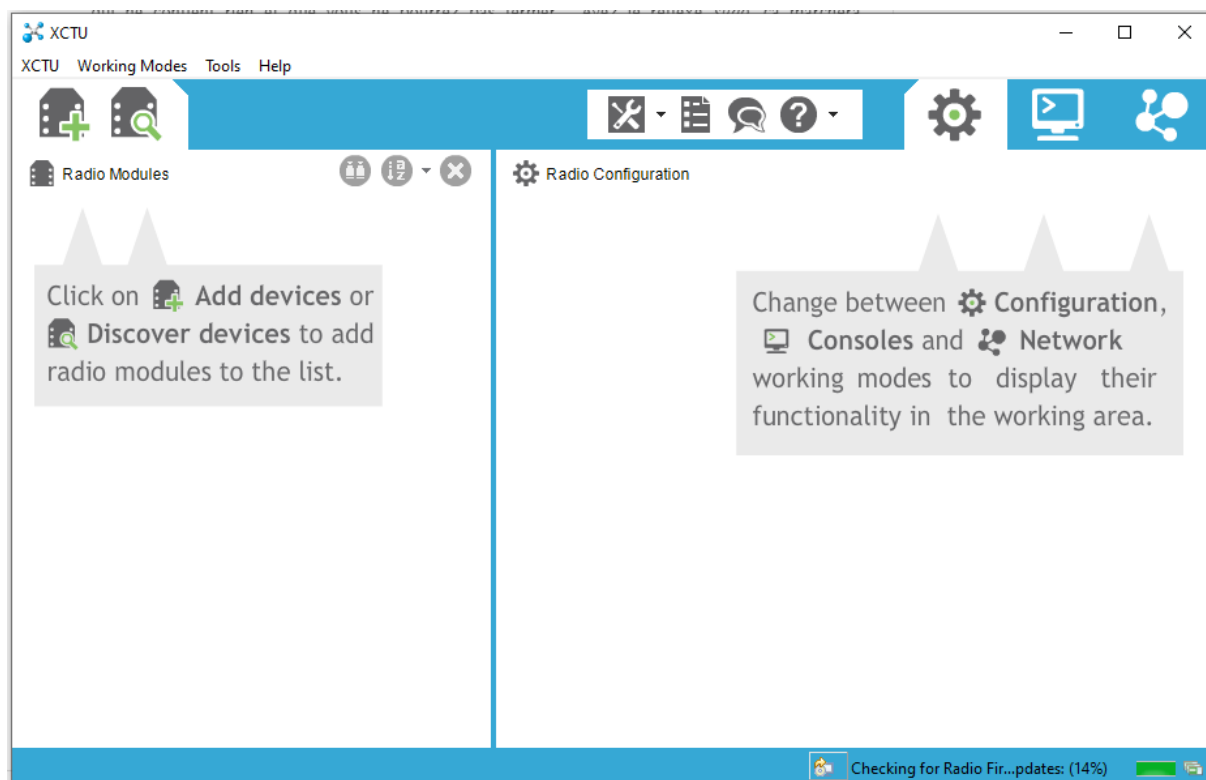


Figure (II.13) : Logiciel XCTU

II.3.3 Logiciel Fritzing

Fritzing est un logiciel libre conception électronique (EDA) Focalisés sur la transition de prototypes simples (sur la base de breadboard) à carte de circuit imprimé à envoyer à la production. Il a été développé par 'Interaction Design Lab de Fachhochschule Potsdam (Université des Sciences Appliquées Potsdam).

Fritzing a été créé dans le même esprit de Arduino et traitement c-à-dire pour faire en sorte que les concepteurs, les artistes, les amateurs ou les chercheurs peuvent documenter leurs prototypes basés sur Arduino et créer des circuits imprimés à fabriquer. Le site web du projet favorise le processus de partage des prototypes afin de réduire les coûts de production grâce à la contribution de la communauté dans la conception.

Fritzing peut être considérée comme un instrument de Electronic Design Automation pas adressé à un ingénieur de l'utilisateur : la métaphore d'entrée est celle de l'environnement du concepteur de prototypes basé sur breadboard, tandis que la production, il n'y a pas beaucoup d'options, et vous concentrer sur les moyens de production accessibles [11].

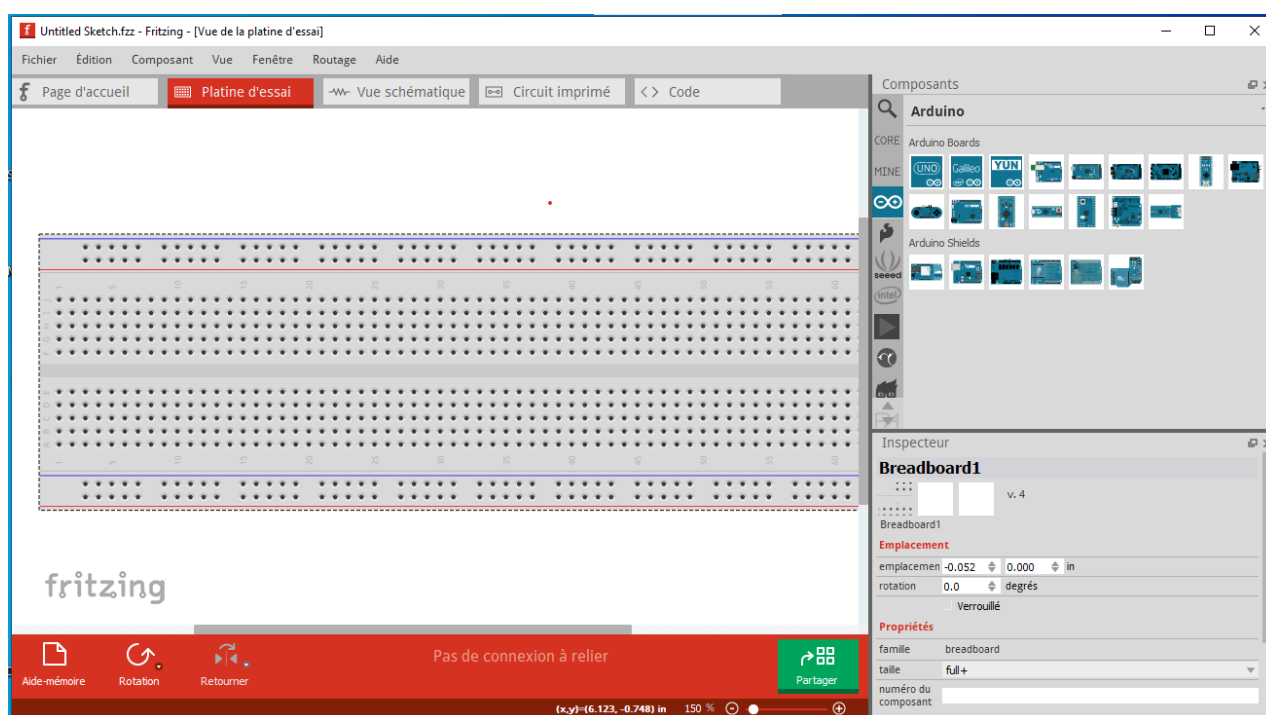


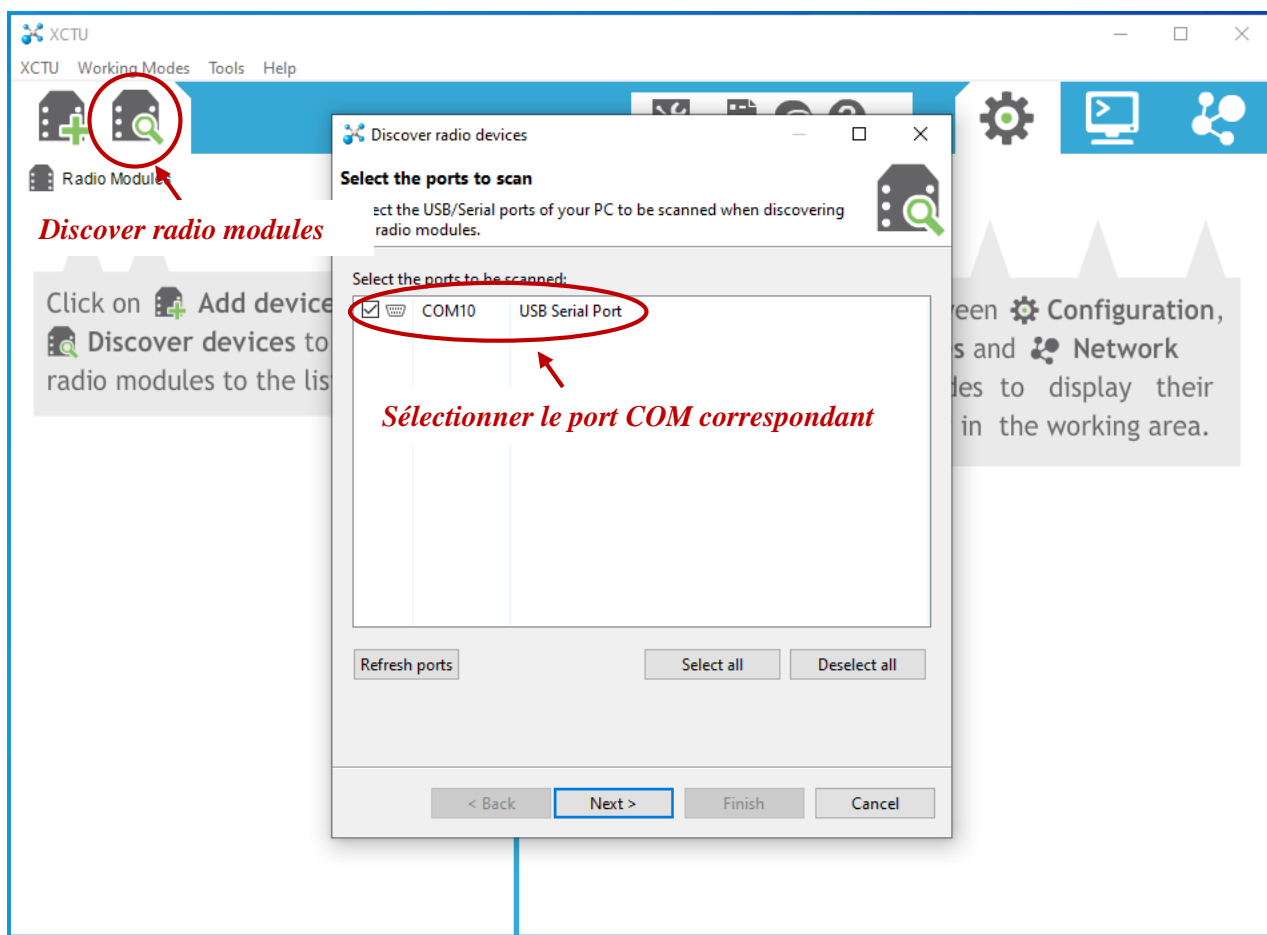
Figure (II.14) : Logiciel Fritzing

II.4 Configuration de modules XBee

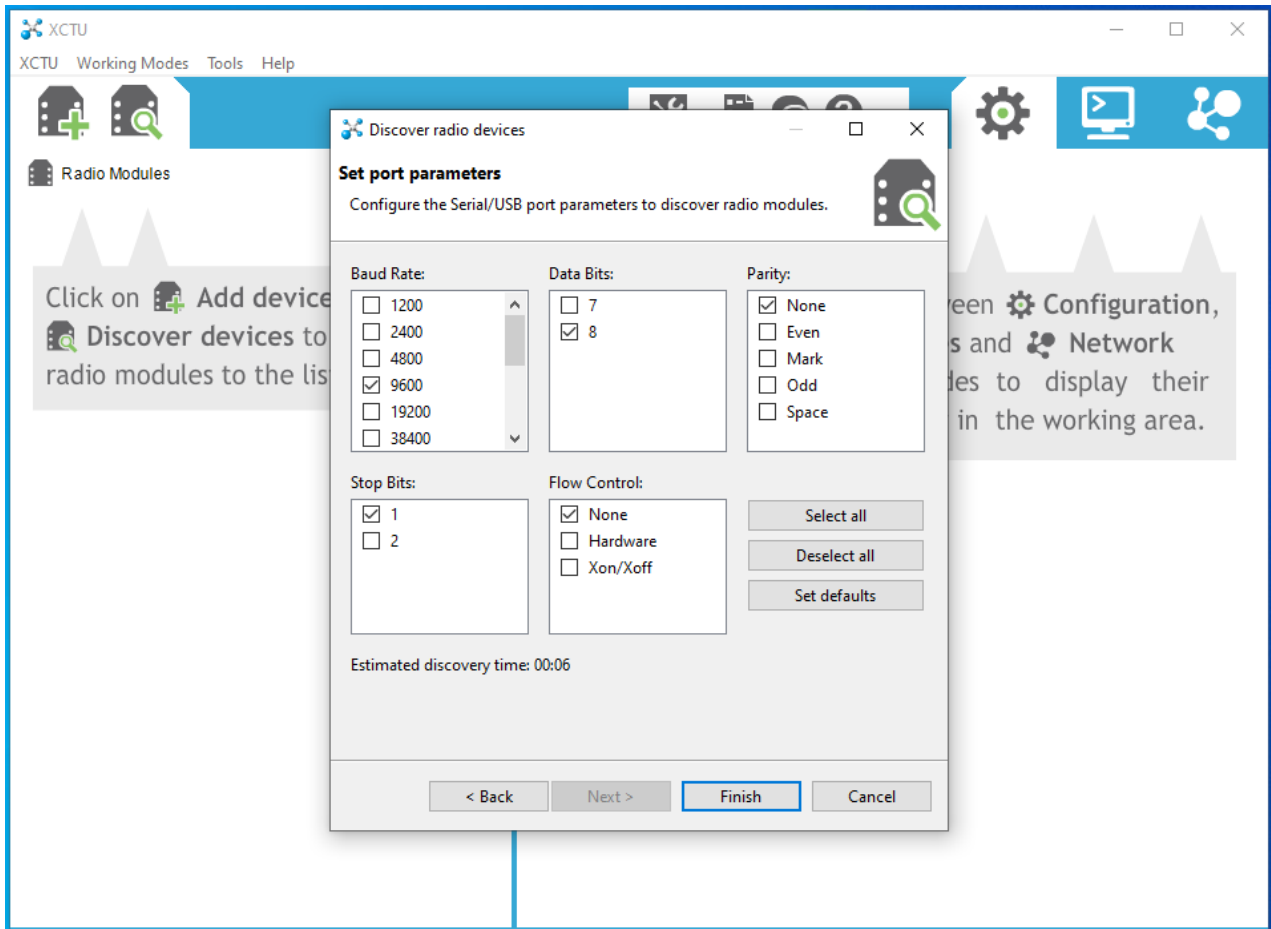
Dans notre projet d'irrigation automatique nous utilisons deux modules XBee, un pour envoyer des données (End Device) et l'autre pour les recevoir (Coordinator), pour cela, nous devons configurer ces modules XBee avec le logiciel XCTU.

Pour la configuration des modules XBee, on branche notre XBee sur la carte Arduino via un XBee USB Adaptateur.

- 1- On exécute l'application XCTU, puis on a appuyé sur le bouton "Découvrez modules radio connectés", sélectionnez le port de communication approprié



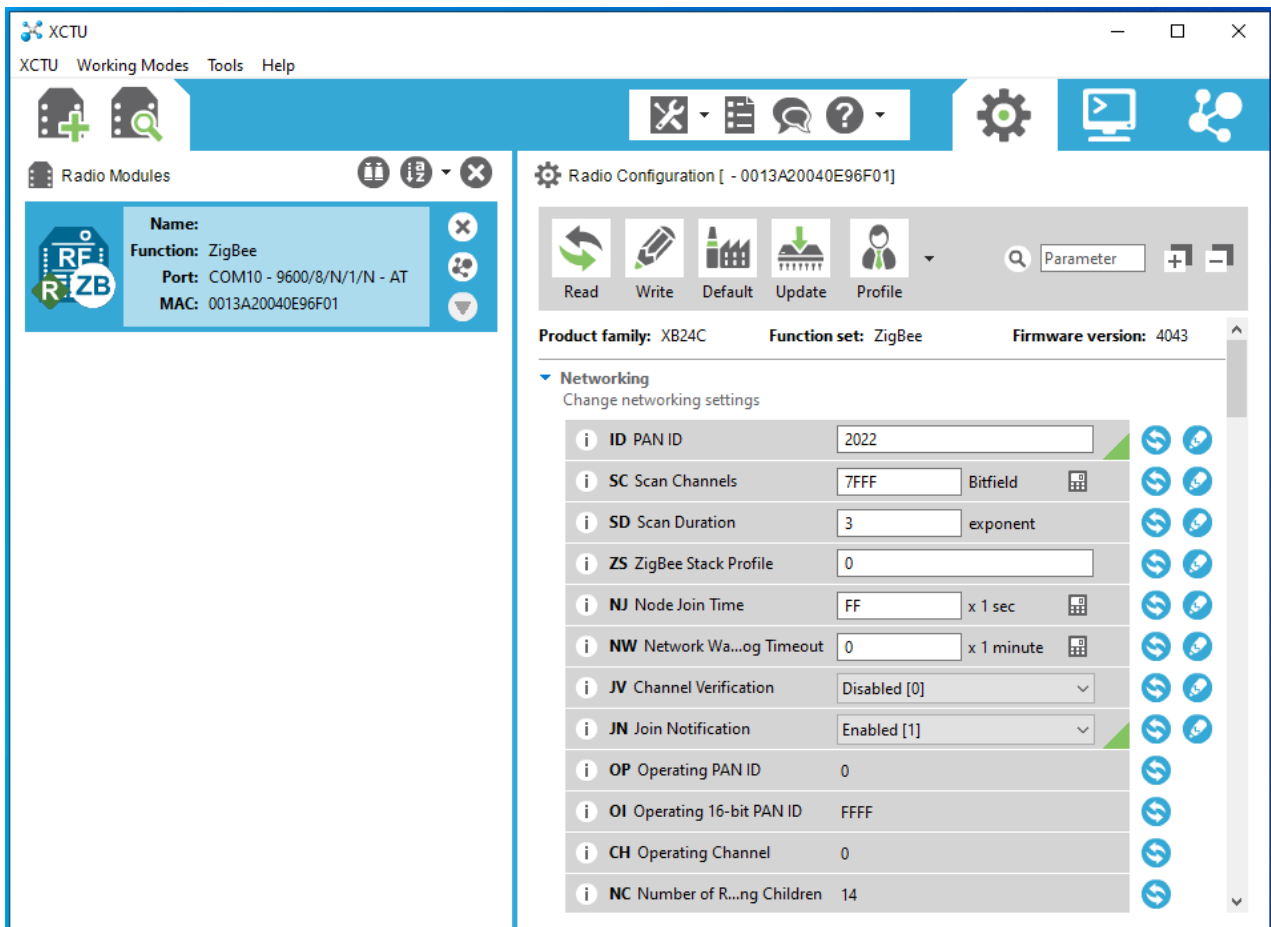
- 2- Configurer (vitesse de transmission=9600 bauds, nombre de bit de données : 08 bit, bit stop : 1 bit, ..., etc).



- 3- Ensuite, dans le mode de travail de configuration on doit configurer les paramètres suivants pour que les deux modules XBee communiquent :

Pour l'émetteur XBee (End Device) :

- ID PAN (Personal Area Network): qui est le numéro de réseau : 2022
- SC (Scan Channels) : 7FFF.
- CE (Coordinateur Enable) : End Device.
- AP API Enable : API Enable 1

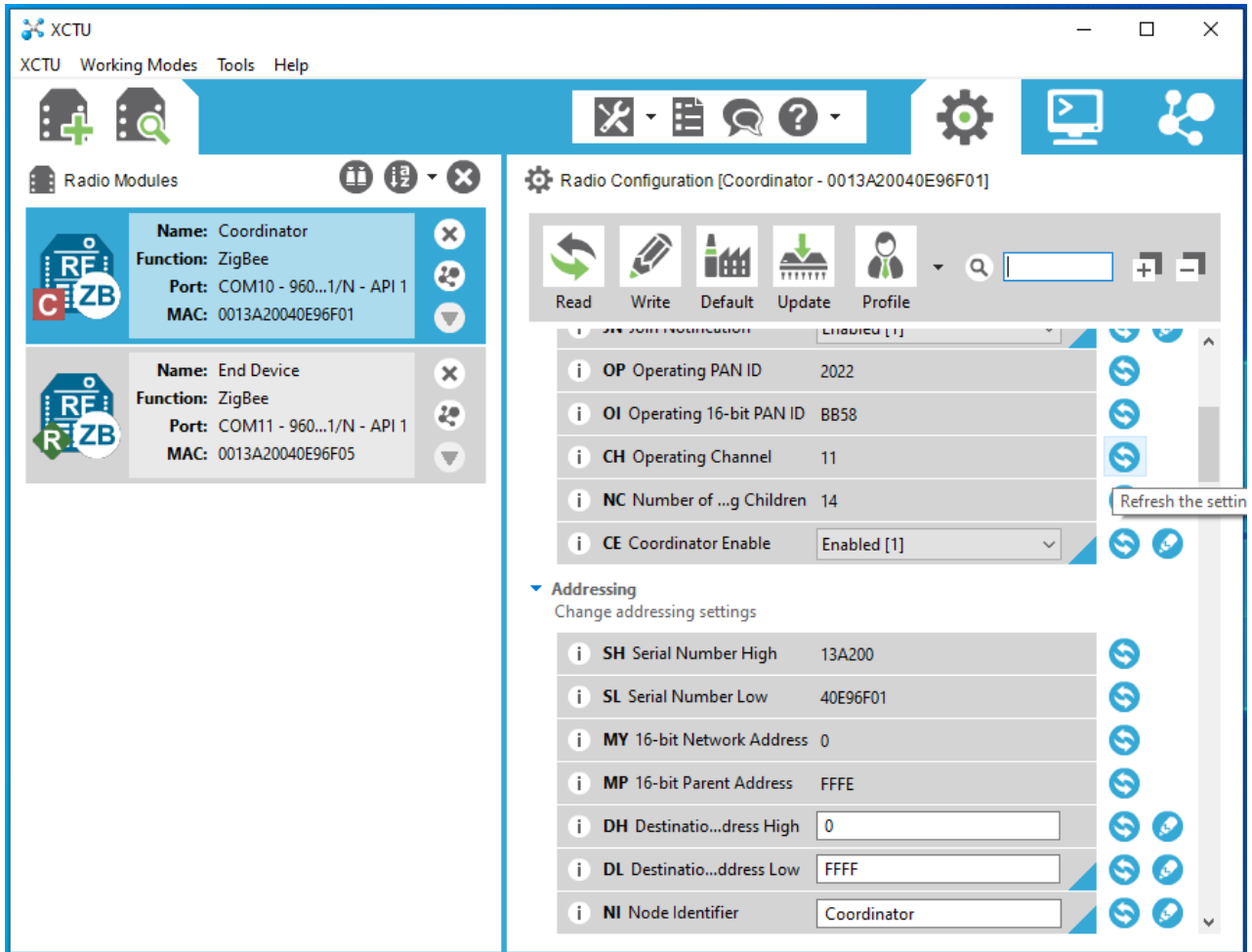


The screenshot shows the XCTU software interface. The main window is titled "Radio Configuration [- 0013A20040E96F01]". The interface includes a menu bar (XCTU, Working Modes, Tools, Help) and a toolbar with icons for Read, Write, Default, Update, and Profile. A search bar labeled "Parameter" is also present. The configuration is for a ZigBee module (Product family: XB24C, Function set: ZigBee, Firmware version: 4043). The "Networking" section is expanded, showing a list of parameters for "Change networking settings":

Parameter	Value	Unit/Type
ID PAN ID	2022	
SC Scan Channels	7FFF	Bitfield
SD Scan Duration	3	exponent
ZS ZigBee Stack Profile	0	
NJ Node Join Time	FF	x 1 sec
NW Network Wa...og Timeout	0	x 1 minute
JV Channel Verification	Disabled [0]	
JN Join Notification	Enabled [1]	
OP Operating PAN ID	0	
OI Operating 16-bit PAN ID	FFFF	
CH Operating Channel	0	
NC Number of R...ng Children	14	

Pour récepteur XBee :

- ID PAN (Personal Area Network) : qui est le numéro de réseau :2022
- SC (Scan Channels) : 7FFF.
- CE(Coordinateur Enable): Coordinator
- AP API Enable :API Enable1



II.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté Le système Arduino et les différents capteurs utilisées dans notre application. En plus, une description détaillée des modules Xbee a été illustré. Nous avons également présenté l'ensemble des outils de développement à savoir le logiciel Arduino, logiciel XCTU pour la configuration des modules Xbee, et enfin le Logiciel Fritzing.

Dans le chapitre suivant, nous allons aborder la mettre en œuvre de notre projet et nous présenteront les résultats des divers tests pratiques.

Chapitre III :

III.1 Introduction

Dans ce chapitre nous allons présenter la méthodologie de développement et la réalisations d'un système d'irrigation automatique des vergers de pommier. La solution s'inspire des solutions techniques existantes utilisées dans ce domaine et a pour but de satisfaire les besoins et les exigences des spécifications fonctionnelles.

Nous montrerons aussi comment nous avons traités et gérer tous les contraintes de développements du système proposé, à savoir les contraintes physiques, de fonctionnement, logicielles, ou matérielles différentes. On plus présenter les différents tests effectués pour pouvoir valider le bon fonctionnement du système du côté : Performances, fiabilité, pérennité, intégration.

III.2 Architecture globale de système

L'architecture de notre système se définit par le schéma suivant :

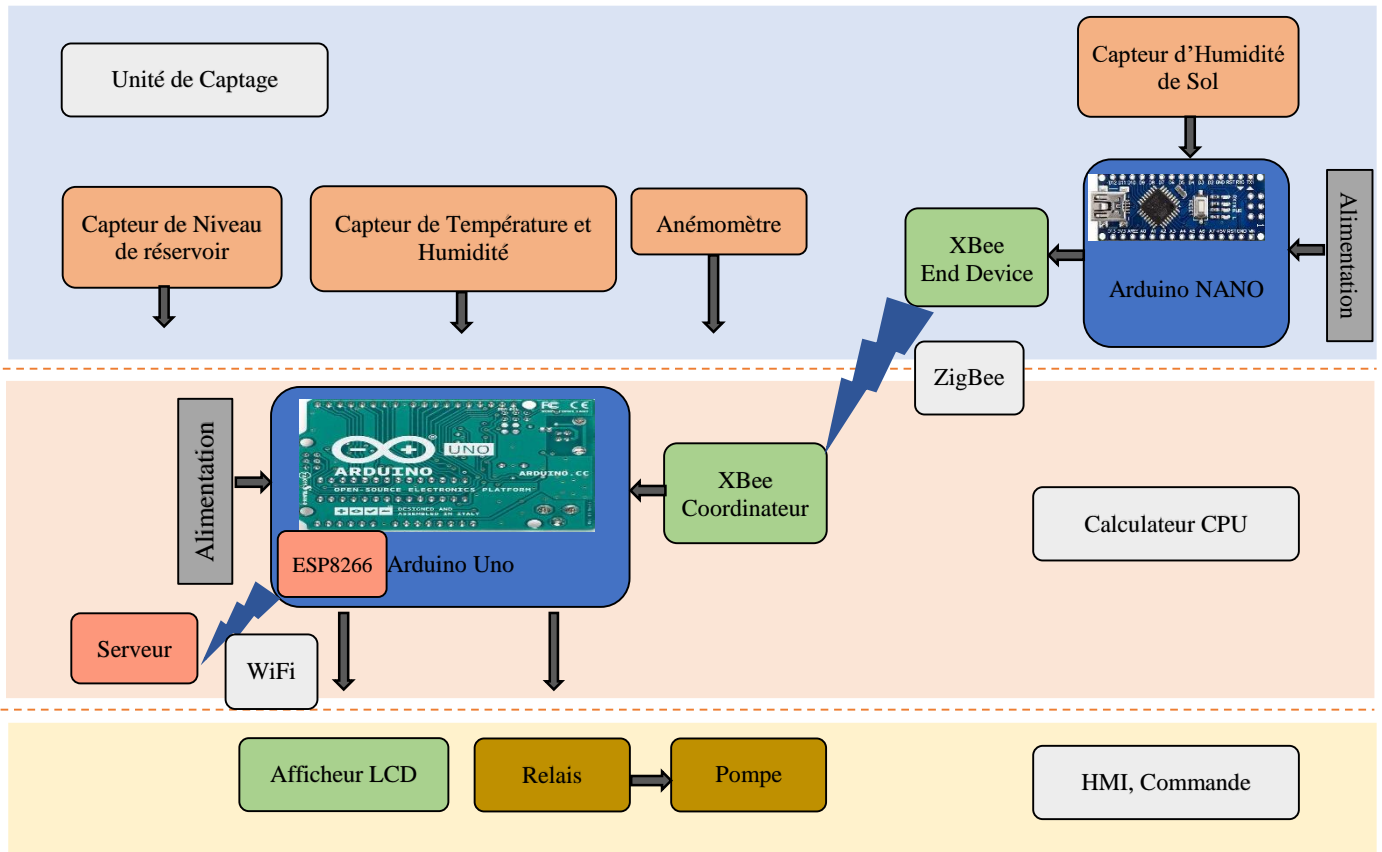


Figure (III.1) : Architecture globale de système Calculateur

Cette architecture est composée d'une unité centrale de traitement (CPU), Une unité de captage, unité de commande de l'irrigation, Ainsi qu'un interface IHM utile pour reconfigurer le système ou vérifier son comportement.

Le fonctionnement du système se résume ainsi :

- Il reçoit des informations de l'environnement extérieur qu'il converti en signal numérique
- L'unité de traitement composée du CPU, de la mémoire, du programme.
- Le traitement génère éventuellement une commande qui est envoyée vers la sortie. les systèmes auxiliaire, les ports de monitoring ou l'IHM.

III.3 Principe de fonctionnement

Dans ce projet, nous avons travaillé sur le développement de la commande automatique de l'irrigation des vergers de pommiers sans intervention humaine directe. afin de d'assurer une quantités d'eau optimales à la croissance des arbres de pomme. Basées un contrôleur flou et une unité de captage sans fils (WSN).

Le système mesure les différents paramètres avec des capteurs filaires et d'autres sans fil situés à différents endroits. Il lance procédure de traitement fondée sur la logique floue de ce qui permet la commande de l'irrigation du verger de pommiers.

Le système peut commander un système auxiliaire d'irrigation contre le risque de gel utilisé pour protéger les pommiers.

Le système proposé permet également la visualisation via un système d'affichage de tous les paramètres et actions liée à procédure d'irrigation.

III.4 Modélisation mathématique

La méthodologie fondée sur la logique floue est utilisée pour produire des commandes en fonction des entrées.

Dans notre conception proposée, nous avons choisi les paramètres les plus influents dans l'irrigation, à savoir la température (extérieur), le niveau d'humidité (extérieur) et du sol, la vitesse du vent. Comme le montre clairement la figure (III.2) [13]. Cependant, ces conditions météorologiques seront utilisées pour la planification d'irrigation par la commande des actionneurs de l'irrigation.

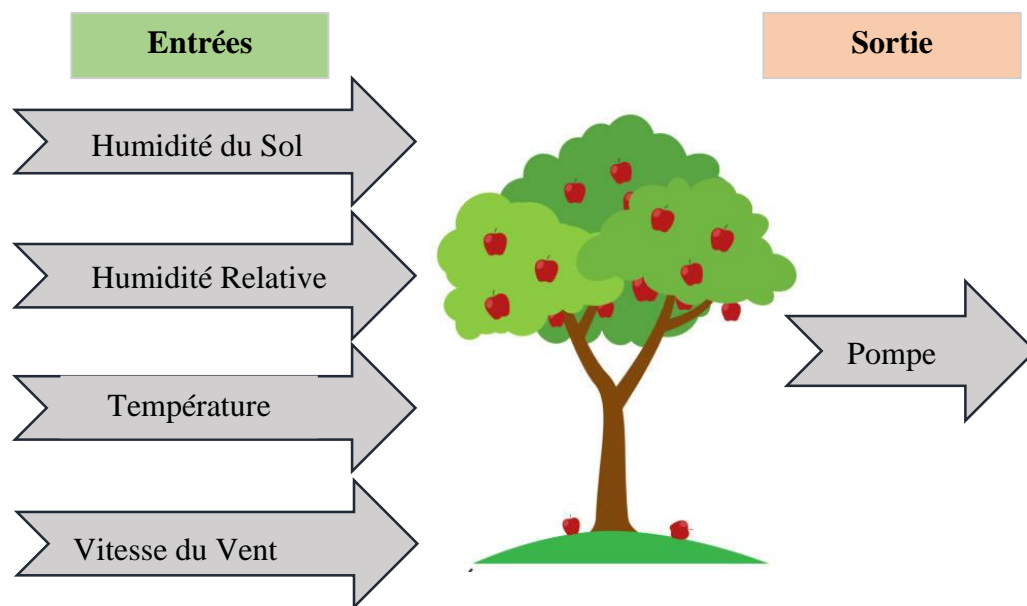


Figure (III.2) : Les entrées et sortie du système

La figure (III.3) montre le modèle de logique floue proposé pour le système d'irrigation. Les signaux d'entrée sont la température, l'humidité externe et du sol, la vitesse du vent. Le signal de sortie est la commande de la pompe d'irrigation. La première étape est la fuzzification, qui consiste à convertir les variables numériques d'entrée à l'aide des fonctions d'appartenance appropriées à des variables linguistiques floues, qui sont des mots ou des phrases dans un langage naturel ou artificiel, et non des nombres.

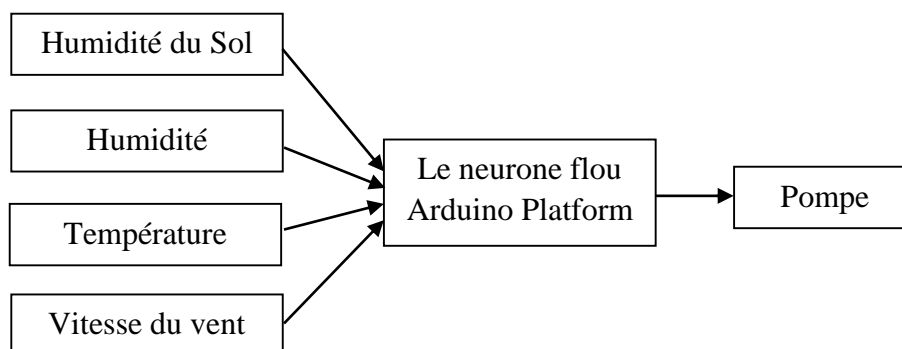


Figure (III.3) : Modèle de la logique floue

Le nombre de règles est calculé en fonction de la fonction d'appartenance de chaque paramètre d'entrée. Ainsi, chaque paramètre se compose de trois fonctions d'appartenance. Le nombre total de règles encadrées est de 29. Les valeurs de la fonction d'appartenance et les règles floues sont encadrées par l'hypothèse du chercheur basée sur le concept d'inférence floue.

Humidité de Sol :

- Sol Sec (**SolSec**): $20 \leq SolHum \leq 40\%$
- Sol Moyen (**SolMoyen**) : $40 < SolHum \leq 80\%$
- Sol Humide (**SolHumide**) $80 < SolHum < 100\%$

Température Ambiante :

- Température est Froide (**TempFroide**) : $0 < Temp \leq 20^{\circ}C$.
- Température est Modérée (**TempModeree**) : $20 < Temp \leq 30^{\circ}C$.
- Température est Elevée (**TempElvee**) : $30 < Temp \leq 50$.

Humidité Relative :

- Humidité Faible (**HumFaible**) : $0 \leq Hum < 40\%$.
- Humidité Moyenne (**HumMoyenne**) : $40 \leq Hum \leq 70\%$.
- Humidité Haute (**HumHaute**) : $70 < Hum \leq 100\%$.

Vitesse de Vent :

- Vent obstructif pour l'irrigation (**VentFaible**) : $Vent > 2 m/s$.
- Vent non-obstructif (**VentFort**): $Vent \leq 2 m/s$.

Chapitre III : Conception et réalisation

La présente étude permet de définir l'ensemble des règles. Qu'ils sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Règle	Vitesse du Vent	Humidité de Sol	Température	Humidité	Etat de pompe
01	Vent Faible	Sec	Froide	Faible	Marche
02	Vent Faible	Sec	Modérée	Faible	Marche
03	Vent Faible	Sec	Elevée	Faible	Marche
04	Vent Faible	Sec	Froide	Moyenne	Marche
05	Vent Faible	Sec	Modérée	Moyenne	Marche
06	Vent Faible	Sec	Elevée	Moyenne	Marche
07	Vent Faible	Sec	Froide	Haute	Marche
08	Vent Faible	Sec	Modérée	Haute	Marche
09	Vent Faible	Sec	Elevée	Haute	Marche
10	Vent Faible	Moyen	Froide	Faible	Arrêt
11	Vent Faible	Moyen	Modérée	Faible	Arrêt
12	Vent Faible	Moyen	Elevée	Faible	Marche
13	Vent Faible	Moyen	Froide	Moyenne	Arrêt
14	Vent Faible	Moyen	Modérée	Moyenne	Arrêt
15	Vent Faible	Moyen	Elevée	Moyenne	Arrêt
16	Vent Faible	Moyen	Froide	Haute	Arrêt
17	Vent Faible	Moyen	Modérée	Haute	Arrêt
18	Vent Faible	Moyen	Elevée	Haute	Arrêt
19	Vent Faible	Humide	Froide	Faible	Arrêt
20	Vent Faible	Humide	Modérée	Faible	Arrêt
21	Vent Faible	Humide	Elevée	Faible	Arrêt
22	Vent Faible	Humide	Froide	Moyenne	Arrêt
23	Vent Faible	Humide	Modérée	Moyenne	Arrêt
24	Vent Faible	Humide	Elevée	Moyenne	Arrêt
25	Vent Faible	Humide	Froide	Haute	Arrêt
26	Vent Faible	Humide	Modérée	Haute	Arrêt
27	Vent Faible	Humide	Elevée	Haute	Arrêt
28	Vent Fort	Sec ou Moyen	Elevée	Quel que soit	Marche
29	Vent Fort	Les autres combinaisons			Arrêt

Tableau (III.1) : Règles floues avec différentes catégories de paramètres d'entrée et de sortie

Les règles floues peuvent être écrites comme suit :

If x_1 is F_1 and x_2 is F_2 and x_n is F_n , then y is F_y

On trouvera ci-dessous un exemple de certaines règles.

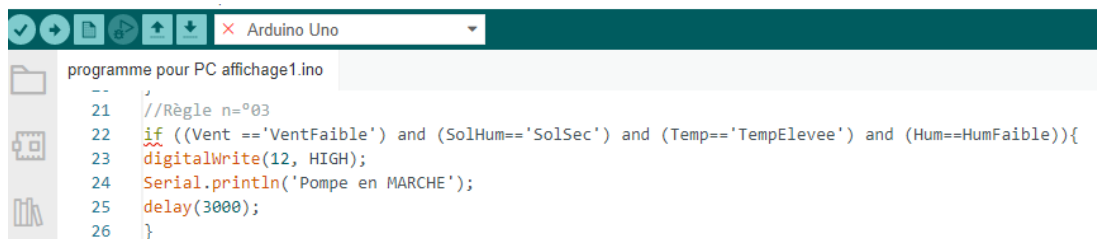
Règle n=°10

If Vent is VentFaible and SolHum is SolMoyen and Temp is TempFroide and Hum is HumFaible then Pompe is LOW.

Règle n=°03

If Vent is VentFaibleb and SolHum is SolSec and Temp is TempElevee and Hum is HumFaible then Pompe is HIGH.

La figure est une capture d'écran du logiciel Arduino IDE, qui montre comment les règles sont programmées avec le langage Arduino.



```
21 //Règle n=°03
22 if ((Vent =='VentFaible') and (SolHum=='SolSec') and (Temp=='TempElevee') and (Hum==HumFaible)){
23   digitalWrite(12, HIGH);
24   Serial.println('Pompe en MARCHE');
25   delay(3000);
26 }
```

Figure (III.4.) : Programme d'une règle avec le langage Arduino

III.5 Partie Hardware

Le système collecte les données d'un WSN à l'aide d'un module Xbee et est configuré en tant que coordinateur, ce qui en fait un nœud WSN. Ensuite, les données détectées par les nœuds capteurs peuvent être traitées localement avec un contrôleur flou prédéfini. Le contrôleur de sortie floue est envoyé à la carte Arduino pour la génération d'un signal de commande correspondant au signal d'entrée au actionneur. En même temps, Le cultivateur peut consulter l'état du système à travers un afficheur LCD.

- Simplifie grandement les schémas électroniques.
- Diminué le coût de la réalisation.
- La charge de travail à la conception d'une carte électronique.
- Environnement de programmation clair et simple.

- Nombreuses bibliothèques disponibles avec diverses fonctions implémentées.
- Logiciel et matériel open source et extensible.
- Existence de « shield » (boucliers en français).
- Est peu coûteux (Prix de la carte ARDUINO UNO R3 + Wifi R3 c'est 2500 DA).

III.5.1 Unité de traitement

Nous avons utilisé Arduino UNO wifi comme contrôleur (CPU) de station de base, car il est compact, peu coûteux et a une faible consommation d'énergie. Il est également capable de traiter le contrôleur à logique floue et élimine le besoin d'un ordinateur.

III.5.2 Capteur de la température et d'humidité

La température ambiante et l'humidité relative sont des facteurs clés pour commander une irrigation de précision. Ils sont inclus dans le calcul des besoins en eau du pommier. Plus la température est élevée et plus l'humidité est basse, plus le pommier s'évapore et l'équilibre hydrique du sol se dégrade, pour cela nous avons utilisé le capteur de température et humidité le DHT11 car il est capable de mesurer la température et l'humidité à la fois avec une précision de +/- 2°C pour la température et +/- 5%. Une mesure peut être réalisée toutes les secondes.

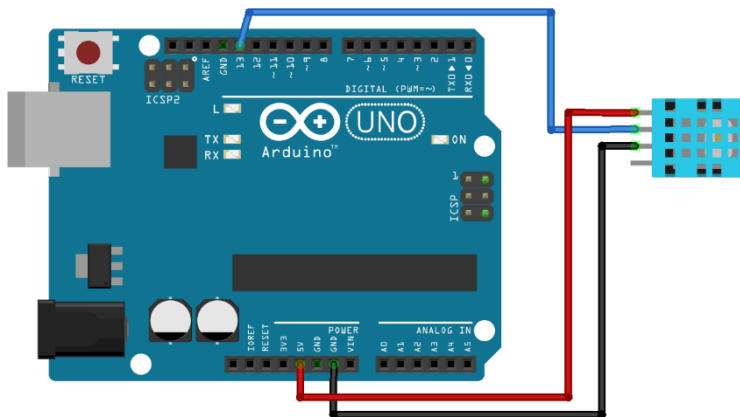


Figure (III.5) : Brochage DHT11 avec l'UNO

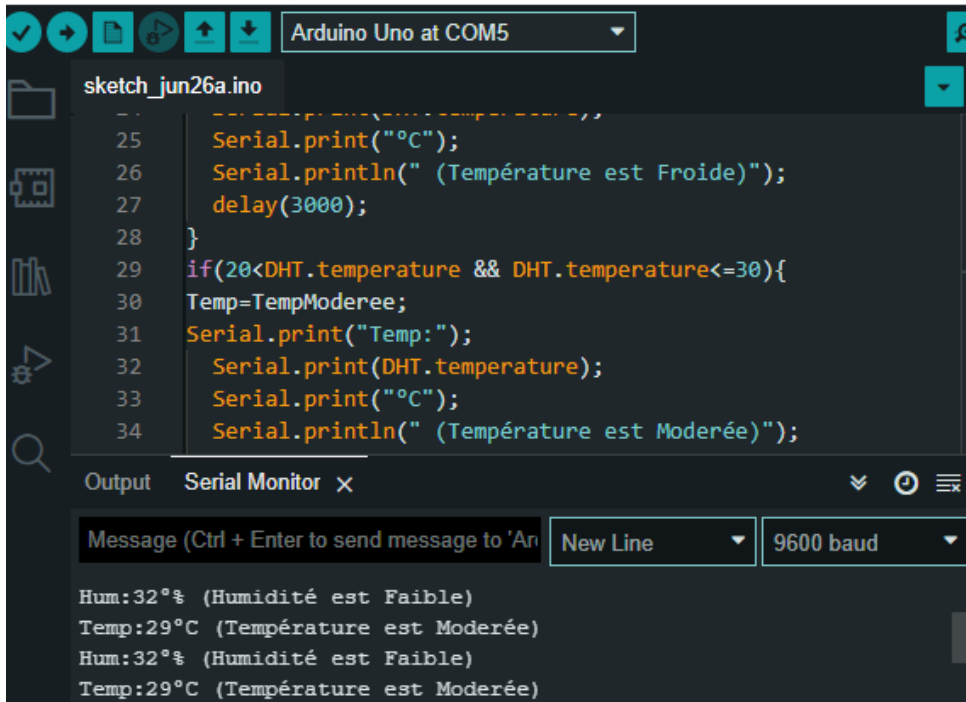


Figure (III.6) : Résultat du test de DHT11

III.5.3 Capteur d’humidité du sol HC-28

L'humidité du sol est l'image de la quantité d'eau apportée aux racines des pommiers. Ce module de capteur d’humidité du sol permet de détecter des changements d’humidité avec réglage de seuil, et double sortie, numérique et sortie analogique. C’est un capteur d’humidité simple qui peut être utilisé pour détecter lorsque qu’un sol est en manque d’eau (niveau haut) et vice versa (niveau bas).

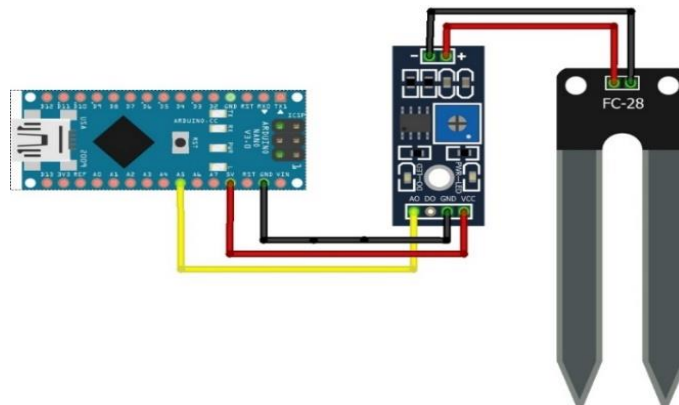
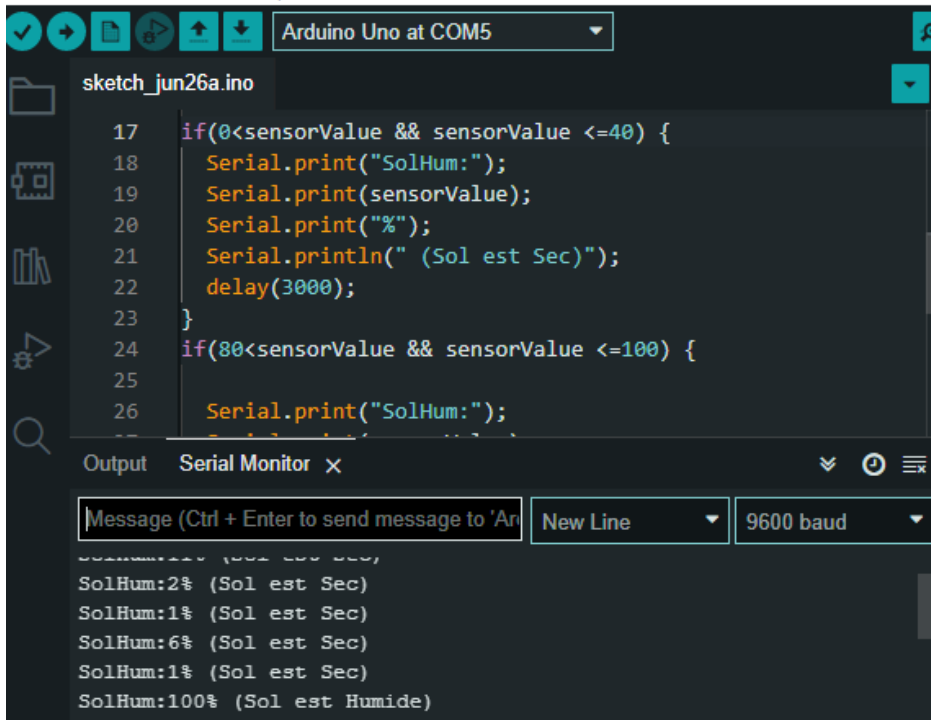


Figure (III.7) : Brochage HC-28 avec NANO



```
sketch_jun26a.ino
17  if(0<sensorValue && sensorValue <=40) {
18      Serial.print("SolHum:");
19      Serial.print(sensorValue);
20      Serial.print("%");
21      Serial.println(" (Sol est Sec)");
22      delay(3000);
23  }
24  if(80<sensorValue && sensorValue <=100) {
25
26      Serial.print("SolHum:");
```

Output Serial Monitor

Message (Ctrl + Enter to send message to 'Ar) New Line 9600 baud

SolHum:2% (Sol est Sec)
SolHum:1% (Sol est Sec)
SolHum:6% (Sol est Sec)
SolHum:1% (Sol est Sec)
SolHum:100% (Sol est Humide)

Figure (III.8) : Résultat du test se HC-28

III.5.4 Le capteur de vitesse du vent

Les données relatives au vent permettent de traiter l'irrigation au bon moment et d'optimiser les quantités d'eau. Dans le cas d'un vent fort, les petits tissus très mous commencent à transpirer anormalement et à sécher rapidement. Nous utilisons un anémomètre pour mesurer la vitesse du vent. Un anémomètre il fournit des données concernant la vitesse. En raison de l'indisponibilité sur le marché, nous avons essayé de faire les tests par l'introduction de plusieurs valeurs (faible et fort).

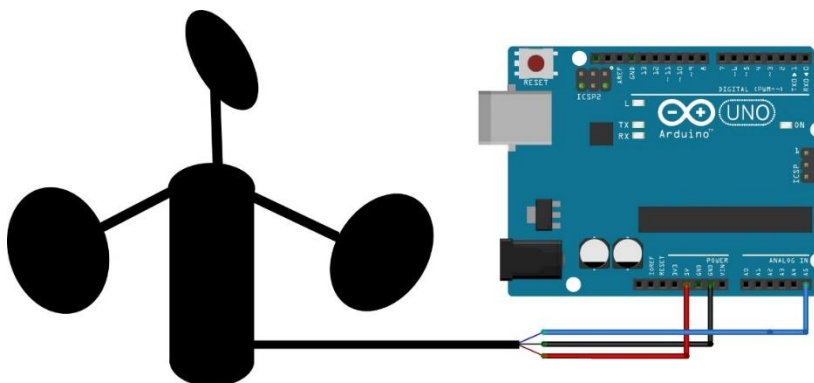


Figure (III.9) : Brochage Anémomètre avec UNO

II.5.5 Afficheur LC Keypad Shield

Le système une fois réaliser est autonome et ne possède pas des entrées/sorties standards tels qu'un clavier ou un écran d'ordinateur, contrairement à un PC. Le système est menu a une IHM (interface homme-machine), c'est un ensemble de dispositifs matériels et logiciels qui permettent à un utilisateur d'interagir avec un le système. (la supervision, la planification et les diagnostics). Nous avons opté à l'utilisation d'un afficheur à cristaux liquides LCD (Liquid Crystal Display) de structure simple. Composée d'un écran LCD alphanumérique de 2 x 16 caractères, d'un potentiomètre de réglage du contraste et d'une série de 6 boutons (haut, bas, droite, gauche, sélection, reset). Ce permet un menu de contrôle à notre projet et ceci à moindre coût.

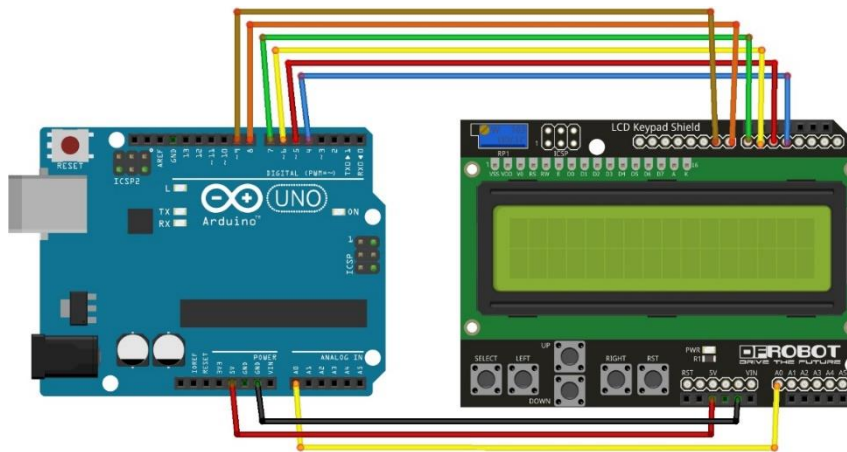
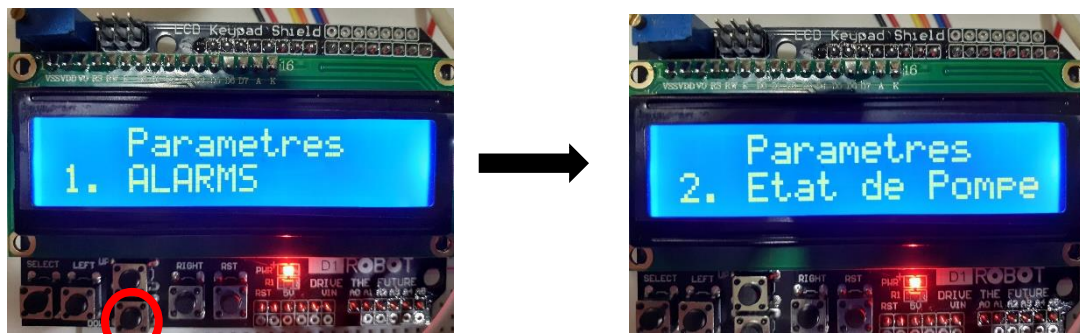


Figure (III.10) : Brochage LCD Keypad avec UNO

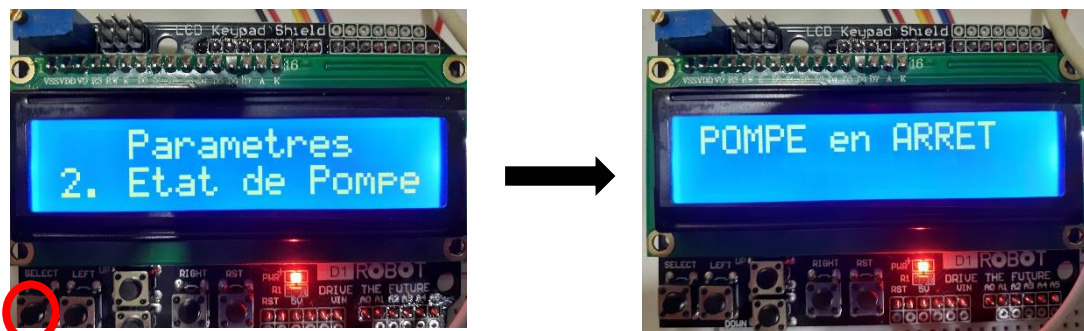
Sur l'IHM, nous pouvons voir et contrôler tous les paramètres de notre système, lorsque le système a démarré, il affiche le premier paramètre.

Pour une utilisation facile de l'IHM, nous suivons les étapes ci-dessous :

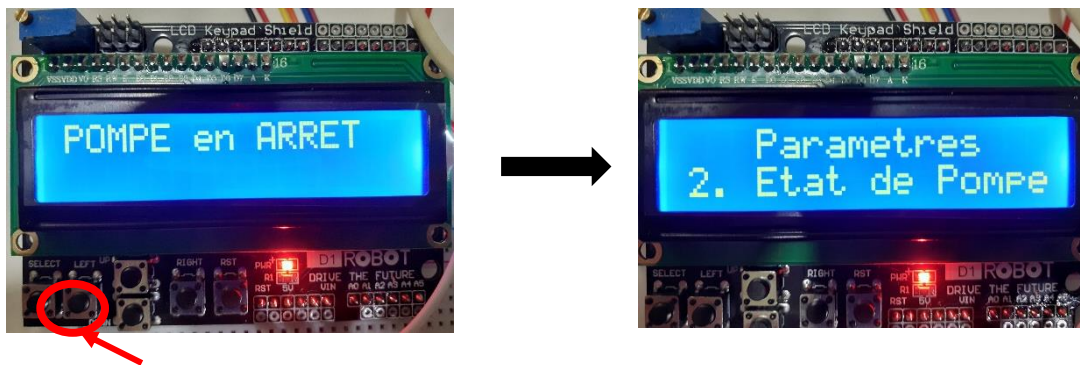
- Pour voir le paramètre suivant dans la liste on utilise le bouton (Down).
- Pour voir le contenu du paramètre, nous utilisons le bouton (Select).
- Pour revenir à la liste des paramètres on utilise le bouton (Left).



1. Bouton (Down) pour voir le paramètre suivant



2. Bouton (Select) pour voir le contenu de paramètre



3. Bouton (Left) pour revenir à la liste des paramètres

Figure (III.11) : L'affichage sur IHM locale

III.5.6 Nœud de capteur sans fil

Pour l'unité de captage nous avons deux types de capteurs, où le système n'utilise qu'un seul capteur pour chaque paramètre reliés directement à la carte Arduino. D'autre part, le système utilise un ensemble de capteurs d'humidité du sol répartis sur le verger. Cet ensemble est relié travers une liaison sans fils Zigbee. ce standard (ZigBee / IEEE 802.15.4) peut répondre aux exigences de notre conception en matière de la fiabilité, de sécurité, de faible coût, de faible consommation énergétique et de capacité, permettant ainsi à un périphérique de se connecter à un réseau unique. Nous avons donc choisi les technologies ZigBee WSN, qui conviennent le mieux à une telle application. Les nœuds de panneaux distants sont implémentés avec un module XBee.

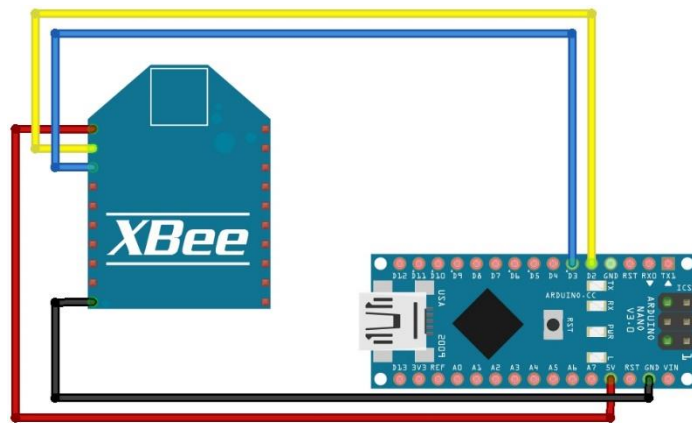
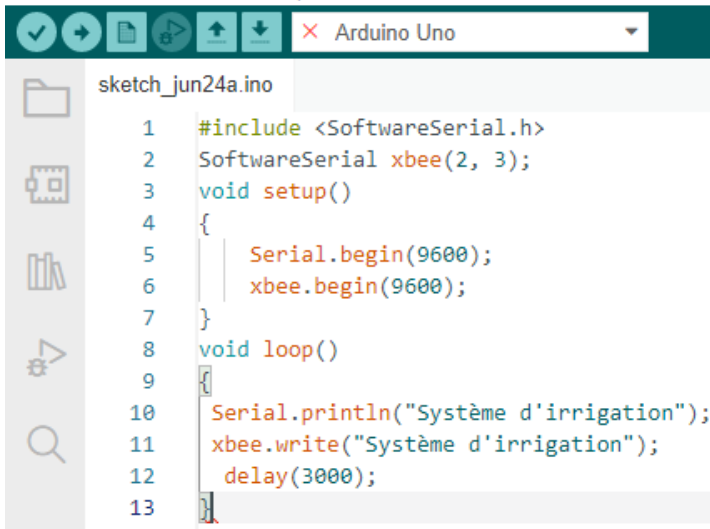


Figure (III.12) : Brochage de module Xbee (End Device) avec NANO



```
1 #include <SoftwareSerial.h>
2 SoftwareSerial xbee(2, 3);
3 void setup()
4 {
5     Serial.begin(9600);
6     xbee.begin(9600);
7 }
8 void loop()
9 {
10    Serial.println("Système d'irrigation");
11    xbee.write("Système d'irrigation");
12    delay(3000);
13 }
```

Figure (III.13) : Programme Xbee (End Device)



```
1 #include <SoftwareSerial.h>
2 SoftwareSerial xbee(2, 3);
3 void setup()
4 {
5     xbee.begin(9600);
6     Serial.begin(9600);
7 }
8 void loop()
9 {
10    if(xbee.available()) {
11        while(xbee.available()) {
12            Serial.write(xbee.read());
13        }
14    }
15 }
```

Figure (III.14) : Programme Xbee (Coordinator)

III.6 Programme principale

Le programme effectue deux actions principales :

- La lecture des mesures à travers les capteurs ;
- Exécute une procédure générale pour le traitement basé sur la logique floue ;
- La commande des actionneur d'irrigation ;
- La gérance de l'IHM.

Un langage de programmation est un langage permettant à un être humain d'écrire un ensemble d'instructions (code source) qui seront directement converties en langage machine grâce à un compilateur (c'est la compilation). L'exécution d'un programme Arduino s'effectue de manière séquentielle, c'est-à-dire que les instructions sont exécutées les unes à la suite des autres.

Le programme principal comporte trois parties :

- La partie déclaration des bibliothèques et variables ;

L'environnement Arduino peut être étendu grâce à l'utilisation de bibliothèques, tout comme la plupart des plates-formes de programmation. Les bibliothèques offrent des

fonctionnalités supplémentaires pour une utilisation dans les croquis, par exemple en travaillant avec du matériel ou en manipulant des données. Ainsi que, Le langage Arduino est un langage typique, les données et constantes utilisées doivent être déclarés ainsi que leurs types.

- La partie initialisation et configuration des entrées/sorties ;

La fonction `setup()` ne fonctionnera qu'une seule fois, après chaque mise sous tension ou reset réinitialisation de la carte Arduino. Dans la quel on initialise les variables, le sens des broches d'entrées/sorties, la liaison série utilisée (choix de la vitesse de transmission),

- La partie principale qui s'exécute en boucle : la fonction `loop ()`.

Après avoir exécuté le cycle de configuration, le programme entre dans une boucle, qui se répète tant que la carte est sous tension. Lorsque le calculateur commence à recevoir les données de l'unité de captage à travers le coordinateur et les autres capteurs, au début il vérifie le niveau du réservoir d'eau, s'il est bas alors la pompe du puits d'eau doit commencer à remplir le réservoir.

Sinon, le calculateur passe pour vérifier la vitesse du vent si elle est supérieure à la valeur définie (dans ce cas 2m/s) alors l'irrigation est interdite sauf le cas de sécheresse.

Sinon, le calculateur passe pour vérifier l'humidité du sol.

Si le sol est sec, c'est-à-dire que les pommiers ont besoin d'eau, alors la pompe d'irrigation démarre quelles que soient les données des autres capteurs, sinon si l'humidité du sol est moyenne, en même temps le calculateur vérifie la température ambiante et l'humidité, si la température était élevée et l'humidité était faible c'est-à-dire qu'aussi les pommiers ont besoin d'eau, alors la pompe d'irrigation démarre.

Lorsque le calculateur vérifie la température ambiante, il y a le cas de risque de gel (si la température est inférieure à 0°C), dans ce cas, un système auxiliaire d'irrigation utilisé pour protéger les pommiers contre le risque de gel doit démarrer, sinon les autres combinaisons de données, ils sont considérés comme des cas idéals ce qui signifie que les pommiers n'ont pas besoin d'eau.

III.7 Organigramme

Pour mieux comprendre le fonctionnement de notre système voici un organigramme qui est un schéma descriptif du programme, qui montre comment le système d'irrigation fonctionne étape par étape. Comme il est présenté sur la figure 15.

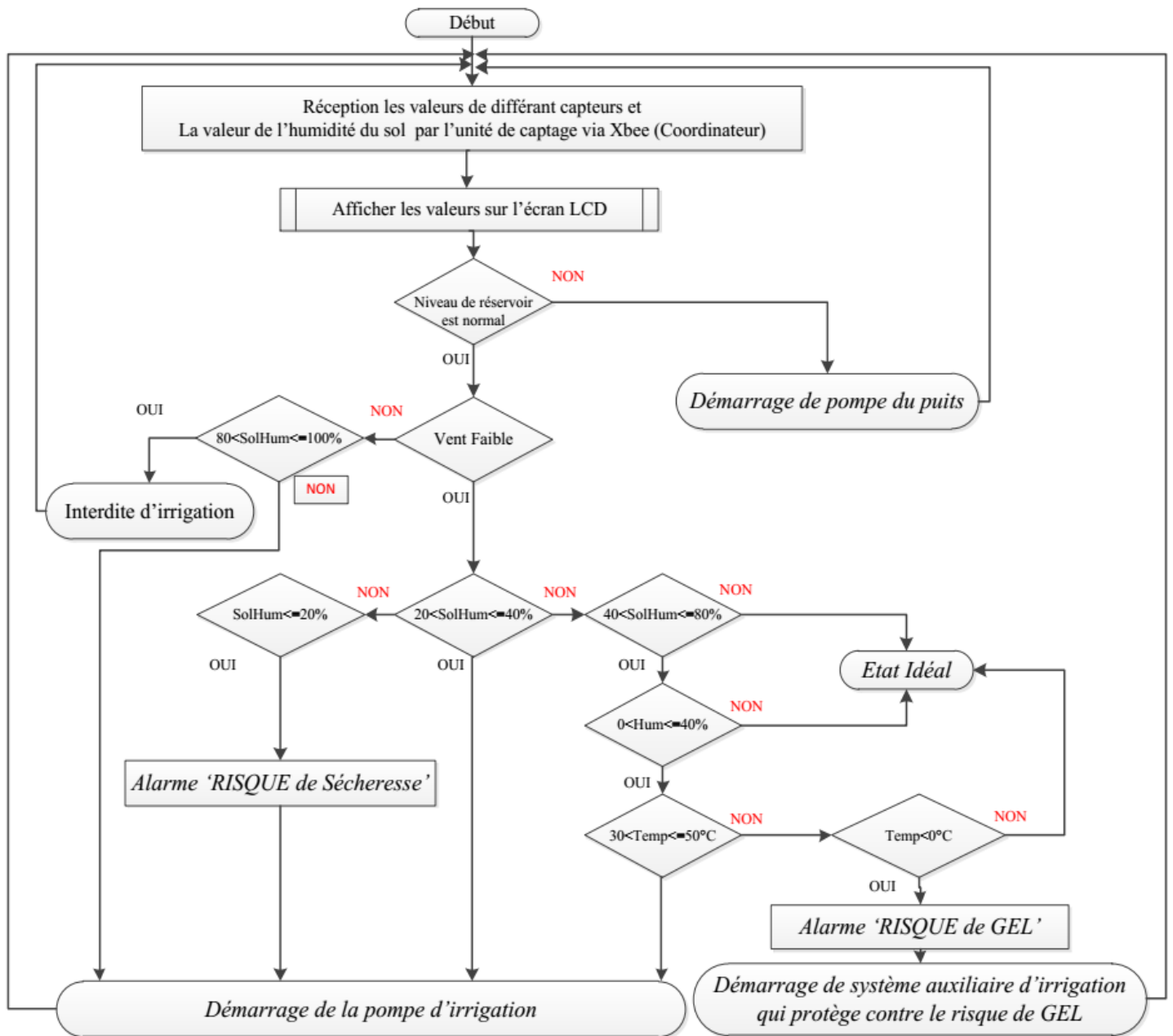


Figure (III.15) : Organigramme de commande

III.8 Validation

La structure du système est composée de plusieurs éléments comme le montre la figure (III.19).

Nous avons d'abord effectué une série de tests de chaque partie séparément. Pour détecter d'éventuels problèmes dans la mise en œuvre, dans l'intention de s'assurer qu'elle est effectuée correctement. Dans la deuxième partie, toutes les parties ont été assemblées. La carte est reliée via le port USB à l'ordinateur. Le câble USB sert à deux choses : alimenter la carte mais aussi à téléverser le programme.

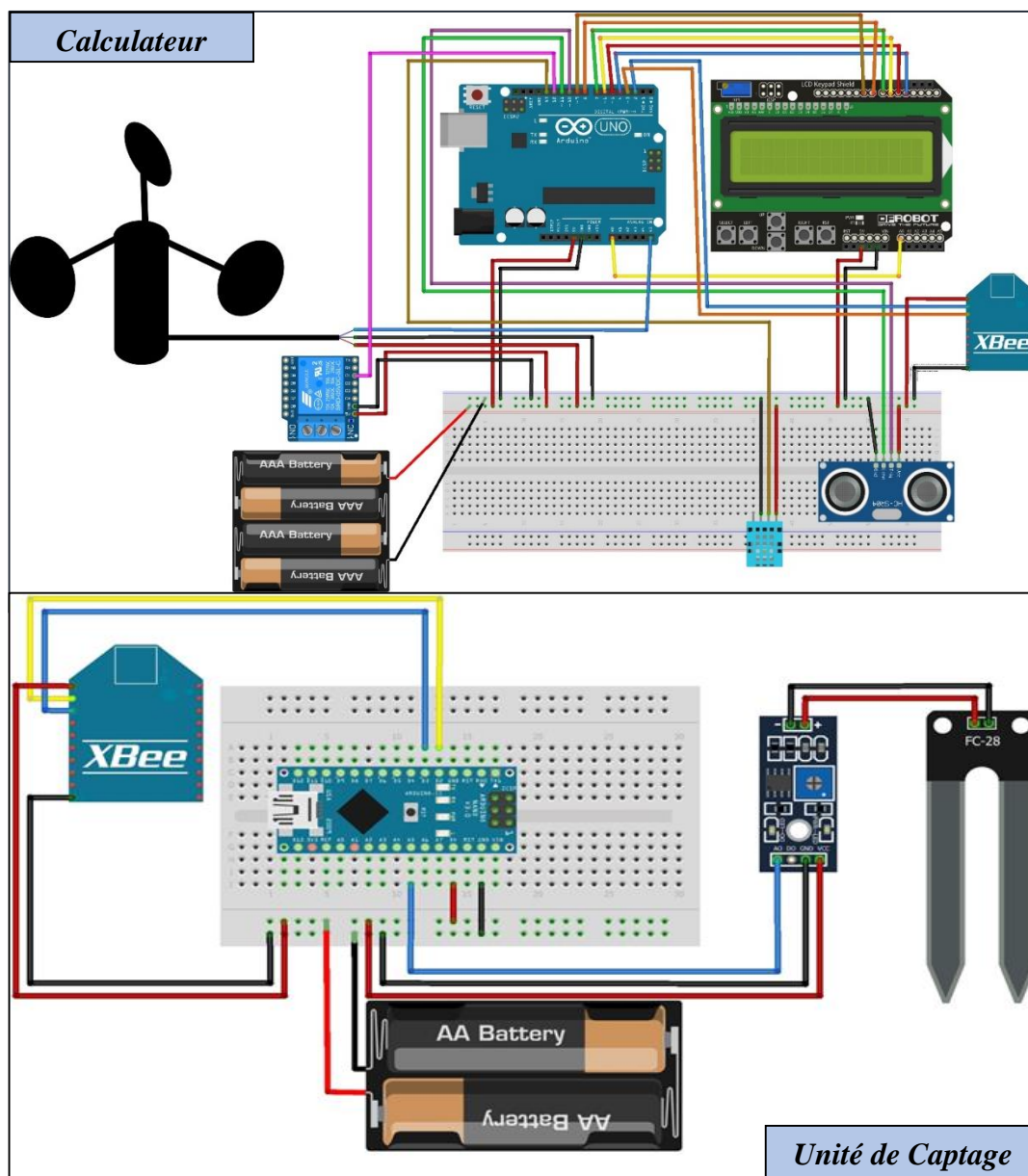


Figure (III.16): Schéma globale de l'application

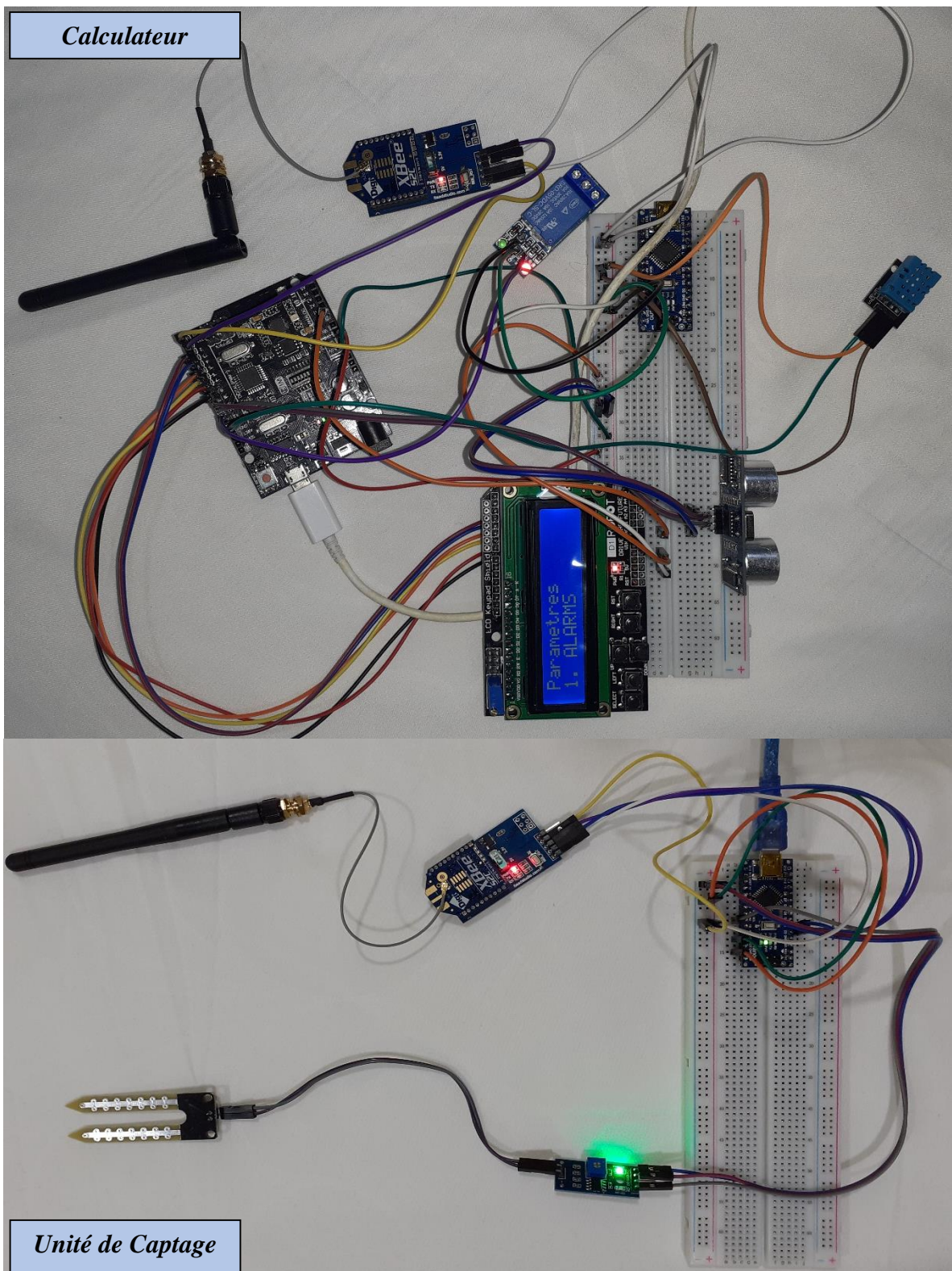


Figure (III.17) : Photo de l'application

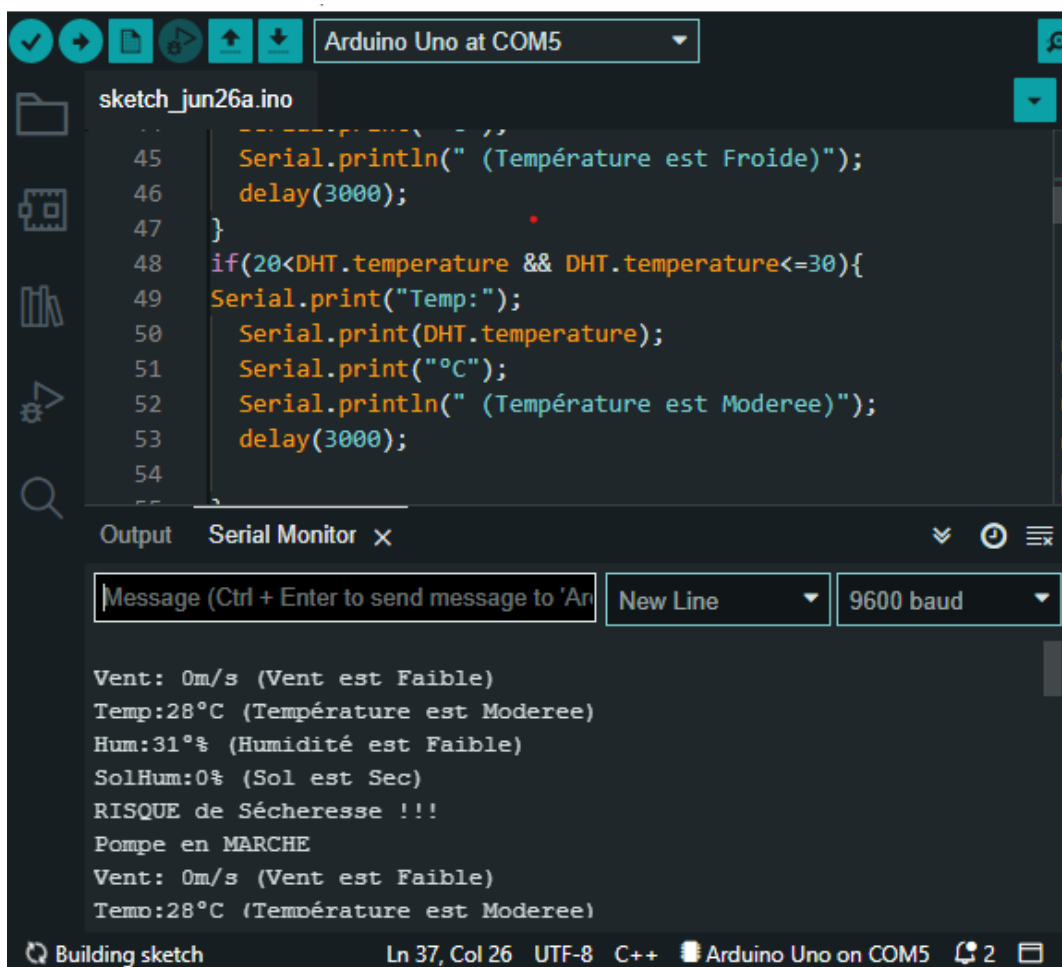
III.9 Résultats et testes

Durant l'exécution du programme, nous pouvons visualiser les résultats des tests soit en utilisant un moniteur série, soit en vérifiant les paramètres sur une IHM locale, mais après avoir terminé les tests et installé le système sur le site, nous pouvons seulement utiliser l'IHM locale pour vérification des paramètres.

Pour visualiser les résultats, il existe plusieurs scénarios possibles mais pendant les tests, nous pouvons seulement varier la valeur de l'humidité du sol, pour cela nous n'exécutons que deux, un pour le démarrage de la pompe et l'autre pour l'arrêter.

Exemple appliqué 01 : La règle n°02 (Pompe en Marche)

If Vent is VentFaibleb and SolHum is SolSec and Temp is TempModeree and Hum is HumFaible then Pompe is HIGH.



```
sketch_jun26a.ino
45 Serial.println(" (Température est Froide)");
46 delay(3000);
47 }
48 if(20<DHT.temperature && DHT.temperature<=30){
49 Serial.print("Temp:");
50 Serial.print(DHT.temperature);
51 Serial.print("°C");
52 Serial.println(" (Température est Moderee)");
53 delay(3000);
54 }
55 }

Output Serial Monitor x
Message (Ctrl + Enter to send message to 'Ar New Line 9600 baud

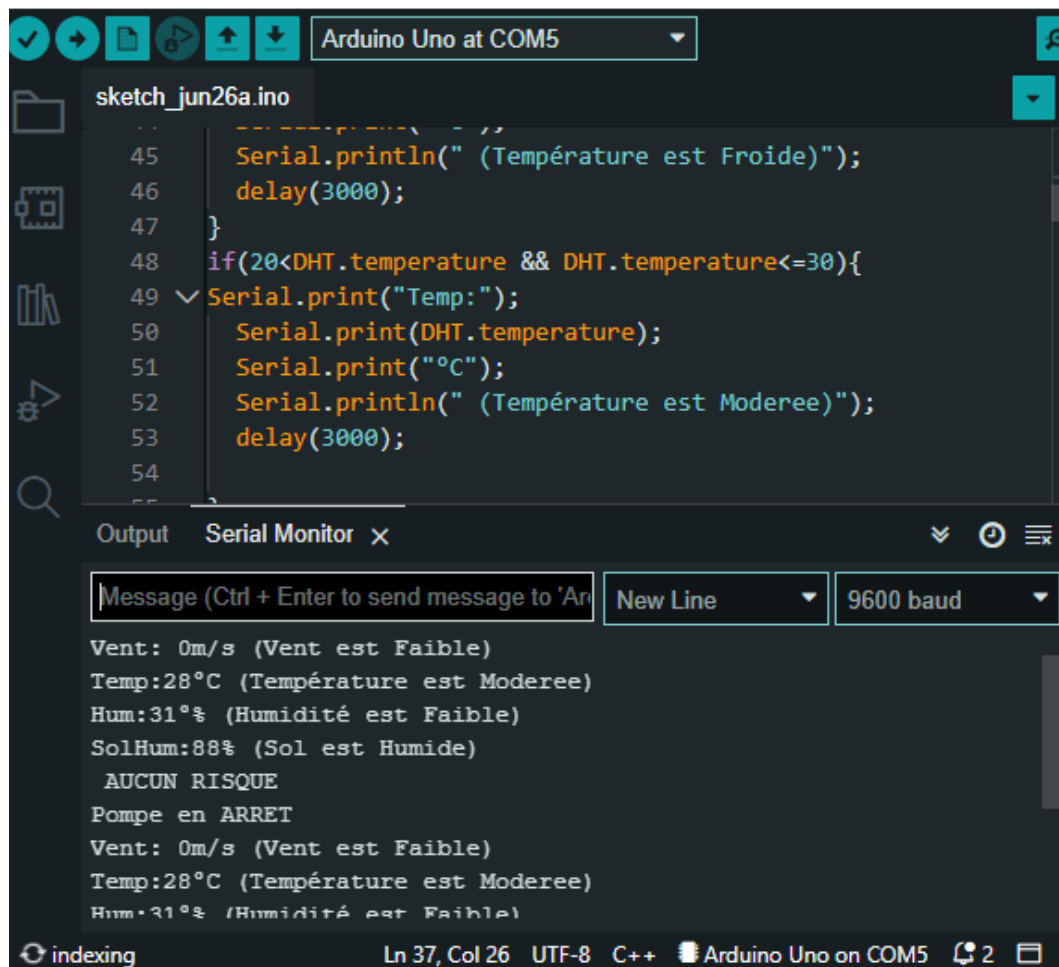
Vent: 0m/s (Vent est Faible)
Temp:28°C (Température est Moderee)
Hum:31% (Humidité est Faible)
SolHum:0% (Sol est Sec)
RISQUE de Sécheresse !!!
Pompe en MARCHE
Vent: 0m/s (Vent est Faible)
Temp:28°C (Température est Moderee)

Building sketch Ln 37, Col 26 UTF-8 C++ Arduino Uno on COM5 2
```

Figure (III.18) : Résultat du test sur Moniteur Série (cas de pompe est en marche)

Exemple appliqué 01 : La règle n°20 (Pompe en Arrêt)

If Vent is VentFaibleb and SolHum is SolHumide and Temp is TempModeree and Hum is HumFaible then Pompe is HIGH.



```
45 Serial.println(" (Température est Froide)");
46 delay(3000);
47 }
48 if(20<DHT.temperature && DHT.temperature<=30){
49 Serial.print("Temp:");
50 Serial.print(DHT.temperature);
51 Serial.print("°C");
52 Serial.println(" (Température est Moderee)");
53 delay(3000);
54 }
```

Output Serial Monitor x

Message (Ctrl + Enter to send message to 'Ar New Line 9600 baud

Vent: 0m/s (Vent est Faible)
Temp:28°C (Température est Moderee)
Hum:31% (Humidité est Faible)
SolHum:88% (Sol est Humide)
AUCUN RISQUE
Pompe en ARRÊT
Vent: 0m/s (Vent est Faible)
Temp:28°C (Température est Moderee)
Hum:31% (Humidité est Faible)

indexing Ln 37, Col 26 UTF-8 C++ Arduino Uno on COM5 2

Figure (III.19) : Résultat du test sur Moniteur Série (cas de pompe est en arrêt)

III.10 Conclusion

Nous avons consacré ce chapitre pour la partie développement du système ainsi que pour les étapes de la réalisation de l'irrigation automatique des vergers de pommiers. Nous avons présenté en détail la réalisation de notre projet ou nous avons décrit le montage du matériel Arduino et notre programmation pas à pas.

Par la suite nous avons fait test de notre projet, et ça nous a donné des résultats satisfaisants.

Conclusion

Générale

Conclusion générale

Dans ce travail, nous nous sommes concentrés sur la mise en place d'un système d'irrigation automatique des vergers de pommes basé sur la collecte des conditions météorologiques réelles en temps réel, et données sur le sol. Pour le pilotage de l'irrigation où nous avons articulé sur une procédure de logique floue programmer l'irrigation. Les capteurs utilisés : capteur d'humidité de sol HC-28, capteur DHT11 qui est à la fois un capteur de température et d'humidité, capteur de vent, écran LCD et modules Xbee 2C. Pour UTC nous avons utilisé une carte Arduino Uno.

Ce système automatique développé offre un fonctionnement facile et efficace. De plus, la solution demeure relativement peu répandue, ce qui réduit la fatigue des agriculteurs, préserve l'eau pour les générations futures et améliore la production.

Toutefois, ce système est loin d'être finalisé et, selon notre expérience, il nécessite plusieurs améliorations.

- Introduire d'autre paramètre comme la température du sol, la précipitation.
- Ajout de nœuds de capture sans fil dans le cas d'un verger de grandes dimensions.
- Améliorer l'application par l'introduction de la prévision climatique et l'historique.
- Développer un système de télésurveillance basé sur les IOT.

Bibliographie

- [1] Ahmed SKHIRI les bases de l'irrigation : Calcul des besoins en eau. Publisher: Editions Universitaires Européennes ISBN: 978-620-2-26993-3 (April 2019).
- [2] (<https://azud.com/fr/aplicacion/agriculture/cultures/pommier/>)
- [3] (<http://omafra.gov.on.ca/french/crops/facts/weather-frost.htm>). Site officiel Ministère Canadienne de l'agriculture, de l'alimentation et des affaires rurales.
- [4] FAO, 2001.
- [5] Prof. Mohammed AZOUGGAGH Les différents systèmes d'irrigation.
- [6] CLEMENT MATHIEU, PAUL AUDOYE, JEAN-CLAUDE CHOSSAT . Bases techniques de l'irrigation par aspersion.
- [7] LUCIANO MATEOS. Efficience de l'irrigation et économie d'eau : effet d'échelle et effet rebond.
- [8] (<http://www.arrosage-synaa.com/quest-ce-que-larrosage-automatique>).
- [9] (<https://www.arduino.cc/>). Site officiel de l'Arduino.
- [10] (<https://www.digi.com/legal/terms>). Digi International Inc. Standard Terms & Conditions
- [12] Thomas Brühlmann, Arduino: Praxiseinstieg, Hüthig Jehle Rehm, 2010, p. 270, ISBN 978-3-8266-5605-7.
- [13] R. Santhana Krishnan, E. Golden Julie, Y. Harold Robinson, S. Raja, Raghvendra Kumar, Pham Huy Thong, Le Hoang Son. Fuzzy Logic based Smart Irrigation System using Internet of Things (26 December 2019).