



Université ABBES LAGHROUR Khenchela
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Industriel



كلية العلوم والتكنولوجيا
قسم الهندسة الصناعية

N° Série :.....

Mémoire de fin d'étude

Présenté pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Télécommunications

Spécialité : Systèmes des Télécommunications

THEME

*Conception et la Réalisation d'un système
de surveillance et d'irrigation automatique
des vergers de pomme basé sur la
technologie de l'Internet des objets IOT*

Réalisées par : - Zerrouk Zakaria
- Boudiaf Mohamed Islem

Devant Le Jury :

Président:	Dr. DJAMAI Djemouai
Rapporteur:	Dr. KHEZZAR Zaki Aissam
Examineur:	Dr. SAHOUR Abdelhakim

Promotion 2020/2021



Remerciement

*Notre travail de Mastre II au departement secince et technologie dans
l'université « Abbés Laghrour » de Khenchela.*

*Avant toutes choses, nous remercions Dieu qui nous a donné le courage,
la santé et la patience pour faire notre travail.*

Tout d'abord, nous tenons à remercier nnotre encadreur


*M^r Sahour Abelhakim de notre profonde reconnaissance tant pour
m'avoir accordé sa confiance que pour m'avoir guidé dans notre travail.*

*Nos remerciements vont aussi membres de jury Djamai djemouai et,
Khezzar Zaki Aaissam de nous avoir fait l'honneur d'accepter d'évaluer
ce travail.*

*Nous remercions infiniment tous les membres du département génie
industrielle de l'Université.*

Abbès Laghrour de Khenchela surtout Mr Bedra Sami et Douak Fouzi.

*Enfin, nous souhaitons remerciements toutes personnes qui nous ont
aidés de prés de loin à réaliser notre travail, leur soutien et avis judicieux
de mener à bien.*





Dédicace

*À l'aide de dieu 'Allah' tout puissant
Qui m'a tracé le chemin de ma vie,
J'ai pu réaliser ce travail.*

À mes très chers parents « Abdelmoumen et Larissa ».

*Qui m'ont soutenu et encouragé durant tout
La période de mes études et à qui je souhaite une
Long et heureuse vie,*

À mes sœurs « Safia et Yasmine ».

À Mon frères et son épouse « SMAIL ET SARAH ».

*À mes amis qui ont cru en moi et ont
Toujours encouragé, et avec qui
J'ai passé des années inoubliables*

ABDELHAK. AMINE, TAHA, ABDELHAKIM

ZAKARIA

Liste des abréviations

Iot : internet of things

Ido : internet des objets

Liste des figures

Liste des figures

<i>Figure 1 : L'arbre du pommiers</i>	<i>Figure 2 : La fleur du pommier</i>	10
<i>Figure 3 : Le fruit du pommiers</i>		11
<i>Figure 4 : Histogramme de la production de pommes dans les principales zones du monde (en milliers de tonne)</i>		18
<i>Figure 5 : Histogramme de l'evolution de la culture du pommier en Algérie (1997–2007)</i>		20
<i>Figure 6 : Histogramme Evolution de la culture du pommier dans la wilaya de Khenchela (1998- 2008)</i>		21
<i>Figure 7 :Raccordement de deux sections de tuyau goutte-à-goutte</i>		34
<i>Figure 8 : Système de micro-aspersion et tuyaux en aluminium pour les systèmes habituels</i>		35
<i>Figure 10 : L'Internet des objets regroupe tous les objets physiques communicants dotés d'une identité numérique unique</i>		40
<i>Figure 11 : connexion de l'IOT</i>		41
<i>Figure 12 : Une figure qui représente les constituants d'une ville intelligente</i>		43
<i>Figure 13 : une figure qui représente les constituants d'une smart grid</i>		44
<i>Figure 14 : une figure qui représente des appareils intelligent</i>		45
<i>Figure 15 : Une figure qui représente un bâtiment intelligent</i>		46
<i>Figure 16 : figure qui représente un système de santé électronique</i>		47
<i>Figure 17 : figure sui représente les aspects de transport intelligent</i>		47
<i>Figure 18 : Figure qui represent un schema de l'industrie 4.0</i>		48
<i>Figure 19 : figure qui représente le mécanisme des surveillances distantes des patients</i>		49
<i>Figure 20 : Une figure qui represent une agriculture intelligente</i>		49
<i>Figure 21 : La carte Arduino UNO</i>		55
<i>Figure 22 : Carte ARDUINO</i>		58
<i>Figure 23 : Arduino UNO</i>		58
<i>Figure 24 : Arduino Méga</i>		59
<i>Figure 25 : Arduino Nano</i>		59
<i>Figure 26 : Arduino Yun</i>		60
<i>Figure 27 : Arduino Leonardo</i>		60
<i>Figure 28 : RedBoard</i>		60
<i>Figure 29 : Description des entrées/sorties de la carte ArduinoUno</i>		61
<i>Figure 30 : Zoom sur la carte ArduinoUno</i>		62
<i>Figure 31 : Le principe des ultrasons</i>		64
<i>Figure 32 : DHT11</i>		65
<i>Figure 33 : AVR My05489</i>		66
<i>Figure 34 : Module ESP8666 ou ESP-01</i>		68
<i>Figure 35 : Photo d'un logiciel Arduino</i>		70
<i>Figure 36 : Interface de logiciel Arduino</i>		71

Liste des figures

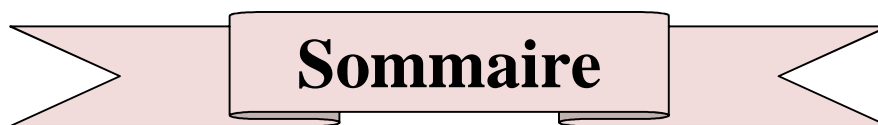
Figure 37 : Panel de contrôle	72
Figure 38 : Architecture globale du système	76
Figure 39 : Carte ARDUINO UNO	77
Figure 40 : Schéma de la connexion du DHT11 Avec la carte sur Arduino UNO	78
Figure 41 : Code Arduino du DHT11	79
Figure 42 : Schéma de brochage du capteur d'humidité du sol avec la carte Arduino	80
Figure 43 : Code Arduino du capteur de l'humidité du sol.	80
Figure 44 : Schéma de brochage capteur hc-sr04 avec la carte Arduino UNO	81
Figure 45 : Programme Arduino	82
Figure 46 : Schéma du capteur sonore avec les LED	83
Figure 47 : Connexion de l'ESP avec la carte Arduino	83
Figure 48 : Capture d'écran de moniteur série	84
Figure 49 : Module à relai	84
Figure 50 : L'organigramme de la procédure d'irrigation	86
Figure 51 : La base de données crée	87
Figure 52 : fenêtre d'accueil de Xampp	88
Figure 53 : Fenêtre de création de la base de donnée	88
Figure 54 : Page d'accueil du site WEB	90
Figure 55 : Connexion pour la lecture des données	90
Figure 56 : Tableau des données sous forme numérique	91
Figure 57 : Visualisation graphique de la température	91
Figure 58 : Photo de la réalisation	92
Figure 59 : Graphe d'humidité du sol	93
Figure 60 : Graphe de la température 1er cas	93
Figure 61 : Graphe du niveau d'eau 1er cas	94
Figure 62 : Graphe d'humidité 2eme cas	95
Figure 63 : graphe de la température 2eme cas	95
Figure 64 : Graphe du niveau d'eau 2eme cas	96

Liste des tableaux

Liste des tableaux

<i>Tableau 1 : Capacité de rétention en eau pour différentes textures de sol selon leur contenu en matière organique</i>	<i>25</i>
<i>Tableau 2 : Classement des fruits et légumes en fonction de la profondeur de leurs racines</i>	<i>27</i>
<i>Tableau 3 : Besoin typique en eau de certaines cultures</i>	<i>27</i>
<i>Tableau 4 : : Périodes critiques pour l'irrigation de diverses cultures légumières</i>	<i>29</i>
<i>Tableau 5 : Normes d'interprétation d'une analyse d'eau pour la production de plantes annuelles</i>	<i>32</i>
<i>Tableau 6 : Comparaison de l'irrigation par aspersion et par goutte-à-goutte</i>	<i>37</i>
<i>Tableau 7 : Les composants de base d'un système IOT</i>	<i>50</i>

Sommaire



- Remerciement
- Dédicace
- Liste des abréviations
- Listes des figures
- Listes des tableaux
- Sommaire
- Introduction général
- Bibliographie

Sommaire

Chapitre I : Généralité sur les verges de pomme et l'irrigation

Introduction.....	8
Partie I : généralité sur les vergers de pomme :.....	8
I.1.Origine et classification botanique du pommier :	8
I.1.1L'origine :.....	8
I.1.2. Classification botanique :	8
I.2. Caractéristique générale du pommier :	9
I.3.Phénologie du pommier :	11
I.3.1. Les stades phénologiques :.....	13
I.4.Les exigences pédoclimatiques :.....	15
I.4.1. Les exigences pédologiques :	15
I.4.2. Les exigences climatiques :	15
I.4.3. Les exigences hydriques :	16
I.4.3.1. Bilan hydrique :.....	16
I.5.La production :	17
I.5.1. La production dans le monde :.....	17
I.5.2. La production en l'Algérie :	18
I.5.3. Importance de la culture du pommier en Algérie :.....	18
I.5.3.1. La production dans la wilaya de Khenchela :.....	20

Sommaire

Partie II : L'irrigation	22
I.7. Les besoins en eau :	23
I.7.1. L'importance d'un système d'irrigation :.....	23
I.7.2. Besoins d'eau selon les sols :.....	24
I.7.3. Besoins en eau selon les cultures :.....	25
I.7.4. Le moment d'irrigation :	27
I.8. L'approvisionnement en eau :.....	29
I.8.1. Les sources d'eau : cours d'eau, étang et puits :	29
I.8.2. Volume d'eau nécessaire :	30
I.8.2.1. Capacité du puits :.....	30
I.8.2.2. Pluviomètre :.....	30
I.8.3. Qualité de l'eau :	31
I.9. Les systèmes d'irrigation	33
I.9.1. Irrigation au goutte-à-goutte :	33
I.9.1.1. Composantes du système :.....	33
I.9.1.2. Utilisation et mises en garde :.....	33
I.9.2. Irrigation par aspersion :	34
I.9.2.1. Composantes du système :.....	34
I.9.2.2. Utilisation et mises en garde :.....	35
I.9.3. Comparaison entre le goutte-à-goutte et l'aspersion :.....	35
I.10. Conclusion :	37
Chapitre II : L'internet des objets	
II.1. Introduction :	39
II.2. Définition de l'IOT :	39
II.3. Les fonctions de l'objet connecté :.....	41
II.3.1. Les capteurs :	41
II.3.2. Les sources d'énergie :.....	41
II.3.3. Les actionneurs :	42
II.3.4. La connectivité :.....	42
II.4. Les normes de l'IOT :.....	42
II.5. La Motivation :	43
II.6. Le Domaine D'Application :	43
II.6.1. Les Villes Intelligentes :.....	43

Sommaire

II.6.2. Le Smart Grid :.....	43
II.6.3. Les Appareils Intelligents :	44
II.6.4. Les Maisons et Les Bâtiments Intelligents :	45
II.6.5. Le Système De Santé Electronique :	46
II.6.6. Le Transport et La Mobilité Intelligent :	47
II.6.7. Les Usines et La Fabrication Intelligente :.....	48
II.6.8. La Surveillance à Distance Des Patients :.....	48
II.6.9. L'agriculture intelligente « smart agriculture » :.....	49
II.7. Les Composants De L'IOT :.....	49
II.8. Les Défis de l'IOT :.....	50
II.8.1. La Découverte Automatique :.....	51
II.8.2. L'Interopérabilité :.....	51
II.8.3. La Sécurité et La Confidentialité :.....	51
II.8.4. La Tolérance Aux Pannes :.....	51
II.8.5. L'Auto-Organisation :.....	51
II.9. Importance IOT en Agriculture :.....	51
II.9. Conclusion :.....	52

Chapitre III :

Généralité sur le système Arduino, capteurs et les logiciels utilisés

III.1. Système ARDUINO :	54
III.1.1. Introduction :.....	54
III.1.2. Présentation générale :	55
III.1.3. Description technique :.....	56
III.1.3.1. Alimentation :	56
III.1.3.2. Horloge :.....	56
III.1.3.3. Reset :	56
III.1.3.4. Entrées/sorties :	57
III.1.3.5. Mémoire :.....	57
III.1.4. Types de cartes Arduino :.....	58
III.1.5. La carte Arduino Uno :.....	61
III.1.5.1. Présentation :.....	61
III.1.5.2. Ces avantages :	62
III.2. Capteurs :.....	62

Sommaire

III.2.1. Introduction :	62
III.2.2. Définition d'un capteur :	63
III.2.3. Capteur Ultrasons :	63
III.2.3.1. Description :	63
III.2.3.2. Principe de fonctionnement de capteur ultrasons :	64
III.2.4. Capteur de température et d'humidité DHT11 :	65
III.2.4.1. Caractéristiques de DHT11 :	65
III.2.5. Capteur d'hygrométrie des sols :	66
III.2.5.1. Description :	66
III.2.5.2. Caractéristiques techniques :	67
III.3. Module ESP8266 :	67
III.3.1. Définition :	67
III.3.2. Caractéristiques techniques :	68
III.4. Logiciels :	69
III.4.1. Logiciels ARDUINO :	69
III.4.2. Logiciel XAMPP :	71
III.4.2.1. Description :	71
III.4.2.2. Les composants de XAMPP :	72
III.5. Conclusion :	73

Chapitre IV :

Méthodologie de la conception du système

IV.1. Introduction :	75
IV.2. Architecture globale du système :	75
IV.2.1. La partie système embarqué :	76
IV.2.1.1. Contrôleur principal :	76
IV.2.1.2. Capteur de Température et d'humidité :	77
IV.2.1.3. Capteur d'humidité du sol :	79
IV.2.1.4. Capteur de niveau :	81
IV.2.1.5. Module WiFi :	83
IV.2.1.6. Module des relais et électrovanne :	84
IV.2.1.7. Programme principal :	85
IV.2.1.8. Programme de l'irrigation :	85
IV.2.2. Partie serveur :	87

Sommaire

IV.2.2.1 La base de données :	87
IV.2.2.2. Serveur web :	87
IV.2.2.3. Les différentes interfaces :	89
IV.3. Test et validation :	92
IV.3.1. Introduction :	92
IV.3.3. Scénario d'irrigation :	92
IV.4. Conclusion :	96

- Conclusion général
- الملخص
- Résumé
- Abstract



Introduction Générale

*Si vous n'échouez jamais ... vous
échoué aussi longtemps que vous
essayez de vous relever.*

Introduction Générale

L'agriculture est la principale source de revenu de 80 % de la population pauvre dans le monde. Ce secteur joue donc un rôle déterminant dans la réduction de la pauvreté, la hausse des revenus et l'amélioration de la sécurité alimentaire. Le secteur de l'agriculture constitue l'une des priorités du programme de développement économique et social de l'Algérie en tant que pays agricole par excellence.

Elle occupe une place stratégique en matière d'alimentation de la population et d'amélioration de la sécurité alimentaire. Son rôle est important dans le maintien de la vitalité des campagnes grâce à ses capacités de fixation des populations rurales, limitant ainsi la pression sur les villes et leurs infrastructures économiques et sociales.

Les systèmes d'irrigations sont l'une des pièces principales de l'agriculture, mais ils ont des défaisances en premiers lieu, il s'agit de l'origine de l'eau utilisée (eau de pluie, bassins d'accumulation, retenues collinaires, barrages, forages et puits) ainsi que le mode d'utilisation (aspersion, système gravitaire ou à goutte). Les ressources en eau sont vulnérables aux variations du climat. L'Algérie est parmi les pays les plus pauvres en matière de potentialités hydriques, soit en dessous du seuil théorique de rareté fixé par la banque mondiale à 1000 m³ par habitant et par an. Si en 1962, la disponibilité en eau théorique par habitant et par an était de 1500 m³, elle n'était plus que de 720 m³ en 1990, 680 m³ en 1995, 630 m³ en 1998. Estimée à environ 430 m³ à l'heure actuelle. Et le mode d'utilisation a besoin de main d'œuvre pour gérer toute l'installation du système une ou deux personnes ne suffise pas.

L'introduction des nouvelles technologies nous laisse penser à une agriculture intelligente et à la modernisation des pratiques agricoles classiques. Certaines tâches fastidieuses, voire même impossibles pourront être assurées de manière automatique. L'avenir et le développement des systèmes d'irrigation contribueront à conserver l'eau, car nous souffrons de la rareté de l'eau pour l'agriculture. Par conséquent, l'avenir des systèmes d'irrigation doit figurer parmi ses principaux objectifs, pour contribuer à rationaliser la consommation d'eau utilisée en agriculture.

Notre projet consiste à appliquer la technologie de l'IdO (l'internet des objets) dans l'agriculture. Plus précisément dans l'irrigation et la télésurveillance des vergers de pomme, ce qui permet une optimisation dans l'économie de l'eau et une automatisation plus intelligente pour la surveillance en temps réel des facteurs influent sur l'irrigation, ce qui permet de moins gaspiller l'eau et de diminuer la main d'œuvre.

Introduction Générale

Pour cela, on a développé une plateforme composée d'une carte de commande ARDUINO à base de microcontrôleur, connectée un ensemble de capteurs. Dans l'objectif de poursuivre et la récolte de données atmosphériques dans un verger de pomme. Afin d'assurer une commande automatique de l'irrigation. Simultanément, ces données et l'état du système d'irrigation sont transmis à distance via la connexion internet WIFI au serveur (cloud).

Pour présenter ce travail, nous l'avons organisé en quatre chapitres selon le plan méthodologique suivant :

Le premier chapitre, nous avons parlé en détail des généralités sur les pommiers, et surtout, c'est de savoir choisir son système d'irrigation parmi plusieurs et comme le sujet traite l'irrigation des vergers de pomme.

Dans le second chapitre, nous avons traité le sujet de l'internet des objets qui a su prendre une grande place dans tous les domaines de développement et qui est une pièce maîtresse dans notre projet.

Dans le 3eme chapitre, nous avons parlé des différents matériels que nous avons utilisés pour la conception de notre système que ce soit le microcontrôleur (Arduino UNO), l'ensemble des capteurs atmosphérique, le module Wifi ainsi que les logiciels de programmation nécessaire pour le développer.

Dans le dernier chapitre, nous parlons de la manière que nous avons utilisée pour créer notre système depuis le début, part les différentes étapes que nous avons faites pour enfin assembler le tout.

Et enfin on termine notre travail par une conclusion générale où on présente les perspectives de notre projet.



Partie bibliographique



1. Livres et article

- ABDELGUERFI A , 2003
- BRETAUDEAU et al, 1991
- CABI, 2012 ; Flora of China éditorial commette, 1959+ ; Rieger, 2006
- Dennis, 2003;Kotodaet al. 2000
- Dennis, 2003 ; Rieger, 2006
- DS.A, 2009
- Elhadi Yahia Kazuz, Jennifer Smolak
- F.A.O, 2009
- Flora of China editorialcommittee, 1959+ ; Hancock et al, 2008 ; Jackson, 2003
- Jackson, 2003 ; Rieger, 2006
- LESPINASSE, in GALLIS et al, 1992
- Naor et al., 2008
- Oukabli A. et al. 2011
- Pratt, 1988
- Rieul and Ruelle, 2003
- SOLTANI, 1998
- trillot et al, 2001
- Trillotet al. 2002, in Johann, 2004
- Webster, 2005a
- Zufferey et al., 2006

2. Les sites web :

- Les bases de la programmation sur ARDUINO, Benjamin Févrat, 17/10/2016
- Disponible sur : www.supinfo.com

Bibliographie

- Les différents types d'ARDUINO, Mathieu Dumont ; 13/01/2017 Disponible sur :
<http://blewando.dlinkddns.com>
- Le fonctionnement et la technologie des détecteurs à ultrasons, Baumer Passions For
Sensor Disponible sur : www.baumer.com
- Programmation Arduino: présentation pour les débutants, Toxnico, 07/05/2018
- Disponible sur : <https://putaindecode.io>
- www.encyclopedie.fr/definition/Xampp

Chapitre I :

Généralité sur les

verges de pomme et

l'irrigation

Chapitre I : Généralité sur les verges de pomme et l'irrigation

Introduction

La culture des pommes est l'une des cultures les plus importantes dans les régions montagneuses, car elle aide à la nature du climat, d'une journée ensoleillée à une nuit fraîche, produit des fruits qui se distinguent en termes de saveur et de qualité. La section des arbres Fruitiers, notamment la culture de la pomme dans la Wilaya de Khenchela, a obtenu des résultats tangibles grâce à l'indice de croissance élevé de cette section aux perspectives économiques prometteuses, compte tenu de sa position de leader au niveau national lors de la dernière campagne agricole, comme le confirme par les statistiques des services locaux de l'agriculture.

Partie I : généralité sur les vergers de pomme :

I.1. Origine et classification botanique du pommier :

I.1.1 L'origine :

Le pommier cultivé a été longtemps appelé *Malus pumila Mill.* ; Cette espèce est endémique de la zone allant des Balkans jusqu'au Nord des montagnes de l'Altaï¹,

Mais, selon²le berceau du pommier se situe très certainement dans le Caucase et sur les bords de la mer Caspienne. De ces régions sa culture s'est étendue à l'Europe orientale, à la Russie puis à l'Europe occidentale.

De nos jours, on le cultivé dans tous les pays, entre 25° et 60° de latitude Nord et dans l'hémisphère Sud, en Nouvelle-Zélande, Australie, Afrique australe, Argentine, Chili et Sud du Brésil³.

I.1.2. Classification botanique :

Le pommier appartient à la famille des *Rosacées*, à la sous-famille des *Pomoideae* et au genre *Malus* (pommier). Le genre *Malus* comprend 25 à 30 espèces selon les botanistes et plusieurs sous espèces.

Selon Cronquist 1981 les classifications du pommier sont :

Régne : Plantae

Sous Régne : Tracheobionta

Division : Magnoliophyta

¹LESPINASSE, in GALLAIS et al, 1992 in Laiddouci et Maoucie, 1998

²BRETAUDEAU et al, 1991

³LESPINASSE, in GALLIS et al, 1992

Chapitre I : Généralité sur les verges de pomme et l'irrigation

Classe : Magnoliopsid

Sous classe : Rosidae

Ordre : Rosaies

Famille : Rosaceae

Sous famille : Maloideae

Genre : Malus

Les variétés de pommier appartiennent à deux groupes chromosomiques. Les variétés diploïdes ($2n = 34$ chromosomes) : leur pollen et leurs ovules sont normalement constitués.

Elles présentent une méiose régulière et un pouvoir germinatif du pollen élevé (90 à 95%). Les variétés triploïdes ($3n = 51$ chromosomes) : chez celles-ci, la constitution du pollen et des ovules est déséquilibrée. La méiose est irrégulière et le pouvoir germinatif du pollen est très faible (5 à 10%). Ces variétés ont tendance à donner des fruits ayant peu de pépins et qui chutent facilement⁴.

I.2. Caractéristique générale du pommier :

Le pommier *Malus pumila* Mill est un arbre à feuilles caduques très ramifié, de taille petite à moyenne. Il possède un tronc unique et un houppier largement étalé. Les pommiers sauvages peuvent atteindre 10 à 15 m de hauteur, alors que les pommiers cultivés mesurent généralement 2 à 5 m de hauteur (la taille et la forme des pommiers cultivés dépendent principalement du porte-greffe et du mode de conduite adopté)⁵.

Le *M. Pumila* Mill possède deux types de racines : des racines permanentes, épaisses et étalées, formant une couche horizontale à moins de 50 cm de la surface, d'où partent de nombreuses racines verticales qui descendent jusqu'à la couche imperméable ou à la nappe phréatique (Jackson, 2003). Les jeunes tiges et rameaux sont quelque peu tomenteux (pubescents), alors que les branches plus vieilles sont glabres (lisses). Les bourgeons sont bruns violacé, ovoïdes et densément pubescents (Figure 1).

Les feuilles mesurent 4 à 13 cm de longueur et 3 à 7 cm de largeur. Elles sont alternes, elliptiques-ovées, à base arrondie, à marge irrégulièrement dentée en scie, et leur dessous est habituellement pubescent. Les inflorescences apparaissent

⁴Trillotet al. 2002, in Johann, 2004

⁵CABI, 2012 ; Flora of China éditorial commette, 1959+ ; Rieger, 2006

Chapitre I : Généralité sur les verges de pomme et l'irrigation

généralement au bout de dards (elles peuvent aussi pousser latéralement sur les rameaux d'un an chez certains cultivars). (Figure 2). Elles comprennent 4 à 6 fleurs et sont décrites diversement comme des corymbes, des grappes colymbiformes, des cimes ou des fausses cymes.

Les fleurs mesurent habituellement 3 à 4 cm de diamètre. Elles comptent 5 pétales, dont la couleur varie de blanc à rose foncé, 5 sépales, environ 20 étamines à anthère jaune, disposées en 3 verticilles (10 + 5 + 5), et un pistil composé de 5 styles unis à la base⁶. Le pédicelle et le calice sont généralement d'aspect laineux, et le calice est persistant⁷. (Figure 2).

Le fruit, pomacé et globuleux, est ellipsoïde à obovoïde. Il est pourvu d'une cavité à la base et est habituellement pourvu d'une cavité au sommet. Il mesure généralement plus de 5 cm de diamètre et pèse 200 à 350 grammes. Sa couleur est variable : il peut être entièrement rouge, vert ou jaune, ou être bicolore et porter, par exemple, des rayures ou un lavis rouge sur fond jaune ou vert. Chaque fruit contient un cortex de chair (comestible) entre la peau et la limite du cœur, et un cœur formé d'une couche charnue enveloppant un endocarpe parcheminé constitué des cinq carpelles soudés. Chaque carpelle contient habituellement deux graines. Les graines sont lisses, luisantes, brun noisette⁸



Figure 1 : L'arbre du pommiers



Figure 2 : La fleur du pommier

⁶Flora of China editorialcommittee, 1959+ ; Hancock *et al*, 2008 ; Jackson, 2003

⁷Webster, 2005a

⁸Jackson, 2003 ; Rieger, 2006

Chapitre I : Généralité sur les verges de pomme et l'irrigation



Figure 3 : Le fruit du pommiers

I.3. Phénologie du pommier :

Le développement des fleurs prend environ 10 mois. Il débute avec la transition du stade végétatif au stade reproducteur (à la fin de juin dans l'hémisphère Nord) et se termine avec l'anthèse (fin avril à début mai) l'année suivante⁹. La floraison a lieu au début du printemps ; les inflorescences ressemblent à des cimes et comportent 4 à 6 fleurs, blanches à rose foncé. La fleur centrale est la première à s'épanouir. La plupart des inflorescences apparaissent au bout de dards, mais il arrive aussi qu'elles poussent latéralement sur les longs rameaux. Dans le cas des fleurs portées sur des dards courts, la transformation des bourgeons végétatifs en bourgeons floraux débute 4 à 6 semaines plus tôt que dans le cas des fleurs portées latéralement ¹⁰.

Les fleurs sont hermaphrodites. L'ovaire est enveloppé par la coupe florale, et les autres pièces florales sont placées au-dessus de l'ovaire. La fleur compte habituellement cinq carpelles (qui renferment chacun deux ovules), cinq sépales, cinq pétales, 20 étamines et cinq styles¹¹. De nombreux facteurs biotiques (phytohormones endogènes, charge fruitière de l'année précédente, pathogènes et autres organismes nuisibles) et abiotiques (lumière, stress hydrique, nutriments, température et substances chimiques exogènes) peuvent avoir une incidence sur la floraison, tout comme les pratiques culturales utilisées, notamment le greffage, la taille, la pratique d'incisions et/ou le garrottage ¹².

Le stigmate produit des sécrétions extracellulaires qui créent un milieu humide favorisant le dépôt et la germination du pollen ¹³. Une fois que le grain de pollen a germé, le tube pollinique se développe le long du style jusqu'à atteindre un ovule. La fécondation de l'oosphère (production d'un zygote) et des noyaux polaires du sac

⁹Dennis, 2003; Kotoda *et al.* 2000

¹⁰Jackson, 2003

¹¹Dennis, 2003 ; Rieger, 2006

¹²Jackson, 2003

¹³Jackson, 2003

Chapitre I : Généralité sur les verges de pomme et l'irrigation

embryonnaire (production de l'albumen) a alors lieu¹⁴.

Le taux de fertilité du pollen de la plupart des cultivars est de près de 100 %, mais ce taux est réduit pour des raisons inconnues chez certains cultivars, comme 'McIntosh', et pour cause de triploïdie chez d'autres cultivars, comme 'Jonagold'. La période de floraison durant laquelle du pollen viable est produit varie selon les conditions météorologiques et dure habituellement 7 à 30 jours. La période de pollinisation effective, soit la période durant laquelle l'ovule peut être fécondé moins le temps requis pour le développement du tube pollinique jusqu'à l'ovule, varie de 2 à 9 jours¹⁵. La longit  des ovules est donc un facteur limitant pour la nouaison (formation de fruits).

Chez la plupart des cultivars, les fruits arrivent à maturité 120 à 150 jours après la floraison et pèsent environ 150 à 350 grammes. Le développement des fruits peut être divisé en trois étapes :

- au cours des 25 premiers jours, les pétales tombent et la croissance des fruits est rapide ; l'embryon présent dans la graine se développe lentement, et la croissance se fait essentiellement par division cellulaire ;

- au cours des 50 jours suivants (jusqu'à 75 jours après la chute des pétales), l'embryon se développe rapidement, et le fruit s'approche de sa taille définitive ; la croissance résulte principalement de la croissance cellulaire

- au cours des 14 derniers jours environ (jusqu'à 90 jours après la chute des pétales), le tégument des graines brunit, et les fruits grossissent légèrement, mûrissent et, chez certains cultivars, tombent.

Chez les pommiers cultivés, entre 1 et 5 % environ des fleurs produisent des fruits mûrs. Les autres fleurs n'en produisent pas en raison de l'absence de pollinisation, de la compétition entre fruits ou des pratiques culturales utilisées ( claircissage visant à augmenter la taille et la qualité des fruits et à empêcher le phénomène d'alternance).

L'alternance se produit lorsqu'une récolte abondante inhibe la formation des boutons floraux, ce qui a pour effet de réduire la floraison au cours de l'année suivante. Dans les zones tempérées du nord, les fruits sont cueillis entre le début d'août et la fin de novembre et peuvent être entreposés jusqu'à un an, selon les cultivars.   maturité,

¹⁴Dennis, 2003

¹⁵Pratt, 1988

Chapitre I : Généralité sur les verges de pomme et l'irrigation

un grand pommier cultivé peut produire quelque 2 000 fruits par année, ce qui équivaut à 10 000 graines, et peut vivre 50 ans ou plus. IL peut donc, en théorie, produire 500 000 graines au cours de son existence.

I.3.1. Les stades phénologiques :

Lorsqu'un arbre fruitier donne un fruit, il passe par des stades nommés <les stades phénologiques >, c'est tout un processus, ça commence par un bourgeon d'hiver pour ensuite à la fin donner fruit mur.

Voici les stades phénologiques :

(1) Bourgeon d'hiver.



(2) Début de gonflement.



(3) Apparition des boutons floraux.



(4) Les sépales laissent voir les pétales 1ère fleur.

Chapitre I : Généralité sur les verges de pomme et l'irrigation



(5) Pleine floraison Chute des 1^{ers} pétales.



(6) Chute des derniers pétales.



(7) Nouaison.



(8) Grossissement des fruits.



(9) Fruit mur.

Chapitre I : Généralité sur les verges de pomme et l'irrigation



I.4. Les exigences pédoclimatiques :

I.4.1. Les exigences pédologiques :

Le pommier est capable de croître et produire des fruits dans une gamme de sols aux caractéristiques physiques et chimiques très variables. Il apparaît comme une espèce particulièrement plastique vis-à-vis des conditions du milieu. Le pommier préfère toutefois les sols de limon profond, fertiles et suffisamment bien drainés. Les sols argilo limoneux et argilo-sableux lui conviennent également des lors que le drainage est suffisant. Implanté dans des zones insuffisamment drainées, il peut être sujet à des mortalités lors d'années très pluvieuses. Notons que certaines port greffe sont plus sensibles que d'autres à l'asphyxie des racines. Le pommier est assez tolérant aux pH élevés (8,8.5) et au calcaire actif, pourvu qu'il ne soit pas en situation d'asphyxie. Sous notre climat, il est sensible au manque d'eau pendant l'été.

L'irrigation est pratiquement indispensable si l'on veut obtenir des récoltes satisfaisantes en quantité et en qualité. En effet, l'enracinement faible des porte-greffes actuels ne permet pas aux arbres d'utiliser une forte réserve utile dans les sols où celle-ci pourrait exister¹⁶.

I.4.2. Les exigences climatiques :

Le pommier est une espèce des zones tempérées, il nécessite une longue période de repos végétatif pour satisfaire ses besoins en froid qui sont de l'ordre de 800 à 1600 heures inférieures à 7,2°C. Les zones les plus favorables à la culture sont celles qui présentent des hivers froids et des étés modérément chauds et relativement humides. Des températures de 21 à 26°C sont les plus favorables à l'activité des abeilles au cours de la pollinisation. Des nuits fraîches et une luminosité intense durant la maturité sont très favorables à la bonne coloration des fruits par contre, des journées brumeuses

¹⁶trillot et al, 2001

Chapitre I : Généralité sur les verges de pomme et l'irrigation

accompagnées de précipitations ou de rosées matinales déprécient la couleur des fruits.

I.4.3. Les exigences hydriques :

De nombreux facteurs influent sur l'état hydrique du pommier. L'offre naturelle (sans irrigation) est assurée essentiellement par la réserve en eau utilisable du sol (RU) qui dépend, entre autre, de la profondeur du sol exploré par les racines, de sa texture et de sa structure (éventuellement de la présence d'une nappe d'eau perchée, du ruissellement, etc.), et par le méso climat (pluviométrie sur la parcelle).

La demande découle principalement de l'évapotranspiration de la plante et du sol; elle est étroitement dépendante de la dimension du couvert végétal (densité de plantation, surface foliaire, etc.), de la couverture du sol et de la pression d'évaporation de l'atmosphère (température, hygrométrie et rayonnement)¹⁷.

Le pilotage de l'irrigation des cultures par le suivi du statut hydrique du sol a été longtemps utilisé pour apprécier l'état hydrique de la plante (Campbell and Campbell., 1982 ; Hanson et al., 2000). Cependant il existe plusieurs indicateurs de stress hydrique pour évaluer le régime hydrique des arbres fruitiers. Certaines sont basées sur la mesure de la quantité d'eau se trouvant dans le sol ou de sa disponibilité pour la plante (tensiométrie), alors que d'autres sont basées sur la physiologie de la plante¹⁸.

I.4.3.1. Bilan hydrique :

Le bilan hydrique est un outil de gestion permettant de faire le suivi et l'analyse des besoins en eau d'irrigation des cultures. Ce dernier se fait par un pas de temps bien défini. Il peut être décennaire, à la semaine ou bien au jour le jour particulièrement pour les cas les plus sensibles (sols sableux ou à faible réserve) en fonction du sol et de la météorologie. Le bilan hydrique est nécessaire pour établir le planning des irrigations, il dépend essentiellement des données agronomiques telles que la réserve utile du sol RU et la réserve facilement utilisable (RFU) et des données météorologiques notamment les pluies et l'évapotranspiration de référence ainsi que des apports d'eau de la nappe souterraine. Toute la mise en œuvre du bilan hydrique en plein champ est une opération complexe, dans sa forme simplifiée le bilan hydrique ne permet pas de prendre en compte les apports d'eau par la nappe souterraine ou les pertes par ruissellement qui peuvent être importantes (cas d'orage, par exemple).

Le bilan hydrique, rigoureux dans son principe, pose d'énormes problèmes dans son application, en particulier :

¹⁷Zufferey et al., 2006

¹⁸Naor et al., 2008

Chapitre I : Généralité sur les verges de pomme et l'irrigation

La réserve utile est difficile à déterminer, car elle dépend de la profondeur des racines contribuant à l'alimentation des cultures. La profondeur des racines, elle-même, est difficile à estimer. Par conséquent, la réserve facilement utilisable devient aussi difficile à évaluer¹⁹.

Pour établir des bilans hydriques à la parcelle de nombreux logiciels ont été réalisés. La mise en œuvre de ces outils nécessitant d'une part des données météorologiques et d'autre part des données agronomiques (Rieul and Ruelle., 003). Les données météorologiques concernent essentiellement les pluies et l'évapotranspiration de référence et les données agronomiques concernent (le sol et la plante).

I.5.La production :

I.5.1. La production dans le monde :

La pomme compte parmi les fruits les plus cultivés dans le monde et connaît un important flux commercial. La production mondiale a été estimée à 70million de tonnes chaque année.

La Chine est devenue le premier pays producteur de pomme dans le monde avec un potentiel supérieur à 30 millions de tonnes. La production européenne est parmi les plus importantes du monde avec environ 9 à 10 millions de tonnes²⁰. Le profil variétal renferme 15 cultivars (Golden Delicious, Red Chief, RedDelicious, Cox's Orange, Granny Smith, Juji, Braeburn, Pink Lady et autres) dont le tiers environ revient à Golden Delicious²¹ à partir de la Figure 4 .

¹⁹**Rieul and Ruelle, 2003**

²⁰**FAO**

²¹**Oukabli A. et al. 2011**

Chapitre I : Généralité sur les verges de pomme et l'irrigation

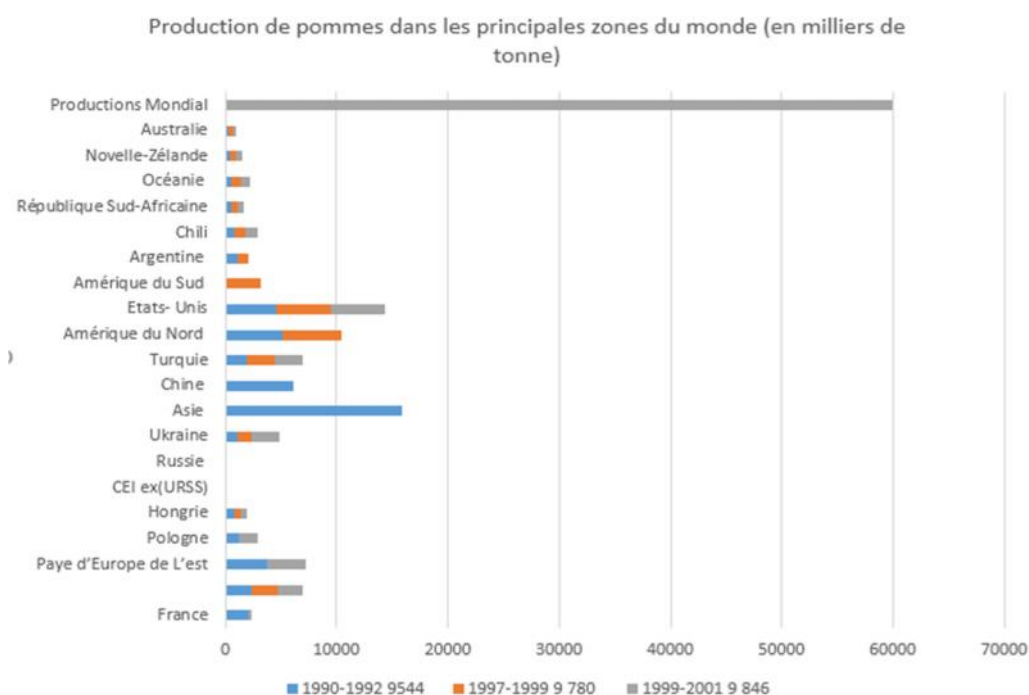


Figure 4 : Histogramme de la production de pommes dans les principales zones du monde (en milliers de tonne)

I.5.2. La production en l'Algérie :

Bien que les superficies du Pommier en Algérie soient importantes, les rendements demeurent

Encore faibles avec une moyenne nationale en 2001 de 74,4 qx/ha. Les principales variétés de pommiers existants en Algérie se classent en trois groupes : - Variétés à faible besoin en froid (400 à 600 heures de froid) *Llorca, Anna, Dorset Gold*. - Variétés à besoin moyen en froid (600 à 800 heures de froid) *Golden et Reine des reinettes*.

- Variétés à besoin élevé en froid (plus de 800 heures de froid) *la Starkrimson*²².

I.5.3. Importance de la culture du pommier en Algérie :

Si la culture de la pomme et de la poire, sont prédominantes dans les pays à climat tempéré, l'Algérie et depuis l'indépendance déploie de grands efforts pour mettre fin à l'importation de ces deux fruits par la bonne conduite du verger, l'amélioration de la production et l'élévation des rendements 23.

²²ABDELGUERFI A , 2003

²³SOLTANI, 1998

Chapitre I : Généralité sur les verges de pomme et l'irrigation

En 2007, les vergers de pommier couvraient 21 200 ha, ces vergers sont essentiellement localisés à Médéa, Batna, Tiart, Blida et Khenchela. Durant la même année, la production algérienne de pomme s'est chiffrée à 181 000 tonnes, ce qui représente un rendement de 85,3 Qx / Ha, ce dernier reste très faible par rapport à celui enregistré dans certains pays (191,3 Qx / Ha en France et 206,1 Qx / Ha en Turquie pour l'année 2007) 24.

A partir de Figure 5 , nous remarquons qu'il y a une augmentation aussi bien des superficies que des productions. La superficie est passée de 12 260 ha en 1997 à plus de 21 200 ha en 2007, alors que la production est passée de 65 525 tonnes à 181 000 tonnes pour les mêmes périodes. Ainsi nous remarquons une tendance à l'augmentation pour les rendements, mais elle reste faible et irrégulière.

Cette faiblesse des rendements peut être attribuée à plusieurs causes, parmi eux :

- Le manque de connaissances relatives à la biologie de l'espèce fruitière considérée ;
- Le manque d'entretien des vergers ;
- Le non assimilation des techniques modernes de l'arboriculture par les agriculteurs Algériens (surtout les techniques de taille) ;
- L'utilisation anarchique des porte-greffes et des variétés ;
- Le manque de connaissances sur les zones favorables à cette culture ;
- Le manque de connaissances sur l'application de la fertilisation. Dans notre pays, celle-ci est conduite d'une manière empirique sans tenir compte ni des caractéristiques physico-chimiques du sol.

²⁴F.A.O, 2009

Chapitre I : Généralité sur les verges de pomme et l'irrigation

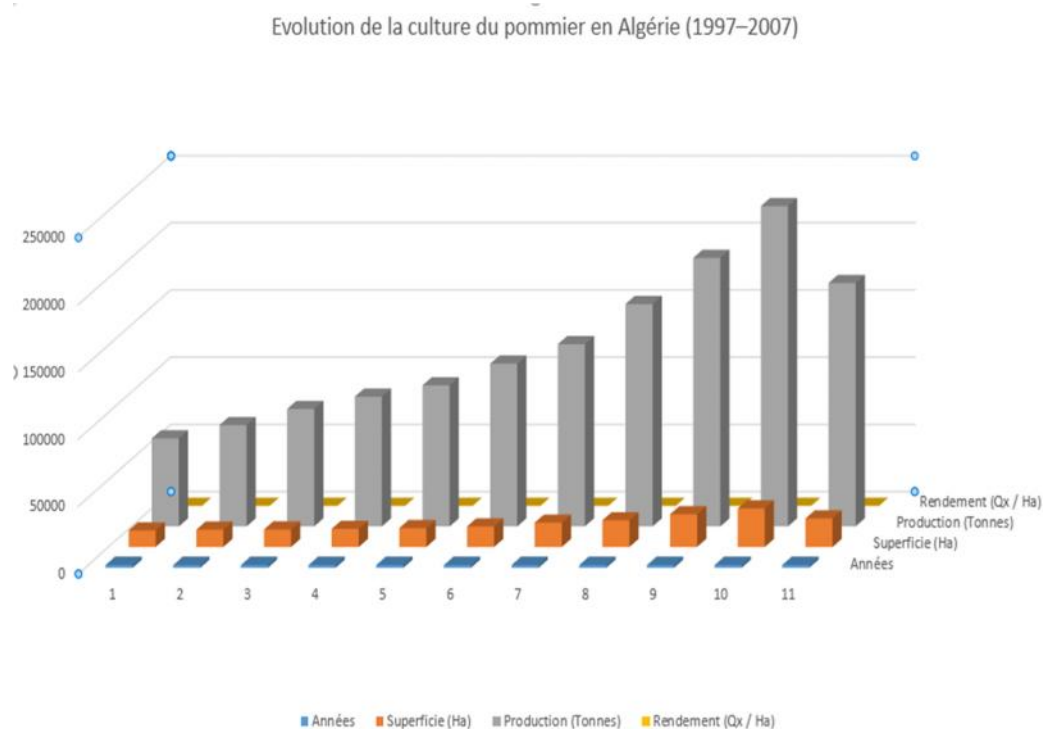


Figure 5 : Histogramme de l'évolution de la culture du pommier en Algérie (1997–2007)

I.5.3.1. La production dans la wilaya de Khenchela :

La wilaya de Khenchela est la principale région productrice de pommes en Algérie, la production concerne de nombreuses zones (communes) de la wilaya. Les vergers de pommier sont localisés principalement à Bouhmama, kais, checher, El-Hamma et Babar .

A la fin de la campagne 1998/1999 la superficie occupée par la culture du pommier était 821 ha et la production durant cette campagne est de 38,377Qx . Depuis le lancement du programme National du Développement Agricole (P.N.D.A), les superficies plantées en pommier dans la wilaya de Khanchela ont connu une augmentation considérable, elles sont passées de 2598 ha en 2002 à 5810 ha en 2008, mais le rendement reste toujours faible et irrégulier (90Qx / Ha en 2007)²⁵.

²⁵DS.A, 2009

Chapitre I : Généralité sur les verges de pomme et l'irrigation

Evolution de la culture du pommier dans la wilaya de Khenchela (1998- 2008)

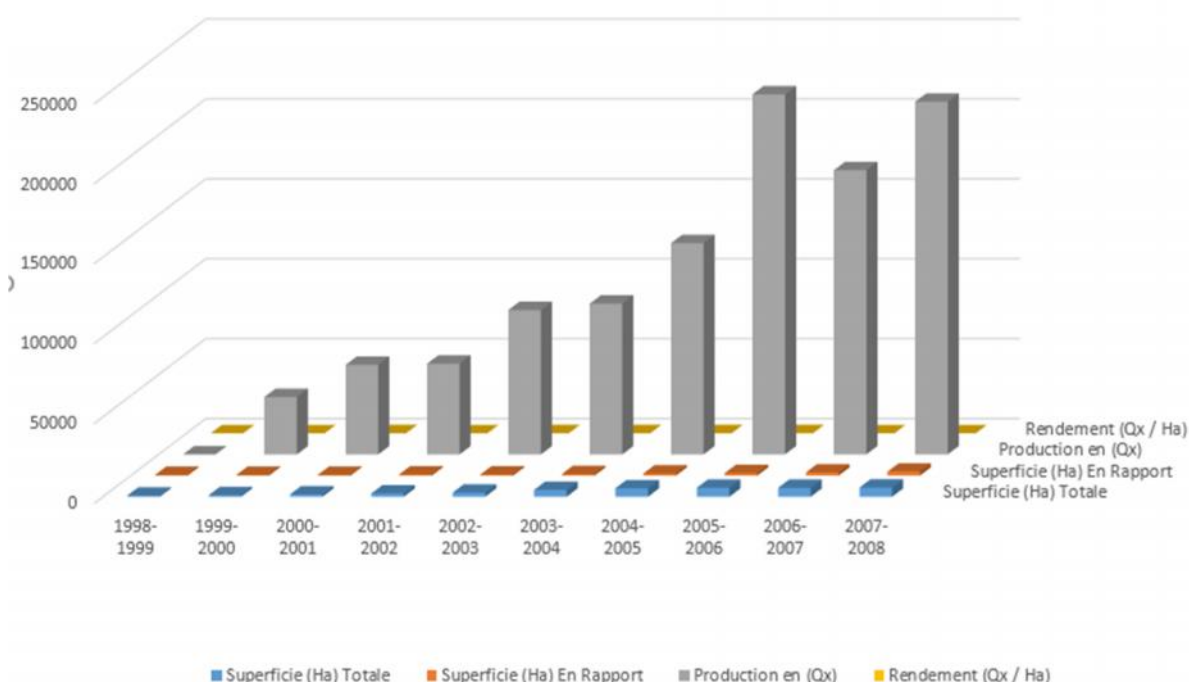


Figure 6 : Histogramme Evolution de la culture du pommier dans la wilaya de Khenchela (1998- 2008)

L'examen de la figure 6 met en évidence des rendements faibles par rapport aux rendements moyens nationaux, ceci la cause du non maitrise des facteurs de production et des besoins de cette culture.

Pour les zones principales de production de pommes dans la wilaya de Khenchela (Bouhmama, kais, checher, El-Hamma, Babar et Ain-Touila), la superficie totale en rapport pour la campagne (2007-2008) est de 856 Ha, cette dernière pour les mêmes zones est augmenter à 1 016 Ha pour la campagne d'étude (2008-2009) (D.S.A ,2009), alors que pour la production c'est l'inverse, elle diminue presque de la moitié, du 136 853 Qx pendant la campagne (2007-2008) à 74 745 Qx pondant la campagne d'étude (2008-2009) pour les mêmes zones de production.

Cependant, l'extension de cette spéculation a permis l'installation de certains ravageurs spécifique diminuant ainsi les rendements et la qualité des fruits produits. En plus de ces problèmes plusieurs autres facteurs influencent négativement la production, nous citons en particulier, l'installation des cultures intercalaires, une pratique archaïque de la taille, l'utilisation d'un système d'irrigation traditionnel ne répondant pas aux besoins en eau très élevés de la culture dont les superficies ont

Chapitre I : Généralité sur les verges de pomme et l'irrigation

beaucoup augmenté ces dernières années.

Partie II : L'irrigation

L'irrigation au sens holistique est l'arrosage des cultures en puisant de l'eau dans des tuyaux, des canaux, des asperseurs ou d'autres moyens artificiels, plutôt que de dépendre uniquement des précipitations. Depuis les endroits où tombent des pluies sporadiques ou saisonnières, nous ne pouvons pas maintenir l'agriculture sans irrigation.

Au fil des siècles, l'homme a été capable d'inventer de nombreuses méthodes d'irrigation modernes, qui l'aident à irriguer les cultures sans dépendre de la pluie, car le manque de pluie à certaines saisons de l'année l'a motivé à inventer des systèmes qui dépendent principalement de la conservation de l'eau pour une utilisation dans l'irrigation des cultures agricoles.

Les pommiers ont besoin d'une humidité uniformément répartie pendant la saison de croissance pour permettre une production régulière et importante. Possédant un système racinaire peu développé, le jeune plant de pommier est particulièrement vulnérable aux longues périodes de sécheresse, surtout en présence d'une forte infestation par les mauvaises herbes qui concurrencent le pommier pour l'eau.

L'irrigation et le désherbage sont très importants durant la première saison de plantation du pommier. L'utilisation du mulching des débris végétaux compostés, du paillis, des chutes de menuiserie ou des matériaux qui ont le même effet sur les rangs du verger aidera à contrôler les mauvaises herbes et conserver l'humidité du sol.

La conception du système d'irrigation dépend de la disponibilité en eau et du type de sol. Le système d'irrigation « goutte à goutte » ou « microjet » permettent une meilleure efficacité d'utilisation de l'eau et une meilleure rentabilisation des investissements surtout en année sèche.

Il est également important de raisonner les irrigations en fonction des besoins du verger et pas en fonction du calendrier.

Les besoins en eau sont plus importants en période estivale c'est à dire environ 2 mois avant la récolte, c'est à cette période où le stress hydrique est à éviter pour ne pas contrarier la production. L'humidité du sol doit rester proche de la capacité au champ, la fréquence des irrigations est plus grande.

Chapitre I : Généralité sur les verges de pomme et l'irrigation

I.7. Les besoins en eau :

I.7.1. L'importance d'un système d'irrigation :

Tel que mentionné dans le module 2, certains maraîchers cultivant sur de moyennes à grandes superficies arrivent à se passer d'un système d'irrigation pendant plusieurs années. Par contre, l'uniformité de la production, en qualité et en quantité, est très inégale. La pluviosité d'une région, le type de culture et le type de sol interviennent dans le choix de se doter ou non d'un système d'irrigation. Cependant, plus les superficies sont grandes, plus le sol est léger, plus il devient risqué de se priver d'un système d'irrigation. En effet, toutes les dépenses réalisées dans la production d'une culture (semences, transplants et transplantation, désherbage, fertilisation, etc.) peuvent être compromis lors d'une sécheresse importante. Même si le volume de récolte n'est pas toujours compromis par l'absence d'irrigation, la qualité des cultures peut souvent en être grandement affectée. Ainsi, il est fréquent de voir des carences en calcium (ex. : brûlure des marges sur la laitue et pourriture apicale dans le poivron et la tomate) se développer en raison d'un approvisionnement irrégulier en eau. L'irrigation devient alors un moyen de prévention contre ces problèmes. Même si dans certains cas, les fruits et légumes peuvent prendre plus de goût avec un approvisionnement en eau limité (ex. : fraise), certains peuvent aussi devenir immangeables (ex. : céleri, radis). Les besoins moyens d'eau d'irrigation des cultures sont estimés à 100 mm par mois une année sur deux et à 160 mm par mois une année sur dix au Québec (Beaulieu, 2002).

Dans le cas d'une entreprise qui démarre sur des superficies faibles à moyennes, l'investissement dans un bon système d'irrigation peut parfois être retardé, mais pas dans les terres sableuses où on trouve du sable jusqu'à une grande profondeur, car le risque de pertes de récolte est alors trop grand. Plusieurs techniques permettent de retarder cet investissement. Sur de petites superficies, on peut :

- déplacer des lignes de tuyaux goutte-à-goutte branchées sur le système d'eau de la ferme d'une planche de culture à l'autre, ce qui est plutôt laborieux ;
- se doter d'un réservoir de bonne capacité placé sur une remorque et irriguer manuellement au besoin ;
- utiliser des paillis organiques ou plastiques qui limitent l'évaporation.

L'utilisation de paillis plastique sans tuyau d'irrigation goutte-à-goutte dessous est toutefois à déconseiller, sauf s'il s'agit d'un sol souvent humide où l'eau

Chapitre I : Généralité sur les verges de pomme et l'irrigation

remonte par capillarité, ou si les rangs sont placés en travers d'une pente de façon que l'eau de pluie puisse s'infiltrer sous les plastiques.

Si des petits fruits sont cultivés sur l'entreprise, l'irrigation est encore plus importante. L'irrigation est essentielle dans le bleuets et avantageuse dans la fraise et la framboise. Selon des statistiques de 2003, neuf fermes de petits fruits sur dix au Québec possèdent un système d'irrigation.

D'après tous les modèles de prévision, les besoins en eau d'irrigation iront en augmentant dans les années à venir au Québec à cause de la tendance au réchauffement du climat. Quoiqu'il en soit, toute entreprise maraîchère sérieuse devrait se doter d'un système d'irrigation à plus ou moins long terme, et même le plus tôt possible, et en prévoir l'acquisition dans son plan d'affaire ou son plan de développement.

I.7.2. Besoins d'eau selon les sols :

Le type de sol est un facteur important à considérer lors de la conception et de la gestion d'un système d'irrigation. Un sable faiblement pourvu en matière organique retiendra à peine 5 % de son poids en eau. Par contre, un sol limoneux pourra en retenir près de 30 %. Cette quantité d'eau retenue influence directement les fréquences d'irrigation. Par exemple, une argile aura assez d'eau en réserve en début de saison pour approvisionner une culture pendant un mois, alors qu'un sable grossier n'aura de réserve que pour quelques jours.

La matière organique joue un rôle déterminant dans la rétention d'eau. Comme une éponge, elle retient l'eau des précipitations pour la restituer à la demande des besoins de la culture. Comme le démontrent les données du tableau 1, avec un bon taux de matière organique, le sol joue un rôle tampon en retenant l'eau des précipitations pour une utilisation subséquente par la plante.

Type de sol	Sol sans matière organique	Sol avec 4 % à 6 % De matière organique
		Millimètre d'eau retenu par mètre de

Chapitre I : Généralité sur les verges de pomme et l'irrigation

	profondeur de sol (mm/m) pour un sol à capacité au champ ¹	profondeur de sol (mm/m) pour un sol à capacité au champ
Sable	45	161
Sable loameux	70	147
Loam sableux	98	146
Loam	137	165
Loam limoneux	206	230
Loam argileux	253	294
Argile sableuse	218	270
Argile	202	252

Tableau 1 : Capacité de rétention en eau pour différentes textures de sol selon leur contenu en matière organique

Les précipitations sont la source la moins chère d'eau d'irrigation. Il faut donc s'assurer que ces précipitations puissent s'infiltrer dans le sol. Un sol compacté limitera l'infiltration de l'eau et augmentera les risques de ruissellement. De plus, lorsque les cultures en rangs sont placées dans le sens de la pente, l'infiltration de l'eau sera grandement limitée en haut de la pente et les risques d'anoxie (absence d'oxygène) augmenteront en bas de la pente. Comme les précipitations pourraient être de plus en plus intenses et courtes avec les changements climatiques, il devient essentiel de capter ces précipitations en assurant une bonne infiltration et en limitant le ruissellement.

En règle générale, dans les sols sableux qui retiennent peu l'eau, une irrigation de 35 mm une fois par semaine est nécessaire, alors que dans les sols loameux, une irrigation de 50 mm une fois aux deux semaines est préférable. Il faut toutefois nuancer ces besoins en fonction des cultures.

I.7.3. Besoins en eau selon les cultures :

Plusieurs facteurs, en général reliés au développement racinaire, affectent les besoins en eau d'une culture.

Chapitre I : Généralité sur les verges de pomme et l'irrigation

— Le stade de développement de la culture : en début de saison de croissance, les racines sont peu développées et, par conséquent, il faut prévoir des fréquences d'irrigation plus rapprochées. Les besoins en eau sont toutefois relativement faibles, car les jeunes plants ont peu de feuillage et par conséquent transpirent peu. Au fur et à mesure que les plants grandissent, la fréquence d'irrigation peut diminuer, mais la quantité d'eau doit augmenter. Il faut toutefois limiter l'irrigation en début de croissance afin de permettre un développement racinaire en profondeur. Des arrosages trop fréquents entraînent un développement racinaire superficiel et une faible résistance des plantes à la sécheresse.

— L'état du sol : lorsque le sol est compact ou que la nappe d'eau est trop haute, les racines ne peuvent pas bien se développer. Le volume de sol qu'elles explorent est faible et la sensibilité à la sécheresse est importante. Les besoins d'irrigation en période de sécheresse sont alors plus importants.

— Le type de culture : les cultures ont une profondeur d'enracinement variable (tableau 2) ce qui affecte leur besoin en irrigation (tableau 2). Les cultures à enracinement superficiel comme les pommes de terre et le céleri préfèrent une irrigation fréquente et peu abondante. Ainsi, un agriculteur qui réussit bien le céleri l'irrigue tous les jours. Sauf quand il pleut suffisamment. Les cultures à enracinement profond peuvent n'avoir besoin d'irrigation qu'à un moment critique de leur croissance.

Superficielles (Jusqu'à 30 cm de profondeur)	Intermédiaires (Entre 30 et 60 cm de profondeur)	Profondes (supérieures à 60 cm de profondeur)
Bleuet Céleri Fraise Laitue Oignon Pomme de terre	Brocoli Carotte Chou Chou-fleur Concombre Courgette	Asperge Citrouille Courge d'hiver Maïs sucré Melon d'eau Panais

Chapitre I : Généralité sur les verges de pomme et l'irrigation

Radis	Haricot mange-tout Melon brodé Poivron Tomate	
-------	--	--

Tableau 2 : Classement des fruits et légumes en fonction de la profondeur de leurs racines

Ces chiffres moyens doivent être nuancés selon les sols, le moment de la saison et les précipitations reçues.

Culture	Applications moyennes d'eau (mm/mois)
Céleri	200-250
Fraisier	100-120
Piment	125-150
Brocoli	100-160
Oignon	75-100
Carotte	75-125
Laitue	125-175

Tableau 3 : Besoin typique en eau de certaines cultures

I.7.4. Le moment d'irrigation :

La détermination du bon moment pour irriguer se fait en fonction des événements de pluie, de l'état du sol et des stades critiques des plantes (tableau 4). Une erreur commune est de retarder l'irrigation parce qu'une pluie est annoncée même si le stade critique d'une culture est atteint. Selon le système utilisé, il est vrai que le temps, la main-d'œuvre et la dépense impliqués peuvent faire hésiter. Cependant, à moins que les risques de précipitations ne soient élevés et que la quantité de pluie annoncée soit aussi élevée, il vaut quand même mieux irriguer à ces stades.

À part la méthode qui consiste à évaluer l'humidité du sol à la main, il existe des outils pour nous aider à évaluer le moment d'irriguer. Deux tensiomètres placés à

Chapitre I : Généralité sur les verges de pomme et l'irrigation

différentes profondeurs vont donner une idée de l'état d'assèchement du sol à différentes profondeurs. Typiquement, on place un tensiomètre au quart de la profondeur des racines, et un autre aux trois quarts. Ce sera donc à 30 et 60 cm (12 et 24 pouces) pour la plupart des légumes ou à 45 et 90 cm (18 et 36 pouces) pour les cultures aux racines plus profondes comme la tomate et le concombre. Il faut commencer à irriguer les sols sableux entre 15 ou 20 centibars de tension, tandis que pour les sols loameux on peut attendre jusqu'à une tension de 20 à 25 centibars. Les tensiomètres doivent être laissés en place et demandent de l'attention car ils peuvent se désamorcer ; il faut enlever l'air et ajouter du liquide à l'intérieur à quelques reprises. Dans un contexte de maraîchage diversifié, il serait toutefois coûteux d'installer des tensiomètres dans toutes les planches de cultures. On peut alors décider d'installer des tensiomètres dans des endroits représentatifs de la surface du champ. Les pédohygromètres, eux, sont portatifs et peu coûteux, mais ils sont moins précis que les tensiomètres. Ils indiquent la teneur en eau du sol entre la saturation et le point de flétrissement. Pour plus d'information sur les tensiomètres, voir Bergeron (2007).

Culture	Période critique
Haricot Pois mange-tout	floraison, apparition des gousses
Brocoli Chou Chou-fleur	formation et grossissement de la pomme
Maïs sucré	floraison mâle, pollinisation, formation de l'épi
Concombre Courgette Melon brodé	floraison, fructification et développement des fruits
Oignon	formation et grossissement du bulbe

Chapitre I : Généralité sur les verges de pomme et l'irrigation

Pomme de terre	Floraison
Aubergine Poivron Tomate	floraison, fructification et croissance des fruits

Tableau 4 : : Périodes critiques pour l'irrigation de diverses cultures légumières

I.8. L'approvisionnement en eau :

I.8.1. Les sources d'eau : cours d'eau, étang et puits :

Peu importe le système choisi, il faut identifier une source d'approvisionnement en eau. Les sources les plus communes au Québec sont les étangs de ferme, les rivières, les lacs et les puits.

La pratique la plus recommandable est de creuser un étang d'irrigation qui sera alimenté par des eaux de surface, des sources, une nappe d'eau élevée ou même par un puits. L'étang sert de réserve, apporte de la biodiversité et l'eau y est plus chaude que lorsqu'elle sort directement d'un puits, ce qui est préférable pour les plantes. Il nécessite toutefois du temps pour se remplir à nouveau après l'irrigation, ce qui peut être un problème s'il ne se remplit pas assez vite. Il n'est pas nécessaire d'avoir un certificat d'autorisation du MDDEP (ministère du Développement Durable, de l'Environnement et des Parcs) pour creuser un étang d'irrigation, SAUF s'il est en lien avec un cours d'eau ou qu'il s'agit de l'agrandissement ou de l'approfondissement d'un étang naturel. Quoiqu'il en soit, avant d'entreprendre des travaux, une vérification auprès des autorités compétentes demeure une sage précaution.

Dans un cours d'eau à fort débit comme une rivière, il est permis de puiser à même le cours d'eau. Cependant, dans tous les cours d'eau où il faut aménager un barrage temporaire pour constituer une réserve d'eau, il faut obtenir un certificat d'autorisation du MDDEP. Le Ministère veut s'assurer que les petits cours d'eau gardent un débit constant et ne s'assèchent pas trop, ce qui compromettrait la survie de la faune. C'est pourquoi aucun pompage ne doit prélever plus de 20 % du débit d'étiage moyen. La qualité de l'eau de certains cours d'eau est parfois douteuse. La vigilance est de mise. Les organismes de certification biologique peuvent exiger une analyse microbiologique de l'eau, tout comme les acheteurs de gros volumes si les légumes sont destinés à l'exportation.

L'alimentation du système d'irrigation directement à partir d'un puits exige une

Chapitre I : Généralité sur les verges de pomme et l'irrigation

capacité suffisante pour les besoins planifiés. L'eau provenant d'un puits est froide et souvent alcaline, ce qui est un inconvénient. Il est rare, voire impossible, de brancher un système d'irrigation par aspersion sur un puits, les débits requis étant trop importants et l'eau trop froide. Par contre, un système goutte-à-goutte se raccorde très bien à un puits et permet à l'eau de se réchauffer le long du circuit. Il peut être assez coûteux de faire creuser un puits surtout si on compte prélever plus de 75 m³ par jour² car le MDDEP exige alors une étude hydrogéologique qui, à elle seule, peut coûter plus de 20 000 \$. Certaines MRC ont financé l'étude hydrogéologique de la région pour avoir ainsi un portrait plus global et minimiser les coûts pour les producteurs.

I.8.2. Volume d'eau nécessaire :

I.8.2.1. Capacité du puits :

En théorie, en considérant un besoin de 100 mm d'eau par mois, un puits avec un débit de 75 m³ par jour permettrait d'irriguer un peu plus de deux hectares par jour, donc la totalité d'une ferme d'une quinzaine d'hectares en une semaine. Cependant, les calculs sur des périodes d'un mois ne sont pas toujours représentatifs des besoins de pointe. La journée où on a le plus besoin d'eau est souvent la journée où il y en a le moins, car les nappes sont alors basses et l'étang d'irrigation est souvent très entamé.

En pratique, la demande en période de pointe pourrait s'approcher de 75 m³ par jour par hectare. En effet, il faut calculer une évapotranspiration de 5 à 7 mm, soit 50 à 70 m³/jour par hectare (une hauteur d'eau de 5 à 7 mm sur une surface de 10 000 m²) lors des pointes de croissance des plantes. Ces chiffres ne tiennent pas compte des pertes d'eau par évaporation de l'étang où l'eau a été entreposée. Or, il y a toujours de l'évaporation. De tels chiffres indiquent que même sur une petite ferme, il se peut qu'il soit nécessaire d'obtenir une étude hydrogéologique avant de creuser un puits.

Pour laisser une marge de sécurité, il faut planifier l'irrigation en fonction d'environ 70 % de la capacité de la source d'approvisionnement quitte à répartir l'irrigation sur toute la journée avec un système de minuterie.

I.8.2.2. Pluviomètre :

Pour assurer une bonne gestion du système d'irrigation, il importe de posséder quelques outils qui permettent de mesurer l'eau provenant des précipitations et de

Chapitre I : Généralité sur les verges de pomme et l'irrigation

savoir combien d'eau on applique par le système d'irrigation.

Un pluviomètre mesure les quantités d'eau des différents types de précipitations (pluie et irrigation par aspersion). Il peut s'agir de simples contenants cylindriques (pour ne pas fausser la mesure) ou de pluviomètres fabriqués spécialement à cet effet.

Pour mesurer la quantité d'eau provenant des précipitations naturelles, le pluviomètre doit être installé à une hauteur de 1,2 mètre (4 pieds) et loin de tout obstacle pour éviter de récolter les éclaboussures. De plus, il ne doit y avoir aucun obstacle dans un angle de 45 degrés du pluviomètre. Un arbre ou un bâtiment modifiera le parcours de la pluie et faussera grandement les lectures.

Pour mesurer les précipitations d'un système d'irrigation par aspersion, on utilisera des boîtes de conserve disposées sur une ligne entre deux asperseurs. Un seul asperseur n'a pas une application uniforme, mais la lecture de la quantité d'eau accumulée dans chacun des contenants entre deux asperseurs permet d'avoir une valeur plus réaliste.

I.8.3. Qualité de l'eau :

Il faut être particulièrement attentif à la qualité de l'eau avec les systèmes goutte-à-goutte. Des filtres de 0,1 mm (équivalant à des filtres de 200-mesh pour les filtres à tamis) sont nécessaires pour retenir les particules minérales (sable).

L'analyse chimique et microbiologique de l'eau permet de révéler si l'eau est d'une qualité acceptable pour l'irrigation ou s'il faut y apporter des correctifs. Le tableau 5 donne les seuils typiques de qualité de l'eau à viser pour l'irrigation goutte-à-goutte.

Une salinité ou un contenu en sodium élevé dans l'eau peuvent causer une sécheresse physiologique chez les plantes. Une eau à un pH supérieur à 7 occasionne des problèmes de colmatage, d'autant plus si l'eau est riche en calcium et en magnésium. L'acide citrique, permis en agriculture biologique, peut être utilisé pour acidifier l'eau. L'acide acétique ou l'acide ascorbique sont autorisés en bio pour nettoyer les tuyaux goutteurs.

L'eau d'étang ou de cours d'eau est parfois riche en bactéries qui peuvent aussi colmater les tuyaux en faisant des masses gélatineuses. L'eau de Javel (hypochlorite de sodium) peut être utilisée pour enlever ce colmatage.

Chapitre I : Généralité sur les verges de pomme et l'irrigation

Paramètre	Valeurs critiques
Alcalinité (en CaCO ₃)	1 à 100 ; pas plus de 200
Aluminium (Al ³⁺)	0 à 5
Bicarbonates (HCO ₃ ⁻)	30 à 50 ; pas plus de 150
Bore (B)	0,2 à 0,5 ; pas plus de 0,8
Calcium (Ca ²⁺)	40 à 120
Chlorures (Cl ⁻)	0 à 50; pas plus de 140
Cuivre (Cu ²⁺)	0,08 à 0,15 ; pas plus de 0,2
Fluorure (F ⁻)	0 ; pas plus de 1,0
Fe (Fe ³⁺)	1 à 2 ; pas plus de 5
Magnésium (Mg ²⁺)	6 à 25
Manganèse (Mn ²⁺)	0,2 à 0,7 ; pas plus de 2,0
Molybdène (Mo)	0,02 à 0,05 ; pas plus de 0,07
pH	5 à 7
Potassium (K ⁺)	0,5 à 5
Ration d'adsorption du sodium (SAR)	0 à 4
Sodium (Na ⁺)	0 à 30 ; pas plus de 50
Sulfates (SO ₄ ²⁻)	24 à 240
Solides totaux dissous (TDS)	70 à 700 ; pas plus de 875
Zinc (Zn ²⁺)	0,1 à 0,2 ; pas plus de 2,0

Tableau 5 : Normes d'interprétation d'une analyse d'eau pour la production de plantes annuelles

Chapitre I : Généralité sur les verges de pomme et l'irrigation

I.9. Les systèmes d'irrigation

I.9.1. Irrigation au goutte-à-goutte :

I.9.1.1. Composantes du système :

Un système d'irrigation goutte-à-goutte comprend :

- une pompe ;
- un système de filtration ;
- un indicateur de débit ;
- un ou plusieurs régulateurs de pression ;
- des tuyaux d'alimentation principale, en général mous, pour pouvoir rouler par-dessus ; — des tuyaux d'alimentation secondaires ;
- des tuyaux perforés (ou des tuyaux avec goutteurs) ;
 - une unité d'injection pour la fertigation qui peut être ajoutée car des engrais utilisables en agriculture biologique pour la fertigation sont maintenant disponibles ;
- des raccords qui permettent de réparer une fuite.

I.9.1.2. Utilisation et mises en garde :

Voici quelques mises en garde en ce qui concerne l'irrigation au goutte-à-goutte.

- Peu importe la source, un système de filtration est nécessaire, idéalement près de la source. La durée de vie des tuyaux de goutte-à-goutte peut-être facilement compromise par un système de filtration inexistant ou inadéquat.
- Il faut limiter la longueur des rangs. Lorsqu'un tuyau goutteur a plus de 30 mètres (100 pieds), la pression diminue et la quantité d'eau fournie sera inégale, même en terrain plat. Cependant, en terrain plat, on peut aller jusqu'à une longueur de 250 mètres avec des systèmes de compensation de pression qui assureront une bonne uniformité d'émission.
- Il faut amener l'eau à bonne pression le plus près possible des tuyaux de goutte-à-goutte, quitte à grossir le diamètre du tuyau d'alimentation s'il y a une grande distance entre la source et la parcelle à irriguer.
- Il est préférable d'installer une valve sur chaque sous-section du système pour plus de flexibilité.

Chapitre I : Généralité sur les verges de pomme et l'irrigation

— Pour éviter que l'eau ne soit trop chaude, ce qui détériore le matériel, il faut protéger les tuyaux d'alimentation du soleil, soit en les enterrant, soit en les recouvrant d'un géotextile ou encore en laissant l'herbe pousser par-dessus.

Les tuyaux goutteurs de bonne qualité et bien entretenus peuvent durer plusieurs années. Plusieurs producteurs récupèrent ces tuyaux après la saison de production en les enroulant sur des bobines. L'utilisation de ruban gommé de couleur pour la réparation des bris permet en fin de saison de repérer facilement les tuyaux endommagés et de décider d'en disposer ou de les réparer pour la prochaine saison. Lorsque nécessaire, il est possible de réunir plusieurs sections de tuyau avec un raccord placé à l'intérieur de chacune des deux extrémités et serré avec de la broche, tel que l'illustre la figure 7.



Figure 7 :Raccordement de deux sections de tuyau goutte-à-goutte

I.9.2. Irrigation par aspersion :

I.9.2.1. Composantes du système :

Les systèmes d'irrigation par aspersion habituels comprennent :

- une pompe qui peut assurer un débit et une pression suffisante, soit davantage que pour un système goutte-à-goutte. Il s'agit souvent d'une pompe actionnée par la prise de force d'un tracteur d'au moins 45 hP ;
- des tuyaux d'alimentation en aluminium de 7,5 à 15 cm (3 à 6 po) de diamètre ; — des asperseurs ou gicleurs placés typiquement à 18 m (60 pieds) de distance les uns des autres ;
- des buses, conçues pour un usage spécifique (ex. : portée du jet, débit,

Chapitre I : Généralité sur les verges de pomme et l'irrigation

protection contre le gel).

Il existe aussi des petits systèmes d'irrigation par aspersion qui s'adaptent bien aux composantes d'un système goutte-à-goutte (figure 8)



Figure 8 : Système de micro-aspersion et tuyaux en aluminium pour les systèmes habituels

Mini-asperseur monté sur tuyau flexible Tuyau d'alimentation en aluminium pour système par aspersion.

I.9.2.2. Utilisation et mises en garde :

La filtration de l'eau n'est pas critique avec l'irrigation par aspersion. Il est possible de commencer avec un nombre minimal de tuyaux d'alimentation qu'on déplace et d'en acheter d'autres avec les années. Toutefois, si on opte pour l'aspersion en vue de se protéger du gel.

I.9.3. Comparaison entre le goutte-à-goutte et l'aspersion :

Pour le maraîcher diversifié, le choix entre le goutte-à-goutte et l'irrigation par aspersion se fait en fonction des cultures. Si l'entreprise cultive une grande quantité de cultures avec paillis plastique comme les solanacées et les cucurbitacées, l'irrigation goutte-à-goutte sera le premier choix. Ce système peut de toute façon être utilisé dans toutes les cultures, bien qu'il puisse nuire aux travaux de désherbage pour les cultures sans paillis. Le tableau 6 résume les avantages et désavantages de chaque système.

Chapitre I : Généralité sur les verges de pomme et l'irrigation

Si peu de cultures sont faites avec paillis plastique, l'irrigation par aspersion peut être un meilleur choix, surtout si les superficies sont grandes. Dans les régions nordiques ou les vallées où les risques de gel sont plus grands, l'irrigation par aspersion peut permettre de sauver les cultures sensibles et ainsi allonger la saison de croissance. L'idéal est évidemment d'avoir les deux systèmes disponibles.

Technique d'irrigation	Avantage	Désavantages
Aspersion	Utile pour la protection contre le gel Plus facile à déplacer d'une culture à l'autre Économique à long terme (pas de tuyaux à acheter fréquemment) Permet l'irrigation sur de grandes surfaces facilement	Utilise plus d'eau Favorise les mauvaises herbes Investissement de départ important Peut contaminer les légumes feuilles Très affecté par le vent Beaucoup de perte d'eau Complique les récoltes de cultures différentes
Goutte-à-goutte	Frais de main-d'œuvre bas en saison Bonne uniformité Utilise moins d'eau Basse pression donc économie d'énergie	Installation plus longue au début Nuit au sarclage si en surface et qu'il n'y a pas de paillis plastique Requier une eau de bonne qualité ou un système de filtration

Chapitre I : Généralité sur les verges de pomme et l'irrigation

	N'encourage pas les mauvaises herbes entre les rangs en saison sèche Pas affecté par le vent Permet la fertigation et la plasticulture	efficace Coût annuel de remplacement des tuyaux goutteurs Ne protège pas contre le gel Demande l'utilisation de bâches pour protéger du gel
--	--	---

Tableau 6 : Comparaison de l'irrigation par aspersion et par goutte-à-goutte

Le coût d'achat d'un système goutte-à-goutte est d'environ 750 \$/ha (pour 4 ha), et les coûts annuels de remplacement des tuyaux sont presque aussi élevés. Il est toutefois possible de garder des tuyaux goutte-à-goutte de qualité en totalité ou en partie pendant quelques années. Le coût d'achat d'un système par aspersion est de près de 2 000 \$ par ha pour la même ferme de 4 ha, mais il y a peu de frais dans les années suivantes sauf ceux de déplacer et d'enlever les tuyaux d'alimentation et ceux reliés au pompage de l'eau. Il est souvent possible de trouver du bon équipement usagé pour ce genre de système. Il existe aussi des systèmes d'aspersion plus petits adaptés aux petites superficies.

Les compagnies qui vendent des systèmes d'irrigation ont des conseillers spécialisés qui peuvent être d'une grande aide lors de la planification d'un système d'irrigation.

I.10. Conclusion :

Dans ce chapitre, on a détaillé les généralités sur les pommiers, mais surtout nous avons montré l'importance de l'irrigation et ce qui compte surtout, c'est de savoir choisir son système d'irrigation pour les vergers de pomme, et surtout dans notre région le système le plus utilisé est le goutte à goutte qui est le plus adéquate et la moins chère comparé avec un système d'aspersion.

Chapitre II :

L'internet des objets

Chapitre II : L'internet des objets

II.1. Introduction :

Les objets connectés (Internet of Things ou IoT) peuvent donner l'impression de vivre dans un monde futuriste, mais il s'agit pourtant du présent. Selon la firme Gartner, ils devraient représenter 26 milliards d'unités en 2020, ce qui exclut les ordinateurs, les tablettes et les téléphones intelligents. Il s'agit d'une nouvelle façon d'interagir avec les objets qui peut changer nos vies radicalement. Ce peut être une personne avec un implant cardiaque qui transmet des données, un animal qui porte une puce intelligente, une voiture dotée de capteurs indiquant la pression des pneus ou tout autre objet, créé ou non par l'homme, auquel une adresse IP est assignée et qui peut transmettre des informations. Selon Trendwatching, ce sera pour mieux prendre soin d'eux-mêmes que les consommateurs adopteront les objets connectés. Les innovations vouées à s'implanter seront celles qui apporteront de nouvelles façons de répondre aux besoins fondamentaux, tels que la santé physique, le bien-être psychologique, la sécurité et les liens avec les personnes chères. Cinq tendances accélèrent l'explosion des objets connectés.

- Des puces de connectivité sans fil miniaturisées, moins chères et plus efficaces qui permettent de connecter toute une variété d'objets, de la brosse à dents au cadenas pour vélo.
- Le stockage en ligne des données (*cloud*) permet d'héberger la grande quantité d'information créée par les objets connectés.
- Les téléphones intelligents sont omniprésents et bénéficient d'une géolocalisation très précise. Il s'agit d'une condition nécessaire pour certaines interactions avec ces objets.
- Les capteurs sont désormais capables de mesurer tout (ou presque), de la luminosité au bruit et à la composition de l'air.
- La révolution du *crowdfunding* a généré une marée d'innovations. Tout est possible, le consommateur n'a qu'à choisir.

Les objets connectés fonctionnent généralement avec les technologies du *Near Field Communication* (NFC) ou celle de son récent concurrent, la technologie iBeacon d'Apple. Il s'agit d'une nouvelle catégorie de transmetteurs qui peuvent reconnaître et envoyer des notifications aux périphériques iOS 7 et Android à proximité. Grâce à cette technologie, on peut, par exemple, localiser un individu passant devant un magasin et lui envoyer une alerte personnalisée. iBeacon rendra aussi possibles les paiements par téléphone intelligent simplement en se trouvant à proximité. Les objets connectés les plus susceptibles d'avoir un impact à court terme sont :

- Les Google *Glasses*, des lunettes dotées d'une caméra intégrée et d'un micro qui permettent de se connecter par Wi-Fi ou Bluetooth grâce à des interactions vocales. Les mini-écrans sur les verres affichent des informations en réalité augmentée, des courriels, des textos ou autres ;
- Les montres interactives, qui se synchronisent automatiquement avec le téléphone intelligent. Leur cadran tactile permet de lire les messages importants, de recevoir des notifications, etc...

II.2. Définition de l'IOT :

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

II.3. Les fonctions de l'objet connecté :

L'objet connecté est d'abord un objet qui a une fonction mécanique et/ou électrique propre, il peut soit être conçu directement « connectable », soit il est déjà existant et la connectivité est rajoutée à posteriori. L'objet connecté a pour fonction de collecter des données de capteurs, de traiter ces données et de les communiquer à l'aide de d'une fonction de connectivité et de recevoir des instructions pour exécuter une action. Généralement ces fonctions de l'objet connecté nécessitent une source d'énergie, surtout quand les données sont prétraitées directement dans l'objet²⁷.

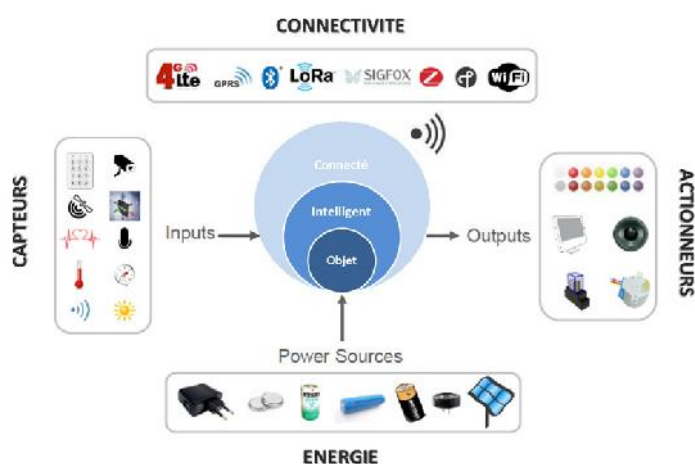


Figure 10 : connexion de l'IOT

II.3.1. Les capteurs :

Les capteurs sont des dispositifs permettant de transformer une grandeur physique observée (température, luminosité, mouvement etc...) en une grandeur digitale utilisable par des logiciels. Il existe une très grande variété de capteurs de tous types, les objets connectés ont souvent la fonction de captation de ces grandeurs physiques sur leurs lieux d'utilisation.

Exemple de capteurs : lumière, présence, proximité, position, déplacement, accélération, rotation, température, humidité, son, vibration, électrique, magnétique, chimique, gaz, flux, force, pression, niveau, ...

II.3.2. Les sources d'énergie :

Les sources d'énergie sont de 4 types : alimentation filaire pour les objets ayant accès à une prise de courant, piles ou batteries pour ceux qui n'y ont pas accès ou de manière occasionnelle (recharge), capteurs d'énergie ou « energyharvesting » (photovoltaïque, piezoélectrique, thermoélectrique, cinétique...) pour rallonger la durée de vie des objets à très faible consommation, et enfin les objets passifs sans piles qui sont alimentés par les ondes électromagnétique des lecteurs (RFID, NFC...).

L'énergie est un des grand défis des objets connectés, tant pour garantir la plus grande durée de vie possible sans maintenance, que pour garantir un respect environnemental malgré la

²⁷Khaldoun AL AGHA : Ingénieur Supélec - Professeur à l'université Paris Sud – Paris Saclay

Chapitre II : L'internet des objets

multiplication des objets connectés énergivores qui envahissent nos espaces personnels et professionnels.

II.3.3. Les actionneurs :

Les actionneurs sont des dispositifs qui transforment une donnée digitale en phénomène physique pour créer une action, ils sont en quelque sorte l'inverse du capteur. Exemple d'actionneurs : Afficheurs, Alarmes, Caméras, Haut-parleurs, Interrupteurs, Lampes, Moteurs, Pompes, Serrures, Vannes, Ventilateur, Vérins, ...

II.3.4. La connectivité :

La connectivité de l'objet est assurée par une petite antenne Radio Fréquence qui va permettre la communication de l'objet vers un ou plusieurs réseaux (qui sont détaillés dans la section « réseaux IoT »). Les objets pourront d'une part remonter des informations telles que leur identité, leur état, une alerte ou les données de capteurs, et d'autre part recevoir des informations telles que des commandes d'action et des données. Le module de connectivité permet aussi de gérer le « cycle de vie de l'objet », c'est-à-dire, l'authentification et l'enregistrement dans le réseau, la mise en service, la mise à jour et la suppression de l'objet du réseau.

II.4. Les normes de l'IOT :

L'enjeu que posent les dispositifs IoT, c'est leur simplicité à laquelle vient se cumuler une mise en œuvre ad hoc involontaire, aggravée si les utilisateurs négligent la question de la sécurité. Bon nombre de ces dispositifs sont des mini-ordinateurs simplifiés, de faible puissance, avec un système d'exploitation compact fondé sur le système Linux largement disponible, que les pirates informatiques connaissent bien. Les dispositifs IoT ont des exigences différentes de celles des autres ordinateurs et lorsque les utilisateurs n'appliquent pas rigoureusement les normes en matière de sécurité, l'IoT devient une cible vulnérable. « Avec l'IoT, comme entre le yin et le yang, tout est une question d'équilibre. Les possibilités sont nombreuses, mais il est impératif de trouver le juste équilibre avec une mise en œuvre rigoureuse et d'accorder beaucoup plus d'attention à la sécurité », observe Coallier.

C'est à ce niveau que les Normes internationales viennent soutenir l'opérabilité et la résilience de l'IoT. Comment peuvent-elles le faire ? La série de normes ISO/IEC 29192, par exemple, définit les techniques applicables en matière de cryptographie pour environnements contraints pour les appareils relativement simples, de faible puissance. Dans l'exemple de l'ampoule, les chercheurs israéliens ont recommandé une technique de sécurité spécifique décrite dans l'ISO/IEC 29192-5, qui spécifie trois fonctions de hachage adaptées aux applications nécessitant des implémentations cryptographiques en environnements contraints. Mais comme c'est le cas dans n'importe quel domaine en cours de développement, nous aurons aussi besoin de nouvelles normes, et c'est précisément le rôle du JTC 1/SC 41, dont le domaine des travaux couvre l'interopérabilité, la sûreté et, avant tout, la sécurité.

Ce sous-comité du JTC 1 a publié à ce jour 18 livrables, axés pour la plupart sur les réseaux de capteurs. Il a également publié des recommandations sous la forme d'un rapport technique ISO/IEC TR 22417, traitant des cas d'usage dans le domaine de l'Internet des objets (IoT), qui fournit un contexte pour les utilisateurs des normes de l'IoT. Ce document aborde des questions importantes telles que les exigences fondamentales, l'interopérabilité et les normes appliquées par les utilisateurs. Plus important encore, les exemples donnés précisent le rôle que les normes existantes ont à jouer et mettent en évidence les domaines où d'autres activités de normalisation sont nécessaires.

Chapitre II : L'internet des objets

II.5. La Motivation :

IoT est devenu une application très importante pratiquement impossible de s'en passer dans le monde d'aujourd'hui (Maison Intelligente, carrefour intelligent, agriculture intelligente, etc...). Ma grande motivation porte sur l'agriculture parce que l'économie de l'Algérie reste dominée par le secteur primaire et notamment par l'agriculture. Mais la production agricole est faible, souffrant à la fois d'un manque d'infrastructure en milieu rural, de rendements faibles trop liés aux variations climatiques. Afin d'avoir une meilleure gestion des besoins des plantes et en accélérer la croissance ou les produire indépendamment des saisons, savoir les soustraire des phénomènes climatiques. En me référant aux multiples avantages d'IoT en agriculture pour la réalisation de ce projet²⁸.

II.6. Le Domaine D'Application :

L'internet offre de nombreuses applications²⁹ à ses utilisateurs. Parmi ces applications nous citons :

II.6.1. Les Villes Intelligentes :

Beaucoup de grandes villes ont été soutenues par des projets intelligents, comme Séoul, New York, Tokyo, Shanghai, Singapour, Amsterdam et Dubaï. Les villes intelligentes (voir Figure 12) peuvent encore être considérées comme des villes de l'avenir et la vie intelligente, et par le taux d'innovation de la création de villes intelligentes d'aujourd'hui, il sera devenu très faisable pour entrer la technologie IoT dans le développement des villes.

La demande exige une planification minutieuse à chaque étape, avec l'appui de l'accord des gouvernements, citoyens à mettre en œuvre la technologie d'Internet des objets dans tous les aspects. Par l'IoT, les villes peuvent être améliorées à plusieurs niveaux, en améliorant les infrastructures, en améliorant les transports....



Figure 11 : Une figure qui représente les constituants d'une ville intelligente

II.6.2. Le Smart Grid :

²⁸ Lee, M., Hwang, J., & Yoe, H. (2013, December). Agricultural Production System Based on IoT. In Computational Science and Engineering (CSE)

²⁹www.matooma.com/fr/definitions/iot

Chapitre II : L'internet des objets

L'un des domaines d'application de l'IoT est le secteur de la distribution d'énergie intelligente, dit « Smart Grid » (voir figure 13). En France, ERDF est très actif dans le développement de ce domaine, où un besoin clair en récupération d'information à différents points du réseau électrique est devenu nécessaire pour une meilleure intégration des différentes sources d'énergies et une meilleure gestion de la distribution jusqu'aux utilisateurs finaux.



Figure 12 : une figure qui représente les constituants d'une smart grid

II.6.3. Les Appareils Intelligents :

Des appareils intelligents (voir figure 14) dans les soins de santé sont utilisés pour stocker et gérer les paramètres de soins clés et pour gérer les données sur les maladies capturées. Ils sont principalement déployés pour fournir des solutions de conditionnement physique en suivant les activités ciblées et des dispositifs de diagnostic utilisés pour stocker des données de dispositifs. Principalement, ils sont utilisés comme des solutions de fitness pour suivi des activités du patient et des appareils de diagnostic intelligents tels que les dispositifs de tension matérielle, les podomètres, Google verre, etc. utilisé pour capturer les données des capteurs, pour une analyse plus approfondie par le médecin.

Chapitre II : L'internet des objets



Figure 13 : une figure qui représente des appareils intelligent

II.6.4. Les Maisons et Les Bâtiments Intelligents :

Les technologies Wi-Fi dans la domotique ont été principalement utilisées pour plusieurs raisons (1) les appareils électroniques tels que les téléviseurs, les appareils mobiles, ... généralement pris en charge cette technologie. Le taux croissant d'adoption de dispositifs informatiques mobiles comme les téléphones intelligents, les tablettes. Les appareils mobiles garantissent que les consommateurs peuvent accéder aux « contrôleurs » des appareils portables connectés à un réseau.

A l'aide du concept de l'internet des objets, les maisons et les bâtiments peuvent exploiter alors de nombreux appareils et objets intelligemment (voir figure 15). Comme un exemple d'application intéressante de l'IoT dans les maisons intelligentes et les bâtiments on trouve : l'éclairage intelligent, le contrôle de l'air et de chauffage central, la gestion de l'énergie et la sécurité. Ainsi, les réseaux de capteurs sans fil (WSN) avec intégration de la technologie de l'internet des objets fourniront une gestion intelligente de l'énergie dans les bâtiments. D'autre part, l'internet avec des systèmes de gestion de l'énergie aussi offre la possibilité d'accéder aux systèmes d'information et de contrôler l'énergie d'un bâtiment par un ordinateur portable ou un smartphone placé n'importe où dans le monde.

Chapitre II : L'internet des objets

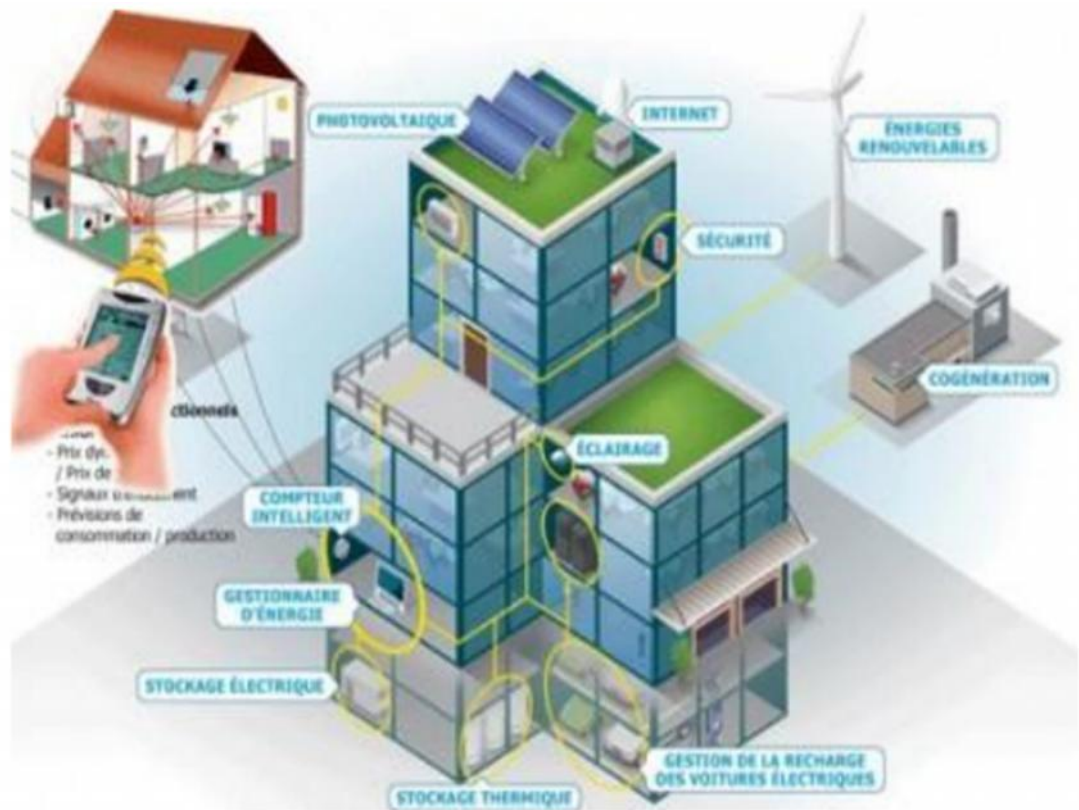


Figure 14 : Une figure qui représente un bâtiment intelligent

II.6.5. Le Système De Santé Electronique :

L'internet des objets a rapidement transformé la prestation de soins. Les équipements et les capteurs sont de plus en plus « intelligents » et génèrent toujours plus de données nécessaires aux équipements médicaux, aux professionnels et profitant ainsi aux patients, en réduisant les coûts et en améliorant leur satisfaction. Les données ainsi collectées facilitent, adaptent, améliorent, anticipent ou réorganisent les soins des patients.

Dans le contexte de généralisation du traitement médical électronique, l'Internet des objets est fondamental. En effet, la conception d'un système intelligent de prise de décision clinique, matérialisé par le stockage des données collectées sur les patients et leur accessibilité universelle, procurerait au médecin un excellent appui durant la phase de traitement (voir figure 16). L'internet des objets trouve donc tout son intérêt dans le domaine médical, et qui aussi peut améliorer le développement dans ce dernier.

Chapitre II : L'internet des objets

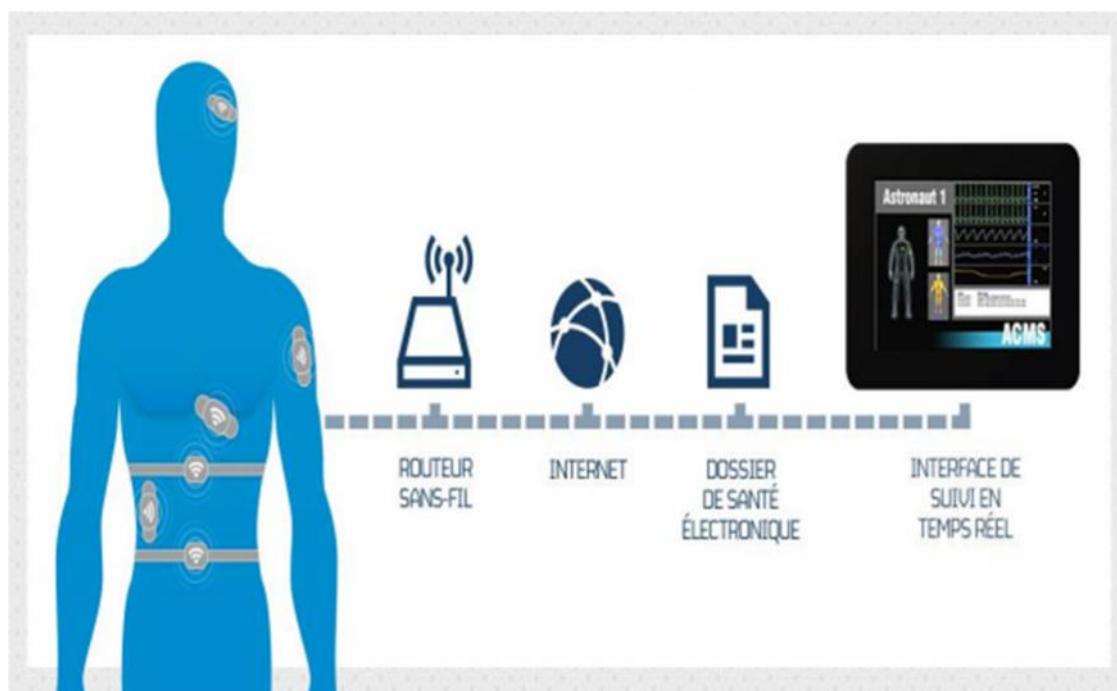


Figure 15 : figure qui représente un système de santé électronique

II.6.6. Le Transport et La Mobilité Intelligent :

Le développement du transport est l'un des facteurs qui indiquent le bien-être de pays. Une application de surveillance de l'état des routes et d'alerte est l'un des applications les plus importantes de l'IoT. Le processus a besoin de l'identification de l'utilisateur et son trajectoire souhaité dans son application sur son téléphonie intelligents.

Le transport intelligent est confronté à trois conceptions principales ils sont l'analyse des transports, le contrôle des véhicules connectés. L'analyse de transport représente l'analyse de la prédiction de la demande et de détection anomalie. Le routage des véhicules et le contrôle de la vitesse en plus de la gestion du trafic sont tous connu comme le contrôle du transport qu'ils ont réellement étroitement lié au véhicules connecté (par la communication V2X), et globalement régie par la diffusion multi-technologie comme montre la figure 17

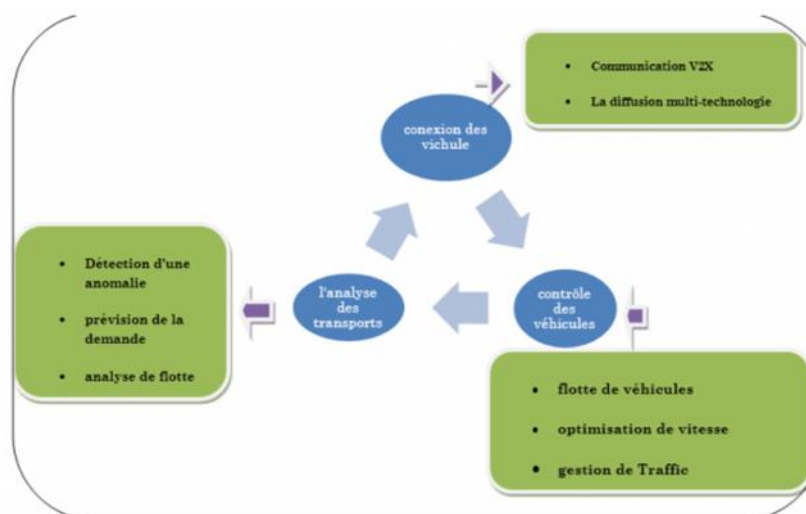


Figure 16 : figure sui représente les aspects de transport intelligent

Chapitre II : L'internet des objets

II.6.7. Les Usines et La Fabrication Intelligente :

L'usine intelligente a ajouté une nouvelle valeur dans la révolution de la fabrication en intégrant l'intelligence artificielle, l'apprentissage automatique et l'automatisation du travail et la communication M2M avec le processus de fabrication. L'usine intelligente va changer fondamentalement, comment les produits sont inventés, fabriqués et expédiés. En même temps, cela améliorera la sécurité des travailleurs et protège l'environnement un faible incident de fabrication. Ces progrès dans la façon dont les machines et autres objets communiquent, et la manière dont la prise de décision passe des humains aux systèmes techniques signifie que la fabrication devient « plus intelligente ». La révolution des industries et de la fabrication est devenue l'une des plus technologies développées de nos jours, la croissance de l'évolution de l'industrie a pris de nombreuses générations. La première génération liée aux machines mécaniques en plus de la puissance de l'eau et du courant. La deuxième génération de l'industrie traite de la production de masse, des chaînes de montage et de l'électricité. Dans la fin du dernier siècle, les industries sont exploitées sous le contrôle des ordinateurs et de l'automatisation qui est reconnu par la troisième génération d'industries. L'industrie intelligente c'est la quatrième génération connue par l'industrie 4.0 est basée sur les systèmes de chiffrement physiques qui est capables de se connecter à Internet. Le concept de l'industrie 4.0 avec l'Internet des objets peut atteindre de grandes attentes pour les accords de résolution des industries avec de nombreux aspects sont illustrés à la figure 18.

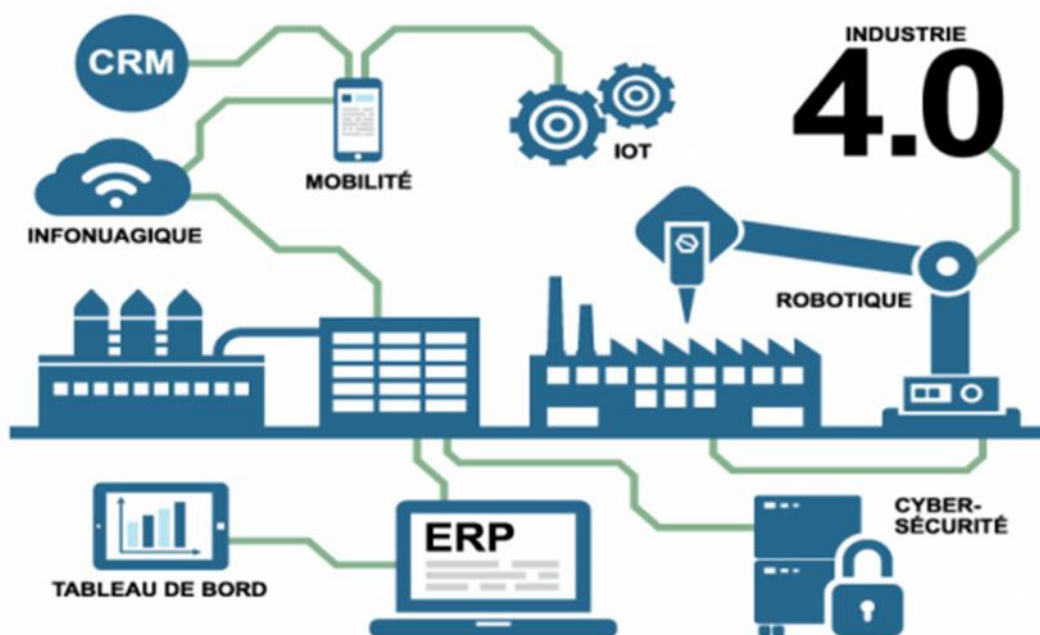


Figure 17 : Figure qui represent un schema de l'industrie 4.0

II.6.8. La Surveillance à Distance Des Patients :

Ce domaine d'application est déployé pour surveiller à distance les paramètres essentiels du patient par l'utilisation de capteurs, de dispositifs et les objets qui les entourent (voir figure 19). En cela, les données critiques du patient sont transmises et partagées en temps réel entre le patient et les soignants. Sa principale pertinence est la gestion des maladies chroniques telles que le diabète, les maladies cardiaques, asthme, etc... (AlokKulkarni, 2014)

Chapitre II : L'internet des objets



Figure 18 : figure qui représente le mécanisme des surveillances distantes des patients

II.6.9. L'agriculture intelligente « smart agriculture » :

Poussée par la démocratisation de l'IoT, l'agriculture vit, elle aussi, sa transformation digitale. Le secteur développe de nouveaux outils pour optimiser la gestion des exploitations agricoles et des récoltes. En effet, la data et les objets connectés permettent aux agriculteurs d'améliorer leur productivité. Le M2M, qui permet de lier les objets, la data et les exploitants, tient alors un rôle central dans le développement de cette « smart agriculture » (voir la figure 20).



Figure 19 : Une figure qui represent une agriculture intelligente

II.7. Les Composants De L'IOT :

Chapitre II : L'internet des objets

Nous avons entendu parler de l'Internet des objets, l'IoT³⁰ qui permet la connexion de nos appareils intelligents et des objets au réseau pour fonctionner efficacement et à distance. Ce point répond à la question : quelles sont les principales composantes de l'Internet des objets ?

Le tableau suivant présente les composants principaux de l'IOT :

COMPOSANTS IOT	DESCRIPTION
Objets physiques	Un objet connecté est un objet physique équipé de capteurs ou d'une puce qui lui permettent de transcender son usage initial pour proposer de nouveaux services. Il s'agit d'un matériel électronique capable de communiquer avec un ordinateur, un smartphone ou une tablette via un réseau sans fil (Wi-Fi, Bluetooth, réseaux de téléphonie mobile, réseau radio à longue portée de type Sigfox ou LoRa, etc.), qui le relie à Internet ou à un réseau local.
CAPTEURS	Ils sont installés sur les es objets connectés, ils sont plus ou moins intelligents, selon qu'ils intègrent ou non eux-mêmes des algorithmes d'analyse de données, et qu'ils soient pour certains auto-adaptatifs. Les capteurs connus sont : Capteurs de température et thermostats, Capteurs de pression, Humidité / niveau d'humidité, Détecteurs d'intensité lumineuse, Capteurs d'humidité, Détection de proximité, Étiquettes RFID....
GENS	Exemple : Les humains peuvent contrôler l'environnement via des applications mobiles
Prestations de service	Exemple : Services Cloud - peuvent être utilisés pour : <ul style="list-style-type: none">• Traiter les Big Data et les transformer en informations précieuses• Construire et exécuter des applications innovantes• Optimiser les processus métier en intégrant les données de l'appareil.
Plateformes	Elle est considérée comme un type d'inter logiciel utilisé pour connecter les composants IoT (objets, personnes, services, etc.) à l'environnement l'IoT. Elle fournit de nombreuses fonctions : <ul style="list-style-type: none">• Accès aux appareils• Assurer une installation / un comportement correct de l'appareil• Analyse des données• Connexion interopérable avec le réseau local, le cloud ou d'autres périphériques.
Réseaux	Les composants IoT sont liés entre eux par des réseaux, utilisant diverses technologies, normes et protocoles sans fil et filaire .

Tableau 7 : Les composants de base d'un système IOT

II.8. Les Défis de l'IOT :

Il y a des défis à l'application de l'Internet des objets de point de vu coût de la mise en œuvre du fait que l'attente de la technologie doit être disponible à faible coût avec un grand

³⁰www.nomosense.com/quest-ce-que-linternet-des-objets-internet-of-things-iot

Chapitre II : L'internet des objets

nombre d'objets. De plus, l'IoT sont également face à de nombreux autres défis qui se résument dans cinq sous sections suivantes.

II.8.1. La Découverte Automatique :

Dans les environnements dynamiques les services appropriés pour les objets doivent être identifiés automatiquement. Ceci nécessite des moyens sémantiques appropriés pour décrire leur fonctionnalité afin de les exploiter d'une manière efficace.

II.8.2. L'Interopérabilité :

Chaque type d'objets intelligents dans l'Internet des objets possède différentes capacités de stockage d'information, de traitement et de communication. Différents objets intelligents seraient également soumis à des conditions différentes telles que la disponibilité de l'énergie et les besoins en bande passante de communications. A cet effet, pour faciliter la communication et coopération de ces objets, des normes communes sont requises.

II.8.3. La Sécurité et La Confidentialité :

Les aspects de sécurité et de protection d'Internet tel que la confidentialité des communications, l'intégrité des messages ainsi que l'authenticité et la fiabilité de partenaires de communication doivent être assurés dans un environnement IoT à titre d'exemple dans certains cas il y a un besoin d'accéder à certains services pour accomplir une tâche ou d'empêcher de communiquer avec d'autres objets dans le IoT pour des raisons préventives de sécurité. De plus, d'autres exigences selon la particularité du domaine d'application, doivent être aussi considérées comme par exemple dans les transactions commerciales des objets intelligents doivent être protégés des yeux des concurrents.

II.8.4. La Tolérance Aux Pannes :

Les objets dans IOT sont beaucoup plus dynamiques et mobiles que les ordinateurs Internet, et dans un changement rapide et de manière inattendue. Pour structurer Internet des objets d'une manière robuste et digne de confiance on utilise la redondance en plusieurs niveaux pour l'adaptation automatique au changement de conditions.

II.8.5. L'Auto-Organisation :

Les objets intelligents ne devraient pas être gérés comme des ordinateurs qui nécessitent leurs utilisateurs pour les configurer et les adapter à des situations particulières. Les objets mobiles, qui sont souvent utilisés de façon sporadique, doivent établir spontanément des liens et pouvoir être organisés et configurés par eux-mêmes en fonction de leur environnement d'exécution³¹.

II.9. Importance IOT en Agriculture :

Certains avantages de l'utilisation de l'IOT en agriculture sont présentés ci-dessous

- Conservation de l'eau
- Augmentation de la production
- Augmentation de la qualité de la production
- Coûts d'exploitation réduits • Amélioration de l'élevage
- Réduction de l'empreinte environnementale

³¹Zeinab Kamal ,2017

Chapitre II : L'internet des objets

- Données en temps réel et aperçu de la production
- Surveillance et le contrôle à distance³²

II.9. Conclusion :

Dans ce chapitre on a présenté une étude détaillée sur l'internet des objets, sa définition leurs domaine d'application. Puis les principaux composant de IoT, et ses défis. Parmi les défis majeurs de l'IOT c'est la tolérance aux fautes qui est l'une des techniques assurant la sûreté de fonctionnement

³² Elhadi Yahia Kazuz, Jennifer Smolak

Chapitre III :
Généralité sur le système
Arduino, capteurs et les
logiciels utilisés

chapitre III : Généralité sur le système arduino, capteurs et les logiciels utilisés

III.1. Système ARDUINO :

III.1.1. Introduction :

Les cartes Arduino³³ sont conçues pour réaliser des prototypes et des maquettes de cartes électroniques pour l'informatique embarquée. Ces cartes permettent un accès simple et peu coûteux à l'informatique embarquée. De plus, elles sont entièrement libres de droit, autant sur l'aspect du code source (Open Source) que sur l'aspect matériel (Open Hardware). Ainsi, il est possible de refaire sa propre carte Arduino dans le but de l'améliorer ou d'enlever des fonctionnalités inutiles au projet.

Le langage Arduino se distingue des langages utilisés dans l'industrie de l'informatique embarquée de par sa simplicité. En effet, beaucoup de bibliothèques et de fonctionnalités de base occulte certains aspects de la programmation de logiciel embarquée afin de gagner en simplicité. Cela en fait un langage parfait pour réaliser des prototypes ou des petites applications dans le cadre de hobby

Le système Arduino permet de :

- Contrôler les appareils domestiques
- Fabriquer votre propre robot
- Faire un jeu de lumières
- Communiquer avec l'ordinateur
- Télécommander un appareil mobile (modélisme) Etc...

• ³³Les bases de la programmation sur ARDUINO, Benjamin Févrat, 17/10/2016
Disponible sur : www.supinfo.com

Chapitre III : Généralité sur le système arduino, capteurs et les logiciels utilisés

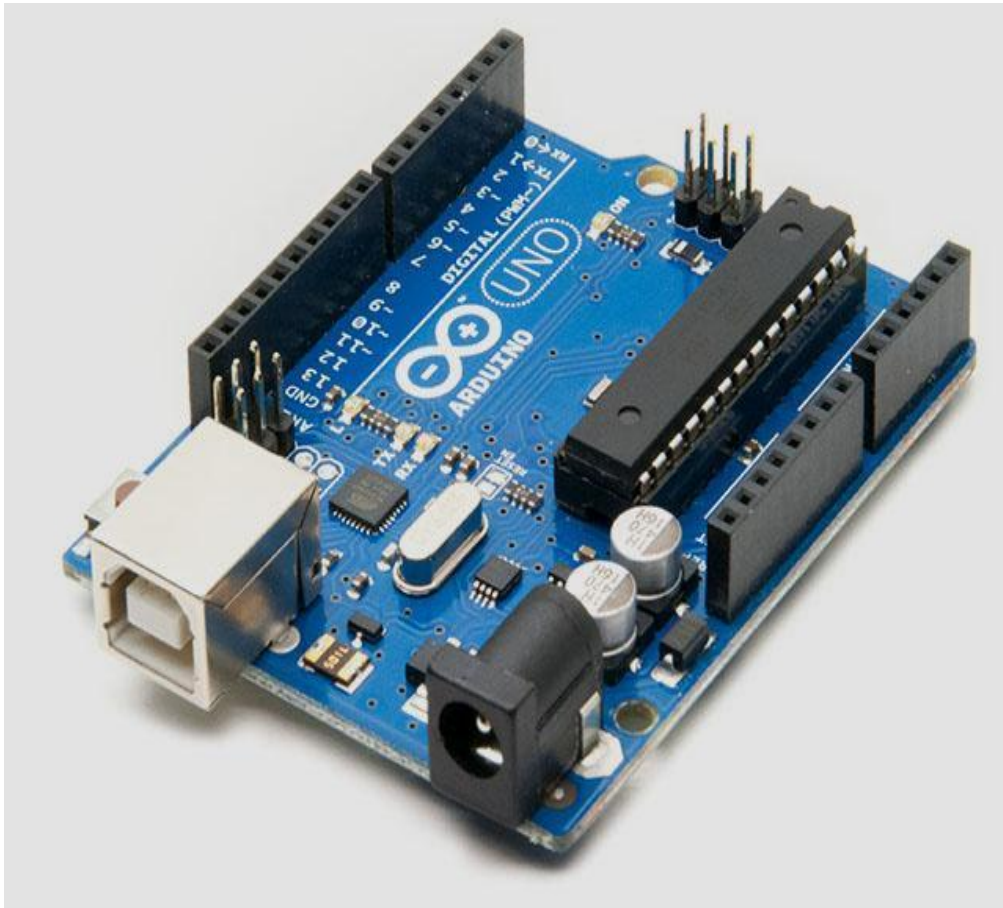


Figure 20 : La carte Arduino UNO

III.1.2. Présentation générale :

Arduino est une gamme de circuits électroniques open source basés pour la plupart sur un microcontrôleur du fabricant Atmel. Ces circuits intègrent les composants nécessaires pour permettre une utilisation rapide et simple du microcontrôleur. Cette simplification vise à rendre accessibles à tous la création et la programmation d'objets ou dispositifs interactifs.

Ces objets peuvent contenir toutes sortes de capteurs, d'indicateurs lumineux ou d'interrupteurs que l'on souhaite faire intervenir.

Entre autres, les cartes Arduino sont équipées de connecteurs standardisés pour brancher des modules compatibles appelés shields. Ces derniers sont des circuits d'une taille plus ou moins semblable à celle de l'Arduino et qui viennent s'empiler sur ces connecteurs. Ils proposent des extensions matérielles qui permettent d'ajouter des fonctionnalités originales à son projet.

chapitre III : Généralité sur le système arduino, capteurs et les logiciels utilisés

En plus de ces connecteurs, les cartes possèdent toutes une connectique USB permettant de programmer facilement le microcontrôleur qu'elles embarquent.

III.1.3. Description technique :

Comme énoncé précédemment, il existe beaucoup de cartes Arduino différentes, mais elles possèdent toutes des éléments en commun.

III.1.3.1. Alimentation :

Le microcontrôleur présent en général sur les cartes Arduino est alimenté par une tension de 5V. En fonction du modèle de la carte, cette tension peut être fournie soit par une des prises d'alimentation présentes sur la carte, soit par la prise USB utilisée pour la connecter à un ordinateur. La valeur de la tension à fournir sur une des prises d'alimentation doit être comprise entre 7 et 12V mais cette tension n'a pas besoin d'être stabilisée en raison de la présence d'un régulateur de tension sur la carte.

Raccorder la branche positive de son alimentation à cette broche, comme on le ferait pour une pile, et la branche négative sur une broche GND.

III.1.3.2. Horloge :

L'horloge détermine la fréquence ou la rapidité à laquelle les instructions seront exécutées par le microcontrôleur. Cette vitesse peut varier d'un microcontrôleur à l'autre et est exprimée en hertz(Hz). Si les PC et Mac peuvent atteindre des fréquences de plusieurs gigahertz, la fréquence est en revanche beaucoup plus faible pour les microcontrôleurs, avec des fréquences de quelques mégahertz seulement. Cette fréquence est déterminée par un oscillateur à quartz ou résonateur céramique.

III.1.3.3. Reset :

La reset est une fonction physique permettant au microcontrôleur, comme son nom l'indique, de réinitialiser son état. Un microcontrôleur exécute en effet les instructions contenues dans sa mémoire de manière cyclique et infinie. Il n'est ainsi pas rare, notamment lors de la conception de son circuit et infinie. Il n'est ainsi pas rare, notamment lors de la conception de son circuit, que le programme soit soumis à une erreur bloquant le bon déroulement du programme.

Chapitre III : Généralité sur le système arduino, capteurs et les logiciels utilisés

III.1.3.4. Entrées/sorties :

Les entrées et sortie sont les moyens que possède le microcontrôleur pour communiquer avec le monde extérieur. Typiquement, on appelle entrées / sorties les pattes métalliques qui donnent cette forme familière aux puces électroniques. Ces pattes reçoivent ou émettent des signaux logiques qui peuvent alors être interprètes par le microcontrôleur ou d'autres circuits.

On peut ranger ces broches par catégorie suivant leur fonctionnalité :

- Les broches digitales : ces broches fournissent des données digitales sous forme de signaux logiques. Elles ne peuvent donc contenir que deux valeurs, un 0 logique correspondant à une absence de tension et une logique correspondant à une tension de 5V.

- Les broches analogiques : ces broches ne fonctionnent qu'en entrée, c'est-à-dire qu'elles ne servent qu'à la lecture de données. Elles acceptant des tensions comprises entre 0 et 5V. ces tensions sont ensuite utilisées par un convertisseur analogique/numérique qui s'occupe de traduire ces valeurs physiques en données numériques sur 10 bits, soit des données comprises entre 0 et 1023.

- Les broches d'alimentation : ces broches servent à alimenter des sheilds ou circuits externes.

Elles permettent également d'alimenter la carte Arduino sans passer par la prise jack présente sur certains modèles.

- Les broches de communication : il existe trois ports de communication sur la carte Arduino : le port série, le port I²C et le port SPI. Ces ports ne disposent pas de broches dédiées à leur fonctionnement. Ils partagent en revanche leur fonctionnalité avec d'autres broches.

III.1.3.5. Mémoire :

Les microcontrôleurs ATmega dont sont équipées la plupart des cartes Arduino disposent de trois types de mémoires : la mémoire flash, la SRAM (staticRandom Access

Memory ou mémoire vive statique) et le EEPROM (Electrically-Erasable Programmable

Read- Only Memory ou mémoire morte effaçable électriquement et reprogrammable).

- Le matériel

Il s'agit d'une carte électronique basée autour d'un microcontrôleur Atmega du fabricant Atmel, dont le prix est relativement bas pour l'étendue possible des applications.

chapitre III : Généralité sur le système arduino, capteurs et les logiciels utilisés



Figure 21 : Carte ARDUINO

III.1.4. Types de cartes Arduino :

Il existe plusieurs types³⁴ de cartes Arduino, nous citons :

❖ ArduinoUno

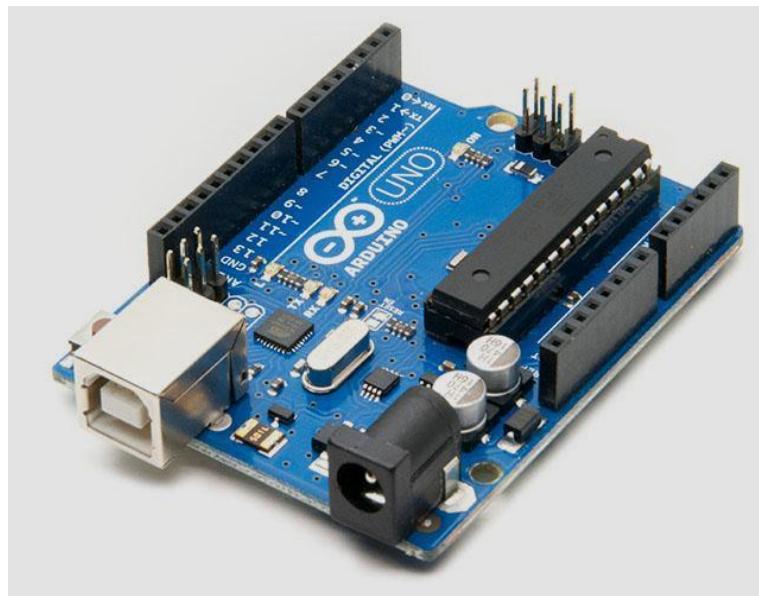


Figure 22 : Arduino UNO

❖ Arduino Méga

³⁴Les différents types d'ARDUINO, Mathieu Dumont ; 13/01/2017 Disponible sur : <http://blewando.dlinkdns.com>

chapitre III : Généralité sur le système arduino, capteurs et les logiciels utilisés

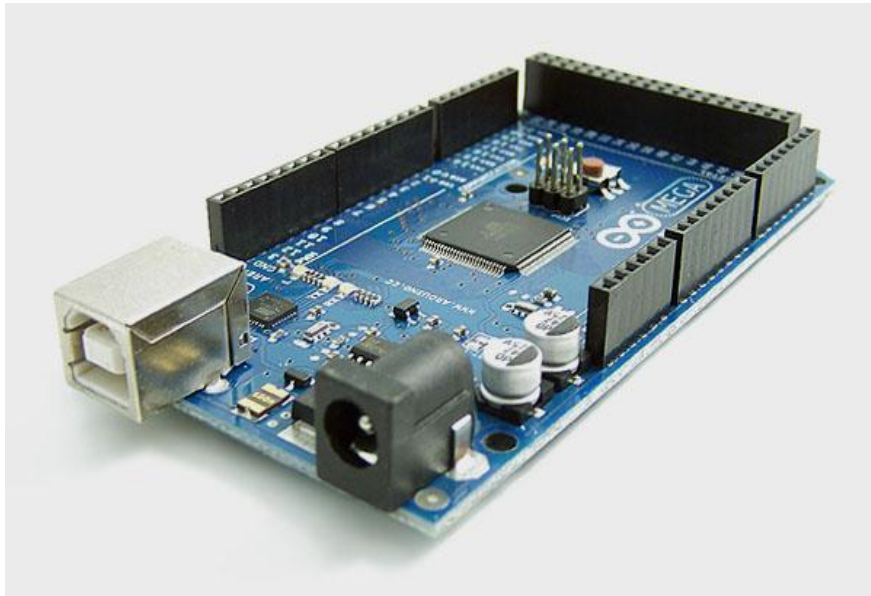


Figure 23 : Arduino Méga

❖ Arduino Nano

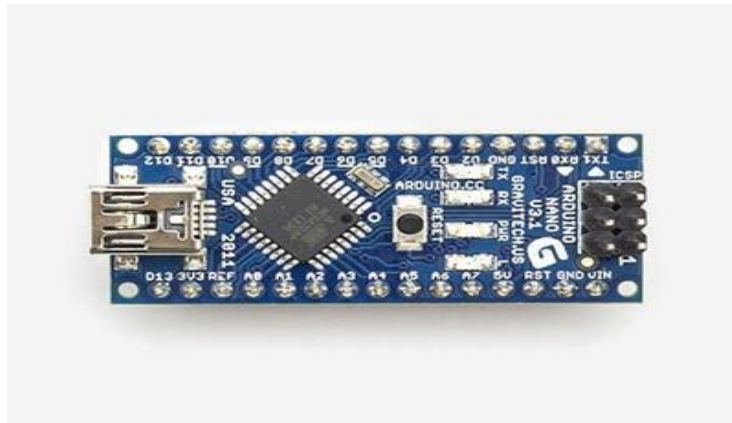


Figure 24 : Arduino Nano

❖ Arduino Yun



chapitre III : Généralité sur le système arduino, capteurs et les logiciels utilisés

Figure 25 : Arduino Yun

❖ Arduino Leonardo

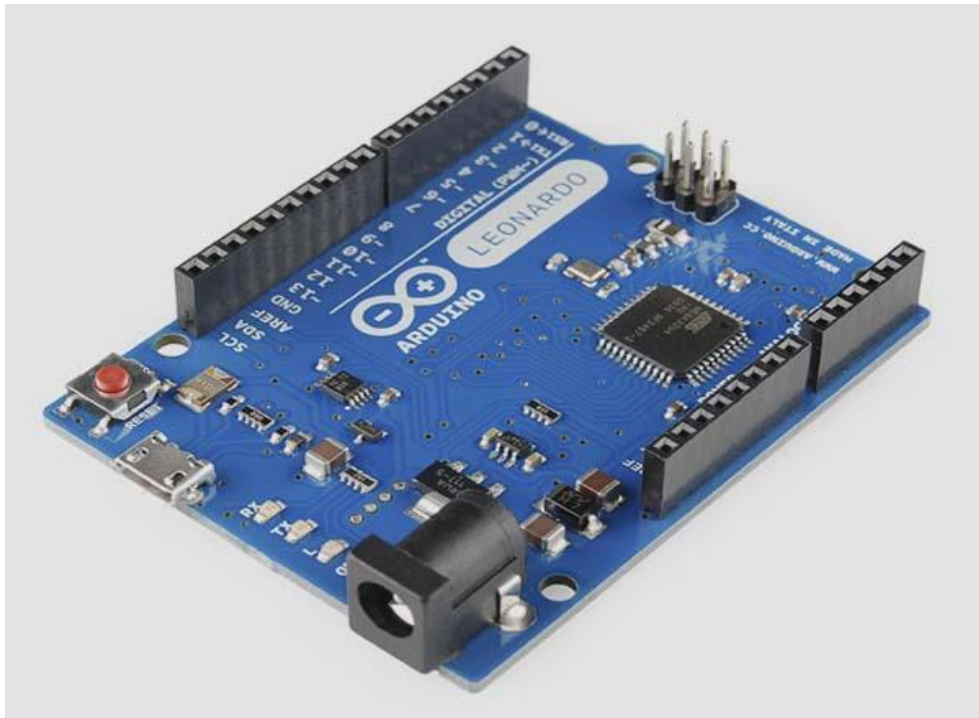


Figure 26 : Arduino Leonardo

❖ RedBoard



Figure 27 : RedBoard

chapitre III : Généralité sur le système arduino, capteurs et les logiciels utilisés

III.1.5. La carte Arduino Uno :

III.1.5.1. Présentation :

La carte ArduinoUno est le produit populaire parmi les cartes Arduino. Parfaite pour débiter la programmation Arduino, elle est constituée de tous les éléments de base pour construire des objets d'une complexité relativement faible.

La carte ArduinoUno, comme son nom l'indique, a été la première à utiliser la version de programmation Arduino 1.0, et elle est devenue le symbole de l'univers Arduino.

La carte ArduinoUno est constituée de 14 broches d'entrées/sorties digitales, dont six sont utilisables en PWM, de 6 broches d'entrées analogiques, d'une connectique USB, d'une connectique d'alimentation, d'un port ICSP et d'un bouton RESET.

La description de toutes les connectiques de la carte Arduino UNO est présentée dans les deux images ci-dessous :

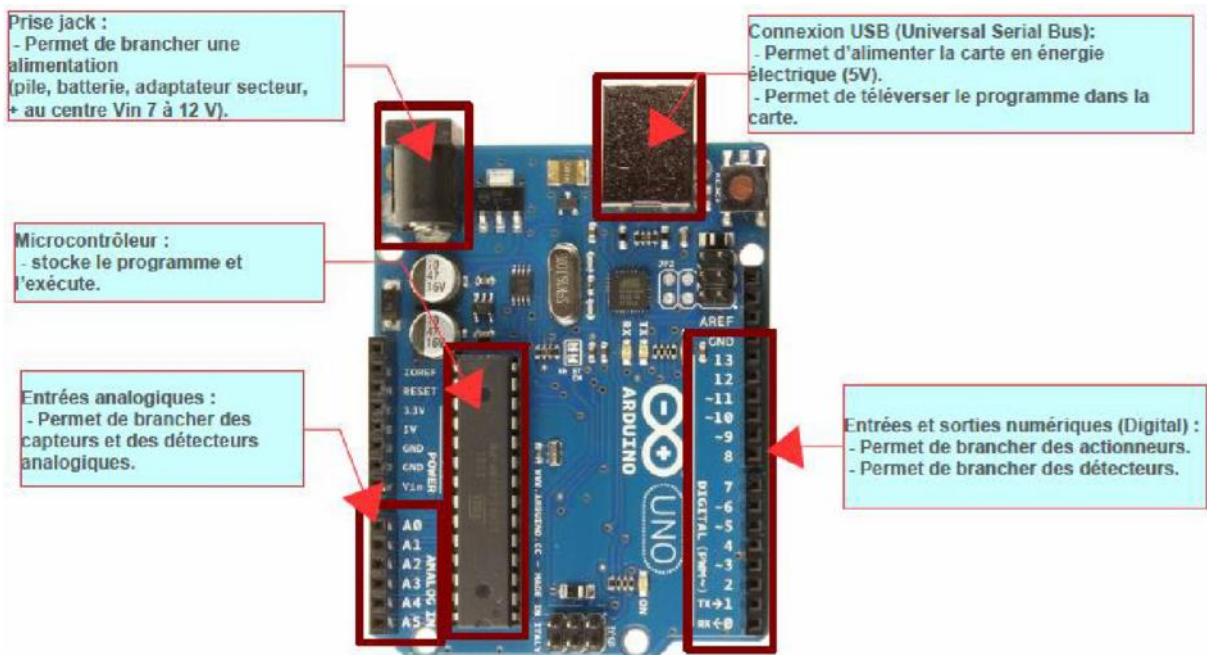


Figure 28 : Description des entrées/sorties de la carte ArduinoUno

Chapitre III : Généralité sur le système arduino, capteurs et les logiciels utilisés

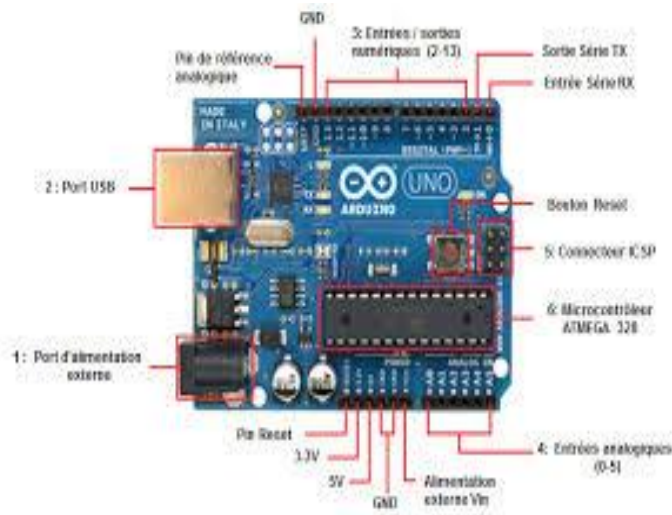


Figure 29 : Zoom sur la carte ArduinoUno

III.1.5.2. Ces avantages :

- Pas cher !
- Environnement de programmation clair et simple.
- Multiplateforme : tourne sous Windows,
- Nombreuses bibliothèques disponibles avec diverses fonctions implémentées.
- Logiciel et matériel open source et extensible.
- Nombreux conseils, tutoriaux et exemples en ligne (forums, site perso etc....)
- Existence de « shield » (boucliers en français) : ce sont des cartes supplémentaires qui

se connectent sur le module Arduino pour augmenter les possibilités comme par exemple : afficheur graphique couleur, interface ethernet, GPS, etc...

Par sa simplicité d'utilisation, Arduino est utilisé dans beaucoup d'applications comme l'électronique industrielle et embarquée, le modélisme, la domotique mais aussi dans des domaines différents comme l'art contemporain ou le spectacle !

III.2. Capteurs :

III.2.1. Introduction :

Les capteurs sont des composants de la chaîne d'acquisition dans une chaîne fonctionnelle, Les capteurs prélèvent une information sur le comportement de la partie opérative et la transforment en une information exploitable par la partie commande.

Chapitre III : Généralité sur le système arduino, capteurs et les logiciels utilisés

Une information est une grandeur abstraite qui précise un événement particulier parmi un ensemble d'événements possibles. Pour pouvoir être traitée, cette information sera portée par un support physique, on parlera alors de signal, Les signaux sont généralement de nature électrique ou pneumatique.

On peut caractériser les capteurs selon deux critères :

✓ En fonction de la grandeur mesurée, on parle alors de capteurs de température, de vitesse, d'humidité, Etc.

On peut alors classer les capteurs en deux catégories, les capteurs à contact qui nécessitent un contact direct avec l'objet à détecter et les capteurs.

L'étendue de la mesure : c'est la différence entre le plus petit signal détecté et le plus grand perceptible sans risque de destruction pour le capteur.

La sensibilité : c'est la plus petite variation d'une grandeur physique que peut détecter un capteur.

La rapidité : c'est le temps de réaction d'un capteur entre la variation de la grandeur physique qu'il mesure et l'instant où l'information prise en compte par la partie commande.

La précision : c'est la capacité de répétabilité d'une information, d'une vitesse, ...

III.2.2. Définition d'un capteur :

Un capteur est un dispositif électronique qui transforme une grandeur physique en une grandeur électrique mesurable, qui peut être interprétée par un dispositif de contrôle commande.

III.2.3. Capteur Ultrasons :

III.2.3.1. Description :

Le capteur infrarouge peut être utilisé comme capteur de contact. On fait une mesure avec la led infrarouge éteinte et une avec la led infrarouge allumée. S'il n'y a aucun obstacle proche, la valeur lue est la même. Sinon, l'obstacle aura réfléchi la lumière infrarouge et la deuxième mesure donnera un résultat plus élevé.

Le capteur infrarouge peut aussi être utilisé en capteur de distance en mesurant l'angle avec lequel le rayon réfléchi arrive sur le récepteur. En fonction de la distance entre l'émetteur et le récepteur, on peut en déduire la distance de l'obstacle.

Chapitre III : Généralité sur le système arduino, capteurs et les logiciels utilisés

III.2.3.2. Principe de fonctionnement de capteur ultrasons :

Un capteur à ultrasons³⁵ émet à intervalles réguliers de courtes impulsions sonores à haute fréquence. Ces impulsions se propagent dans l'air à la vitesse du son. Lorsqu'elles rencontrent un objet, elles se réfléchissent et reviennent sous forme d'écho au capteur. Celui-ci calcule alors la distance le séparant de la cible sur la base du temps écoulé entre l'émission du signal et la réception de l'écho.

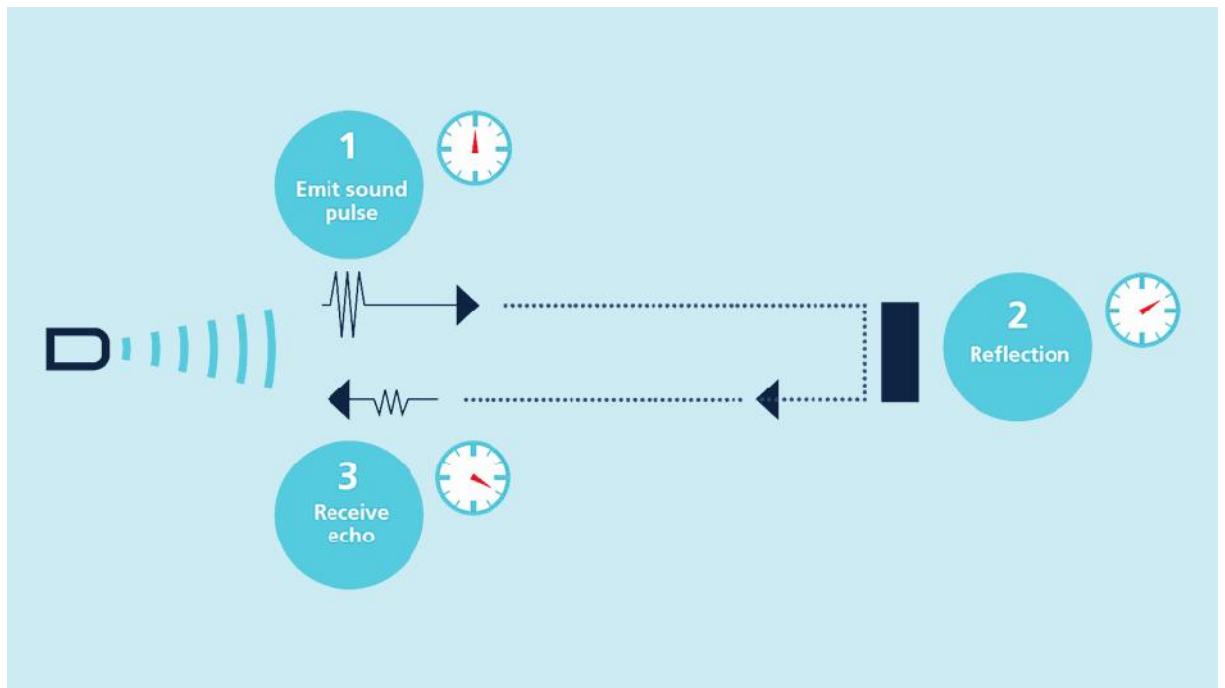


Figure 30 : Le principe des ultrasons

La distance étant déterminée par le temps de propagation des ultrasons et non par leur intensité, les capteurs à ultrasons conviennent parfaitement à une suppression d'arrière-plan.

Pratiquement tous les matériaux qui reflètent le son peuvent être détectés et ce, quelle que soit leur couleur. Même les matériaux transparents ou les feuilles minces ne représentent aucun problème pour un capteur à ultrasons.

Les capteurs à ultrasons micro-sonic sont disponibles pour des portées de 20 mm à 10 m et, du fait même de leur principe, donnent la valeur mesurée au millimètre près. Certains capteurs peuvent même atteindre une précision de 0,025 mm.

Les capteurs à ultrasons peuvent voir à travers l'air chargé en poussières et les brouillards d'encre. Même les dépôts minces sur la membrane du capteur ne nuisent pas à son fonctionnement.

- ³⁵Le fonctionnement et la technologie des détecteurs à ultrasons, Baumer Passions For Sensor Disponible sur : www.baumer.com

chapitre III : Généralité sur le système arduino, capteurs et les logiciels utilisés

Les capteurs avec une zone morte de seulement 20 mm et un faisceau extrêmement étroit trouvent aujourd'hui des applications inédites : mesure du niveau de remplissage des orifices de plaques d'analyses ou de tubes à essai, ainsi que la détection des petites bouteilles dans l'industrie de l'emballage. Ils peuvent être mis en œuvre avec facilité. Même les fils minces sont détectés de manière fiable.

III.2.4. Capteur de température et d'humidité DHT11 :

C'est un capteur de Température et d'Humidité très apprécié pour sa simplicité de mise en œuvre et son coût peu élevé. Il ne requiert qu'une résistance de tirage et une alimentation 3V ou 5V pour fonctionner. Sa programmation est facile à l'aide des bibliothèques Arduino,

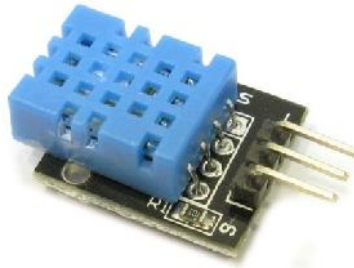


Figure 31 : DHT11

Le module numérique DHT11³⁶ délivre et reçoit un signal digital sur une entrée/sortie série unique. Ses deux capteurs analogiques sont une résistance qui détermine le taux d'humidité et une thermo-résistance de type NTC (Negative Temperature Coefficient) afin de mesurer la température.

La calibration du module est faite en usine et les paramètres sont sauvés dans une mémoire OTP (One Time Programming, comme celle vue en TD de PeiP1 sur les diodes). Le lien entre l'arduino et les capteurs est assuré par un microcontrôleur 8 bits. Une communication avec le module s'effectue sur 40 bits et dure typiquement 4ms.

III.2.4.1. Caractéristiques de DHT11 :

Alimentation : 3-5.5V DC

Signal de Sortie : Signal Numérique via single-bus

³⁶www.carnetdumaker.net/articles/utiliser-un-capteur-de-temperature-et-dhumidite-dht11-dht22-avec-une-carte-arduino-genuino

chapitre III : Généralité sur le système arduino, capteurs et les logiciels utilisés

Capteur : Résistance Polymère

Plage de Mesure : Humidité : 20-90%RH ; Température : 0-50°C

Précision : Humidité +-4%RH (Max +-5%RH) ; Température +-2.0°C

Résolution : Humidité 1%RH ; Température 0.1°C

Hystérésis +-1%RH

Stabilité +-0.5%RH/an

Période de mesure : 2s

Dimensions : 12x15.5x5.5

III.2.5. Capteur d'hygrométrie des sols :

III.2.5.1. Description :

Le capteur d'humidité³⁷, selon les modèles (qui peuvent différer un peu d'un fournisseur à l'autre), peut être simple, comme représenté précédemment (c'est le cas du capteur de la marque Sparkfun), ou amplifié, comme sur la photo précédente (dans ce cas, un petit circuit intermédiaire se charge d'améliorer le signal avant de le transmettre au microcontrôleur). Dans les deux cas, sont disponibles sur les bornes du capteur une borne VCC qui sera reliée au 5 V de l'Arduino, une borne GND reliée à la masse, et une borne SIG ou A0 qui sera reliée à l'entrée analogique 0 de l'Arduino. Un capteur de ce type se contente en fait de mesurer la résistance du sol dans lequel il est planté : un sol humide est plus conducteur qu'un sol.

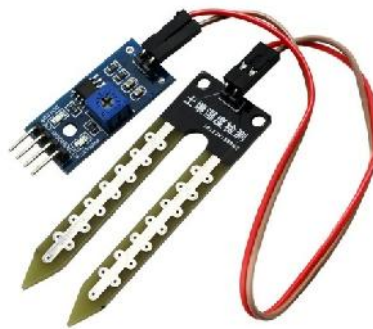


Figure 32 : AVR My05489

³⁷www.sdec-france.com/mesure-humidite-volumique-des-sols-theorie.html

chapitre III : Généralité sur le système arduino, capteurs et les logiciels utilisés

III.2.5.2. Caractéristiques techniques :

Ceci est un capteur d'humidité simple qui peut être utilisé pour détecter lorsque qu'un sol est en déficit d'eau (niveau haut) et vice versa (niveau bas). Ce module peut être utilisé pour réaliser des systèmes d'arrosage automatique.

La sensibilité de ce module est ajustable via un potentiomètre numérique (En bleu sur la photo)

Tension de fonctionnement : 3,3V-5V

Module avec 2 sorties : Une analogique et une numérique. La sortie numérique est plus précise.

Le module comprend des perçages pour faciliter la fixation.

Taille du PCB : 3cm * 1.6cm

Indicateur de tension (LED rouge) and Indicateur de sortie numérique (LED verte)

Le comparateur est basé sur un LM393 (très stable)

Description des entrées / sorties

VCC : .3 V-5V

GND : GND

DO : digital output interface (0 ou1)

AO:Analog Output Interface

III.3. Module ESP8266 :

III.3.1. Définition :

ESP8266³⁸ est un SOC (system on a chip) wifi produit par EspressifSystems. Il s'agit d'une puce hautement intégrée conçue pour fournir une connectivité Internet complète dans un petit boîtier.

L'ESP8266 peut être utilisé comme un module Wifi externe, en utilisant le firmware standard AT Command set en le connectant à n'importe quel microcontrôleur à l'aide de l'UART série, ou servir directement de microcontrôleur compatible Wifi, en programmant un nouveau firmware à l'aide du SDK fourni.

³⁸archive.fabacademy.org/archives/2016/doc/networking-esp8266.html

chapitre III : Généralité sur le système arduino, capteurs et les logiciels utilisés

Les broches GPIO permettent des entrées/sorties analogiques et numériques, plus PWM, SPI, I2C, etc.

Cette carte existe depuis près d'un an maintenant, et a été utilisée principalement dans des contextes IoT, où nous voulons ajouter de la connectivité par exemple à un projet Arduino. Une large adoption a été facilitée par le prix très modeste, allant de 2,50 à 10 USD selon les fonctionnalités proposées par les fabricants.

Quelques exemples de projets :

Enregistrement de la température et interface Web

Navigateur Web rétro

Détecteur de fumée avec accès Interne

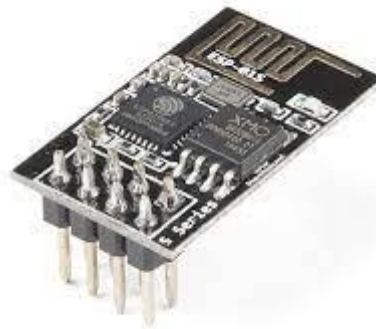


Figure 33 : Module ESP8666 ou ESP-01

III.3.2. Caractéristiques techniques :

802.11 b / g / n

Wi-Fi Direct (P2P), soft-AP

Pile de protocoles TCP / IP intégrée

Commutateur TR, balun, LNA, amplificateur de puissance et réseau d'adaptation intégrés.

PLL intégré, régulateur de tension et composants de gestion de l'alimentation

Mode 802.11b + puissance de sortie de 19,5dBm

Capteur de température intégré

Supporte la diversité d'antenne

Courant de fuite hors tension inférieur à 10uA

Chapitre III : Généralité sur le système arduino, capteurs et les logiciels utilisés

Processeur 32 bits à faible consommation intégré : peut être utilisé comme processeur d'application.

SDIO 2.0, SPI, UART

STBC, 1×1 MIMO, 2×1 MIMO

Agrégation A-MPDU, A-MSDU et le réveil 0,4 Within

2ms, se connecter et transférer des paquets de données

Consommation d'énergie en mode veille inférieure à 1,0 mW (DTIM3)

III.4. Logiciels :

III.4.1. Logiciels ARDUINO :

Le logiciel³⁹ permet de programmer la carte Arduino, Il offre une multitude de Fonctionnalités. Le langage Arduino est inspiré de plusieurs langages. Le langage impose une structure particulière typique de l'informatique embarquée.

Le programme est lu par le microcontrôleur de haut vers le bas.

Une variable doit être déclarée avant d'être utilisée par une fonction.

La structure minimale est constituée :

- En tête : déclaration des variables, des constantes, indication de l'utilisation de Bibliothèques
- Un setup (= initialisation) cette partie n'est lue qu'une seule fois, elle comprend les fonctions devant être réalisées au démarrage (utilisation des broches en entrées ou en sortie, mise en marche du midi, du port série de l'I2C etc....)

- Une loop (boucle) : cette partie est lue en boucle ! C'est ici que les fonctions sont réalisées.

En plus de cette structure minimale, on peut ajouter :

- Des « sous-programmes » ou « routines » qui peuvent être appelées à tout moment dans la boucle, très pratiqué pour réaliser des morceaux de codes répétitifs.

- Des « callbacks », ce sont des fonctions qui sont rappelées automatiquement depuis une bibliothèque.

³⁹Programmation Arduino: présentation pour les débutants, Toxnico, 07/05/2018
Disponible sur : <https://putaindecode.io>

chapitre III : Généralité sur le système arduino, capteurs et les logiciels utilises

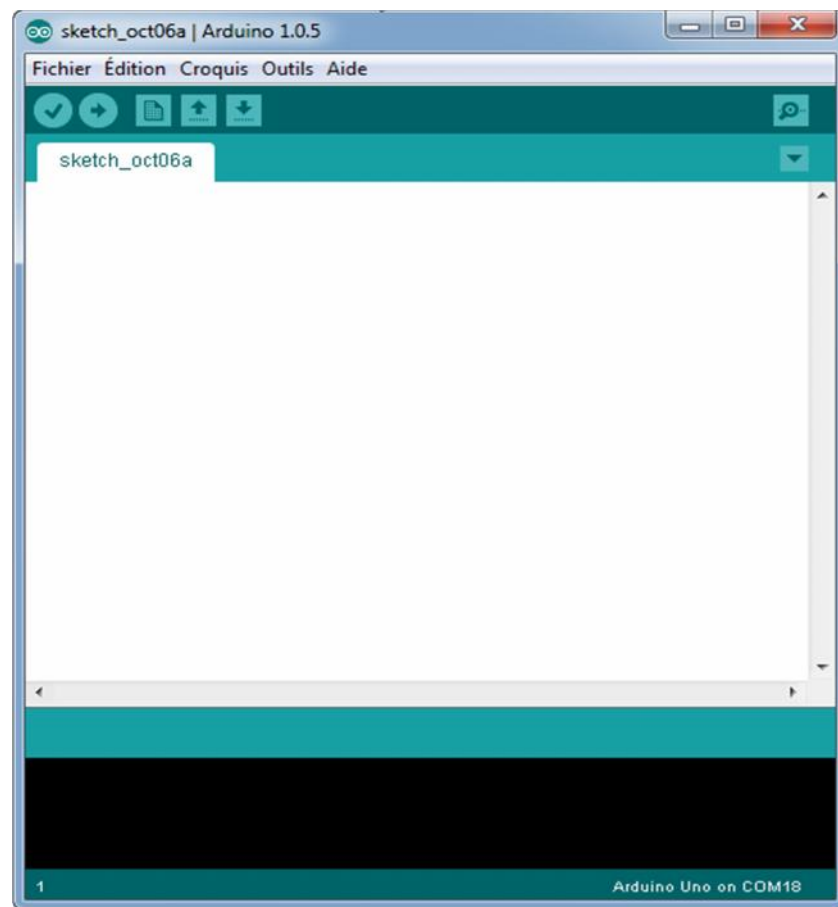


Figure 34 : Photo d'un logiciel Arduino

L'interface du logiciel Arduino se présente de la façon suivante :

Chapitre III : Généralité sur le système arduino, capteurs et les logiciels utilisés

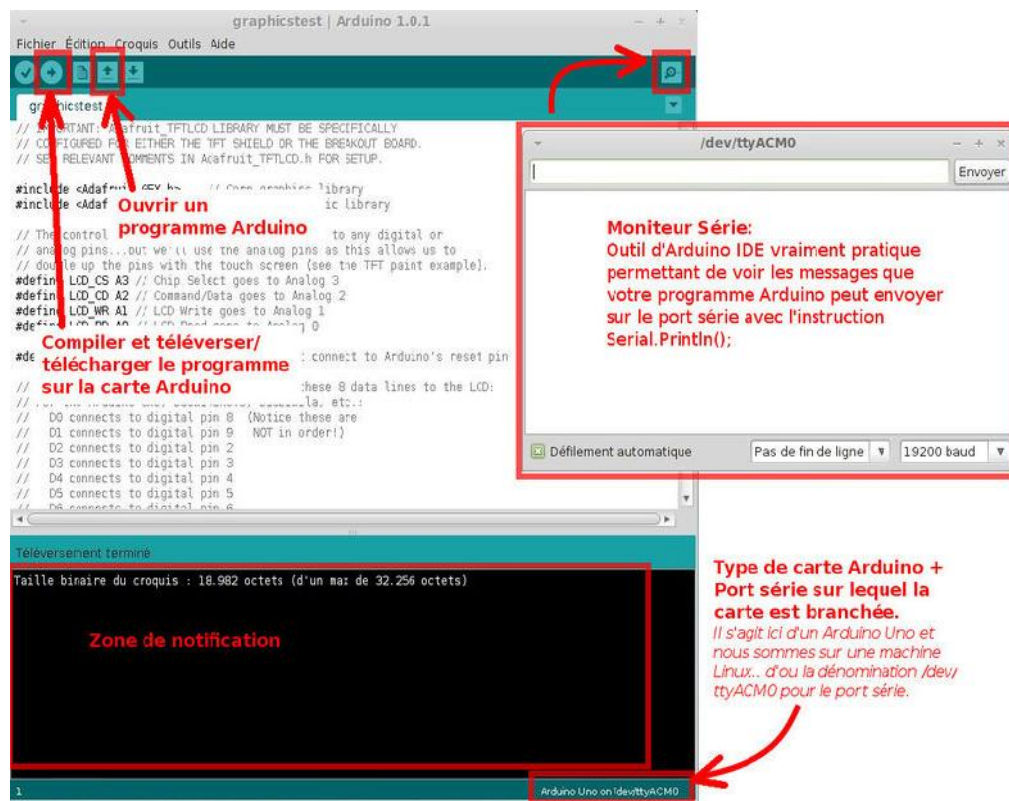


Figure 35 : Interface de logiciel Arduino

III.4.2. Logiciel XAMPP :

III.4.2.1. Description :

XAMPP⁴⁰ est un ensemble de logiciels servant à mettre en place aisément un serveur Web, un serveur FTP et un serveur de messagerie électronique. C'est une distribution de logiciels libres (X Apache MySQL Perl PHP) offrant une bonne souplesse d'utilisation, reconnue pour son installation simple et rapide. Ainsi, il est à la portée de la plupart de personnes dans la mesure où il ne requiert pas de connaissances spécifiques et fonctionne, qui plus est, sur les dispositifs d'exploitation les plus communs.

Il est distribué avec différentes bibliothèques logicielles qui élargissent la palette des services de façon notable : OpenSSL, Expat (parseur XML), PNG, SQLite, zlib, ... mais aussi différents modules Perl et Tomcat. Bon nombre de personnes critiquent la quantité d'extensions ajoutées qui sont pour la majorité inutiles aux débutants. Une version lite a donc été mise en place.

⁴⁰www.encyclopedie.fr/definition/Xampp

chapitre III : Généralité sur le système arduino, capteurs et les logiciels utilises

III.4.2.2. Les composants de XAMPP :

XAMPP a quatre composants principaux. Ceux-ci sont :

- **Apache** : Apache est l'application de serveur Web qui traite et livre le contenu Web à un ordinateur. Apache est le serveur web le plus populaire en ligne, alimentant près de 54% des sites web.
- **MySQL** : Chaque application web, simple ou compliquée, nécessite une base de données pour stocker les données collectées. MySQL, qui est open source, est le système de gestion de base de données le plus populaire au monde.
- **PHP** : PHP signifie Hypertext Preprocessor. C'est un langage de script côté serveur qui alimente certains des sites Web les plus populaires au monde, y compris WordPress et Facebook. Il est open source, relativement facile à apprendre, et fonctionne parfaitement avec MySQL, ce qui en fait un choix populaire pour les développeurs web.
- **Perl** : Perl est un langage de programmation dynamique de haut niveau largement utilisé dans la programmation réseau, l'administration système, etc. Bien que moins populaire à des fins de développement web, Perl a beaucoup d'applications de niche.

Différentes versions de XAMPP peuvent avoir des composants supplémentaires tels que phpMyAdmin, OpenSSL, etc. pour créer des serveurs Web complets.

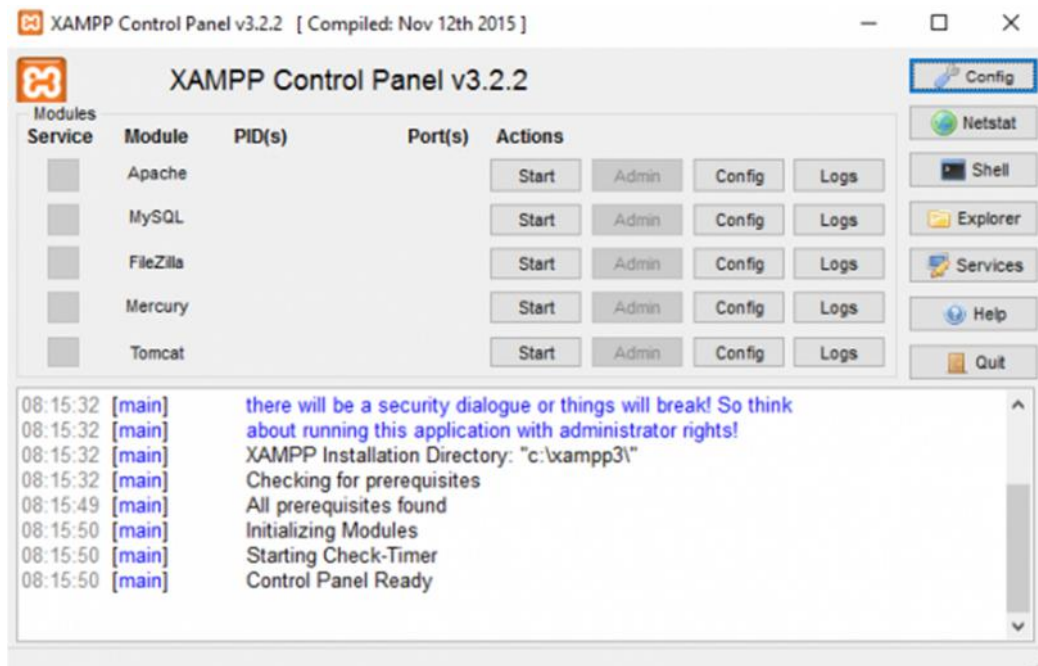


Figure 36 : Panel de contrôle

chapitre III : Généralité sur le système arduino, capteurs et les logiciels utilises

III.5. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté les différents composant et logiciels sur lesquels ce base notre projet et dans le but de cerne leurs fonctionnalités et ainsi comprendre chaque dispositif comment fonction.

Chapitre IV :
Méthodologie de la
conception du système

Chapitre IV : Méthodologie de la conception du système

IV.1. Introduction :

Dans ce chapitre, nous allons présenter notre approche de l'irrigation automatique et de la télésurveillance des vergers de pomme en détaillant la méthodologie adoptée. Nous détaillons ensuite, les différentes parties constituant le système de point de vue hardware et de point de vue software, et le rôle de chaque partie.

IV.2. Architecture globale du système :

Le système que nous avons conçu permet, d'irriguer automatiquement et de télé surveiller les paramètres environnementaux des vergers de pomme. Via une architecture basée sur les technologies de l'internet des objets. Notre objectif dans ce travail consiste à commander l'irrigation des vergers de pommes automatiquement où nous avons utilisé des capteurs pour collecter les grandeurs physiques liées à notre application (niveau d'eaux réservoir, température, humidité du sol ...), déterminer la quantité d'eaux nécessaire, et enfin l'envoi, en temps réel, de toutes les données à savoir les mesures collectées et la décision de l'irrigation au serveur (cloud). Où ils seront enregistrés automatiquement dans la base de données. Ce qui permet à l'agriculteur de les visualiser de visualiser les données par l'intermédiaire d'un navigateur Web standard sur un périphérique (ordinateurs portables intelligents, smartphones) connecté à Internet. Ce qui lui garantit le suivi de son verger. Afin de prendre les précautions et les interventions adéquates en cas de dysfonctionnement du système d'irrigation.

Chapitre IV : Méthodologie de la conception du système

Notre conception est soumise à l'architecture illustrée sur la figure suivante :

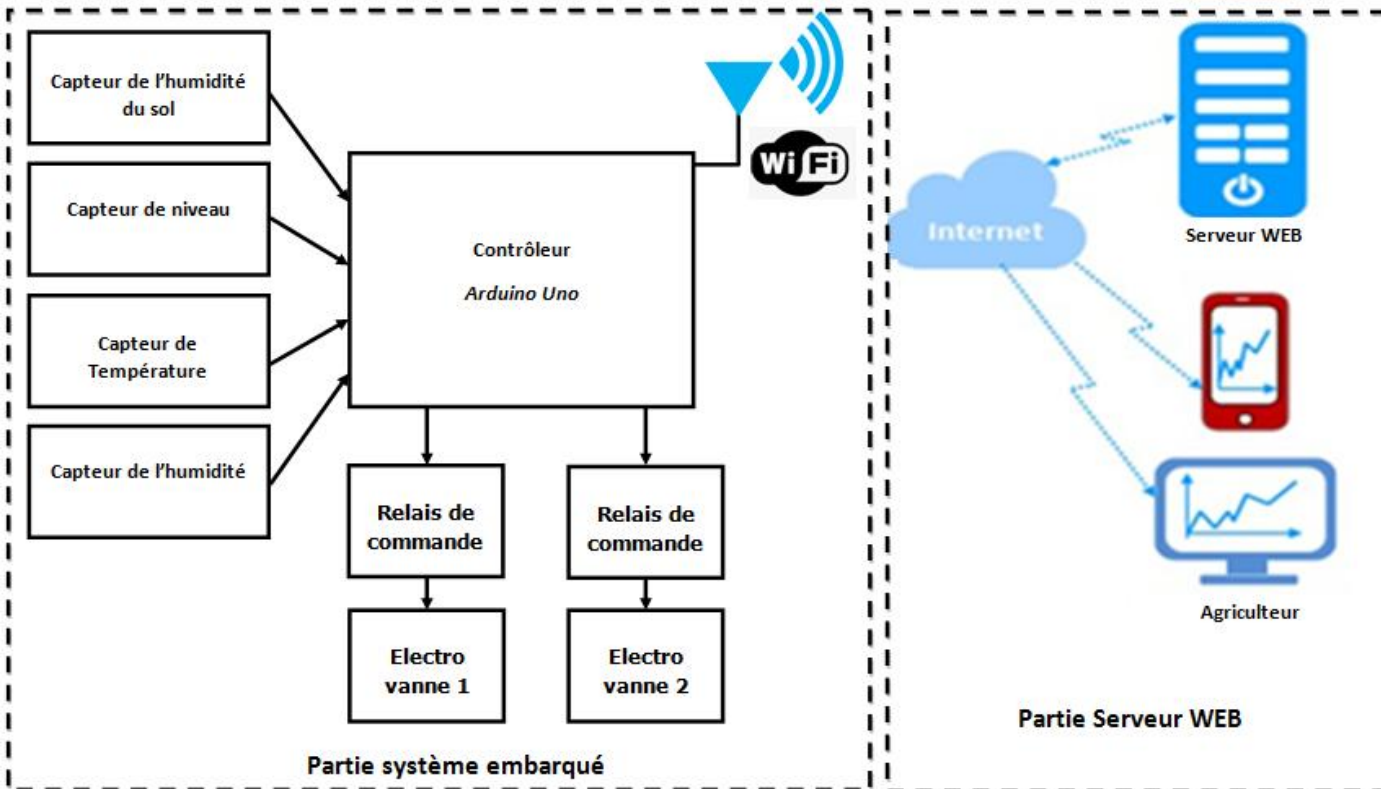


Figure 37 : Architecture globale du système

IV.2.1. La partie système embarqué :

Cette partie du système se présente comme un système embarqué. Qui contient un système électronique et informatique autonome dédié acquérir les mesures des différents capteurs connectés au contrôleur principal. Ainsi, les données sont collectées elles doivent être transmises au serveur en temps réel à travers une connexion internet WIFI. En même temps, le système traite ces données dans le but de commander l'irrigation du verger d'une façon automatique. En utilisant un algorithme développé pour cette raison.

Le système comporte un ensemble de capteurs nécessaire à notre application (Capteur de Température, capteur de l'humidité, capteur de l'humidité du sol, et un capteur de niveau). Et un port WIFI ainsi que deux relais pour le commandement des électrovannes. L'ensemble est connecté à un contrôleur principal. Comme il est illustré dans la figure 4.1 (partie système embarqué).

IV.2.1.1. Contrôleur principal :

Pour le contrôleur principal on a opté à l'utilisation d'un microcontrôleur, qui est un composant électronique qui rassemble tous les éléments d'un "mini-ordinateur" et qui se présente sous la forme d'un circuit intégré. Un microcontrôleur permet de réaliser des systèmes et montages électroniques programmés.

Chapitre IV : Méthodologie de la conception du système

Nous avons fait le choix sur la carte à microcontrôleur Arduino Uno basée sur l'ATmega328P, compte tenu de ses caractéristiques suffisantes à notre application. Il possède 14 broches d'entrée / sortie numériques (dont 2 peuvent être utilisées en tant que UART et 6 en tant que sorties PWM), 6 entrées analogiques, un quartz 16 MHz, une connexion USB, une prise d'alimentation. Elle comprend : Mémoire Flash de 32 Ko, SRAM de 2 Ko et EEPROM de 1 Ko.



Figure 38 : Carte ARDUINO UNO

IV.2.1.2. Capteur de Température et d'humidité :

Dans cette conception proposée, nous pouvons suivre n'importe quel paramètre. Mais dans a choisi en premier les deux paramètres environnementaux nécessaire à contrôler. Qui sont la température ambiante et l'humidité de l'air. Pour cela nous avons utilisé le DHT11 qui a L'avantage d'être un capteur de la température et de l'humidité en même temps.

Chapitre IV : Méthodologie de la conception du système

La figure 4.3 montre le schéma de câblage pour connecter le capteur DHT11 à la carte Arduino UNO.

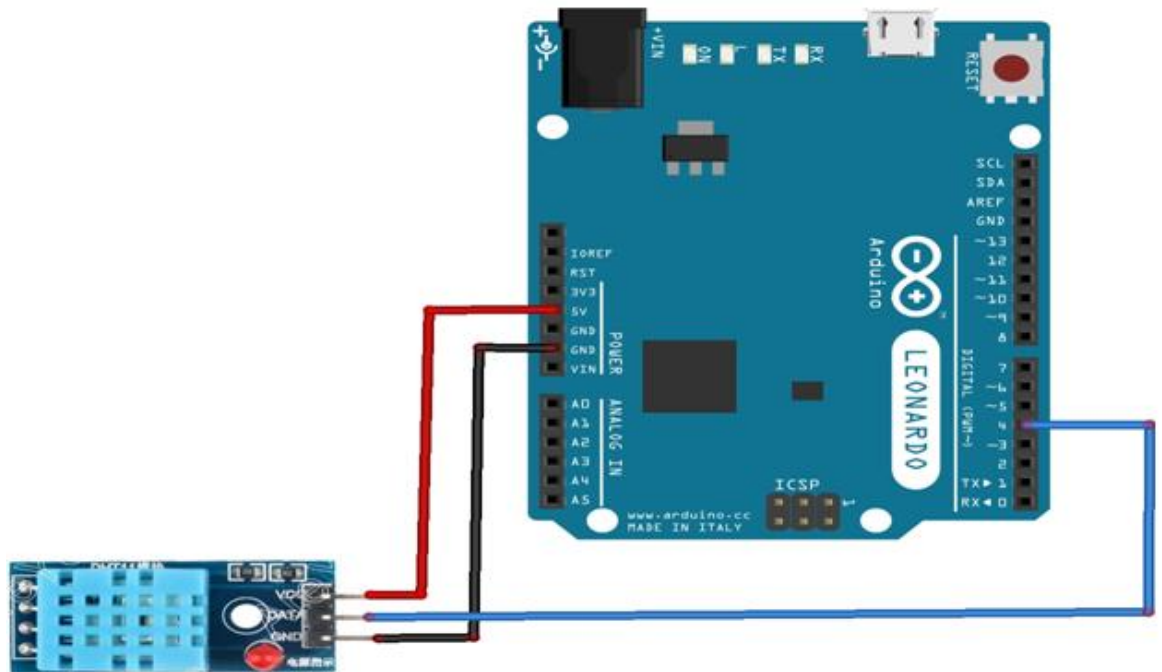


Figure 39 : Schéma de la connexion du DHT11 Avec la carte sur Arduino UNO

Afin de programmer l'Arduino pour lire la mesure du. On commence d'abord avec l'en-tête du sketch où l'on va juste définir la bibliothèque DHT11.h, le numéro du pin sur laquelle le signal de sortie du capteur a été connecté.

Vient ensuite de configuration du port *série* sur 9600 bauds avec la fonction Serial.begin, ce qui permet de la communication entre l'Arduino et capteur. La figure 41, à son tour, illustre une capture d'écran du programme.

```
1. #include <dht11.h>
2. #define DHT11PIN 4 // broche DATA -> broche 4
3.
4. dht11 DHT11;
5.
6. void setup()
7. {
8.   Serial.begin(9600);
9.   while (!Serial) {
10.    // wait for serial port to connect. Needed for native USB (LEONARDO)
11.   }
12.   Serial.println("DHT11 programme d'essai ");
13.   Serial.print("LIBRARY VERSION: ");
14.   Serial.println(DHT11LIB_VERSION);
15.   Serial.println();
16. }
17.
18. void loop()
19. {
20.   DHT11.read(DHT11PIN);
21.
22.   Serial.print("Humidité (%): ");
23.   Serial.print((float)DHT11.humidity, 2);
24.   Serial.print("\t");
25.   Serial.print("Température (°C): ");
26.   Serial.println((float)DHT11.temperature, 2);
27.
28.   delay(2000);
29. }
```

Figure 40 : Code Arduino du DHT11

IV.2.1.3. Capteur d'humidité du sol :

La teneur en humidité du sol est élément essentielle pour contrôler l'irrigation du verger de pomme serre.

Le capteur choisi dans notre application est le **FC-28** Il est utilisé pour le contenu volumétrique de l'eau à l'intérieur du sol et nous donne le niveau d'humidité en sortie. Le capteur est équipé d'une sortie analogique. Il se compose de deux sondes qui sont utilisées pour mesurer le contenu volumétrique de l'eau. Les deux sondes laissent passer le courant à travers le sol et obtiennent ensuite la valeur de résistance pour mesurer la valeur d'humidité. Pour connecter le capteur en mode analogique, nous devons utiliser la sortie analogique du capteur. Lors de la prise de la sortie analogique du capteur d'humidité du sol FC-28, le capteur nous donne la valeur de 0-1023. L'humidité est mesurée en pourcentage, nous allons donc cartographier ces valeurs de 0 à 100.

Les connexions pour connecter le capteur d'humidité du sol FC-28 à l'Arduino sont les suivantes.

VCC du FC-28 à 5V d'Arduino

GND de FC-28 à GND d'Arduino

Chapitre IV : Méthodologie de la conception du système

A0 de FC-28 à A0 d'Arduino

La figure 42, montre le schéma de connexion du capteur avec la carte Arduino UNO.

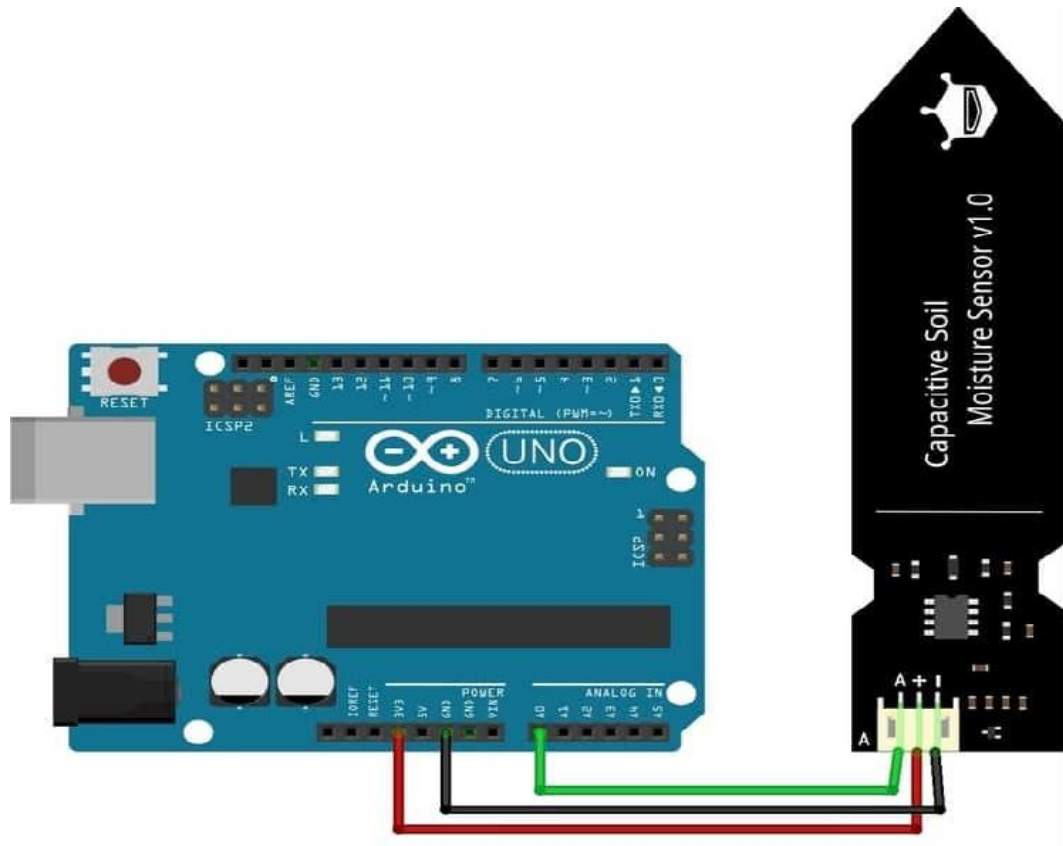


Figure 41 : Schéma de brochage du capteur d'humidité du sol avec la carte Arduino

La figure 43 donne une capture d'écran du programme Arduino de la lecture de la mesure.

```
Fichier Édition Croquis Outils Aide
BAHY$
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
}

void loop()
{
  Serial.println(analogRead(A0));
  delay(100);
}
```

Figure 42 : Code Arduino du capteur de l'humidité du sol.

Chapitre IV : Méthodologie de la conception du système

IV.2.1.2. Capteur de niveau :

L'un des paramètres utilisés pour notre système d'irrigation est le niveau d'eau du réservoir. Pour cela nous avons choisi le capteur d'ultrason le « HC-sr04 » à cause de sa facilité d'utilisation. Il utilise les ultrasons pour déterminer la distance à laquelle se trouve un objet. Peu importe l'intensité de la lumière, la température ou le type de matière. Ce capteur est utilisé dans notre cas pour connaître le niveau d'eau dans le réservoir.

Les connexions pour connecter le capteur ultrason « HC-sr04 » à l'Arduino sont les suivantes.

- Connecter la broche Vcc du capteur au 5V de la carte UNO.
- Connecter la broche Trig à la PIN 2 de la carte UNO.
- Connecter la broche Echo à la PIN 3 de la carte UNO.
- Connecter la broche GND sur la PIN 4 de la carte UNO.

La figure 44 indique la connexion du capteur avec la carte Arduino UNO.

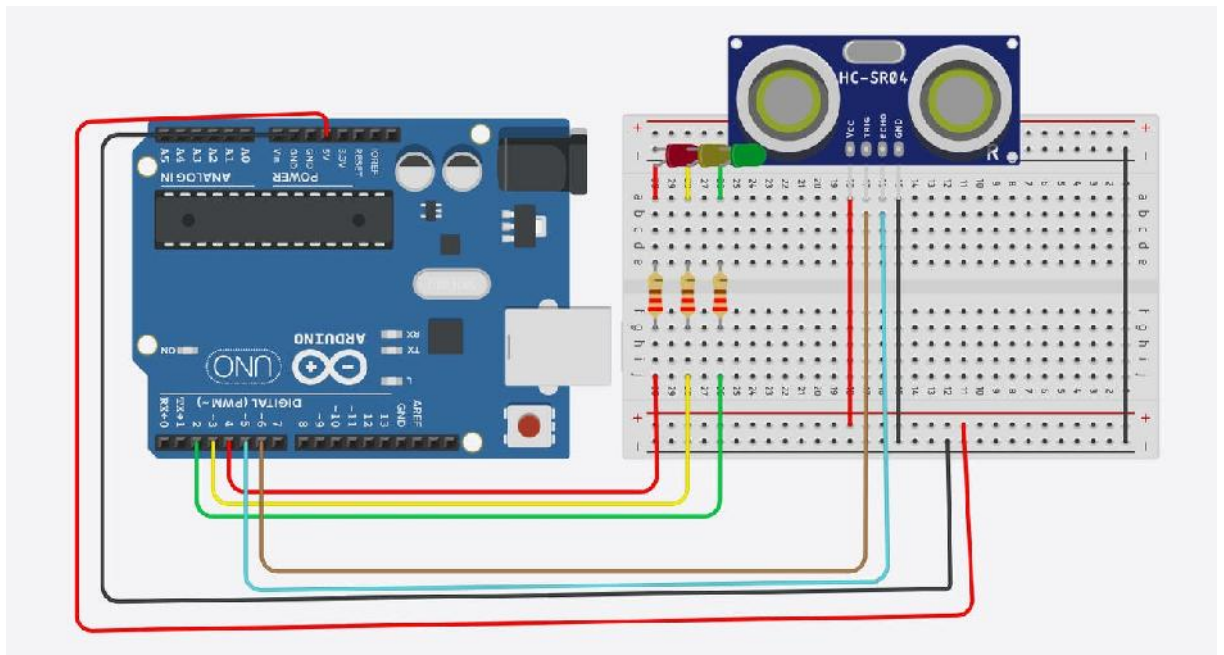


Figure 43 : Schéma de brochage capteur hc-sr04 avec la carte Arduino UNO

Comme il est illustré sur la figure précédente, nous avons utilisé trois LED pour afficher le niveau d'eau du réservoir.

En revanche la figure 45 montre une capture d'écran du programme Arduino de gestion de cette partie de l'application.

Il y a plusieurs bibliothèques disponibles directement depuis le gestionnaire de bibliothèque de l'IDE Arduino. Ici nous utiliserons la bibliothèque HCSR04. L'initialisation du capteur se fait en déclarant un objet. On indique les broches utilisées par le capteur. La

Chapitre IV : Méthodologie de la conception du système

fonction setup () est exécutée une seule fois à la mise sous tension de la carte Arduino. Ici, on aura juste besoin de démarrer la liaison série qui nous permettra de récupérer les mesures du capteur depuis le Moniteur Série de l'IDE Arduino.

```
uRa_sons_55-

#define PIN_TRIG 7
#define PIN_ECHO 8
#define PIN_LED_ROUGE 9
#define PIN_LED_ORANGE 4
#define PIN_LED_VERT 3

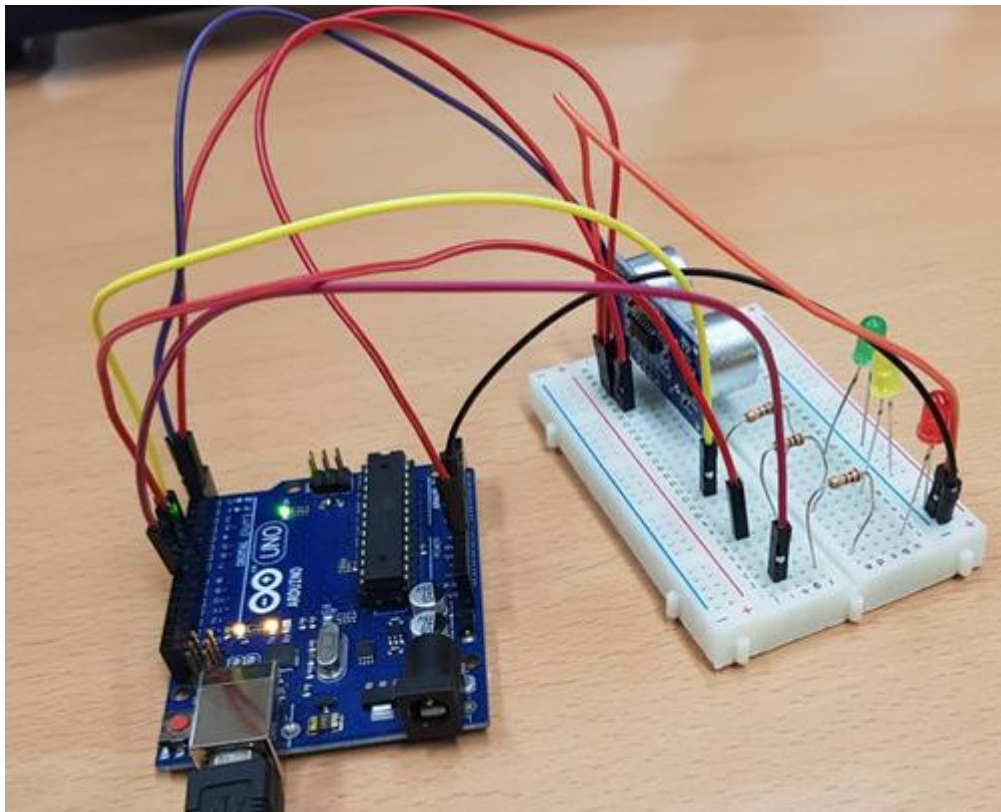
const int ledPin = 13;
const int ldrPin = A0;
long duration_hc, distance_hc;

void setup() {
  Serial.begin (9600);
  pinMode (PIN_TRIG, OUTPUT);
  pinMode (PIN_ECHO, INPUT);

  pinMode (PIN_LED_ROUGE, OUTPUT);
  pinMode (PIN_LED_ORANGE, OUTPUT);
  pinMode (PIN_LED_VERT, OUTPUT);
}

void loop() {
```

Figure 44 : Programme Arduino



Chapitre IV : Méthodologie de la conception du système

Figure 45 : Schéma du capteur sonore avec les LED

IV.2.1.5. Module WiFi :

Notre système doit envoyer les données collectées et la décision de l'irrigation au serveur, dans le but de les télé-visualiser. D'où, il est nécessaire d'utiliser un module adéquat. Nous avons choisi le module wifi ESP 8266. Ce dernier se connecte à la carte Arduino suivant le schéma indiquée dans la figure 47.

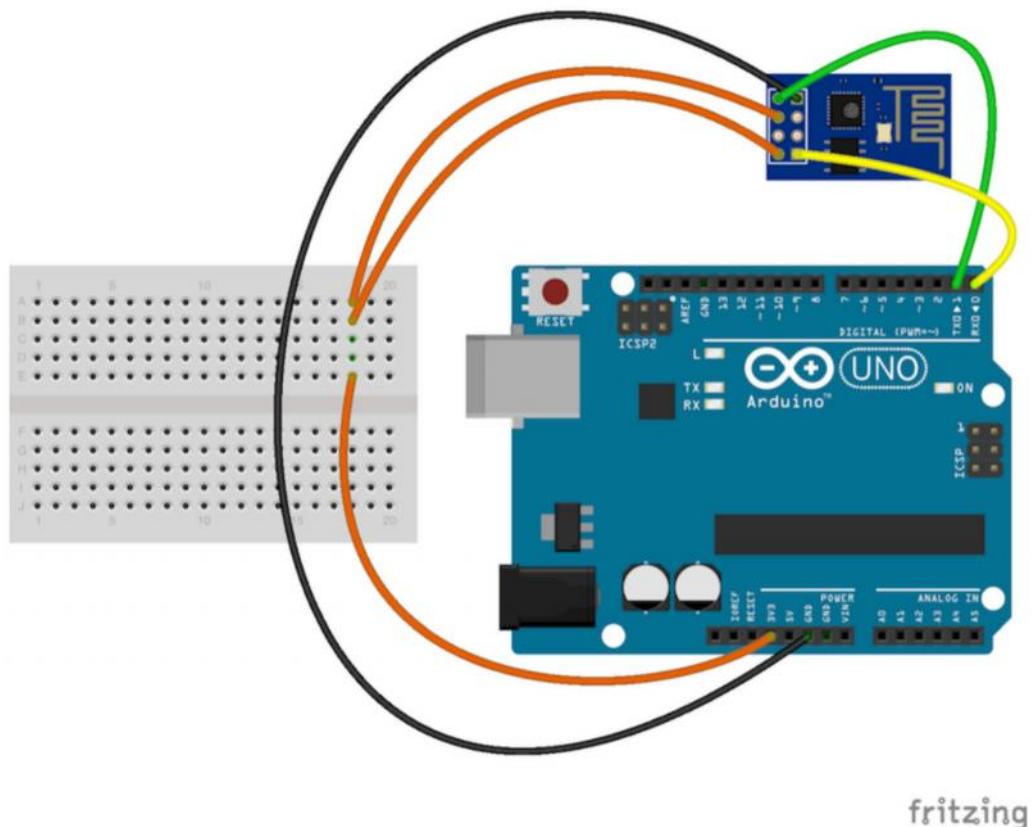


Figure 46 : Connexion de l'ESP avec la carte Arduino

L'ESP8266 peut se programmer de plusieurs façons :

En Lua, interprétés ou compilés, avec le firmware NodeMCU6 (langage par défaut).

En C, avec le SDK esp-open-sdk7 basé sur la chaîne de compilation GCC ou avec le SDK d'Espressif.

_ En C++, avec l'IDE (Environnement de développement) Arduino8 ;

_ En Go, avec le framework Gobot9.

_ En JavaScript, avec le firmware Espruino10.

_ En MicroBlocks, notamment sur NodeMCU11.

_ En MicroPython, avec le firmware MicroPython12 ou CircuitPython13.

Nous allons le programmer en utilisant les commandes AT et le moniteur série d'Arduino.

Chapitre IV : Méthodologie de la conception du système

La figure 48 montre la connexion de l'ESP au réseau, cela après l'exécution des commandes AT nécessaires.

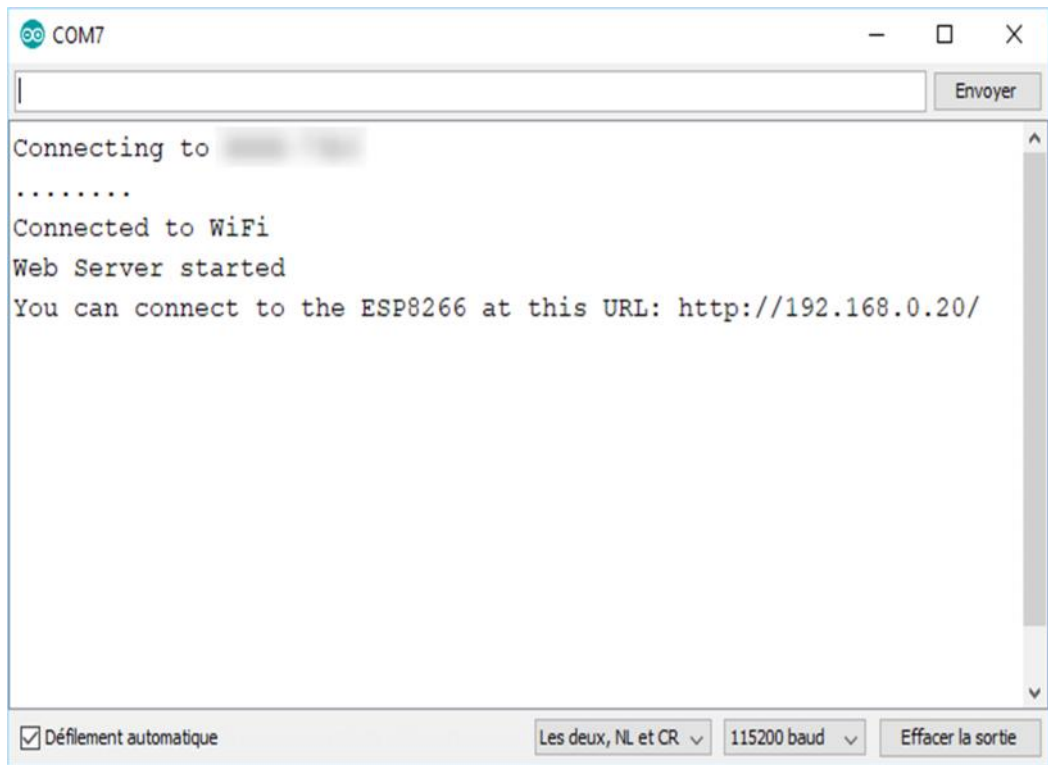


Figure 47 : Capture d'écran de moniteur série

IV.2.1.6. Module des relais et électrovanne :

Le module de relais est un interrupteur à commande électrique qui vous permet d'allumer ou d'éteindre un circuit en utilisant une tension et/ou un courant beaucoup plus élevés qu'un microcontrôleur pourrait gérer.

Nous avons utilisé le module. Il permet de commuter 2 relais de puissance directement à partir de deux sorties digitales de la carte Arduino.



Figure 48 : Module à relai

Chapitre IV : Méthodologie de la conception du système

Pour contrôler l'écoulement de l'eau de l'irrigation à partir du réservoir nous avons utilisé deux électrovannes. Grâce à cet organe, il est possible d'agir sur le débit de l'eau dans un circuit par un signal électrique.

IV.2.1.7. Programme principal :

Le programme principal est celui qui gère toutes les différentes parties du système depuis la collecte des données, l'activation des vannes pour l'irrigation, et l'envoi des données via le module Wifi.

Le programme se décompose en deux parties :

- Setup : Le code n'est exécuté qu'une seule fois au démarrage du module.
 - Configuration du réseau
 - Définition des variables
 - Connexion au réseau Wifi
- Boucle Principale : Le code de cette boucle est répété jusqu'à extinction du module
 - Attente d'une connexion sur le serveur Web.
 - Collecte des mesures auprès des capteurs.
 - Lancement de la procédure d'irrigation.
 - Envoi des données au serveur.

IV.2.1.8. Programme de l'irrigation :

Le programme d'irrigation aromatique du verger consiste à savoir quand et comment déclencher le système. Il basé sur le maintien de l'humidité du sol supérieur à un seuil bien déterminer. Dans notre cas supérieur à 20%. Si l'humidité du sol atteint une valeur inférieure à 20%, le système doit déclencher une procédure automatique d'irrigation. Il commence par tester la température afin de déterminer la quantité d'eau nécessaire. Après cette décision le système vérifier disponibilité de la quantité d'eau nécessaire au niveau réservoir. S'il trouve la quantité d'eau nécessaire, le système lance l'irrigation par la commande des électrovannes.

Chapitre IV : Méthodologie de la conception du système

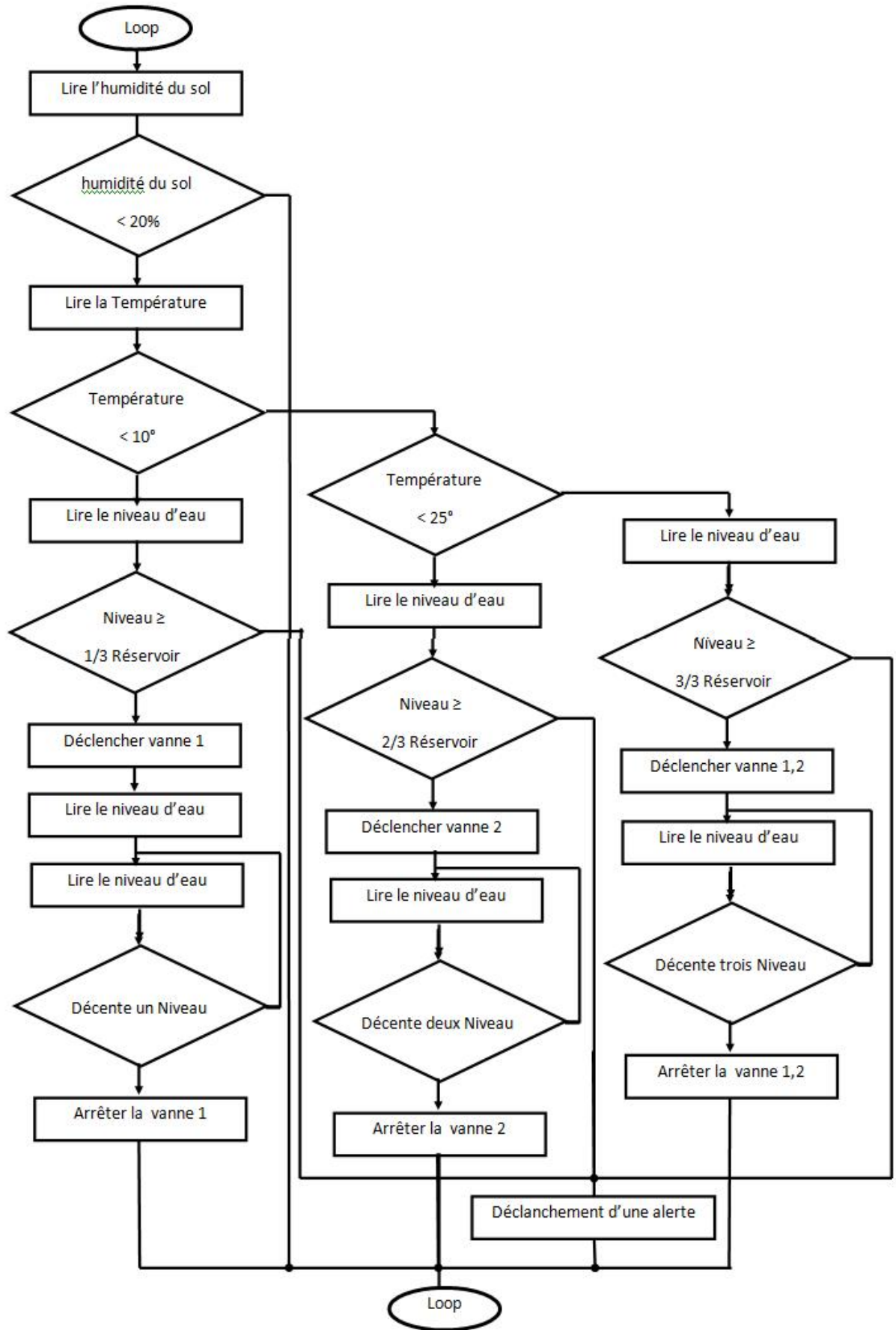


Figure 49 : L'organigramme de la procédure d'irrigation

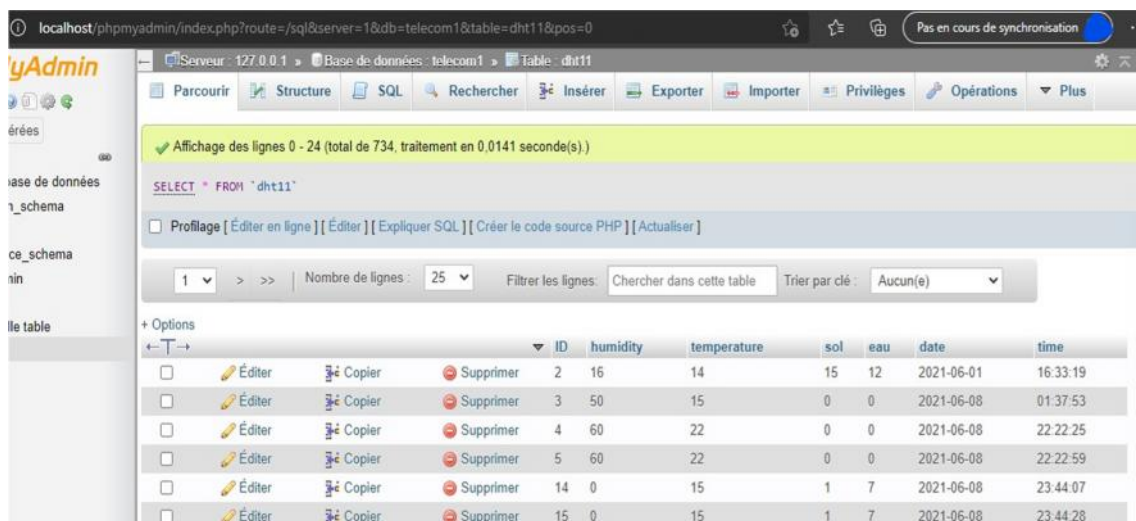
Chapitre IV : Méthodologie de la conception du système

IV.2.2. Partie serveur :

Lorsqu'un cultivateur, un ingénieur ou d'autres utilisateurs souhaitent consulter les données envoyées depuis la partie système embarqué, ils doivent saisir l'adresse du site Web ou le domaine dans leur navigateur via un appareil (ordinateurs portables, smartphones, PC) connectées à internet. Ensuite les pages Web seront livrées par un serveur web aux utilisateurs via le navigateur. Le serveur recevra, enregistrera, et analysera les données. De plus, avec le grand nombre des données reçues, on a besoin d'une base de données. Pour cela on a opté à l'utilisation du logiciel XAMPP. Qui est Un logiciel important, qui doit être possédé par les développeurs Web. Ce logiciel est nommé XAMPP qui signifie Apache, MySQL, PHP et Perl tandis que la lettre "X" est conçue comme un logiciel qui peut fonctionner sur quatre OS principaux comme Windows, Mac OS, Linux et Solaris. Ce terme est souvent appelé multiplateforme (logiciel multi OS).

IV.2.2.1 La base de données :

Pour gérer le grand nombre de données, nous avons créé une base de données dans MySQL, qui est constitué de 7 colonnes pour les différents mesures (la température, l'humidité de l'air, l'humidité du sol et le niveau d'eau), l'état de l'irrigation et enfin la date et l'heure de la réception. Comme le montre la figure suivante :



The screenshot shows the phpMyAdmin interface for a MySQL database. The table 'dnt11' is selected, and its structure is displayed. The table has 7 columns: ID, humidity, temperature, sol, eau, date, and time. The data is as follows:

ID	humidity	temperature	sol	eau	date	time
2	16	14	15	12	2021-06-01	16:33:19
3	50	15	0	0	2021-06-08	01:37:53
4	60	22	0	0	2021-06-08	22:22:25
5	60	22	0	0	2021-06-08	22:22:59
14	0	15	1	7	2021-06-08	23:44:07
15	0	15	1	7	2021-06-08	23:44:28

Figure 50 : La base de données créée

IV.2.2.2. Serveur web :

Le site est réalisé pour collecter des données envoyées depuis la partie système embarqué. Il gère également la base de données et sert de portail web à partir duquel un expert ou même un agriculteur peut consulter les différentes données et l'état de l'irrigation.

Chapitre IV : Méthodologie de la conception du système

La création d'un serveur web sera à partir de Xampp qu'on a pu avoir une idée sur lui dans le chapitre précédent.

Nous lançons Xampp puis nous cliquons « Start » pour les modules Apache et MySQL.

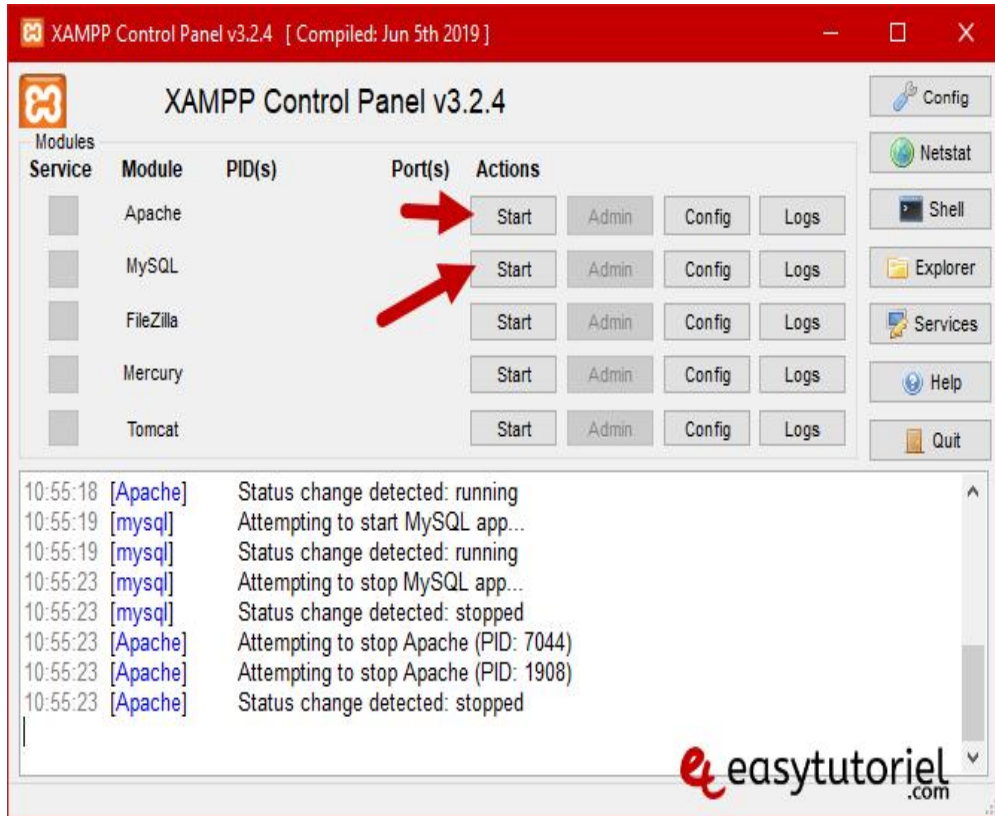


Figure 51 : fenêtre d'accueil de Xampp

Localhost, c'est la page d'accueil par défaut qui doit être utilisée dans la création du site web local ou dans l'installation du CMS (ou script php) localement. La Base de données enregistre automatiquement les données reçus directement

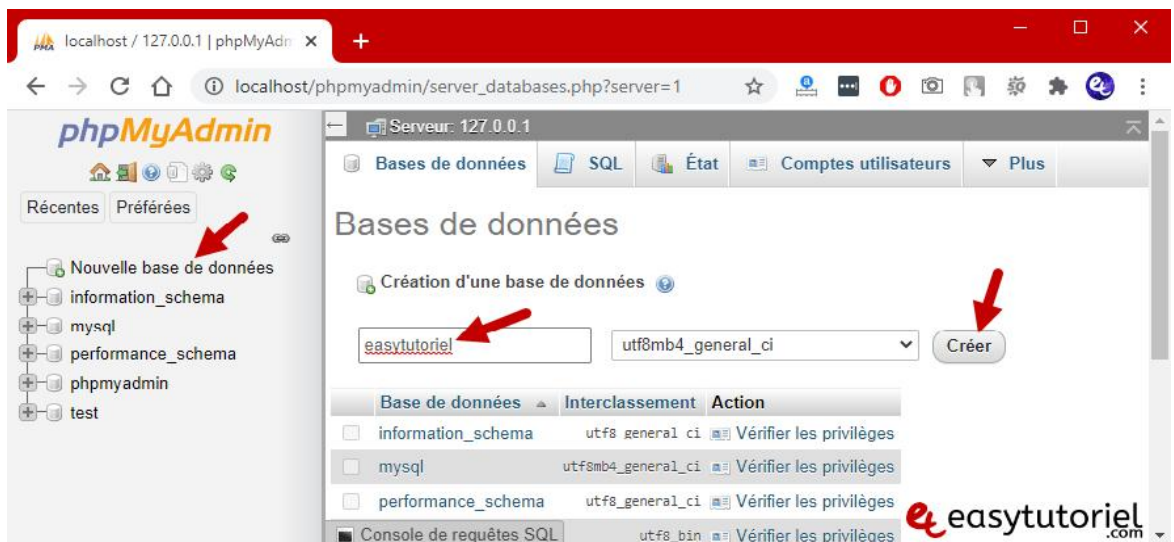


Figure 52 : Fenêtre de création de la base de donnée

Chapitre IV : Méthodologie de la conception du système

Pour commencer le développement d'une nouvelle application il faut créer un nouveau dossier dans le chemin C:\xampp\htdocs.

Notre dossier nous l'avons appelé projet_1, où il sera hébergé les pages web de notre site.

IV.2.2.3. Les différentes interfaces :

Afin de pouvoir se connecter au serveur, et de consulter les pages Web via le navigateur. Nous avons développé des interfaces graphiques facilitant le dialogue entre l'homme et la machine, en prenant en compte l'ensemble des choix ergonomiques tels que la visibilité, la compréhensibilité et la lisibilité pour l'ensemble des usagers. La création des pages va pouvoir rendre la consultation et l'analyse des données plus facile avec aussi plus de sécurité. Le programme que nous avons choisi pour la création des pages WEB est le Notepad++.

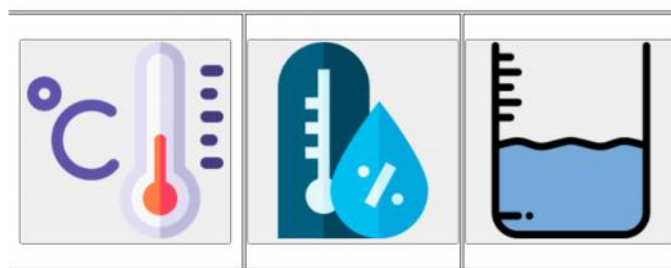
Le Notepad++ est un éditeur de texte libre générique, fonctionnant sous Windows, codé en C++, qui intègre la coloration syntaxique de code source pour les langages et fichiers C, C++, Java, C#, XML, HTML, PHP, JavaScript, makefile, art ASCII, doxygen, .bat, MS fichier ini, ASP, Visual Basic/VBScript, SQL, Objective-C, CSS, Pascal, Perl, Python, R, MATLAB, Lua, TCL, Assembleur, Ruby, Lisp, Scheme, Properties, Diff, Smalltalk, PostScript et VHDL ainsi que pour tout autre langage informatique, car ce logiciel propose la possibilité de créer ses propres colorations syntaxiques pour un langage quelconque.

L'interface principale qui est la page d'accueil offre à l'utilisateur une façon d'aller directement consulter les données enregistrées. (Voir la figure 54)

Chapitre IV : Méthodologie de la conception du système



réalisation et Conception d'un système automatique de surveillance et d'irrigation d'un verger de pomme.



Paramètres :

Temp : **25C** Hum : **19%**

Niveau d'eau : **25%**

Etat d'irrigation : **critique**

Figure 53 : Page d'accueil du site WEB

Pour la sécurité, nous avons ajouté un accès avec de mot de passe et nom d'utilisateur.
Comme il est indiqué ci-dessous sur la figure 55)



Figure 54 : Connexion pour la lecture des données

Les données peuvent être consultées sous forme numérique, dans tableau et cela comme le montre la figure 56

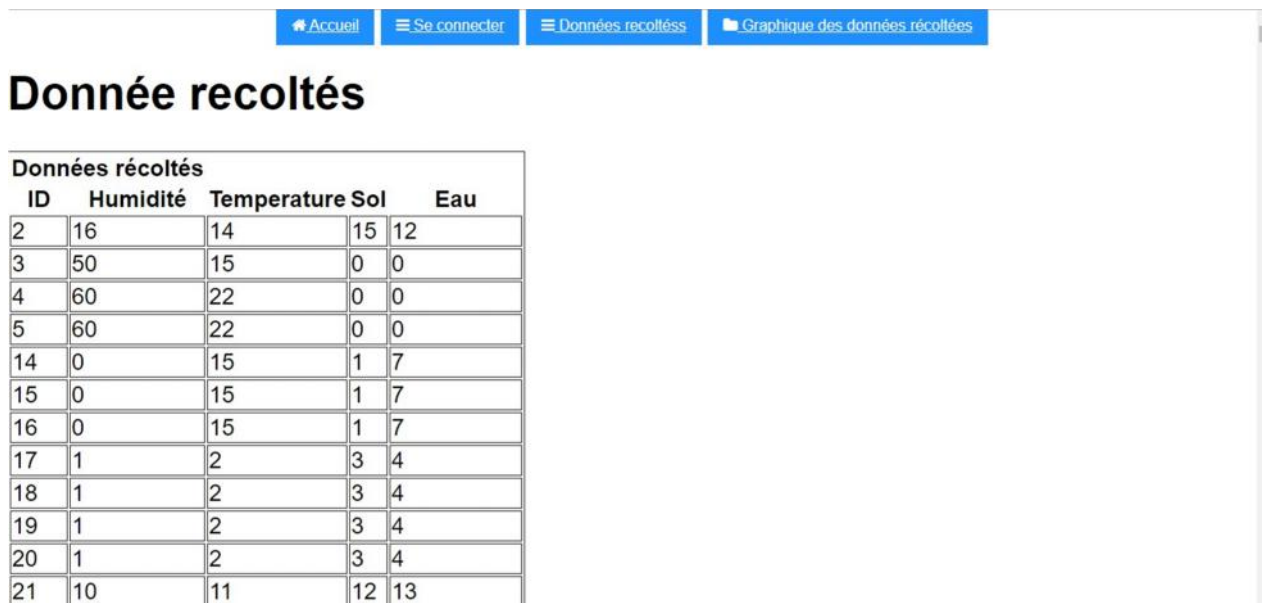


Figure 55 : Tableau des données sous forme numérique

Etant donné que, la visualisation des données sous forme de graphique est un outil puissant pour analyser et surveiller les données. La figure 57 montre un exemple de la visualisation sous forme graphique de la variation de la température en fonction du temps, respectivement. Ce type de visualisation des données permet de véritables analyses et des discussions précises.

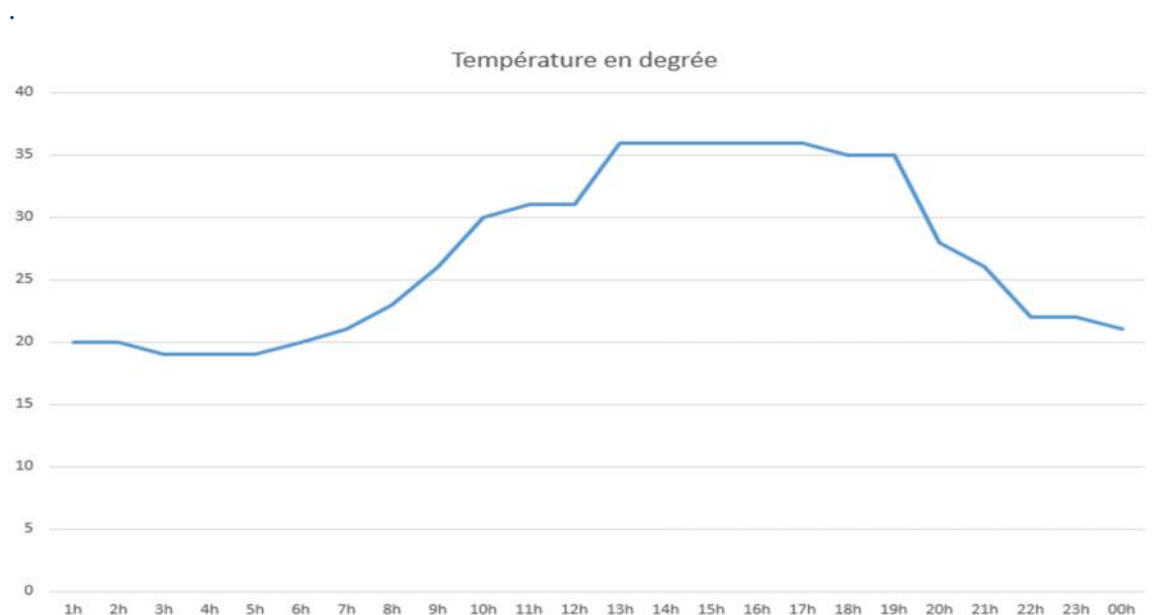


Figure 56 : Visualisation graphique de la température

Chapitre IV : Méthodologie de la conception du système

IV.3. Test et validation :

IV.3.1. Introduction :

La structure du système réalisé est composée de plusieurs éléments à savoir la carte Arduino Uno, le module ESP8232, les différents capteurs. Donc, pour cette raison, nous avons d'abord effectué une série de tests de chaque partie séparément afin de détecter d'éventuels problèmes dans la mise en œuvre. Et avec l'intention de s'assurer qu'ils opèrent correctement. Par la suite, toutes les parties étaient assemblées. Il faut assurer une connexion internet WIFI. Ensuite, on doit télécharger le programme dans la carte Arduino, dans cette phase le logiciel Arduino IDE doit être utilisé.

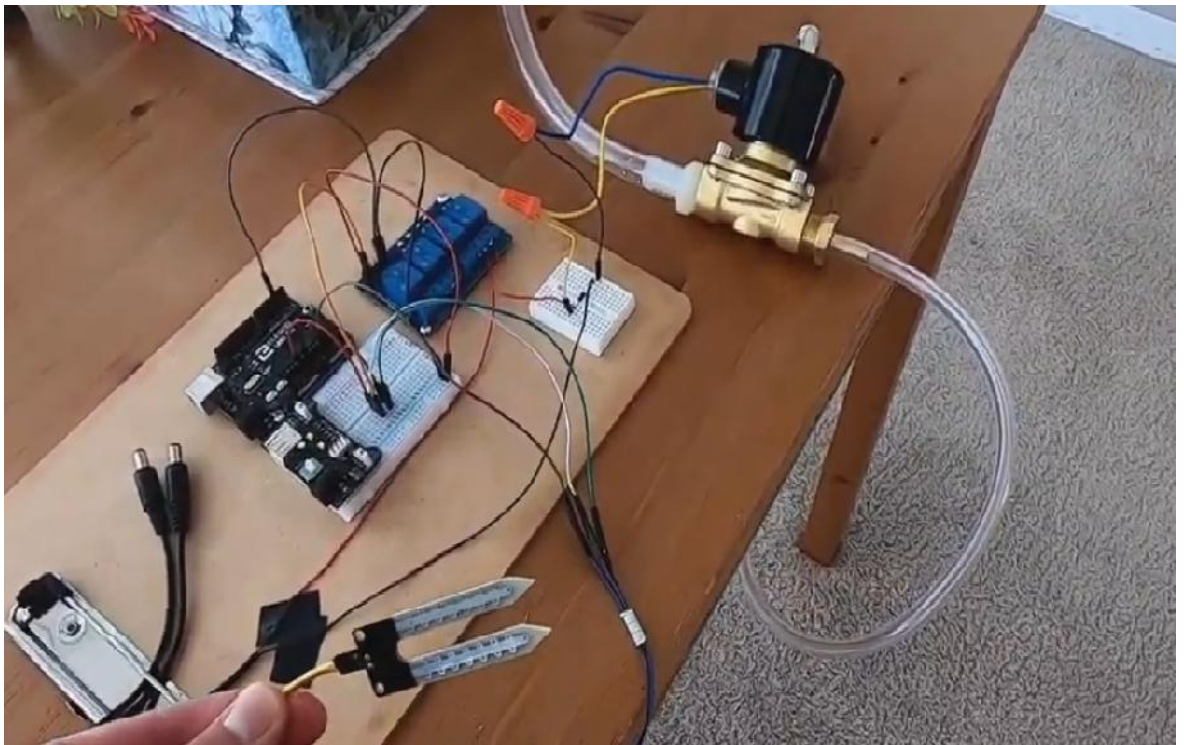


Figure 57 : Photo de la réalisation

IV.3.3. Scénario d'irrigation :

Le système s'occupe automatiquement du déclenchement de l'irrigation suivant l'organigramme présenté dans le paragraphe IV.2.1.8. Programme de l'irrigation.

1^{er} cas :

On constate à 14h depuis le graphe que le taux d'humidité est inférieur à 20 %. Dans ce cas le système va ordonner une irrigation. Ce qui fait que le système passe directement au teste sur la température.

Chapitre IV : Méthodologie de la conception du système

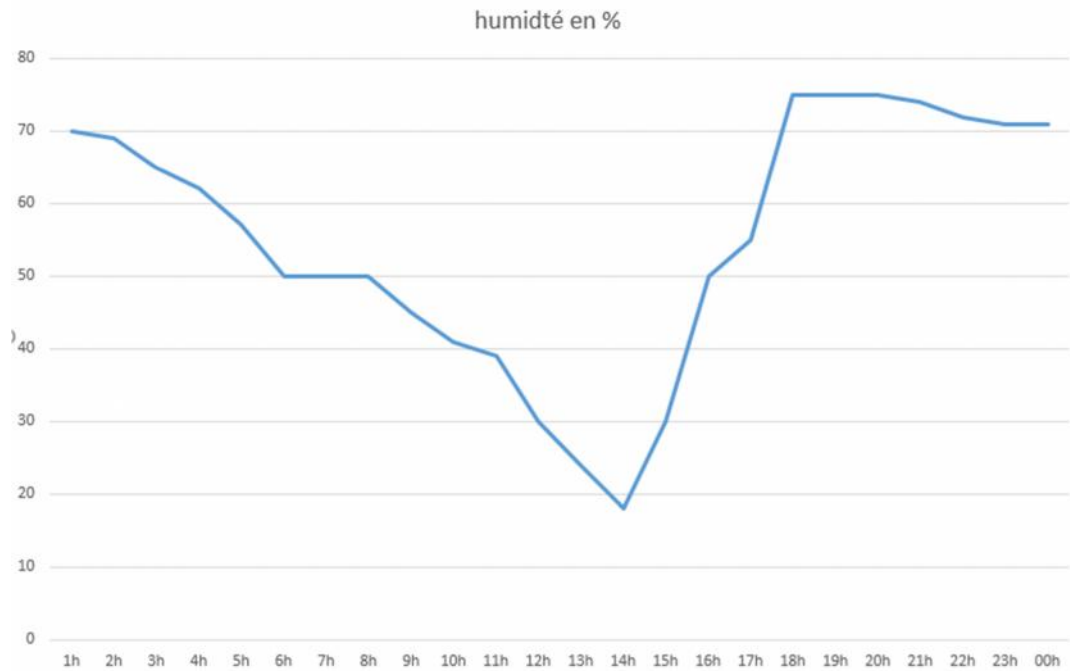


Figure 58 : Graphe d'humidité du sol

Depuis le graphe de la figure 59 on remarque que la température est de loin supérieur à 25° , à 14h elle est à 36° ce qui fait que mode d'irrigation est au maximum, le système va passer directement à la vérification du niveau d'eau nécessaire et à partir va déclencher l'irrigation.

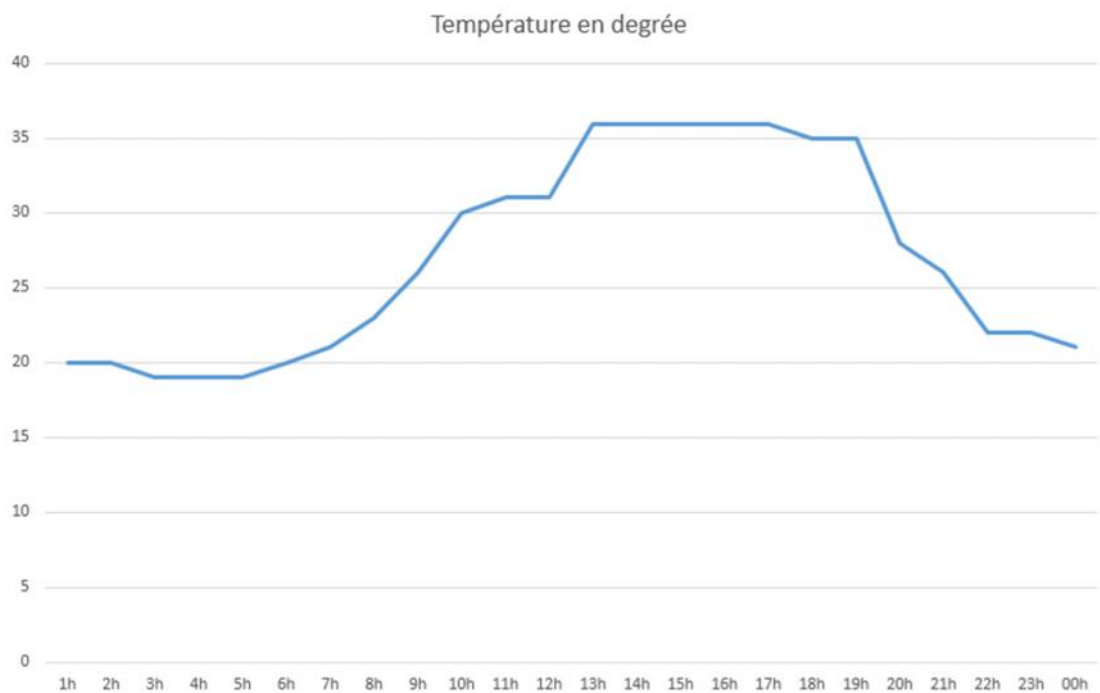


Figure 59 : Graphe de la température 1er cas

Chapitre IV : Méthodologie de la conception du système

Sur le graphe de la figure 61 on remarque que le niveau d'eau est à 100%. Donc le système va déclencher les deux électrovannes. Et la procédure d'irrigation s'arrête avec la vidange complète du réservoir.

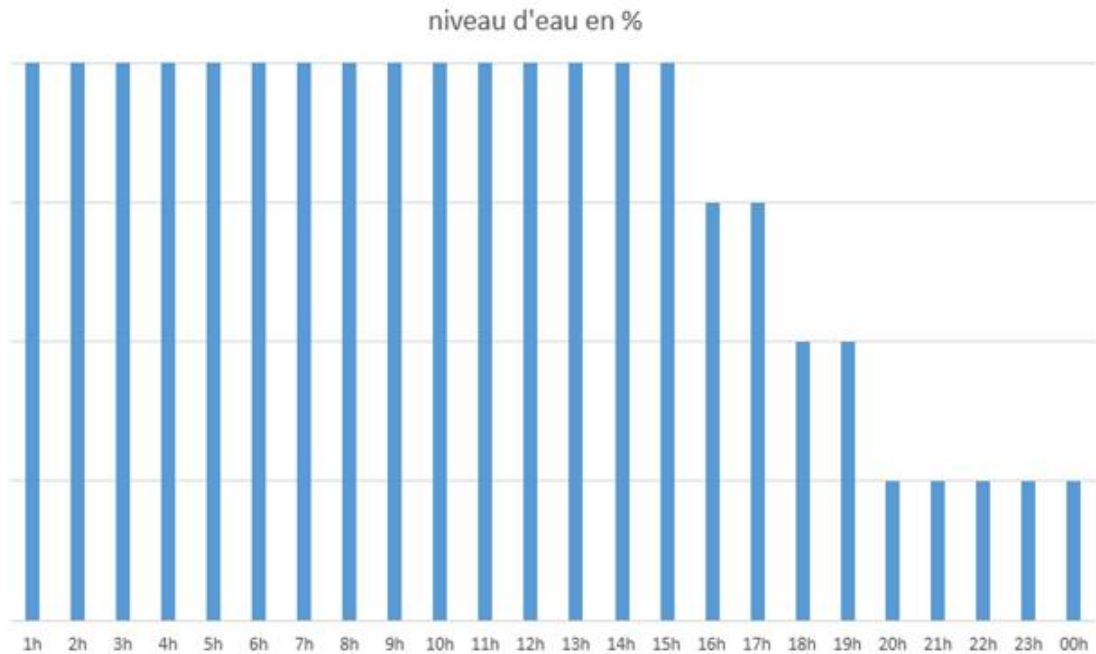
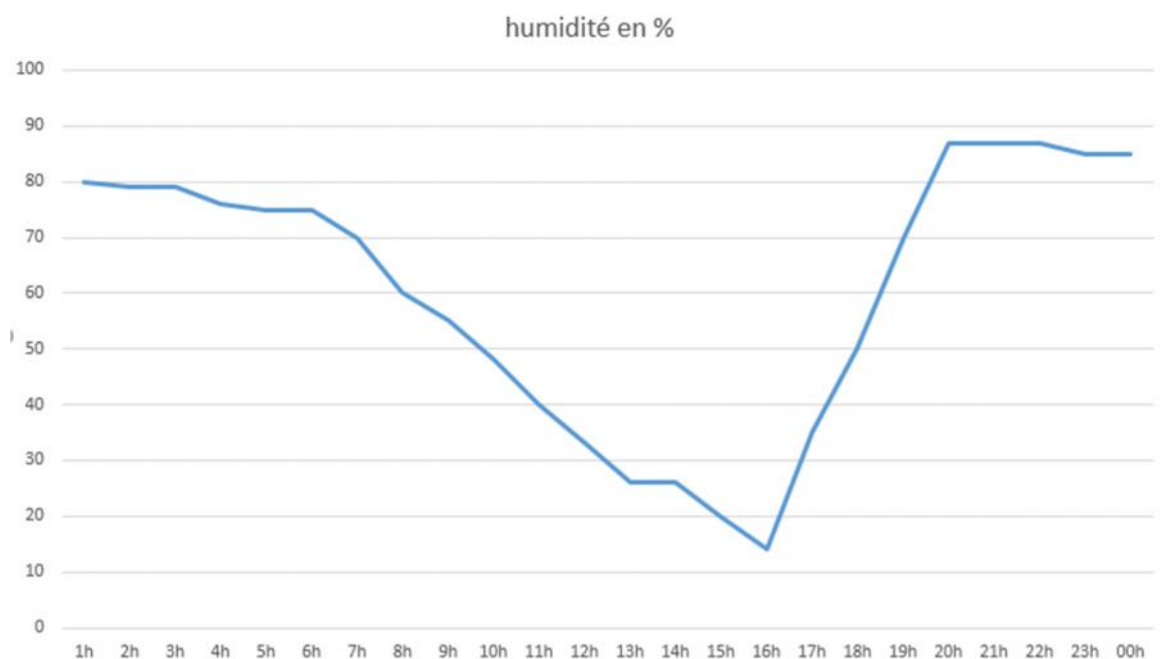


Figure 60 : Graphe du niveau d'eau 1er cas

2^{ème} cas :

On constate dans le deuxième cas, depuis le graphe de la figure 52, qu'à 16h le taux d'humidité est inférieur à 20 %. Dans ce cas le système va ordonner une irrigation. Ce qui fait que le système passe directement au teste sur la température.



Chapitre IV : Méthodologie de la conception du système

Figure 61 : Graphe d'humidité 2eme cas

Depuis le graphe de la figure 4.63, on remarque que la température est comprise entre 10° et 25°, dans ce cas on doit déclencher une irrigation de niveau moyen. Ce qui fait que le système va directement vérifier le niveau.

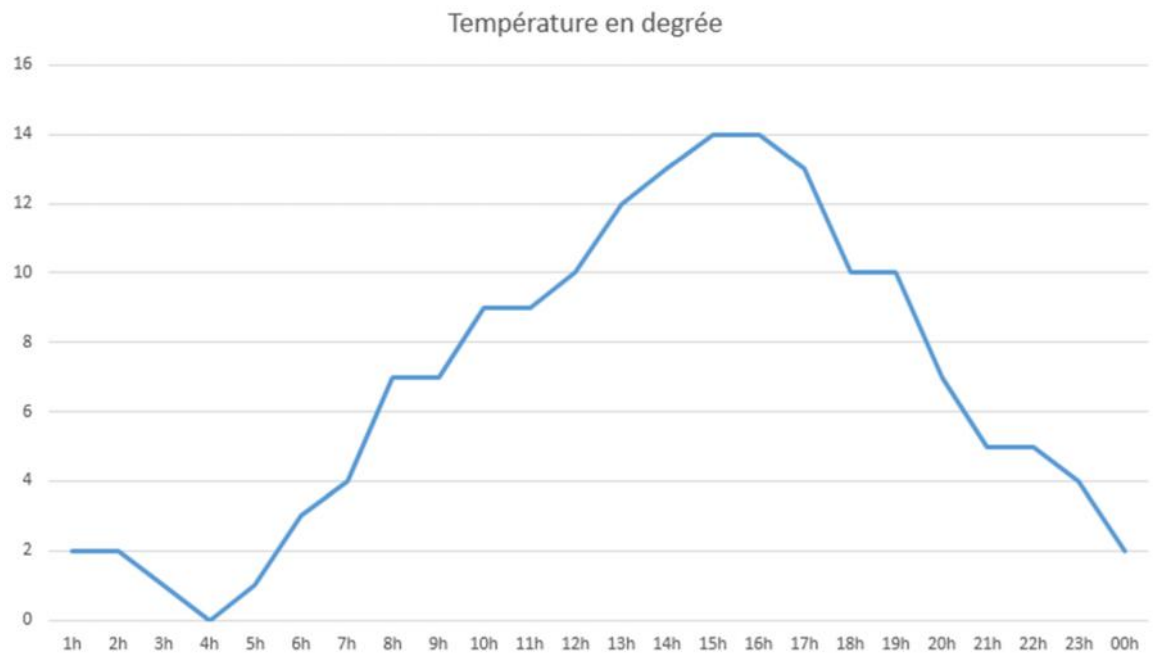


Figure 62 : graphe de la température 2eme cas

Sur le graphe de la figure 4.64 on remarque que le niveau d'eau à 16h est à 100%. Donc le système va déclencher l'électrovanne 2. Et la procédure d'irrigation s'arrête avec la vidange du 2/3 de la capacité du réservoir.

Chapitre IV : Méthodologie de la conception du système

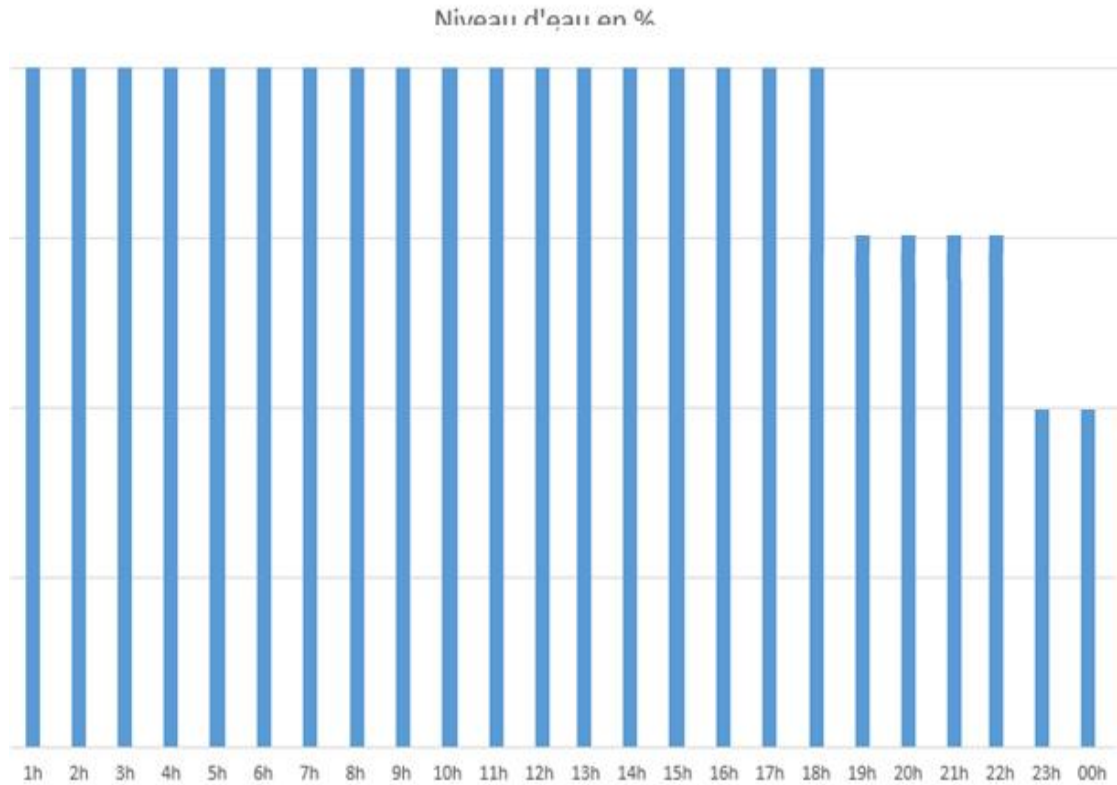


Figure 63 : Graphe du niveau d'eau 2eme cas

IV.4. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté les détails d'implémentation de notre système. Nous avons commencé par donner une vision globale du système afin que le lecteur puisse en créer une première image sur notre système. Ensuite, nous avons cité les outils, environnement et langages de programmation. La partie physique de perception et actionnement de notre système s'est présenté également en détaille et avec son schéma de raccordement incluant tous les composants. Et toutes les tests effectués pour valider le bon fonctionnement du système.



Conclusion Générale

*Le succès est toujours un enfant de
l'audace.*

Conclusion Générale

Le projet est investi dans un cadre de l'agriculture intelligente en particulier dans les vergers de pommes. Notre objectif général était de développer une plateforme pour l'irrigation automatique des vergers de pommes avec la possibilité de supervision et de perception des situations environnementales du sol et des situations météorologiques.

Nettement ce projet, nous a permis d'approfondir nos connaissances théoriques et d'acquérir une certaine expérience au niveau de la réalisation pratique. Nous avons eu l'occasion d'étudier, de concevoir et d'utiliser une diversité de matériels et logiciels et appliquer notre savoir et savoir-faire acquis lors de notre formation. L'intérêt accordé à notre système réside dans le fait qu'il peut être amélioré.

Malgré les efforts que nous avons déployés pour réaliser ce travail, malgré les concepts que nous avons acquis, nous constatons que notre contribution ce n'est qu'un début d'un long chemin. Le travail que nous avons accompli pourra être amélioré, complété et poursuivi de différentes manières, notamment :

- Apprentissage automatique et utilisation de l'historique.
- Nous avons utilisé que quelle que module mais vu le manque de temps et de budget on a pas pu utiliser d'autres comme anémomètre pour mesuré la vitesse du vent ou un module détecteur de flemme pour un système anti incendie...
- Nous espérons que continue ce travail ou d'autre personne la fassent car c'est une innovation avec avancé futuriste.
- Pour pouvoir contrôler l'environnement de plantes on pourra faire appel à d'autres capteurs et des actionneurs qu'on pourra commander à distance ou une manière automatique.

يكفل استخدام التكنولوجيات الحديثة في الزراعة المحمية تخفيض تكلفة الإنتاج ويزيد من أرب لذلك يلزم إجراء قياسات بارامترات كثيرة لم. اح المزارعين بزيادة الإنتاجية من حيث الكمية والنوعية ولكن هناك بعض العوامل البالغة الأهمية التي .راقبة ومراقبة النوعية الجيدة لبساتين التفاح وإنتاجيتها قد تلعب دورا في تحقيق النتائج المرغوبة، مثل درجة الحرارة والرطوبة والماء، وهي العوامل الضر في الزر IoT وفي ورقة المشروع هذه، يستخدم النظام المقترح تكنولوجيا .ورية لتحسين نمو الأشجار ويستخدم النظام لوحة ا .اعة لتطوير الري الذكي، والتحكم في الظروف المناخية الضرورية ورصدها درجة الحرارة الخارجية والداخلية، ورطوبة التربة، وسرعة ال(التي تجمع البيانات UNO لأردوينو التي تلتقطها أجهزة الاستشعار اللاسلكية وغيرها من أ (ياح، ومستوى المياه في الخزان، وتدفق المياه وتتحكم إشارات الإخراج في ال .جهاز الاستشعار السلكية، والتي تعالج بعد ذلك باستخدام خوارزمية وفي الوقت نفسه، سيتم إرسال كافة البيانات إلى خادم قاعدة ال .صمام أو المضخة ذات اللون الأحادي بيانات عبر اتصال

Wi-

بالإنترنت؛ يمكن الوصول إلى هذه البيانات من الشبكة باستخدام مستعرض ويب بواسطة المستخدم Fi يسمح .ين المعتمدين باستخدام أجهزة الكمبيوتر اللوحية والهواتف الذكية وأجهزة الكمبيوتر المحمولة .بمراقبة البيانات وتحليلها عن بعد IoT تطبيق

Résumé

L'utilisation de technologies modernes dans l'agriculture assure la réduction du coût de production et augmente le profit de l'agriculteur en augmentant la productivité en termes de quantité et de qualité. L'agriculture irriguée a été une ressource très importante pour la production alimentaire dans le monde au cours des dernières décennies. Le système proposé utilise les technologies IoT dans le domaine agricole pour la conception et la réalisation d'un système d'irrigation automatique, en contrôlant et en surveillant les conditions climatiques nécessaires. Le système utilise une carte Arduino UNO comme contrôleur principal, elle collecte les données (température, humidité du sol, vitesse du vent et le niveau d'eau dans le réservoir) au moyen d'un ensemble de capteurs, à partir de ces paramètres le système commande l'irrigation automatiquement. En même temps toutes les données collectées seront aussi envoyées au serveur local via une connexion Internet Wi-Fi, ces données seront enregistrées dans le Cloud. Ils seront accessibles avec un navigateur Web par les utilisateurs autorisés utilisant des tablettes, des smartphones et des ordinateurs portables. L'application IoT permet la télésurveillance en temps réel et l'analyse données. Dont le but est d'améliorer les conditions de travail des agriculteurs.

Mots clés : verger de pomme, irrigation, IoT, arduino UNO, Wi-Fi, surveillance, base de données, capteurs

Abstract

The use of modern technologies in protected agriculture ensures the reduction of production cost and increases the farmer's profit by increasing productivity in terms of quantity and quality. Thus, many parameter measurements are needed to monitor and control the good quality and productivity of apple orchards. But some very important factors come into play to achieve the desired results, such as temperature, humidity, and water, which are necessary for better tree growth. In this project paper, the proposed system uses IoT technology in agriculture to develop smart irrigation, controlling and monitoring the necessary climatic conditions. The system uses Arduino UNO board that collects data (external and internal temperature, soil moisture, wind speed, water level in the tank and water flow) captured by wireless and other wired sensors, which are then processed using an algorithm. Output signals control the solenoid valve or pump. At the same time, all data will be sent to the database server via a Wi-Fi internet connection; this data can be accessed from the cloud with a web browser by authorised users using tablets, smartphones and laptops. The IoT application allows remote monitoring and analysis of the data.

Keywords: apple orchard, irrigation, IoT, arduino UNO, Wi-Fi, monitoring, database, sensors