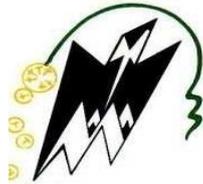


REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOULOUD MAMMARI DE TIZI-OUZOU
FACULTE DE GENIE ELECTRIQUE et D'INFORMATIQUE
DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE



MEMOIRE DE MASTER
DOMAINE : SCIENCES ET TECHNOLOGIES
FILIERE : ELECTRONIQUE
SPECIALITE : ELECTRONIQUE INDUSTRIELLE

THEME

*Conception et réalisation d'un
système d'irrigation intelligent.*

Présenté par : **AMIR Souhila**

Dirigé par : **M^{me} HAMDANI. N**

Promotion 2019/2020

Remerciements

On remercie DIEU le tout puissant de nous avoir donné le savoir et la faculté de pouvoir poursuivre nos études afin de choisir un métier d'avenir noble.

On voudrait tout d'abord adresser notre gratitude à notre promotrice Mme. HAMDANI.N, pour son soutien, sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils et Mr ACHOUR qui ont contribué à alimenter notre réflexion. Sans oublier de remercier l'établissement « ITMAS » de nous avoir reçu dans leur siège afin de compléter notre recherche pédagogique. On les remercie de nous avoir apporté toute leur expérience et leurs compétences sans lesquelles ce travail n'aurait pas pu aboutir.

Merci également aux membres de jury qui ont accepté d'examiner ce travail.

On tient à remercier également tous ceux qui nous ont aidé et contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail

*A mes chers parents : AKLI et Dehbía,
qui sont la joie de ma vie, et qui me procurent
tant de soutien, d'amour et d'affection ; ma
moindre réussite est le fruit de leur sacrifice,
dévouement et persévérance.*

*A MES chères frère ALI et AMAR et leurs
femmes DALILA ET SAMIRA*

*Mes chères sœurs KAHINA ET OUARDIA et
leurs époux et leurs enfants.*

*Spécial dédicace pour mon ange NIBEL, Celle
qui change mon humeur, la personne qui me
rend joyeuse .*

*A la personne qui ma soutenu et qui ma
toujours encouragé pour avancer Kh.N, ainsi
toutes sa famille.*

A toutes la famille « AMIR ».

A toutes mes oncles.

A tous mes amis (es).

Souhila

Table des matières

Introduction générale.....	1
Chapitre I : Généralités sur l'irrigation et la crise mondiale d'eau.	
I. Introduction.....	2
II. Définition de l'irrigation.....	3
II.1. Un système automatisé d'irrigation dans une culture.....	3
II.2. L'irrigation d'une terre cultivée.....	3
II.3. Types d'irrigation (technique d'irrigation).....	3
II.4. Matériel d'irrigation.....	9
III. Une irrigation intelligente face à une crise mondiale d'eau.....	10
III.1. La crise mondiale de l'eau.....	10
III.2. Vue d'ensemble sur la crise mondiale d'eau.....	10
III.3. La crise mondiale de l'eau en chiffres.....	12
III.4. Les principales causes.....	12
III.5. Comment faire face à la crise mondiale de l'eau.....	14
III.6. Solutions liées à l'utilisation quotidienne des ménages.....	14
III.7. Solution liées aux techniques d'arrosage et d'irrigation.....	16
IV. Conclusion.....	18
Chapitre II : Relation entre sols/cultures	
I. Introduction.....	19
II. Besoin en eau des plantes cultivées.....	19
II.1. Le rôle de l'eau dans la végétation.....	19
II.2. La quantité d'eau consommée par les plantes.....	20
III. Mesures de l'humidité de sol.....	24
III.1. Mesures directes de l'humidité de sol.....	24
III.2. Mesures indirectes de l'humidité de sol.....	24
IV. Etude des sols au point de vue de l'irrigation.....	25
IV.1. Détermination des caractéristiques hydrologiques des.....	26
IV.2. Coefficient de flétrissement.....	27
IV.3. Condition de l'irrigation rationnelle.....	27
V. Les cultures irriguées.....	28
V.1. Les facteurs de la répartition des cultures irriguées.....	28
V.2. Dose d'arrosage.....	29

Table des matières

V.3. Espacement des arrosages	30
V.4. Arrosage de jour arrosage de nuit.....	30
VI. Conclusion.....	33

Chapitre III : Conception du système

I. Introduction	34
II. Description de schéma bloc de système	34
III. Fonctionnement de système d'irrigation	34
III.1. Description des différents éléments de schème bloc	36
1) Elément de la carte centrale de contrôle	36
2) Elément de la carte d'émission.....	50
IV. Les organigrammes fonctionnels	60
a) Organigramme générale de système.....	61
b) Organigramme de la zone de captage.....	62
c) Organigramme de la centrale de commande	64
V. Conclusion.....	64

Chapitre IV : Réalisation du système

I. Introduction.....	66
II. Partie logicielle	66
A. Logiciel IDE Arduino.....	66
B. Programmation des capteurs.....	67
C. Configuration des modules Xbee	70
III. La partie matérielle.....	72
1. Réalisation à base de logiciel FRITZING	72
IV. Mise en marche	74
V. Conclusion.....	79
Conclusion générale	80

Liste des figures

Figure(1)	5
Figure(2)	6
Figure(3)	7
Figure(4)	8
Figure(5)	9
Figure(6)	26
Figure(7)	2
Figure(8)	33
Figure(9)	36
Figure(10)	37
Figure(11)	40
Figure(12)	41
Figure(13)	43
Figure(14)	43
Figure(15)	45
Figure (16)	46
Figure(17)	47
Figure(18)	47
Figure(19)	48
Figure(20)	50
Figure(21)	51
Figure(22)	52
Figure(23)	54
Figure(24)	55
Figure(25)	56
Figure(26)	67
Figure(27)	68
Figure(28)	68
Figure(29)	69
Figure(30)	70

Liste des figures

Figure(31)	71
Figure(32)	72
Figure(33)	73
Figure(34)	73
Figure(35)	74
Figure(36)	75
Figure(37)	75
Figure(38)	76
Figure(39)	77
Figure(40)	77
Figure(41)	78
Figure(42)	78

Liste des tableaux

Tableau (1)	4
Tableau (2)	5
Tableau (3)	6
Tableau (4)	8
Tableau (5)	21
Tableau (6)	23
Tableau (7)	26
Tableau (8)	27
Tableau (9)	33
Tableau (10)	34
Tableau(11)	39
Tableau(12)	41
Tableau(13)	42
Tableau(14)	46
Tableau(15)	48
Tableau(16)	49
Tableau(17)	51
Tableau(18)	53
Tableau(19)	55
Tableau(20)	57
Tableau(21)	58
Tableau(22)	59

Introduction générale

Introduction générale :

De plus en plus, l'on se rend à l'évidence que le développement d'un pays ne se bâtit plus uniquement sur la quantité des matières premières ou des ressources naturelles dont il dispose mais plutôt par son aptitude à les valoriser.

La crise économique mondiale a révélé la fragilité de notre économie qui repose sur les hydrocarbures, ce qui nous amène à chercher de nouveaux secteurs qui concourent dans le développement du pays. Mais, le secteur de l'agriculture n'a pas bénéficié de tous les moyens nécessaires pour son développement en valorisant toutes les ressources liées au domaine de l'agriculture en Algérie.

L'introduction de nouvelles technologies et la sensation du manque d'une ressource vitale, pivotés autour de l'eau potable, nous mène la pensée à concevoir une agriculture intelligente et à la modernisation des pratiques agricoles classiques. Certaines tâches fastidieuses, voir même impossibles pourront être assurées de manière automatiques, fin d'augmenter et d'améliorer le rendement des agricultures.

Une irrigation consiste en un apport artificiel d'eau douce sur des terres à des fins agricoles, c'est donc une forme de précipitation artificielle utilisée pour favoriser la croissance des cultures agricoles, l'entretien des paysages, et la végétalisation des sols perturbés dans les zones arides et pendant les périodes de pluies insuffisantes; Mais une irrigation inadaptée ou mal conçue peut être une source de beaucoup de problèmes.

Nous avons choisi de rédiger notre travail sur le domaine de l'agriculture, spécialement l'irrigation des cultures selon les différents sols dont on les a implantés, face à une crise mondiale de l'eau potable. C'est un thème qui nous tient très à cœur et qui nous intéresse également beaucoup. On pense que c'est un sujet qui concerne tout le monde et qu'il est nécessaire d'en parler et de l'analyser.

Ayant la chance d'habiter un petit village, nous avons pu goûter aux plaisirs du jardin de nos parents, celui de nos grands-parents et ensuite nous avons pu nous initier à la culture de plantes médicinales, aromatiques, de fruits et de légumes sur les petites parcelles familiales.

Les agriculteurs sont confrontés à des situations de plus en plus difficiles : avoir une production fructueuse en tenant en compte de la manière d'irriguer les différentes cultures tout en préservant la nappe d'eau. Il s'agit là d'une des raisons du développement des systèmes d'irrigations semi ou totalement automatique.

Ce mémoire est organisé en quatre sections, la première présente les différents types et matériels d'irrigation face à la crise mondiale d'eau et les solutions liées pour protéger cette ressource. Dans la seconde section, nous avons détaillé les facteurs agissant sur la croissance des végétaux et la relation plante/sol mais aussi les quantités d'eau des différentes cultures. La troisième section est réservée à la conception d'un système d'irrigation intelligent, et nous clôturant ce mémoire par la réalisation pratique du système d'irrigation conçu.

I. Introduction :

Dans ce premier chapitre nous allons parler de l'irrigation et les différents techniques existante, et l'irrigation face une crise mondial d'eau est les différents astuce pour préserver cette ressource.

II. Définition de l'irrigation :

Une irrigation consiste en un apport artificiel d'eau douce sur des terres à des fins agricoles, c'est donc une forme de précipitation artificielle, souvent automatisée avec une irrigation par aspersion mais aussi manuelle.

L'irrigation est utilisée pour favoriser la croissance des cultures agricoles, l'entretien des paysages, et la végétalisation des sols perturbés dans les zones arides et pendant les périodes de pluies insuffisantes. Le terrain irrigué devient plus fertile.

II.1. Un système automatisé d'irrigation dans une culture :

L'irrigation est le procédé dans lequel l'eau douce est fournie aux plantes à intervalle réguliers pour leur culture. Que soit une irrigation de surface, une irrigation souterraine, ou par un système de goutte à goutte, tous ces systèmes contribuent à apporter de l'eau aux plantes. L'irrigation s'accompagne parfois d'un apport de nutriment mélangé à l'eau.

L'irrigation est encore exploitée en production agricole dans la protection des plantes contre le gel, la suppression des mauvaises herbes dans les champs de céréales, la prévention de l'érosion du sol par consolidation. En revanche, l'agriculture qui repose uniquement sur les précipitations directes est appelée agriculture pluviale. L'irrigation est souvent étudiée en même temps que le drainage, lequel consiste en l'élimination naturelle ou artificielles de l'eau de surface et de l'eau de sous-sol à partir d'une zone donnée.

L'irrigation traditionnelle est construite sur un système de canaux à travers lesquels l'eau est distribuée en ruisselets dans des zones agricoles. Dans ses extrémités, les ruisselets atteignent des puits qui sont une porte pour la sortie du surplus d'eau. Cette ancienne méthode tombe en désuétude dans le monde développé et des terres irriguées, encourageant les gouvernements à passer à d'autres systèmes.

Actuellement, l'irrigation a surtout lieu par aspersion, ou au goutte à goutte, traitée avec des systèmes informatisés qui régulent la quantité, l'humidité et la fertilisation des sols. Le

système goutte à goutte est très appropriée pour les endroits où il y a un manque d'eau. Pour mettre en œuvre un système d'irrigation efficace, les relations eau-plante et eau-sol doivent être soigneusement examinées, y compris par des moyens faisant appel à la biophysique moléculaire.

II.2. L'irrigation d'une terre cultivée :

L'irrigation d'un terrain agricole pour se faire au travers de l'écoulement d'eau dans des canaux mélanges pour obtenir une terre irriguée.

L'eau d'irrigation est obtenue à partir de : rivière, lacs ou des flux continus de l'eau continentale naturelle, des puits (qui obtiennent l'eau des aquifères souterrains), des stations de traitement des eaux usées, et les processus de dessalement d'eau de mer et à une moindre mesure comme des lacs salés, qui ont le risque de saliniser les terres irriguées. Ce système est distribué par les fossés d'irrigation ou des tuyaux sous pression. Elle peut également être obtenue à partir de réservoirs ou bassins qui recueillent les cours d'eau issus des précipitations naturelles (surtout les oueds) et les transferts d'eau d'autres bassins.

L'irrigation a été un élément central de l'agriculture depuis plus de 5000 ans. [5]

II.3. Types d'irrigation (technique d'irrigation) :

a) À la main :

Le simple arrosage à la main d'une surface de culture est un système d'irrigation, qu'il se fasse avec un tuyau d'arrosage ou avec un banal arrosoir en plastique. Cette pratique ne peut pas convenir à des grandes surfaces.

b) Irrigation par écoulement de surface (irrigation gravitaire) :

Consiste à distribuer l'eau par le biais de canaux et de rigoles sous l'effet de la gravité. Les canaux distribuent l'eau à d'autres canaux secondaires jusqu'aux parcelles. Cependant, beaucoup d'eau s'évapore car le système n'est pas couvert. [6]

Chapitre I : généralités sur l'irrigation et la crise mondial d'eau.

➤ Les avantages et les inconvénients de l'irrigation gravitaire : [2]

Avantages	Inconvénients
-facilité apparente d'utilisation car un débit important peut-être réparti.	-conduite de l'eau délicate pour assurer un mouillage régulier.
-système peu exigeant en main d'œuvre une fois en place si les éléments sont longs.	-nécessite de colatures, mais, pour éviter les pertes d'eau, la durée d'arrosage ne doit pas dépasser 3 fois le temps mis par l'eau pour arriver à l'extrémité.
- bonne répartition de l'eau sur la « surface » exploitée par les racines.	-la pente doit être très faible pour éviter les pertes en sous-sol.
-dose contrôlable.	temps de confection très long.
	.obstacle à la circulation des engins.

Tableau (1) : les avantages et les inconvénients d'irrigation gravitaire

c) Irrigation par aspersion :

Ce système d'irrigation prend place dans le cadre d'un système d'arrosage intégré ou enterré.

L'eau circule dans des canalisations enterrées sous les parcelles. Elle sort vers des tuyaux mobiles qui la distribuent aux cultures via des systèmes d'aspersion. Elle imite une pluie fine qui ne noie pas les plantes ou les jeunes pousses. [6]

➤ Les avantages et les inconvénients de l'irrigation par aspersion : [2]

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none">-Suppression de nivellement.-réduction de la main d'œuvre pour les travaux de préparation avant l'irrigation.-possibilité de l'irrigation fertilisante.	<ul style="list-style-type: none">-Frais d'installation élevés, mais à comparer au cout de nivellement.-pertes en eau par évaporation (peuvent être considérable en Algérie : 25% et plus de l'eau projetée).-lavage des traitements phytosanitaires.-exclusion des eaux chargées.

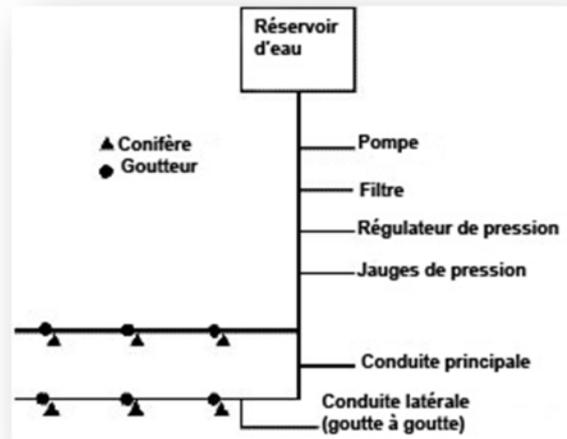
Tableau (2) : les avantages et les inconvénients d'irrigation par aspersion



Figure (1) : irrigation par aspersion.

d) Irrigation par micro-irrigation (goutte à goutte)

La micro-irrigation se fait uniquement avec un système d'arrosage goutte à goutte. C'est un système économe qui n'utilise que ce dont la plante a besoin. Il faut faire attention aux réglages, qui doivent être les plus précis. L'eau doit être filtrée surtout dans les régions où l'eau est dure, pour ne pas boucher la goutte à goutte. [6]



Figure(2) : description d'un système d'irrigation par goutte à goutte.

➤ **Les avantages et les inconvénients de l'irrigation par goutte à goutte :** [9]

Avantage	Inconvénient
-Gain de temps, car l'arrosage se fait automatiquement.	-Toutes les plantes reçoivent exactement la même quantité d'eau.
-Grande économie d'eau et d'engrais.	-Nettoyage périodique des filtres.
-Forte réduction du risque d'apparition des maladies fongiques.	-Vérification de bon fonctionnement et de raccordement de chaque goutteur au réseau d'alimentation.
-Peut fonctionner parfaitement sur une culture à petite échelle comme à très grande échelle.	-Nettoyage intégrale de réseau en fin cycle.

Tableau (3) : les avantages et les inconvénients d'irrigation goutte à goutte

e) Irrigation déficitaire :

Comme l'irrigation déficitaire régulée (IDR). Elle est en plus utilisée pour l'arboriculture commerciale et certaines cultures de plein champ qui réagissent positivement au stress hydrique contrôlé, à des stades critiques de leur croissance. Irrigation déficitaire régulée est souvent pratiquée en même temps que la micro-irrigation et l'irrigation fertilisante, qui prévoit l'application d'engrais dans le système de micro-irrigation. Directement dans la zone où se développent la plupart des racines. Cette méthode a été adaptée à partir du système plus

rudiment d'irrigation par rigoles, utilisé en chine. Les avantages, en termes de réduction de la consommation d'eau, sont évidents, mais ce système n'est utilisable que si l'approvisionnement en eau est très faible.

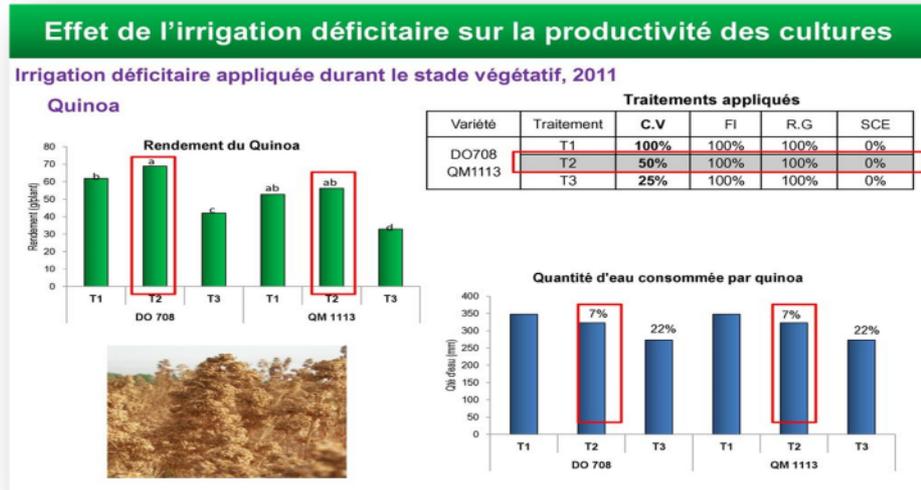
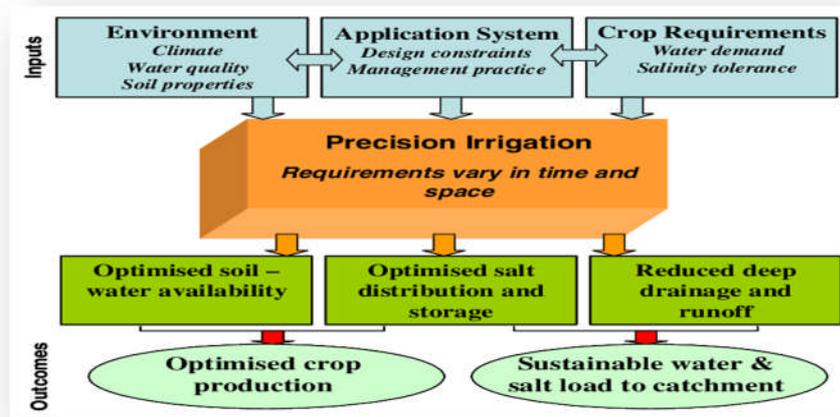


Figure (3) : effet de l'irrigation déficitaire.

f) Irrigation de précision :

Fondée sur le savoir, offre aux agriculteurs des possibilités souple et fiable d'irrigation ; c'est une composante importante de l'intensification durable des cultures. On a testé des systèmes automatisés utilisant à la fois des arroseur fixes et des dispositifs de micro-irrigation qui contrôlent l'humidité du sol et la température de la partie aérienne des plantes pour définir le niveau d'irrigation à appliquer, en différents endroits du champ. L'irrigation de précision et l'application de précision d'engrais dans l'eau irrigation sont dans un cas comme dans l'autre, des atouts futurs pour les cultures de plein champ et les cultures horticoles, mais les problèmes potentiels ne manquent pas. Récemment, des simulations par ordinateur ont montré qu'en horticulture. La gestion de la salinité est un facteur critique pour la durabilité de la production. [1]



Figure(4) : irrigation de précision.

➤ Les avantages et les inconvénient de l'irrigation de précision : [8]

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> -Applicable aux différents terrains et aux différentes cultures. -Ne nécessitant pas beaucoup de moyennes matériels. -La terre reste sèche entre les sillons. -I 'eau n'atteint pas les tiges des plantes. -Frais réduites d'aménagement du sol. -Besoins en énergie faible 	<ul style="list-style-type: none"> -Les besoin en main d'œuvre peuvent être importants. -Perte d'eau très importante. -Rendement hydraulique globale est très faible par rapport aux autres systèmes d'irrigation. -Grand volume d'eau apporté à la parcelle. -Perte par infiltration considérables.

Tableau (4) : les avantages et les inconvenantes d'irrigation de précision

➤ Schéma globale des types d'irrigation

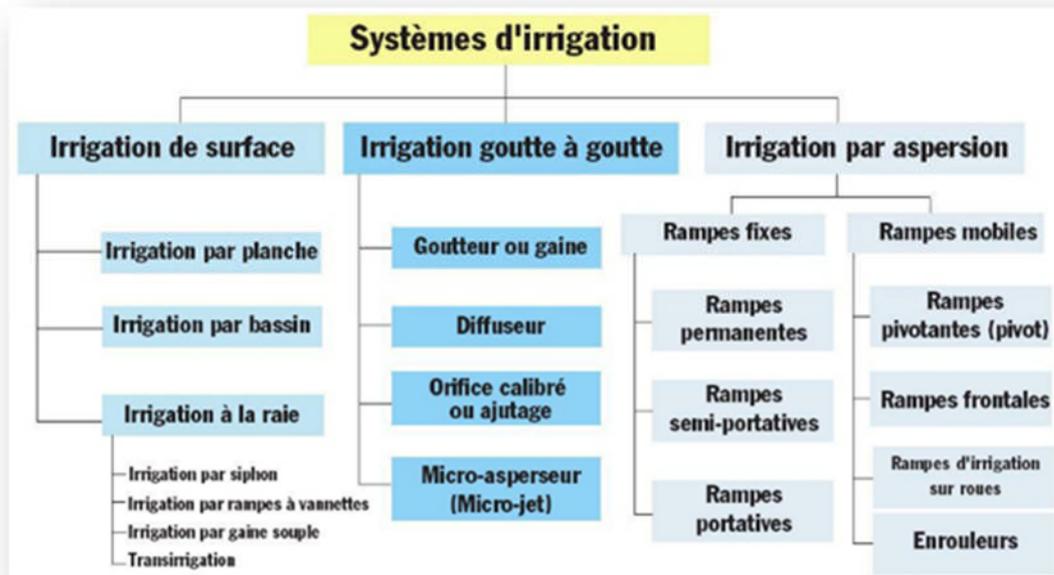


Figure (5) : les systèmes d'irrigation.

II.4. Matériel d'irrigation :

On peut distinguer deux catégories de matériels ou d'installation nécessaire à l'irrigation.

- . Ceux servant à amener l'eau depuis les sources disponibles (cours d'eau, lacs ou retenues nappe phréatique).
- . Ceux servant à l'irrigation proprement dite, c'est-à-dire à distribuer l'eau aux plantes.

Dans la première catégorie on trouvera : forage pompes, réseaux d'irrigation, canaux, norias...

Dans la seconde catégorie on trouvera : asperseur, canons d'arrosage, arroseurs automoteur, goutteurs. Il existe par exemple un système d'irrigation à pivot central. [7]

III. Une irrigation intelligente face à une crise mondiale d'eau :

III.1. La crise mondiale de l'eau :

En ce début du XXI^e siècle, la terre et ces formes de vie diverses et abondantes (notamment ses 6 milliards d'être humaine), sont confrontées à une grave crise de l'eau.

Tous les signes suggèrent que cette crise s'intensifie et que la situation continuera d'empirer tant qu'aucune action corrective ne sera menée.

En effet, l'eau constitue l'élément qui garde le monde en vie, l'importance de l'eau pour la vie humaine n'est plus à démontrer car il est parmi les composants essentiels dans l'équilibre de l'écosystème dans le monde. Cette ressource qui répond aux besoins fondamentaux de l'homme est un élément clé de développement, en particulier pour générer et entretenir la prospérité par le biais de l'agriculture, de la pêche, la production d'énergie, de l'industrie, des transports et du tourisme.

En outre, l'eau est vitale pour tout l'écosystème du monde.

III.2. Vue d'ensemble sur la crise mondiale d'eau :

A première vue, l'eau semble la ressource la plus abondante sur terre. Mais en réalité, l'eau douce ne représente que 1% de toute l'eau terrestre. Les 99% restants sont indisponibles pour l'utilisation humaine, car on les retrouve sous forme d'eau de mer ou d'eau saumâtre, de neige ou de glace. Alors que les ressources en eau douce ne sont pas extensibles, la demande explose sous l'effet d'une croissance rapide de la population mondiale qui puise dans les réserves de la planète, et d'une augmentation exponentielle de la consommation.

Le problème ne se limite pas aux pays en voie de développement.

Aux Etats-Unis, pourtant moins densément peuplés, l'offre peine aussi à satisfaire la demande, en raison notamment d'une consommation très élevée liée au mode de vie américain.

Depuis 1900, la population des Etats-Unis a doublé, mais la consommation de l'eau par personne a été multipliée par huit, car la technologie et l'amélioration du niveau de vie ont entraîné une multiplication par deux de la consommation d'eau tous les 20 ans.

Chapitre I : généralités sur l'irrigation et la crise mondiale d'eau.

Aujourd'hui, les américains utilisent en moyenne 382 litre d'eau par personne et par jour, dépassant de beaucoup le minimum de 78 litres par jour estimé nécessaire pour les besoins vitaux, l'hygiène et la protection de nourriture.

Dans le livre blanc « l'irrigation pour un monde en croissance » des options telles que le dessalement, la ré-tarification, le recyclage de l'eau et l'amélioration de l'infrastructure et des systèmes de distribution d'eau requièrent une mobilisation des pouvoirs publics et des organisations internationales.

III.3. La crise mondiale de l'eau en chiffres :

Entre 1900 et 1995, la consommation mondiale en eau a été multipliée par 6, soit un rythme d'augmentation deux fois plus rapide que celui de la population au cours de la même période.

D'après une récente analyse, la pénurie d'eau dans certaines régions pourrait bien devenir le problème le préoccupant du XXI^e siècle après la croissance démographique. A première vue, on pourrait penser que l'accès à l'eau douce est un problème purement socio-économique. Certains disposants de ressources hydriques et/ou des moyens de les exploiter et d'autres non. C'est oublier que certaines applications de la science comme les engrais chimiques, divers processus industriels ou encore l'irrigation intensive sont en partie responsable de ce risque imminent de pénurie. Heureusement, il est d'autres applications de la science qui offrent au moins une amorce de solutions.

En effet, l'eau est la première cause de misère, de souffrance, d'inégalité et de pauvreté dans le monde. Chaque jour ce sont 25.000 personnes qui décèdent de maladies liée à l'eau, dont la moitié d'enfants.

Les maladies hydriques aient causé, en 2004, près de 8 millions de morts, s'imposant ainsi comme la première cause de mortalité dans le monde (dix fois plus de morts que l'ensemble des guerres qui sévissent à travers la planète).

On est en présence d'un double défi : la gestion durable des ressources et l'accès des populations pauvres à l'eau. Le manque d'accès à l'eau potable et a l'assainissement est au cœur du problème. La communauté internationale se mobilise depuis quelques années autour de cette question et elle l'a notamment mise au cœur de l'un des huit Objectifs du Millénaire

pour le Développement (OMD). Dix ans auparavant, l'eau n'avait reçu qu'une faible attention. La prise de conscience des enjeux du problème est donc assez récente. L'un de « objectifs du millénaire » est de diviser par deux, d'ici à 2025, le nombre de personne n'ayant pas accès à l'eau potable ou à l'assainissement dans le monde.

Aujourd'hui, plus d'un milliard d'humains ne sont pas ravitaillés en eau potable (plus de 15% de la population mondiale) et 2.6 milliards ne bénéficient pas de systèmes d'assainissement de base (42% de la population mondiale). Or « les chiffres montrent qu'on est loin d'atteindre les Objectifs du millénaire ». Sur l'accès à l'eau potable, des progrès sont à noter, sauf en Afrique. Mais en ce qui concerne l'assainissement, tout reste à faire.

III.4. Les principales causes :

Les principales causes d'une telle crise peuvent être résumées en ce qui suit :

- **Une ressource déjà rare :** plus de 70% de la surface du global est recouvert d'eau mais 2.5% seulement de cette masse est constitué d'eau douce. Le reste étant l'eau salée des océans. Et sur cette quantité relativement réduite d'eau douce, 1% seulement, soit moins de 0.007% de la masse globale des eaux du monde, est d'un accès facile. C'est l'eau qu'on trouve dans les lacs, rivières, réservoirs et les nappes souterraines assez peu profondes pour que leur exploitation soit rentable. Seules ces réserves sont régulièrement reconstituées par les précipitations et la neige et peuvent donc être considérées comme une ressource renouvelable.
- **Une répartition inégale :** les régions largement irriguées par de grands fleuves disposent d'importantes réserves en eau même si le niveau peut varier énormément entre saisons sèche et humide. Alors que le bassin de l'Amazone charrie 16% de la masse des eaux fluviales du globe, les zones arides, qui représentent 40% des terres émergées, ne disposent que de 2% du total.
- **La sécurité alimentaire :** plus la population augmente et plus la quantité d'aliments nécessaires pour nourrir la planète ne s'accroît. Depuis les années 60, les agriculteurs ont recours à l'irrigation intensive pour satisfaire cette demande croissante. L'irrigation représente actuellement 70% de l'ensemble de la consommation mondiale d'eau douce. Dans les zones arides, l'irrigation absorbe jusqu'à 90% des ressources en eau disponibles.
- **Le gaspillage :** Dans un sens, l'eau ne se perd jamais, puisqu'elle passe simplement d'un état ou d'un lieu à autre. Mais il faut 1400 ans pour qu'une couche d'eau souterraine (ce qu'on appelle un aquifère) se reconstitue.

Chapitre I : généralités sur l'irrigation et la crise mondial d'eau.

A ce sens, on constate que :

- Dans les pays en développement les fuites représentent jusqu'à 50 % de la perte de l'eau potable.
- L'irrigation intensive, s'accompagne également de pertes qui peuvent aller jusqu'à 40% de l'eau de pompage.
- Les membres d'une famille vivant dans des régions arides d'Afrique disposent de 10 à 40 litres d'eau par personne et par jour pour boire, faire la cuisine et se laver, alors que les habitants des villes d'Europe ou d'Amérique du Nord consomment de 300 à 600 litres par jour et par personne.
- **La pollution :** L'industrie restitue aux fleuves et aux lacs la majeure partie de l'eau qu'elle utilise, mais celle-ci est souvent contaminée. Et l'eau de drainage provenant de l'irrigation contient souvent des engrais et des pesticides qui polluent les sources et les rivières. Andras Szollosi-Nagy, Directeur de la Division des sciences de l'eau de l'UNESCO, n'hésite pas à qualifier la pollution des eaux de véritable « bombe à retardement ». Selon lui, en ce qui concerne les réserves d'eaux souterraines de l'Europe, on peut considérer que la couche supérieure de l'aquifère est condamnée.

La concentration en nitrates et en phosphates y est si forte que nous allons bientôt devoir forer jusqu'à un deuxième niveau, à supposer que celui-ci existe.

- **L'explosion démographique :** la population mondiale devrait compter 8,7 milliards d'hommes d'ici 2025, soit 2,6 milliards de plus qu'en 1995, et cette croissance sera surtout sensible dans les régions qui souffrent déjà de rareté ou de pénurie d'eau. A l'heure actuelle, les trois quarts de la population mondiale vivent dans des régions qui consomment un peu plus de 20% des ressources en eau disponibles.
- **Le changement climatique :** Beaucoup d'analystes prévoient une élévation de un à deux degrés de la température de l'air d'ici 2050 par suite du réchauffement planétaire. Dans les zones arides, cela pourrait entraîner une baisse de 10% des précipitations et une réduction de 40 à 70% de la masse des eaux lacustres et fluviales. Dans les régions plus froides éloignées de l'équateur, l'amplitude accrue du dégel printanier pourrait se traduire par des inondations, alors que le débit d'étiage des rivières serait plus faible.

III.5. Comment faire face à la crise mondiale de l'eau :

Une question se pose : aurons-nous assez d'eau, en 2050, pour nourrir les 9 milliards d'habitants de la planète ?

L'agriculture en est, de loin, la plus grande consommatrice, avec 70% des volumes. Le message de la communauté scientifique et des praticiens du secteur est aujourd'hui clair : C'est le secteur agricole qui doit en priorité économiser l'eau si le monde veut éviter une des ressources hydrique, liée à la fois à l'augmentation des besoins et aux effets du réchauffement climatique. Il faut doubler la production agricole d'ici quarante ans et, si rien ne change, les besoins en eau pour l'agriculture doubleront aussi. Nous devons impérativement produire plus avec moins d'eau. D'un côté, des solutions en relation avec les mauvaises habitudes peuvent être envisagées, et d'autre coté, on constate que des solutions techniques existent. D'abord, mieux capter et utiliser l'eau de pluie. Mais pas forcément en construisant de nouveaux grands barrage : "En développant de petites infrastructures de stockage, et en apportant de petites quantités d'eau au moment où la plante en le plus besoin, on peut passer d'un rendement de dix quintaux de céréales à l'hectare a trente".

De petit aménagement (cordons de pierre, par exemple) ou l'amélioration du travail du sol permettent aussi, en retenant l'humidité, d'améliorer les rendements, parfois de manière spectaculaire.

III.6. Solutions liées à l'utilisation quotidienne des ménages :

Globalement l'industrie et l'agriculture ont fait de gros progrès pour limiter la croissance de leurs besoins en eau. Seule aujourd'hui la consommation des ménages ne cesse d'augmenter. La production d'eau potable représente 18% de l'ensemble du volume prélevé.

Au début, les initiatives d'économie d'eau des ménages ont visé des réductions de consommation à l'intérieur des habitations, telles que la mise au point de modèle de WC plus économes dans les années 1960. Des études ont relevé que les chasses d'eau consommaient jusqu'à 50% du budget des ménages consacrés à l'eau. Une décennie plus tard, l'étalement généralisé des villes aux Etats-Unis et les pénuries d'eau résultantes ont incité les sociétés de distribution d'eau à imposer de nouvelles mesures d'économie d'eau domestique et mener de grandes campagnes d'éducation.

Chapitre I : généralités sur l'irrigation et la crise mondial d'eau.

La prise de conscience de la nécessité d'économiser l'eau aussi à l'extérieur, et l'organisation de campagnes de sensibilisation en ce sens, sont plus récentes.

Aujourd'hui encore, la plupart des propriétaires connaissent mieux "les bonnes pratiques" d'économie d'eau intérieures, telles que l'utilisation de WC à chasse économique, de douches à pompe économique ou de lave-vaisselles ou machines à laver économiques, que les mesures d'économie d'eau extérieures.

Etant donné que l'irrigation du jardin peut représenter 20 à 50% de la consommation annuelle de 359.614 litres d'eau d'un ménage américain moyen, la réduction de l'arrosage peut contribuer de manière importante à la résolution des problèmes de pénurie d'eau.

Ceci dit, les particuliers ont souvent bien du mal aujourd'hui à concilier les impératifs d'économie d'eau et leur désir d'avoir un beau jardin. Pour beaucoup, un espace vert favorisant l'économie d'eau évoque des images de sable, de rochers et de cactus, voire même de béton. Cette conception minimaliste constitue peut-être le summum de l'économie d'eau, mais ne fait généralement pas partie des choix envisageables par les personnes concernées, pour des raisons de climat ou de préférences personnelles.

En résumé, on peut dire que la facilité d'accès à cette précieuse ressource, les mauvaises habitudes, la tranquille négligence et le conditionnement culturel participent de cette surconsommation d'eau.

Une petite prise de conscience et quelques gestes simples suffiraient à faire baisser la consommation de chacun d'entre nous sans effort particulier.

De petits équipements complément et peu coûteux permettent de faire baisser la facture pour les consommateurs et pour l'environnement :

- a) **Le réducteur de débit** : l'équipement s'installe entre le tuyau et la pomme de douche. Il consiste à réduire le diamètre de passage de l'eau. Le débit de l'eau baisse de 50 à 60% tout en gardant une pression équivalente. D'une douche de 40 litres on passe alors à 20-25 litres !
- b) **Le mousseur** : le principe du mousseur est identique à celui du réducteur. Il permet en plus d'aérer le jet d'eau ce qui limite le débit réel en offrant une sensation de puissance équivalente. Les mousseurs se fixent sur les embouts des robinets. L'économie attendue est de l'ordre de 50%.

- c) **La pomme de douche économique** : le principe de l'appareil consiste à frictionner les gouttes d'eau entre elles. La surface de contact est ainsi plus grande avec la peau et limite les besoins en débit. L'économie est de 50% environ !
- d) **Le stop douche** : Ce système se fixe à la base du tuyau de douche, juste après le robinet. Très pratique il permet d'interrompre momentanément le flux de la douche, le temps de se savonner par exemple, et de le reprendre en subissant de refroidissement. L'équipement permet de gagner jusqu'à 50% d'eau sur une douche, soit 20 litres environ !
- e) **Le mitigeur thermique** : C'est un système plus élaboré qui ne s'ajoute pas à la robinetterie mais en fait partie à l'origine. Le thermostat permet de régler la température d'un côté et la puissance du flux de l'autre. Ainsi l'utilisateur ne perd plus d'eau en cherchant la température qui lui convient.
- f) **La chasse d'eau à 2 vitesses** : A défaut d'installer des toilettes sèches, solution radicale pour réduire sa consommation d'eau, il est possible de réaliser de conséquentes économies avec une chasse d'eau à double vitesse. Un bouton libère 5 litres d'eau environ, l'autre 9 litres.

Notons que les équipements électroménagers sont désormais classés par leur potentiel d'économie d'énergie. Ce classement est symbolisé par des lettres allant de A pour les plus performants à G pour les plus énergivores. La consommation d'eau est intégrée dans cette classification.

III.7. Solutions liées aux techniques d'arrosage et d'irrigation :

a) Arroser plus efficacement son jardin :

L'eau devient une ressource de plus en plus rare qu'il convient de protéger. Nombreux sont encore les jardiniers qui arrosent de façon inadéquate leur parcelle. Les besoins sont d'environ 6 litres par mètre carré par jour, un jardin s'arrose tous les trois jours en période estivale, quand on sait que 80% de l'eau projetée dans les airs n'atteint pas la plante car elle s'est évaporée, nous nous devons de changer nos habitudes.

Cela passe généralement en délivrant l'eau au plus près des racines pour éviter toute évaporation massive. Exemple : un tuyau est relié au robinet qui amène de l'eau au plus près des plantes. Ce tuyau est perforé tous les 30 à 50 cm en fonction de l'espacement des plantations pour un arrosage optimal. Ou encore préférez l'arroseur plutôt que le jet d'eau automatique.

Chapitre I : généralités sur l'irrigation et la crise mondial d'eau.

Cela présente un double avantage : *Optimisation de l'arrosage, économie sur la facture d'eau.*

b) Bien choisir le type de sol :

Le type de sol est 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 sur les fréquences d'irrigation. Par exemple, une argile aura assez l'eau en réserve en débit 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 restitue à la demande des besoins à la culture.

c) Analyse des espaces verts :

La conception correcte d'un espace vert dépend pour beaucoup d'une analyse correcte de ses différentes zones. Les systèmes d'arrosage les plus économiques divisent le terrain en zones d'arrosage distinctes, correspondant à des végétations dont les besoins en eau sont différents. De nombreux jardins comprennent par exemple des pelouses, des parterres de fleurs, des massifs, des arbres et même des plantes en pot. Chacun de ces types de végétation a des besoins en eau différents, et doit être traité comme une unité séparée. Des différences d'ensoleillement (zone ombragée ou plein soleil) influencent aussi les besoins d'arrosage.

Le gazon et certaines autres plantes ont généralement besoin d'un apport d'eau plus important pour rester en bonne santé. Diviser un espace vert en différentes zones évite d'imposer les besoins d'eau à toute la végétation et de donner ainsi trop d'eau aux massifs et aux arbres, et réduit d'autant la consommation d'eau totale.

On néglige trop souvent de tenir compte de caractéristiques naturelles préexistantes telles que le relief du terrain et la nature du sol plus ou moins perméable, rocheuse, sablonneuse ou argileuse. Tenir compte de la perméabilité du sol et de l'écoulement naturel de l'eau à travers le terrain permet d'inclure des zones d'arrosage adaptées à la compensation des défauts de drainage. [1]

IV. Conclusion :

L'irrigation est un facteur déterminant de la production fruitière dans de nombreuses régions, mais, c'est une technique encore souvent mal utilisée.

Cependant, l'eau est rare et chère : bien employée, elle permet des résultats remarquables ; mal utilisée, elle peut conduire à des échecs graves. C'est pourquoi, **la maîtrise de l'irrigation** est essentielle dans tout effort d'intensification et d'amélioration de la production fruitière.

I. Introduction :

Comme tous les organismes vivants, les plantes ont besoin pour vivre et se développer de chaleur et d'humidité. La chaleur leur est fournie par le rayonnement solaire et ce sont ses variations qui règlent en grande partie la répartition des organismes à la surface du globe. L'action de l'homme sur ce facteur cosmique est à peu près nulle.

L'humidité du sol provient, soit des eaux météoriques qui tombent à sa surface sous forme de pluie, de neige ou de grêle et y pénètrent par infiltration, soit de la vapeur d'eau qui se condense dans les couches superficielles. Tandis que l'homme peut dans une certaine mesure, suppléer à l'insuffisance des précipitations en apportant artificiellement au sol des eaux puisées dans les réservoirs naturelles.

II. Besoin en eau des plantes cultivées :

II.1. Le rôle de l'eau dans la végétation :

Le rôle de l'eau dans le développement du végétal est complexe : D'une part, elle entre dans la constitution même de la matière vivante et, à ce titre, peut être considérée comme un aliment de la plante ; d'autre part, elle sert de solvant aux matières minérales du sol et aux substances élaborées par les cellules, de façon à en permettre le transport aux points d'utilisation. Enfin, il convient de signaler que, par l'évaporation tant à la surface du sol qu'à celle des organes végétaux, la température de ces derniers est constamment abaissée, ce qui peut avoir des conséquences heureuses dans les pays chauds.

a) L'eau considérée comme aliment :

Les recherches faites par de nombreux auteurs pour déterminer la quantité d'eau contenue dans les végétaux et comprenant, non seulement l'eau entrant dans la constitution des cellules, mais également celle circulant dans les divers vaisseaux, montrent que le pourcentage en poids peut atteindre 95%.

Arbres.60%

Céréales.75%

Légume.90%

Fruits, salades.95%

La teneur en eau des tissus varie d'ailleurs avec la période de végétation. Elle paraît être maximale à la période de la floraison et s'abaisser très sensiblement à la période de la maturation.

b) L'eau considérée comme solvant :

L'eau sert à dissoudre les matières minérales du sol, la force de pénétration de l'eau dans les racines est égale à la différence entre la pression osmotique du cellulaire et de la contrepression exercée par la paroi des cellules du fait de la turgescence.

c) Refroidissement des végétaux :

L'eau s'évaporant à la surface des feuilles absorbe une certaine quantité de chaleur, ce qui contribue à maintenir la plante à une température compatible avec son bon développement.

II.2. La quantité d'eau consommée par les plantes :

L'absorption de l'eau par le végétal est conditionnée par les pertes subies par celui-ci, qui sont elles-mêmes fonction de l'activité de la transpiration et de la sudation. Ces pertes sont, par suite, extrêmement variables, non seulement dans le cours de la végétation, mais aussi pendant une même journée. Il faut donc que l'appareil racinaire qui est chargé d'alimenter en eau le végétal ait une très grande souplesse de fonctionnement.

a) Rôle des racines :

Le système racinaire des plantes constitue l'organe d'absorption proprement dit, mais les différentes parties du système ne jouent pas toutes leur rôle avec la même intensité. Ce sont les poils absorbants des racines en voie de croissance qui manifestent le maximum d'activité. Toutes les conditions favorisant cette croissance, c'est-à-dire une température optimum, une aération suffisante, une nutrition abondante, favorisant également l'absorption d'eau, d'où le développement du végétal.

Les variations d'humidité du sol sont éminemment propres à accroître l'activité du système racinaire, car elles agissent à la fois sur la température et sur l'aération du milieu. Par contre, un sol constamment saturé d'eau ne contient pas de racines et il est indispensable de l'assainir si on veut le faire participer à la nutrition des plantes cultivées.

b) Constance relative de l'absorption :

On a longtemps cru que la teneur en eau du sol avait une influence sur l'absorption et que plus cette teneur était élevée, plus le végétal consommait d'eau. Mais les récents travaux américains ont montré que l'approvisionnement du sol en eau ne paraissait jouer aucun rôle sur l'absorption. Quelle que soit l'humidité de sol tant que celle-ci ne s'abaisse pas au-dessous du point de flétrissement, les végétaux paraissent puiser avec la même facilité le liquide qui leur est nécessaire.

Pour la même raison, il est préférable, en irrigation de répartir l'eau à la surface du sol pour que toutes les plantes puissent en bénéficier rapidement.

c) Facteurs qui agissent sur la consommation d'eau :

Il convient d'envisager d'abord la consommation instantanée, puis la consommation globale pendant toute la durée de la végétation.

❖ **Facteur climatique** : ce sont ceux que nous venons d'étudier.

- La température et la luminosité du lieu considérée :

La croissance des plantes dépend également de la température. Pour chaque culture il y a un intervalle de température optimale pour la croissance. Et pour la croissance de certaines cultures nous pouvons nous référer au tableau suivant :

Cultures	Température
Tomates	18-23°C
Laitue	10-18°C
Radis noir	20-26°C
Haricots vert	18-25°C
Melon miel	13-18°C
Poivron	18-23°C
Chou	15-23°C
Aubergine	22-26°C
Concombre	22-26°C

Tableau (5) : Température optimale de croissances de certaines légumes

Chapitre II : Relation entre sols/cultures

- Les mouvements de l'atmosphère.
- Le déficit hygrométrique.
- Pluviométrie : un aperçu de la pluviométrie mensuelle moyenne indique comment la pluie est répartie sur une année, ce qui nous intéresse principalement est de savoir quelles sont les périodes de pluie et les périodes de sèches.
- Durée d'ensoleillement : la croissance et le niveau de production des plantes dépendent grandement de la quantité de soleil que la culture reçoit par jour. Pour ceci, la durée d'ensoleillement est une bonne référence. Bien des cultures réagissent aux journées plus courtes ou plus longues. C'est pourquoi il est important de connaître la durée de jour tout au long de l'année.

L'influence de ces facteurs climatique est prépondérante car, non seulement ils agissent sur la consommation, mais ils règlent les apports des précipitations. Ce sont donc eux qui, en définitive, conditionnent la vie végétale à la surface du globe.

❖ **Facteur physiologiques** : ce sont les facteurs inhérents à la plante elle-même.

- La nature de la plante : certains végétaux adaptés aux milieux secs transpirent beaucoup moins que d'autres.
- Le développement foliaire : pour une même plante plus la surface foliacée est développée, plus la transpiration, et plus la consommation d'eau est importante.
- L'âge et la vigueur des feuilles : les feuilles saines en plein développement évaporant plus que les feuilles jeunes, ou que celles qui dépérissent. De même, la richesse des feuilles en chlorophylle accroît la transpiration à la lumière solaire.

La consommation globale pendant tout le cours de la végétation est naturellement influencée par les facteurs dont il vient d'être parlé et en outre par la durée de cette végétation et par la plus ou moins grande richesse du sol en éléments fertilisants.

a. *Façon d'exprimer la consommation d'eau des plantes :*

Cette consommation peut s'exprimer de deux façons.

- Par le poids d'eau nécessaire par la formation d'un Kilogramme de matière sèche. C'est la consommation relative.
- Par la hauteur d'eau quelle représente par jours, par mois ou pendant la durée de la végétation. C'est la consommation absolue.

b. *Consommation d'eau effective par hectare :*

Chapitre II : Relation entre sols/cultures

Il est possible de connaître les besoins en eau des plantes cultivées, de déterminer pour chaque région :

- La quantité d'eau totale qui doit être fournie au sol pour assurer la production d'une bonne récolte annuelle.
- La répartition de cette quantité pendant la période de végétation.

On obtiendra des résultats théoriques qui n'auront qu'une valeur indicative, mais dont l'intérêt est évident.

Dans nos régions tempérées, pour tenir compte des étés secs et chauds qui se produisent fréquemment, il est prudent de ne pas descendre au-dessous de 500 litres d'eau par kilogramme de matière sèche produite. Et si on y ajoute l'évaporation normale par le sol et les mauvaises herbes, on arrive au chiffre moyen de 600 litres.

Si P est le poids total de la récolte contenant en moyenne 15% de matière organique, on a comme volume d'eau utilisé :

$$v = p * 0.15 * 600 + (p * 0.85) = 90.85p$$

Le premier terme correspond à l'eau d'évaporation, le second à l'eau de constitution.

On peut, par suite, pour les plantes de grande culture, dresser de façon très approximative le tableau suivant :

Cultures	Poids net de récolte (tonne)	Tonnes d'eau évaporée	
		Par hectare	Hauteur correspondent
Blé	4.5	3.000	300 m/m
Betteraves	35	4.500	450 m/m
Pomme de terre	25	3.200	320 m/m
Trèfle	8	3.800	380 m/m
Luzerne	10	4.800	480 m/m

Tableau (6) : l'évaporation d'eau des grandes cultures

Ces quantités sont des maximas pour nos régions et on peut obtenir des récoltes déjà satisfaisantes avec des volumes plus réduits. On sait, en effet, que les plantes s'accommodent jusqu'à un certain point de la quantité d'eau dont elles disposent.

d) Répartition de la consommation :

La consommation d'eau est loin d'être régulière dans tout le cours de la végétation ; nous avons vu qu'au moment de la formation des organes essentiels les besoins sont élevés, tandis qu'ils diminuent après la floraison et lors de la maturation.

III. Mesures de l'humidité de sol

III.1. Mesures directes de l'humidité de sol :

La méthode la plus simple consiste à prélever des échantillons de terre dans la couche de sol exploitée par les racines (le réservoir utile) et à les peser, avant et après dessiccation, pour connaître, leur teneur en eau.

D'autres méthodes utilisant des sondes électriques ou des tensiomètres placés à demeure dans les vergers ne sont presque plus utilisées aujourd'hui.

Par contre la sonde à neutrons (expérimentée depuis 1952) donne un regain d'intérêt pour les procédés de mesure directe : son fonctionnement est simple : l'émetteur est descendu dans le trou de sondage et l'opérateur lit, à mesure, les teneurs en eau correspondant aux différentes profondeurs explorées.

L'appareil est malheureusement fort cher et réservé, de ce fait, à des instituts de recherche ou de vulgarisation.

III.2. Mesures indirectes de l'humidité de sol :

Une bonne alimentation en eau suppose, qu'à tout moment, il y a équilibre satisfaisant entre la quantité d'eau susceptible de cheminer du sol jusqu'à la surface foliaire évaporation peut être assurée par ce feuillage.

Cette « demande » qui exprime les besoins bruts en eau de la culture et dépend, essentiellement, du climat-est **l'évapotranspiration potentielle** (désignée par les trois lettres E.T.P), valeur caractéristique d'un lieu donné pour une période donnée.

Chapitre II : Relation entre sols/cultures

Des formules de calcul d'E.T.P. à partir d'observation météorologiques locales permettent une évaluation satisfaisante de la consommation en eau d'une surface couverte de gazon, en parfait état végétatif.

IV. Etude des sols au point de vue de l'irrigation :

Bien que la consommation d'eau par les plantes soit continue. Mais ce n'est pas nécessaire de remplacer régulièrement l'eau évaporée pour obtenir le maximum de rendement. Il suffit d'imiter la nature en utilisant le sol comme réservoir et en assurant simplement de temps à autre son remplissage par des moyens artificiels lorsque les précipitations atmosphériques sont déficientes. Ainsi l'irrigation telle qu'on la pratique en grande culture est intermittente : Elle consiste à humecter à intervalles plus ou moins espacés suivant les besoins, la couche de sol accessible aux racines afin que se dernières trouvent toujours à leur disposition l'eau dont la plante a besoin. Mais si cette méthode est avantageuse par l'économie de main-d'œuvre qu'elle procure, elle présente l'inconvénient de favoriser le gaspillage de l'eau.

De plus l'opération pour être menée rationnellement, nécessite la connaissance des diverses capacités du sol et de ses propriétés physique. Il convient donc de déterminer, d'abord la capacité du réservoir-sol et ensuite fixer ses possibilités de remplissage.

La capacité utile d'un sol se détermine en fonction des 3 éléments :

- ✓ Sa capacité totale pour l'eau donnée par son coefficient de porosité μ_t .
- ✓ Sa capacité normale d'absorption correspondante à son coefficient de rétention r .
- ✓ Son point de flétrissement f .

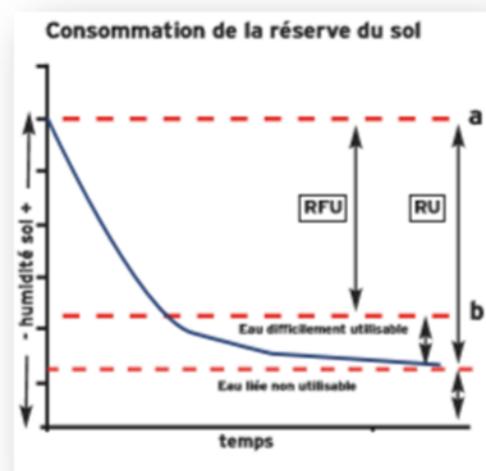


Figure (6) : la mesure d'humidité dans le sol

Chapitre II : Relation entre sols/cultures

On notera que dans un grand périmètre d'irrigation on sera souvent obligé de soumettre à l'analyse physique les principaux types de sols afin de déterminer leurs caractères intrinsèques indépendants de leur état momentané pour pouvoir les comparer entre eux et les classer dans l'échelle internationale de fractionnement qui sera rappelée plus loin.

Si on veut faire des prélèvements dans un périmètre irrigué afin de déterminer uniquement le taux d'humidité du sol, il est indiqué d'employer des méthodes plus rapides en utilisant des sondes.

La terminologie habituellement adoptée pour classer les sols agricoles est la suivante :

Nature de sol	Fractions				CO ₃ Ca	Matière organique
	1	2	3	4		
Sol argileux	20%	25 à 50%	20 à 25%	<5%	<1	<2
Limon	10 à 15	20 à 40	20 à 40	10 à 25	<1	<2
Terre franche	5 à 10	10 à 15	15 à 30	30 à 50	1 à 5	2 à 5
Argile humifère	10 à 25	10 à 20	15 à 30	5 à 15	1 à 3	<10
Argile calcaire	10 à 20	10 à 20	15 à 30	5 à 15	5 à >30	<2
Sable calcaire	<5	5 à 10	15 à 30	30 à 40	5 à >30	<2

Tableau (7) : classement des sols agricoles

IV.I. Détermination des caractéristiques hydrologiques des sols :

Les caractéristiques hydrologiques des sols sont à étudier pour chaque grande zone de terrain homogène de façon à pouvoir déterminer ultérieurement les conditions de son irrigation rationnelle. Il sera souvent indiqué dans une première étude d'utiliser les méthodes par centrifugation, simples et rapides dont les résultats « approcher » suffisent souvent aux ingénieurs pour leur permettre de dresser leurs projets.

Enfin à la suite de nombreuses études de sols les agronomes estiment que la capacité de retentions est fournie par le pourcentage d'eau restant dans un échantillon de sol soumis à une tension de centrifugation de 1/3d'atmosphère.

Chapitre II : Relation entre sols/cultures

La répartition de l'eau en profondeur est rarement uniforme puisqu'elle dépend de la structure et de l'homogénéité du sol. Voici des chiffres relevés pour trois types de sols après de fortes pluies.

Profondeur	Limon sableux	Limon argileux	Terre humifère
De 0 à 30 cm.	17.65 %	22.67 %	44.72 %
De 30 à 60 cm	14.49 %	19.78 %	21.24 %
De 60 à 80 cm	10.67 %	18.16 %	21.29 %

Figure (8) : la répartition d'eau en profondeur des différents types de sols

IV.2. Coefficient de flétrissement :

La détermination de ce coefficient est assez délicate ; elle ne peut s'effectuer que sur des échantillons prélevés sur un sol portant des plantes qui commencent à se faner faute d'eau. Ce flétrissement se produit d'abord l'après-midi et ce n'est que s'il persiste le matin que le coefficient cherché est atteint. Il est variable avec les sols et avec les plantes étudiées. On doit multiplier les analyses afin d'obtenir une moyenne ou de fixer les deux limites entre lesquelles le flétrissement se produit. Voici quelque résultat observé :

Gros sable.....0.86 à 1.23 %

Sable fin....2.6 à 3.76 %

Limon.....4.2 à 13.00 %

Argile...16.8 à 30.9%

IV.3. Condition de l'irrigation rationnelle :

La brève analyse des propriétés hydrologique des sols permet de préciser les facteurs dont l'étude s'impose dans tout projet d'irrigation rationnelle donnant aux plantes toute l'eau dont elles ont besoin, mais sans excès, c'est-à-dire sans pertes par infiltration profonde ou par ruissellement superficiel.

L'irrigation étant intermittente, c'est-à-dire donnée à intervalles variables avec les saisons, on se rend compte que ces facteurs seront les suivants :

Chapitre II : Relation entre sols/cultures

- La quantité d'eau à fournir aux plantes, représentée par le débit continu à donner par hectare que nous désignerons sous le nom de débit caractéristique d'irrigation ou débit fictif continu, ou encore improprement le coefficient d'irrigation.
- La dose d'arrosage ou cube à fournir par hectare à chaque arrosage.
- La durée d'un arrosage.
- Le nombre des arrosages et leur répartition par mois, puis pendant toute la durée de la végétation.
- Le module d'irrigation ou débit utilisé pratiquement sur une surface réduite appelée unité parcellaire d'arrosage. On détermine la surface de ces unités et, par suite, leur nombre par hectare. [3]

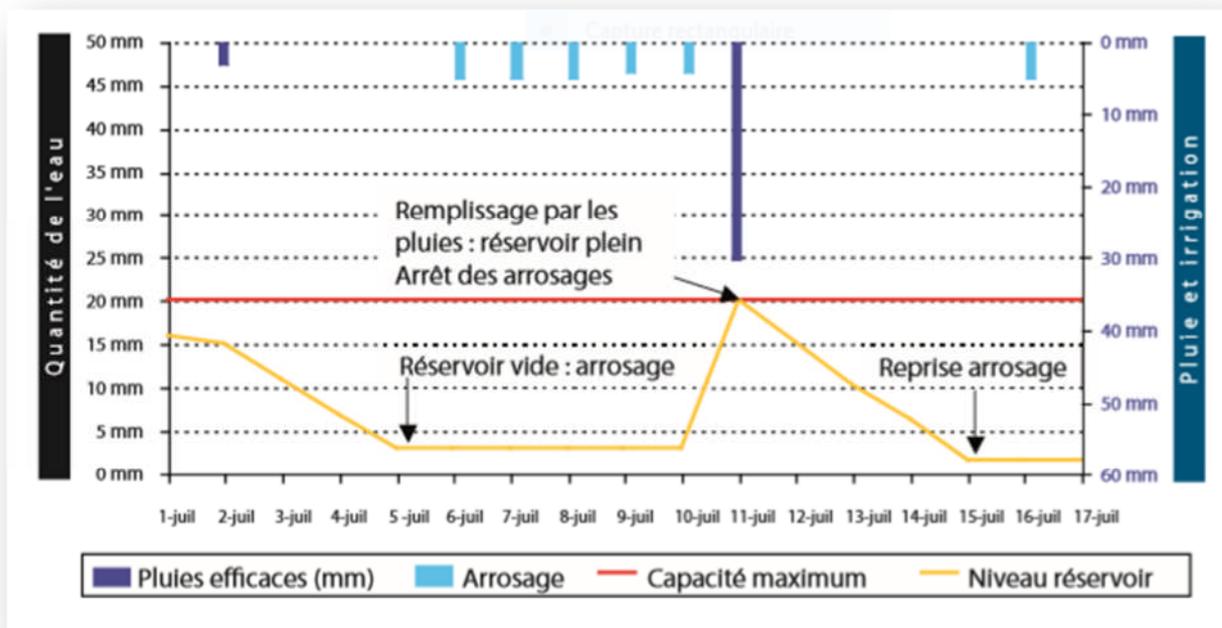


Figure (7) : la variation de la quantité d'eau dans les réservoirs

V. Les cultures irriguées :

V.1. Les facteurs de la répartition des cultures irriguées :

La répartition des cultures irriguées est dictée tout d'abord par des considérations de géographie physique : climat, disponibilités en eau...toutefois les progrès techniques (abris,

améliorations génétique...) ont permis pour de nombreuses cultures de s'affranchir de contraintes imposées par le milieu naturel.

a) Les facteurs physiques :

✚ La température :

Plusieurs cultures tropicales ne sont possibles que dans les airs les plus chaudes en été : canne à sucre, cotonnier... Ces derniers ne supporteraient pas de grandes de grands froids. Le dattier est très exigeant du point de vue calorique et il ne prospère que dans les zones les plus arides.

✚ Le relief et les sols :

La fragmentation du relief peut être déterminante dans le choix de certaines cultures. Les sols guident aussi la répartition de nombreuses cultures irriguées. Les meilleures terres seront réservées aux légumes, à la betterave à sucre, au maïs, au cotonnier, etc... tandis que les sols caillouteux peuvent convenir à la vigne et aux arbres fruitiers. Les sols très pauvres, salins et à alcalis ou acides portent du riz. Les sables, qui se réchauffent vite au printemps, sont réservés souvent, hors des zones désertiques, à des cultures légumières de primeurs.

✚ Les disponibilités en eau et les besoins des cultures :

On sait que les besoins des plantes varient selon les espèces, les variétés, le stade végétatif... les volumes moyens d'arrosage, quand la culture est pratiquée rationnellement, sont estimés en fonction de ces besoins et de l'importance du déficit hydrique. Les normes d'arrosage évoluent selon les espèces et les conditions climatiques. Le riz, le maïs, la luzerne, le bersim est les cultures les plus exigeantes en eau.

La plupart des légumes ont des besoins moyens d'arrosage plus élevés que ceux des arbres fruitiers, il leur faut de l'eau fréquemment et à petite dose. L'artichaut est un des légumes les plus assoiffés, puis viennent la tomate, la pomme de terre et la courgette. Poivron, aubergine, haricot vert et melon se satisfont de normes plus basses. Les besoins sont particulièrement élevés pour les dattiers, et les agrumes soit 2 fois plus que ceux du cerisier, du poirier, du pommier et du prunier, et 3 fois plus environ que les arbres méditerranés, généralement cultivés en sec (amandier, figuier et olivier). [4]

V.2. Dose d'arrosage :

La dose est le volume d'eau qu'il faut donner par hectare à chaque arrosage pour que les plantes reçoivent toute l'eau dont elles ont besoin. Mais cette dose d'eau doit pouvoir être

absorbée par le sol qui joue vis-à-vis des plantes le rôle de réservoir et qui est partiellement vidé entre deux arrosages. La détermination théorique de la dose d'arrosage est immédiate mais insuffisante. Il faut vérifier expérimentalement qu'elle satisfait aux propriétés du sol. Pour les cultures maraichères à racines superficielles en terrain assez perméable, il faut de faibles doses répétées tous les 3 ou 4 jours. Pour les cultures industrielles, on utilise des doses moyennes tous les 8 à 10 jours. Pour les luzernières et les prairies on a intérêt à employer de fortes doses tous les 15 jours.

V.3. Espacement des arrosages :

L'espacement des arrosages est une donnée culturale qui doit être fournie par les cultivateurs ou les stations agronomiques. On peut d'ailleurs le modifier facilement en modifiant la dose. Lorsqu'on utilise des canaux parfaitement alimentés avec de l'eau gratuite, il est simple d'étendre à tout la période d'arrosage les résultats obtenus pour le mois le plus sec.

V.4. Arrosage de jour arrosage de nuit :

Dans les pays chauds certaines plantes délicates comme les fleurs ne doivent pas être arrosées pendant les heures où la température est très élevée si on veut éviter certains accidents graves de brûlures. Dans les irrigations individuelles rien n'est plus simple que d'observer cette règle puisqu'on n'est lié par aucun horaire. Dans les grands réseaux collectifs il n'est, par contre, pas possible d'interrompre l'exploitation quelque heures par jour et on laisse aux agriculteurs le soin d'aménager leurs arrosages entre leurs propres cultures pour que les plantes délicates soient arrosées surtout la nuit. On peut d'ailleurs, lors de l'établissement de l'horaire de distribution, tenir compte de cette sujétion dans la mesure du possible.

➤ Les relations applicables pour les inconnues :

- La dose d'arrosage A s'infiltré dans le temps t , est retenue par le sol, puis est utilisée par les plantes pendant le temps T séparant deux arrosages :

$$A = Kt = dT$$

- Le module m est égal au débit d'infiltration à travers la surface de l'unité parcellaire d'arrosage :

$$m = Ks = ds$$

- Le nombre n parcellaires arrosées par le module durant le cycle d'arrosage correspondant au temps T :

Chapitre II : Relation entre sols/cultures

$$n = \frac{S}{s} = \frac{T}{t} = \frac{K}{d}$$

- **La durés θ** de l'arrosage par hectare, c'est-à-dire le temps pendant lequel le module est fourni par hectare à chaque arrosage :

$$\theta = \frac{A}{m} = \frac{A}{Ks} = \frac{T}{S} = \frac{t}{s} = \frac{dT}{m}$$

Symboles	Notation	Exemples
A	dose d'arrosage en m ³ /ha	600m ³ /ha ou 60m/m
D	Débit caractéristique lit/sec/ha	0 lit.80 sec/ha
K	Coefficient d'infiltration	0.0003m/sec=3m ³ sec/ha
M	Module d'irrigation lit/sec	40 lit/sec
S	Surface arrosée par le module	100 ha
S	surface de l'unité parcellaire d'arrosage	200 m ² =0 ha 02
T	Espacement des arrosages	10 jours
t	Durée de l'arrosage sur chaque unité	20 minutes
Θ	Temps pendant lequel m est fourni à ha	4 heures ½
N	Nombre d'unité parcellaire arrosée avec le module	1.000

Tableau (9) : la notation des déférentes équations

On observe que les volumes à l'hectare peuvent toujours être remplacés par une hauteur d'eau.

Chapitre II : Relation entre sols/cultures

a) Les cultures irriguées et non irriguées en Algérie : [3]

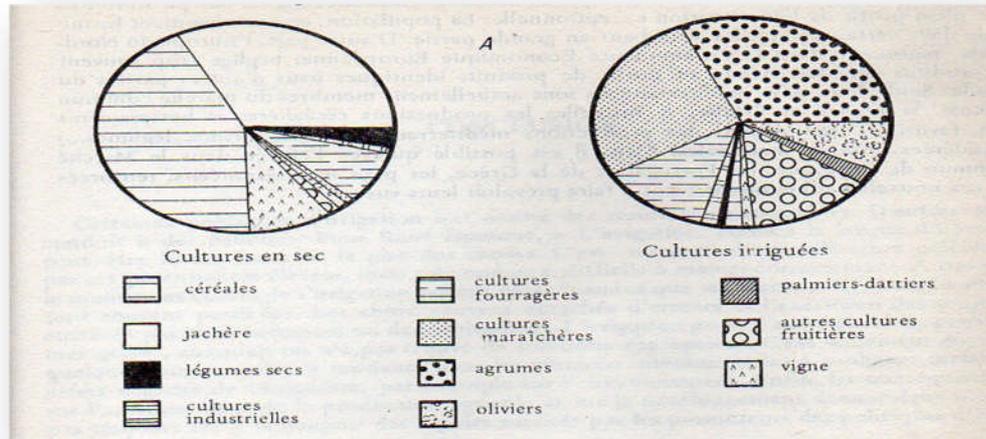


Figure (8) : les cultures irriguées et non irriguées en Algérie.

b) Irrigation des cultures et la quantité d'eau :

Espace Cultivées	par jour m ³	Par an m ³	Epoque D'irrigation	Type d'irrigation	Nature de sol
Agrumes	40	6.000	Mars à décembre	Ecoulement de surfaces ou goutte-à- goutte	Caillouteux
Abricotier	20	2.000	Juin à septembre		
Amandier	20	3.000			
Cerisier	25	3.000			
Figuier	20	2.000	Juin à aout		
Olivier	15	2.000	Juin à octobre		
Vigne de table	35	1.500	Juillet et aout		
Pêcher tardif	20	2.500			
poirier, cognassier, pommier, prunier tardif	25	3.000	Juin à octobre		
Dattier	120	25.000	toute l'année	déficitaire	Sable

Chapitre II : Relation entre sols/cultures

Riz		30.000	Avril à novembre	Gravitaire ou par aspersion	Salins et à alcalis		
Blé	42	4.800	Décembre à juillet		Meilleures terres		
Maïs	28-40	1.200	Mai à juillet				
Artichaut		4.800		goutte à goutte			
Luzerne le bersim	70	4.500					
Tomate		10.000	Mai à octobre				
Melons		11.000	Mai à septembre				
Fraises		9.800					
Canne à sucre		15.000					
courgette- poivron- aubergine-haricot vert	42	2.400	Juin à octobre				
Betterave à sucre		4.500	Mai octobre				
Pomme de terre	42	2.400	Mai octobre			Par aspersion	Sable

Tableau (10) : irrigation des cultures et la quantité d'eau

VI. Conclusion :

D'après l'étude on voit que les données de base de l'irrigation sont imposées :

- Par les besoins des plantes durant leur cycle végétatif, ce qui détermine le *débit caractéristique* de l'irrigation et la *dose*.
- Par la nature du terrain qui fixe également la *dose* à employer, en fonction du pouvoir de rétention du sol et le *coefficient d'infiltration*, qui est la vitesse de filtration de sol.

A ces données de base s'ajoute une donnée arbitraire, une donnée de choix, qui est le module d'irrigation ou le débit effectivement délivré aux irrigants.

I. Introduction :

La réalisation des nœuds capteurs sans fil consiste en une conception basée sur une analyse approfondie de leurs applications afin d'atteindre les objectifs visés. Ceci est nécessaire pour définir le profil des éléments (hardware) aussi bien les caractéristiques que les outils (logiciels et modèle de programmation) qui assurent une meilleure flexibilité et efficacité pendant le fonctionnement.

Le choix des éléments doit prendre en compte les paramètres économiques suivants : la taille et la consommation énergétique très réduite, cela pour établir une structure non onéreuse du système à réaliser.

A travers ce chapitre, nous allons d'abord détailler l'architecture globale du système à réaliser, puis expliquer son fonctionnement en l'occurrence celui des différentes composants et le rôle de chaque élément.

II. Description de schéma bloc de système :

Notre conception comporte deux cartes électroniques, la première dite centrale de contrôle, la seconde zone de captage.

La carte centrale de contrôle serve à la gestion de système d'irrigation, elle contient une carte Arduino Uno, un Buzzer, un écran LCD et un module de communication Zigbee.

La carte zone de captage sera notre guide pour la collecte des grandeurs température, dose des sels minéraux (ph) et l'humidité du sol. Elle sera décomposée en trois zones différentes.

La première zone est réservée pour les endroits plus humides dont on utilise moins de capteurs d'humidité, mais plus de capteurs de température et de ph.

La deuxième zone est réservée pour des endroits moyennement secs dont on utilise des capteurs de température, d'humidité et de ph.

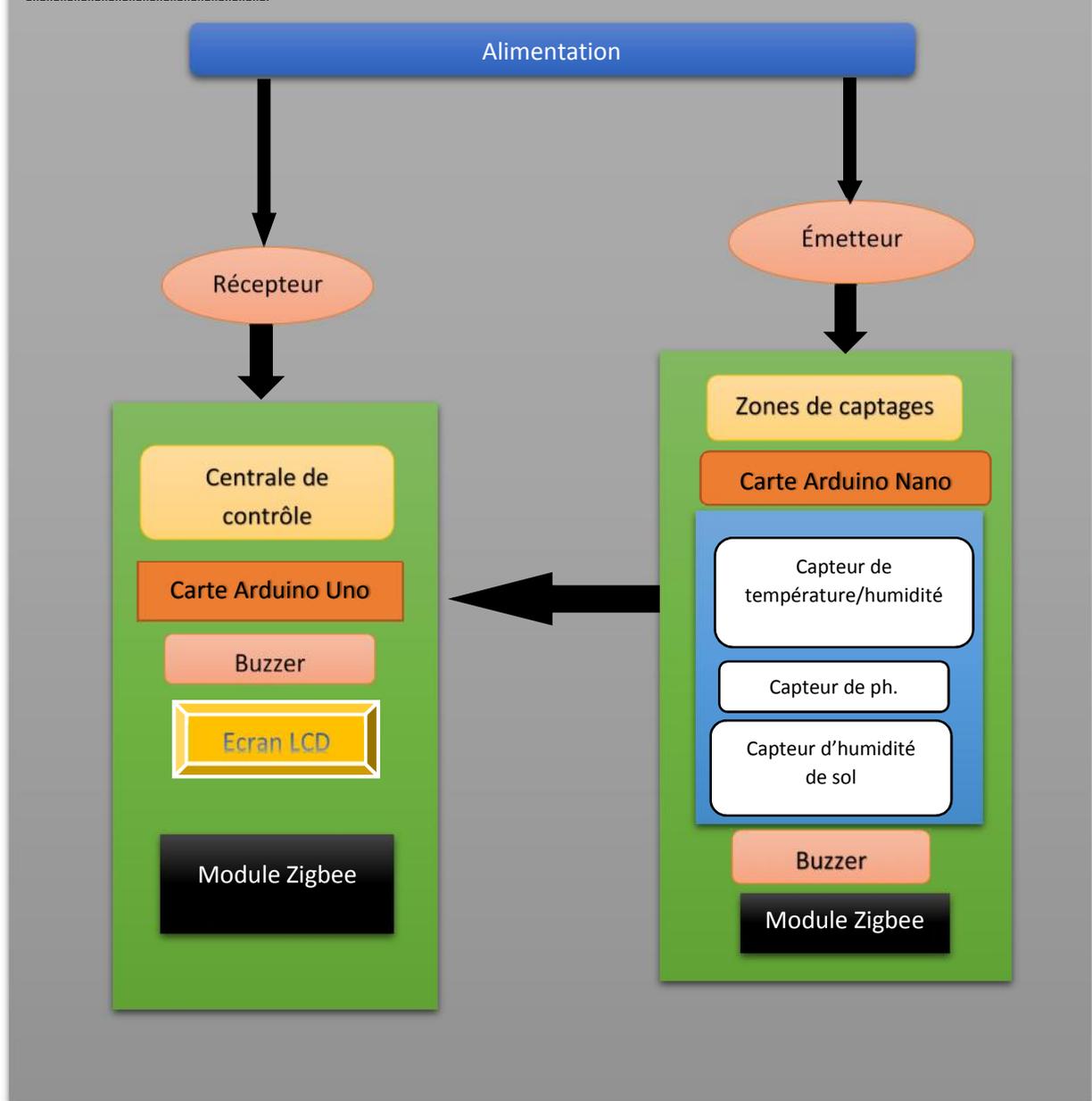
Pour la troisième zone, est réservée pour des endroits très secs dont on exploite moins de capteurs de température et plus de capteurs d'humidité et de ph. Joignant un module de communication Zigbee pour faire la liaison entre les deux cartes.

III. Fonctionnement de système d'irrigation :

Le système en vue de réalisation sert à améliorer le taux de production des fruits et des légumes en faisant la récolte d'informations des paramètres de terrain agricole tel que le degré de température, le degré de ph, en outre le taux d'humidité du sol, afin de les comparer à des valeurs fixées au préalable.

Le système gère deux blocs, une zone de captage des informations dont on mit en place un réseau de capteurs constitué d'un capteur de température, capteur de ph et un capteur d'humidité de sol, qui sont connectés à une carte Arduino Nano. A l'aide d'un Buzzer utilisé comme une alarme de sécurité dans le cas de défaillance de notre système ou bien le cas de dédommagement des capteurs (pas de données captées). Ces capteurs de mesures se chargent de la récolte d'information des paramètres de terrain agricole qui sont transmis par la suite via le module Zigbee émetteur (transmission sans fil) vers la centrale de contrôle. Cette dernière est le bloc ayant comme objectif le traitement et le contrôle des informations reçues par le module Zigbee récepteur, interconnectée à la carte Arduino Uno, un Buzzer d'alarme dans le cas de détection d'augmentation ou d'abaissement de température et d'humidité. En rajoutant un écran LCD pour l'affichage des valeurs paramétriques de notre système. Ces deux blocs sont aussi reliés à un boîtier d'alimentation qui servira à alimenter ces divers dispositifs électroniques.

Le schème bloc :



Figure(9) : schéma bloc de système d'irrigation intelligente

III.1. Description des différents éléments de schème bloc :

1) Élément de la carte centrale de contrôle :

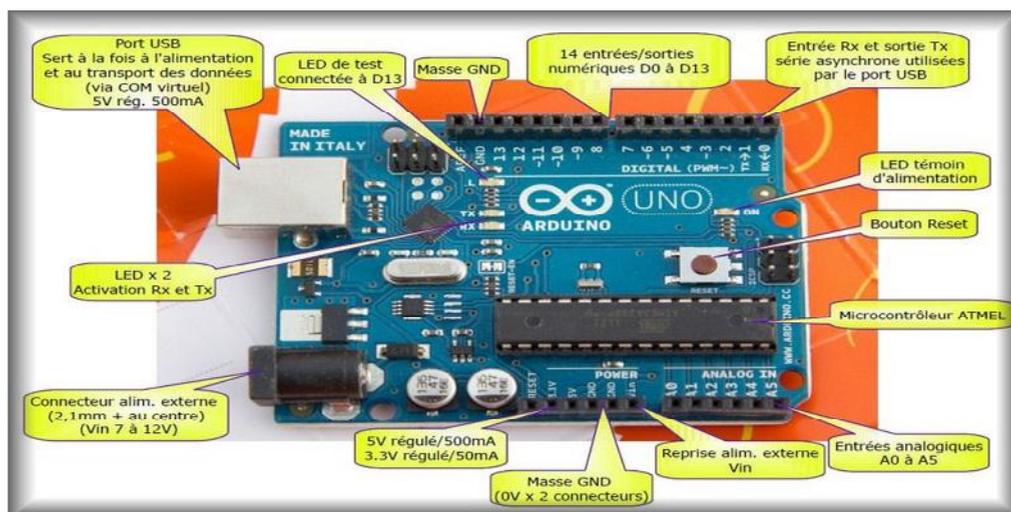
a) Carte Arduino Uno :

➤ Description de la carte Uno :

La carte Arduino Uno est un microcontrôleur ATmega328 programmable permettant de faire fonctionner des composants (moteur, LED...). Elle possède des « ports » permettant par exemple de se connecter à un ordinateur ou de s'alimenter.

La carte Arduino Uno est la pièce maîtresse de tout circuit électronique pour les débutants, elle est dotée :

- **14 entrées\sorties digitales (pattes 0-13)** : elles peuvent être configurées en entrée ou en sortie.
- **6 entrées analogiques (pattes 0-5)** : ces pattes sont réservées à la mesure de signaux analogique (par exemple la tension aux bornes d'un capteur), et à leur conversion en nombres compris entre 0 et 1023.
- **6 sorties analogiques (pattes 3, 5, 6, 9, 10 et 11)** : six des quatorze entrées\sorties digitales que nous avons déjà vues peuvent être reconfigurées en sorties analogiques.
- Un cristal à 16 MHz
- Une connexion USB
- Une prise jack d'alimentation
- Un en-tête ICSP
- Une fonction Reset.



Figure(10) : Carte Arduino UNO.

➤ Principe de fonctionnement :

Une carte Arduino est une petite carte électronique équipée d'un microcontrôleur. Celui-ci permet, à partir d'événements détectés par des capteurs, de programmer et commander des actionneurs ; la carte Arduino est donc une interface programmable.

1. On conçoit ou on ouvre un programme existant avec l'IDE Arduino.
2. On vérifie ce programme avec l'IDE Arduino (compilation).
3. Si des erreurs sont signalées, on modifie le programme.
4. On charge le programme sur la carte.
5. On câble le montage électronique.
6. L'exécution de programme est automatique après quelques secondes.
7. On alimente la carte soit par le port USB, soit par une source d'alimentation.
8. Autonome (pile 9 volts par exemple).
9. On vérifie que notre montage fonctionne.

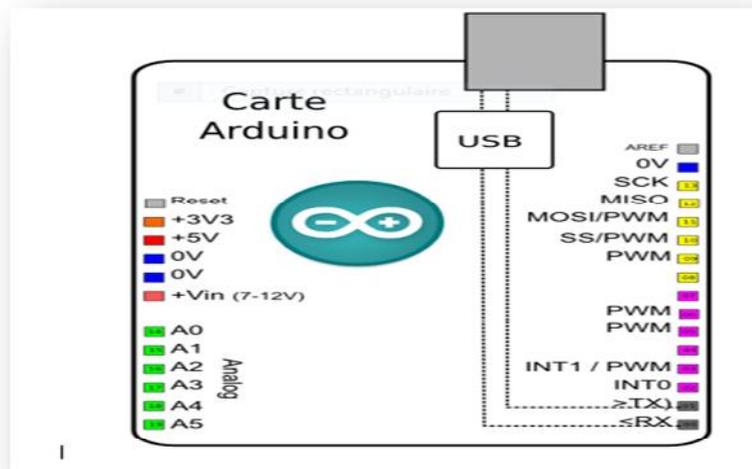
La carte peut être alimentée via le port USB (avec un ordinateur ou un chargeur USB), ou par un adaptateur secteur (avec entrée 9V, connecteur pole positif au centre).

✓ **Caractéristique principale de la carte Arduino Uno :**

Microprocesseur	ATMega328
tension de fonctionnement	5v
tension d'alimentation (limites)	6-20V
mémoire flash	32 KB
mémoire SRAM	2KB
mémoire EEPROM	1 KB
14 broches d'E/S	6 PWM
6 entrées analogiques	10 bits
intensité par E/S	40 mA
cadencement	16 MHz
Dimensions	74 x 53 x 15 mm
bus série	I2C et SPI
tension d'alimentation (recommandée)	5-12V
gestion des interruptions	
fiche USB	

Tableau (11) : caractéristiques d'une Arduino Uno

➤ Brochage de la carte Uno :



Figure(11) : brochage de la carte Arduino Uno

b) Le module de communication Zigbee :

❖ Définition :

Un protocole de haut niveau qui permet à des petites radios de communiquer sur de faibles distances. La technologie Zigbee est un LP-WPAN (Low Power – Wireless Personal Area Network), c'est un réseau sans fil. Le protocole Zigbee utilise les ondes hertziennes pour transporter des messages entre deux ou plusieurs entités réseaux visant à pallier les faiblesses des systèmes existant (tel que le Wifi : qui est un protocole lourd et consommateur, le Bluetooth : qui est un protocole de faible portée, limité aux petits réseaux).

Son principal objectif est de mettre au point une technologie qui permet une installation facile avec un coût réduit, une pile protocolaire légère, déclinable sous plusieurs versions en fonction des besoins et de la topologie souhaitée, ce qui la rend particulièrement adaptée pour être directement intégrée dans de petits appareils électronique (appareils électroménagers, jouets).

Le protocole de communication Zigbee est défini par la norme 802.15.4 de l'IEEE (Institute for Electrical and Electronics Engineers). Les modules Xbee utilisés répondent à cette norme.

- Les normes de protocole Zigbee :

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

Tableau (12) : les normes d'un Protocol Zigbee

Toutes les caractéristiques du protocole Zigbee sont bien adaptées aux systèmes embarqués. En effet, le protocole Zigbee se distingue des autres protocoles par ses faibles besoins en mémoire, ce qui est favorable pour son implémentation. De plus, il présente une durée de vie très importante qui est de l'ordre de plusieurs années, ainsi qu'un très large nombre de nœuds à supporter dans son réseau. Enfin, ce protocole convient parfaitement aux applications nécessitant une faible vitesse de transfert de l'ordre 250Kb/s.

❖ Présentation de matériel :

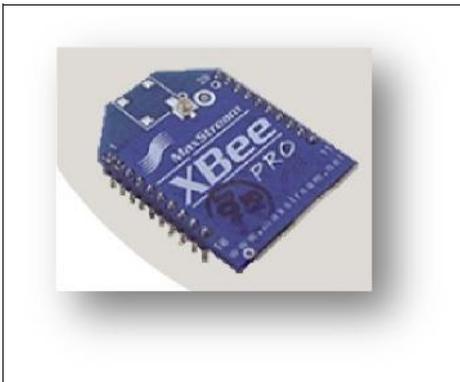


Figure (12) : Module Xbee Pro

❖ Les caractéristiques de module Xbee Pro

Modulation RF : Modulation en quadrature de phase avec décalage.

Bande d'émission : 2,4GHz.

Largueurs des canaux de transmission : 5 MHz.

SPECIFICATIONS		XBee	XBee-PRO
Performances	Portée intérieur / milieu urbain	Jusqu'à 30 m	Jusqu'à 100 m
	Portée extérieure champs libre	Jusqu'à 100 m	Jusqu'à 1,6 km
	Puissance d'émission RF	1 mW (0 dBm)	60 mW (18dBm)*, 100mW EIRP*
	Vitesse de transmission RF	250Kbps	250K bps
	Sensibilité de réception	-92 dBm (1% PER)	-100 dBm (1% PER)
Alimentation et consommation	Tension d'alimentation	2.8VDC – 3.4VDC	2.8VDC – 3.4VDC
	Courant en émission (typique)	45 mA (@ 3.3V)	215 mA (@ 3.3V, 18 dBm)
	Courant en réception (typique)	50 mA (@ 3.3V)	50 mA (@ 3.3V)
	Courant de repos	< 10 µA	< 10 µA
Autres caractéristiques générales	Fréquence	ISM 2.4 GHz	ISM 2.4 GHz
	Dimensions	24,4 mm x 27,6 mm	24,4 mm x 32,9 mm
	Température de fonctionnement	-40 to 85° C (classe industrielle)	-40 to 85° C (classe industrielle)
	Antennes optionelles	Connecteur U.FL, antenne chip ou antenne Whip intégrée	Connecteur U.FL, antenne chip ou antenne Whip intégrée
Réseau et sécurité	Topologies réseaux supportés	Point à point, Point à Multipoint, Peer to Peer et Mesh	Point à point, Point à Multipoint, Peer to Peer et Mesh
	Nombre de canaux	16 canaux séquence directe (sélection par logiciel)	12 canaux séquence directe (sélection par logiciel)
	Options de filtrage	PAN ID, Canal & Source / Adresses de destination	PAN ID, Canal & Source / Adresses de destination
Certifications	FCC Part 15.247	OUR-XBEE	OUR-XBEEPRO
	Industry Canada (IC)	4214A-XBEE	4214A-XBEEPRO
	Europe (CE)	ETSI	ETSI (puissance TX max = 10mW)

Tableau (13) : caractéristiques d'un module Xbee et Xbee-PRO

❖ Topologie de module Xbee :

Les topologies mises en œuvre avec Xbee dépendent de la complexité de l'application utilisée.

- **La topologie point à point :**

Les cartes sont capables de dialoguer directement entre eux s'ils sont à proximité, ou bien d'utiliser le coordinateur pour contacter une carte à plus longue distance. Dans cette topologie, les cartes sont plus compliquées et intègrent entièrement le protocole XBee. Une mécanique de tables de liaison permet également à chaque carte de jouer le rôle de coordinateur, permettant à ces deux cartes éloignées de dialoguer l'intermédiaire d'un élément à portée.

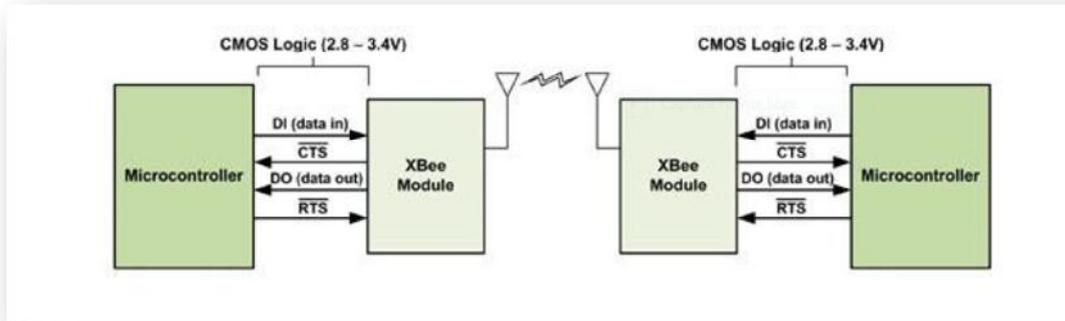


Figure (13) : La communication point à point

❖ La communication avec le module Xbee :

Le module Xbee peut être connecté à n'importe quel processeur possédant une interface série UART comme indiqué.

Le processeur envoie les données (caractères) sur le port DI en mode série asynchrone. Chaque caractère est composé d'un bit de Start (niveau logique 0), suivi de 8 bits de données avec le bit de poids faible en premier et enfin un bit de stop.

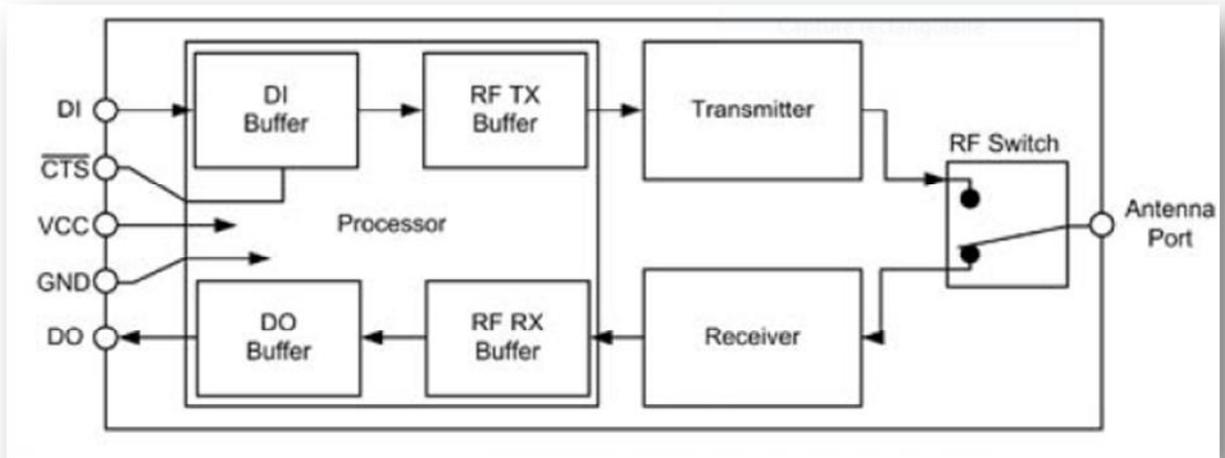


Figure (14) : Structure interne du module Xbee

❖ Les réseaux Xbee

- Le Coordinateur :

Ce module assure les fonctions tel que l'authentification, l'initiation de la communication, la sécurité et l'ajout des nœuds au réseau ... sur le même réseau on peut avoir qu'un coordinateur. Ce dernier doit être actif en permanence pour répondre à tout moment aux requêtes des autres éléments du réseau. Il est donc alimenté à plein temps.

- Le routeur :

Ce module est indispensable pour étendre le réseau par acheminements des trames d'un module à un autre. Il permet aussi aux autres modules de s'enregistrer sur le même réseau, et non exclusivement chez le coordinateur, le nombre d'éléments du réseau peut atteindre les 65536 modules.

- End-Device :

C'est le module qui a presque les mêmes caractéristiques que les routeurs, sauf la fonction d'acheminement de données, il offre la possibilité de mise en veille à fin de gagner en consommation. Cette fonction est surtout utilisée en industrie pour des capteurs, qui livrent des informations par moment.

Une solution logicielle offerte par des Firmwares spéciaux permet de rassembler les fonctionnalités des routeurs et des end-devices en une seule configuration de module Xbee Pro afin de pouvoir gagner d'avantage en consommation sur les routeurs en permettant de les mettre en veille occasionnellement. Mais cela exige une maîtrise totale des temps de veille sur l'ensemble du réseau maillé.

❖ La configuration de module Xbee Pro :

Le module Xbee Pro peut fonctionner en deux modes distinctes :

- **le mode transparent** : qui permet le remplacement immédiat de n'importe quelle liaison série asynchrone filaire par une liaison radio sans aucune manipulation particulière au niveau de module Xbee Pro, ce mode peut supporter ou non, au gré de l'utilisateur, la programmation d'un certain nombre de fonctions du modem au moyen de mode **AT** qui utilise des commandes **AT** pour configurer le module est l'envoi ainsi la réception se font de façon simple.

- le **mode API** qui permet d'accéder aux possibilités plus fines de mise en réseau des modules mais ne se justifie vraiment que lorsque l'on veut gérer tout un groupe de modules avec des possibilités de diffusion multiple, d'adressage, etc.

Quel que soit le mode utilisé, le module Xbee est capable de transmettre les données jusqu'à une vitesse maximum de 250 Kbits/s et la transmission peut être sécurisée si on le souhaite au moyen d'un algorithme de cryptage de type AES (Advanced Encryption Standard) avec une clé sur 128 bits.

Ce module s'alimente sous une tension qui varie au minimum de 2.8V et le maximum de 3.4V.

c) L'AFFICHEUR LCD :

Afin de visualiser les grandeurs physiques mesurées de notre système Nous avons utilisé un afficheur LCD 16X2. Un afficheur LCD est un dispositif qui présente des informations sous forme de caractères alphanumérique, dans un format visuel facilitant leurs lectures et leurs interprétations.

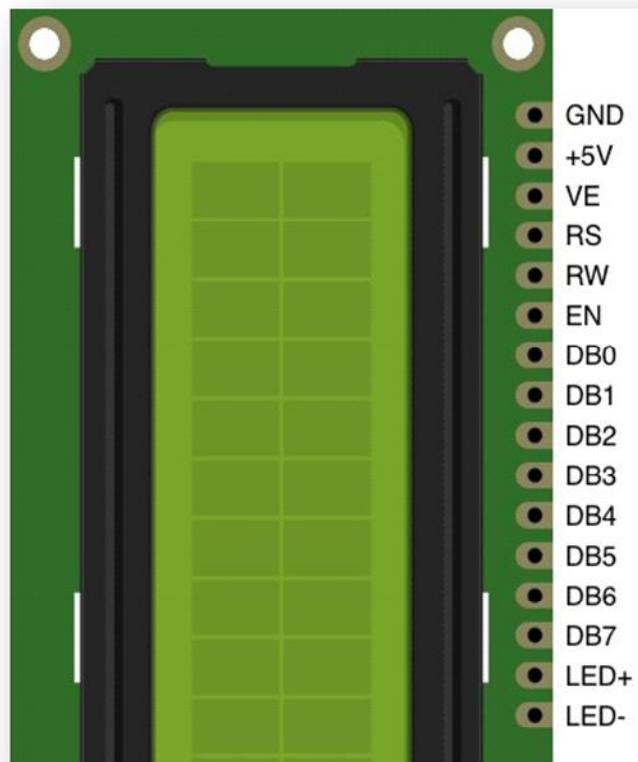


Figure (15) : afficheur LCD

- **La description des broches :**

Numéro	Nom	Rôle
1	GND	masse 0V.
2	VDD	Alimentation 5V.
3	VE	Tension de réglage du contraste.
4	RS	Sélection du registre de donnée ou de commande.
5	RW	Lecture ou écriture.
6	EN	Activation pour un transfert (Enable).
7	DB0	Bit 0 de la donnée/commande.
8	DB1	Bit 1 de la donnée/commande.
9	DB2	Bit 2 de la donnée/commande
10	DB3	Bit 3 de la donnée/commande
11	DB4	Bit 4 de la donnée/commande
12	DB5	Bit 5 de la donnée/commande
13	DB6	Bit 6 de la donnée/commande
14	DB7	Bit 7 de la donnée/commande
15	LED+	Anode (+) du rétro-éclairage.
16	LED-	Cathode (-) du rétro-éclairage.

Tableau (14) : les broches d'un écran LCD

- **La structure interne de l'afficheur LCD :**

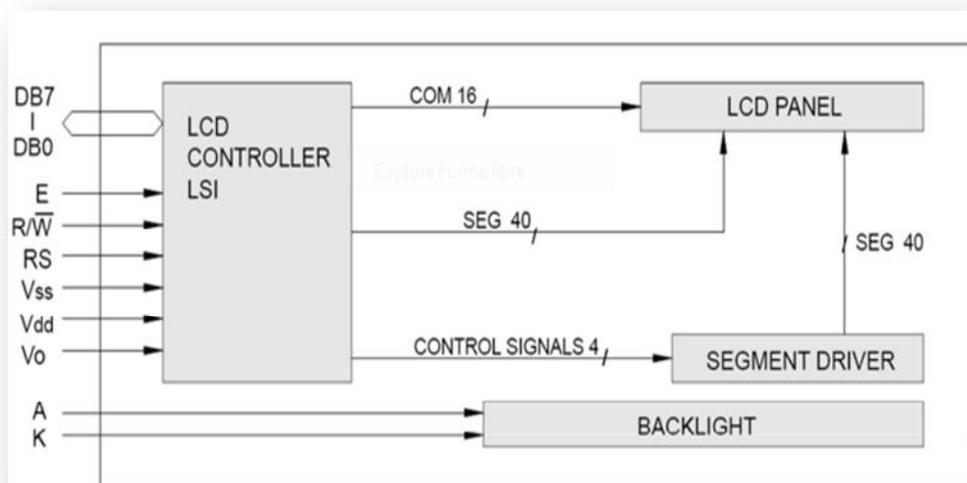


Figure (16) : structure interne d'un écran LCD

Chapitre III : Conception du système

LCD panel : matrice de pixels LCD.

LCD Controller LSI : contrôleur intelligent LSI.

Segment driver : commande de segment étendue.

Backlight : éclairage arrière optionnel (LED ou CCFL).

- **Cycle d'écriture :**

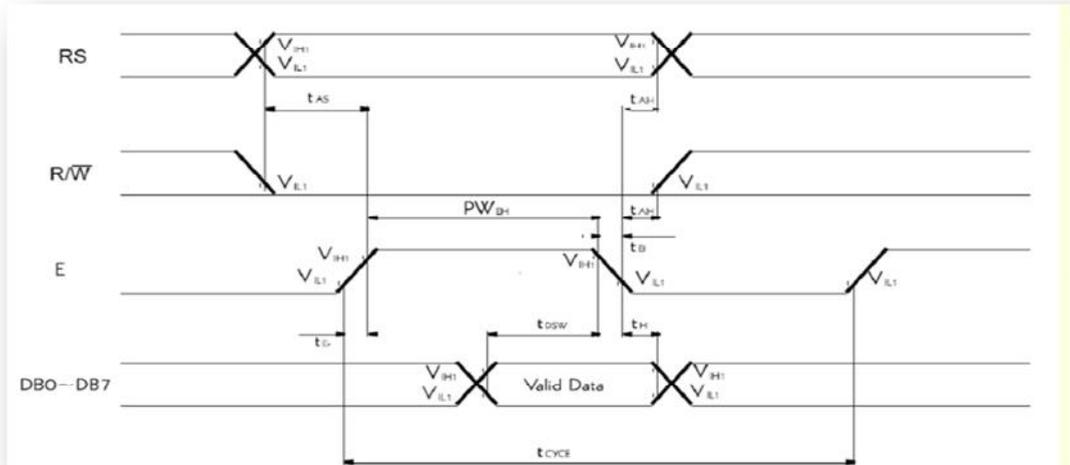


Figure (17) : cycle d'écriture d'un LCD

RS : sélectionne le type d'écriture, code ou Data.

R/W : passe à « 0 » pour signifier l'écriture.

E : confirme la mémorisation des données à chaque impulsion (front descendant).

- **Cycle de lecture :**

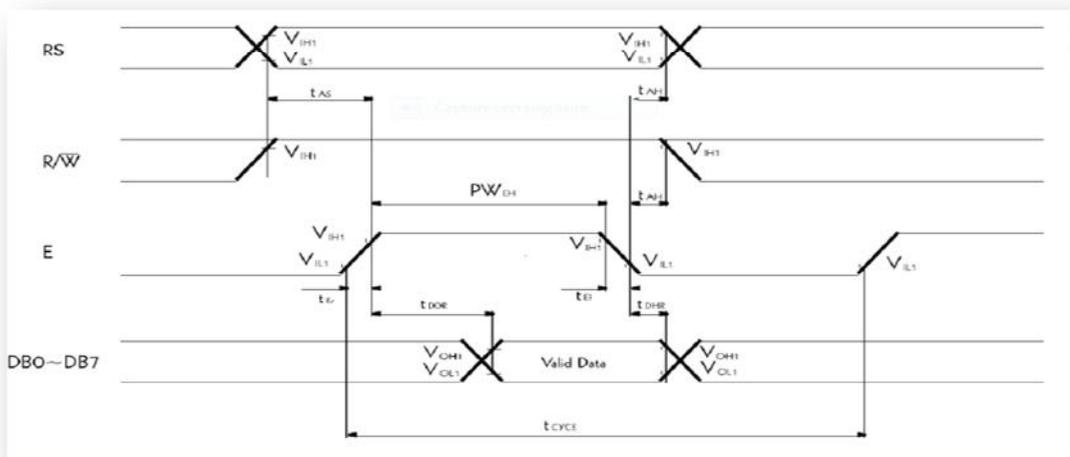


Figure (18) : cycle lecture d'un LCD

RS : sélectionne le type de lecture, statut ou Data.

R/W : passe à « 1 » pour signifier la lecture.

E : confirme la sortie des données pendant l'état « 1 ».

d) Le module Buzzer :

▪ Description :

Un Buzzer ou beeper est un dispositif de signalisation audio qui peut être mécanique, électromécanique ou piézoélectrique. Le Buzzer est une structure intégrée de transducteurs électroniques, alimentation en courant continu, largement utilisée dans les ordinateurs, les imprimantes, les alarmes et autres produits électroniques pour périphérie audio.

Le Buzzer actif 5V de puissance nominale, il peut être directement connecté à un son continu, cette section dédiée module d'extension de capteur et la carte en combinaison.

Cet avertisseur sonore est un appareil émettant un son principalement destiné à donner un signal prévenant d'un danger dans notre maison. Le Buzzer est bien audible grâce à sa puissance sonore.

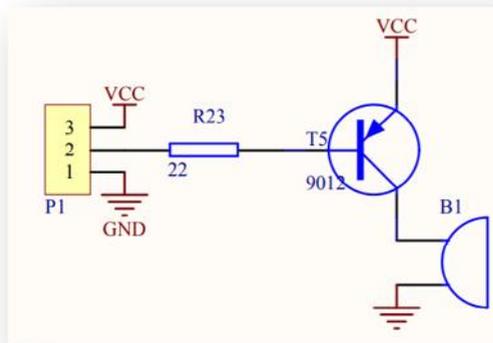


Figure (19) : le Buzzer

▪ Caractéristiques : faire

Tension d'alimentation	3.3 - 5 V
Courant	< 25 Ma
Dimension	3.3cm * 1.3cm

Tableau (15) : caractéristiques d'un Buzzer

▪ **Fonctionnement**

Lorsqu'il est mis sous tension, ce Buzzer émet un signal sonore à une fréquence de ± 2.5 kHz. Ce module intégrant un Buzzer actif ne nécessite pas d'onde carrée pour fonctionner, il suffit de lui appliquer une tension de min 3.3Vcc. Dans le cas critique augmentation ou diminution des valeurs de température ou d'humidité, nous allons paramétrer le Buzzer comme suite : s'active (sonné) pendant 30 secondes à répéter chaque 2 minutes, et le désactive au bout de 10 minutes.

e) **Les LEDs :**

▪ **Description :**

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

▪ **Câblage et alimentation électrique :**

Les diodes électroluminescentes sont polarisées : on raccordera le pôle (-) à la cathode (-) et donc le pôle (+) à l'anode (+).

▪ **Caractéristiques :**

Couleur	Longueur d'onde (nm)	Tension de seuil	Semi-conducteur utilisé
Rouge	$610 < \lambda < 760$	$1,63 < \Delta V < 2,03$	arséniure de gallium-aluminium (AlGaAs) phosphore-séniure de gallium (GaAsP)
Vert	$500 < \lambda < 570$	$2,18 < \Delta V < 2,48$	nitride de gallium (GaN) phosphure de gallium (GaP)

Tableau (16) : caractéristiques d'une diode électroluminescente(LED)

▪ **Fonctionnement :**

LED vert : elle est toujours allumée tant qu'on n'a pas reçue de données sur la carte de centrale de contrôle.

LED rouge : elle serait allumée donc le cas où on a reçu des données acquises dans la centrale de contrôle, cela veut dire, état de danger dans notre terrain agricole, que ce soit au niveau de degré de température ou bien ou niveau de l'humidité de sol. Cette LED rouge clignote au même temps que le déclenchement de Buzzer.

Remarque :

Les LEDs rouge et vert s'allument successivement (parallèlement).

▪ **Schéma électronique d'une LED :**

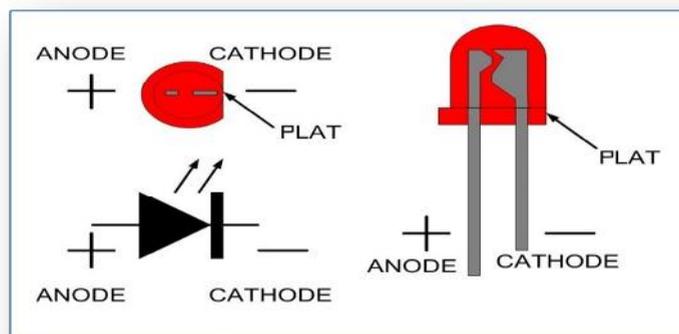


Figure (20) : une LED

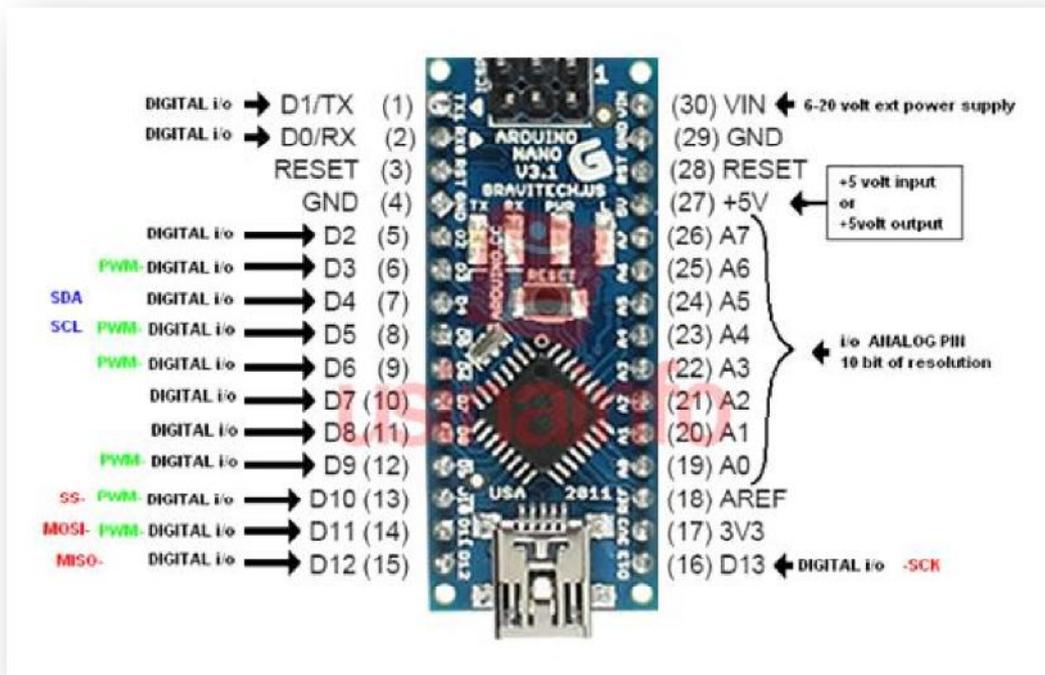
2) **Élément de la carte d'émission :**

a) **La carte Arduino Nano :**

• **Description**

La carte Arduino Nano dispose d'un microcontrôleur ATmega328. Elle sélectionne automatiquement la source d'alimentation et elle se programme à travers un câble mini USB.

Dans notre réalisation nous allons utiliser la carte Arduino Nano version 3.1 qui est une version carte de test.



Figure(21) : la carte Arduino Nano

- **Les caractéristiques principales :**

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

Tableau (17) : caractéristique d'une Arduino nano

- **Schéma électrique :**

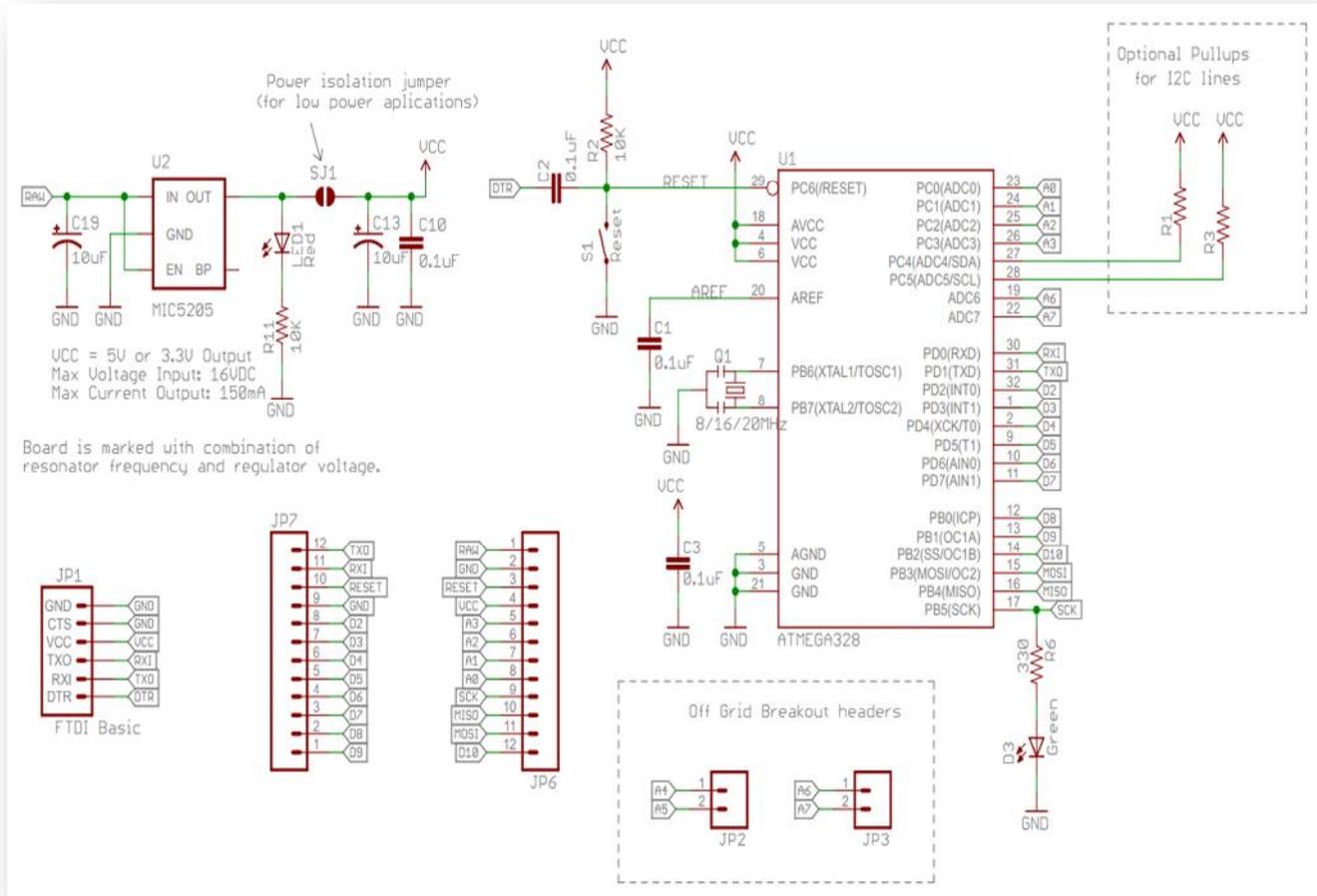


Figure (22) : schéma électrique de la carte Arduino Nano

b) Détecteur de température et d'humidité (DHT22) :

- **Définition et fonctionnement :**

DHT22 est un capteur à bas coût permettant d'acquérir une température et une humidité ambiante d'une manière numérique. Il utilise un capteur d'humidité capacitif et une thermistance pour mesurer la température et l'humidité de l'air et la transmet d'une manière numérique sur un bus série, il se contacte facilement au microcontrôleur grâce à un signal numérique sur un seul fil Les données sont actualisées toutes les deux secondes.

▪ Câblage :

La connexion de ce capteur est très simple, il suffit de relier le premier pin à gauche à l'alimentation (3V à 5V), le pin central sur un pin Arduino déclarée en entrée (INPUT) et le pin de droite à la masse (GND). Bien qu'il utilise un seul fil pour envoyer les données. Ce capteur est semblable au DHT11 mais il dispose d'une plus grande précision et plage de mesure, par contre il est un peu plus cher et un peu plus gros. Ce capteur est vendu avec une résistance de pull up entre 4,7K Ω et 10K Ω pour relier le pin DATA au VCC. Une rangée de ce capteur est emballée avec quatre broches, ce qui rend la connexion très pratique.

▪ Caractéristiques :

Cout	Bas
Alimentation	3 à 5V alimentation DATA
Consommation	2.5mA max pendant la conversion
Etendue de mesure humidité	0% à 100% avec une précision de 2-5%
Etendue de mesure température	-40°C à 80°C avec une précision de $\pm 0.5^\circ\text{C}$
Echantillonnage	à 0.5 HZ (tous les deux seconds)
Signal	numérique sélectionné
Excellente	stabilité à long terme
Long distance de transmission	20mètres
consommation d'énergie	Faible

Tableau (18) : caractéristiques d'un DHT22

c) Détecteur d'humidité de sol (water sensor) :

▪ Définition :

Le capteur d'humidité est une sonde hygrométrique, enfoncée de 100mm dans le sol.

▪ Principe de fonctionnement :

Le capteur d'humidité de sol est conçu pour la détection de l'eau, il est largement utilisé pour détecter les chutes de Pluies, niveau d'eau, et les fuites d'eau, ...

Ce module de capteur permis de détecter les changements d'humidité avec le réglage de seuil, via une sortie analogique.

C'est un capteur simple qui peut être utilisé pour détecter lorsqu'un sol est en manque d'eau (niveau haut) et vice versa (niveau bas). Ce module peut être utilisé pour réaliser des systèmes

▪ Caractéristiques :

tension de fonctionnent	5volts
courant de fonctionnent	<20 mA
interface	Analogique
largeur de détection	40mm*16mm
température de travail	10°C -30°C
Poids	3grs
Taille	65mm*20mm*8mm
tension de sortie signal	0 - 4.2volts.
faible consommation d'énergie	
haut sensibilité.	

Tableau (19) : caractéristiques d'un capteur d'humidité de sol

▪ Câblage :

Le capteur se branche à l'aide de deux fils sur la platine (GND et signal) .La platine de mesure est alimentée directement par l'Arduino sur 5V et possède une sortie analogique.



Figure (24) : capteur d'humidité de sol

d) pH-mètre (PCE-PH20S) :

▪ Définition et fonctionnement :

PH-mètre pour le sol facile à utiliser pour déterminer la valeur pH, Le pH-mètre a été conçu afin de déterminer directement la valeur pH du sol. Grâce au pH mètre il est possible de mesurer de façon rapide et précise la valeur pH du sol ou de l'échantillon

pris du sol. Pour cela il faudra faire pénétrer l'électrode dans la terre préalablement remuée et lire la valeur pH sur l'écran digital. Veuillez prendre en compte que le principe de la mesure a besoin qu'il y ait toujours un reste d'humidité dans le sol. Le pH-mètre est toujours livré calibré d'usine. Un recalibrage continu du pH-mètre de poche s'effectue avec les standards de calibrage (solutions tampons) jointes. Les données de calibrage restent mémorisées quand un changement de batterie est effectué.



Figure (25) : PH-mètre de sol (PCE-PH20S)

Ainsi, le pH-mètre pour le sol est la solution parfaite pour une mesure de la valeur pH de la terre, des substrats et des solutions d'arrosage en qui s'utilisent dans les serres ou dans les produits et les entreprises agricoles.

- Résistant à l'eau (IP 67)
- Electrode de mesure externe spéciale avec un Data-Hold.
- Déconnexion automatique pour protéger la batterie.
- Haute précision.
- Livré avec les solutions de calibrage câble.
- Écran LCD.

Normalement vous pouvez faire pénétrer l'électrode dans la terre et mesurer la valeur pH sur l'écran digital. Si vous désirez effectuer une mesure selon la réglementation DIN, ou

Chapitre III : Conception du système

si vous ne pouvez pas suffisamment pénétrer dans la terre à cause de sa dureté, il vous faudra alors préparer une solution de terre DIN et l'utiliser pour obtenir une mesure précise.

▪ Caractéristiques techniques

Plages de mesure	0,00...14,00 pH
Résolution	0,01 pH
Précision	± 0,07 pH (dans une plage de 5... 9 pH) ± 0,1 pH (dans une plage de 4... 4,9 y 9,1... 10 pH) ± 0,2 pH (dans une plage de 1... 3,9 y 10... 13 pH)
Calibrage	Automatique, à travers des solutions de calibrage avec une valeur de pH de 4, 7 ou 10
Electrode	Électrode pH pour pénétrer la terre
Alimentation	4 x piles 1,5 V AAA
Conditions environnementales	0... +60 °C / <80 % H.r.
Dimensions	180 x 40 mm
Poids	220grs

Tableau (20) : caractéristiques d'un PH-mètre

Par définition

$$\text{pH} = -\log [\text{H}_3\text{O}^+]$$

Classe de réaction du sol	pH eau
Extrêmement acide	< 4,5
Très fortement acide	4,5 – 5,0
Fortement acide	5,1 – 5,5
Moyennement acide	5,6 – 6,0
Faiblement acide	6,1 – 6,5
Neutre	6,6 – 7,3
Faiblement alcalin	7,4 – 7,8
Moyennement alcalin	7,9 – 8,4
Fortement alcalin	8,5 – 9,0
Très fortement alcalin	> 9,0

Tableau (21) : intervalle de mesure de ph

Le pH correspond à la concentration en ions H_3O^+ dans la solution. Si le pH est supérieur à 7 la solution est basique, si le pH est égal à 7 la solution est neutre et si le pH est inférieur à 7 la solution est acide, comme est indiqué dans le tableau suivant on parle souvent d'un pH optimum des plantes, en fait, ce dernier ne répond pas à une exigence physiologique des plantes. C'est l'action du pH sur les propriétés physiques et chimiques et biologiques du sol qui crée un milieu plus favorable à l'alimentation minérale et à la croissance des plantes. D'ailleurs, les plantes s'accommodent le plus souvent d'un écart de pH atteignant une unité.

On constate que la plupart des plantes se développent très bien dans un sol à pH=6,5. Toutes les plantes qui croissent dans un sol neutre, pH = 7 s'accommodent d'un pH de 6,5.

Chapitre III : Conception du système

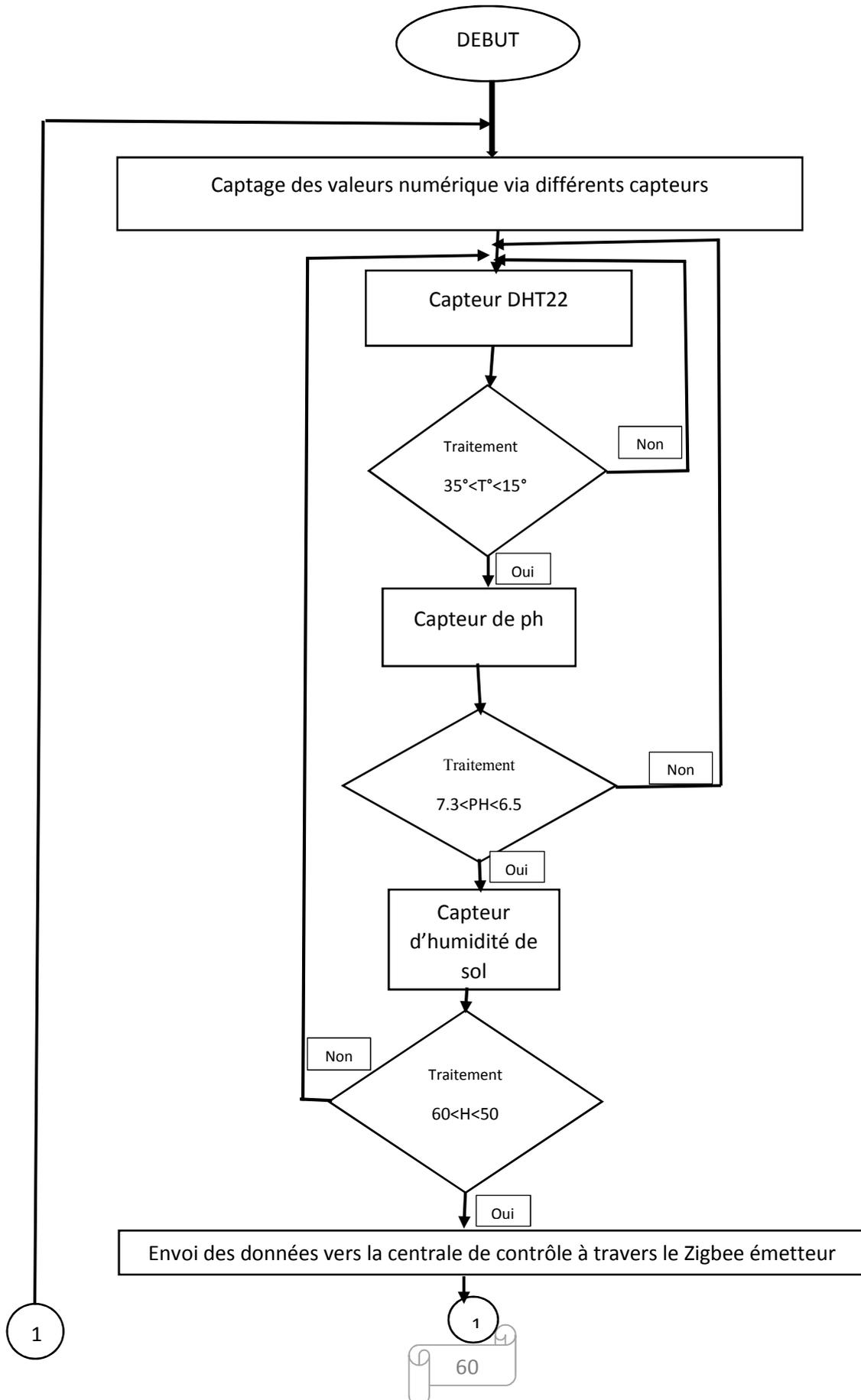
Les pH cibles varient avec les types (nature) de sols et les cultures. Comme est indiqué dans le tableau suivant :

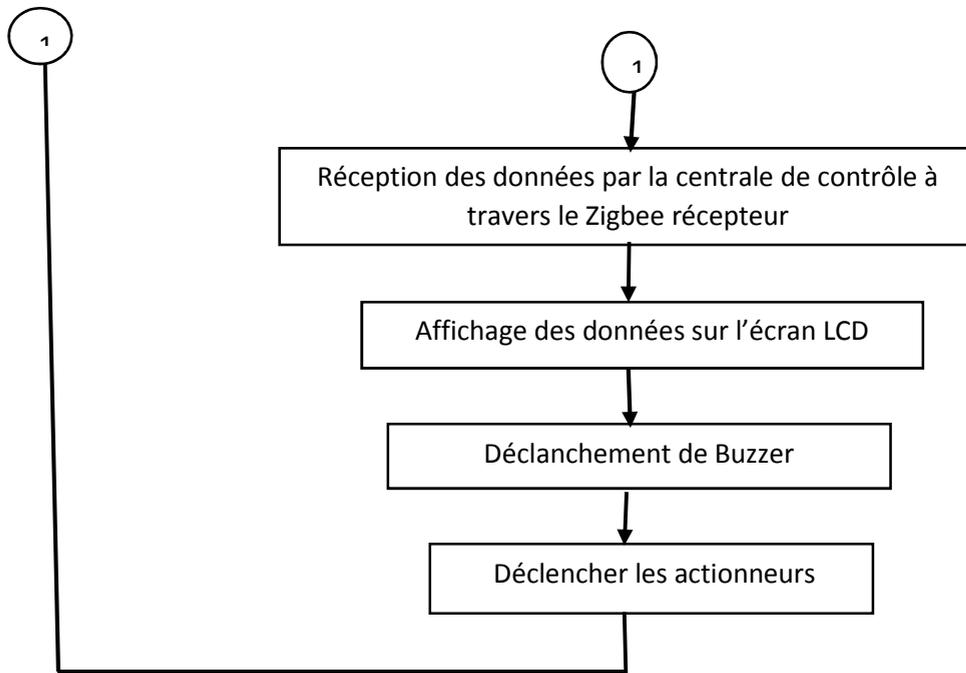
Nature de sol	La valeur de PH
Sols lourds	6,8 à 7,5
Sols francs	6,2 à 6,8
Sols légers	5,2 à 6,3
Sols organiques	5,0 à 5,6

Tableau (22) : la variation de ph des défèrent sols

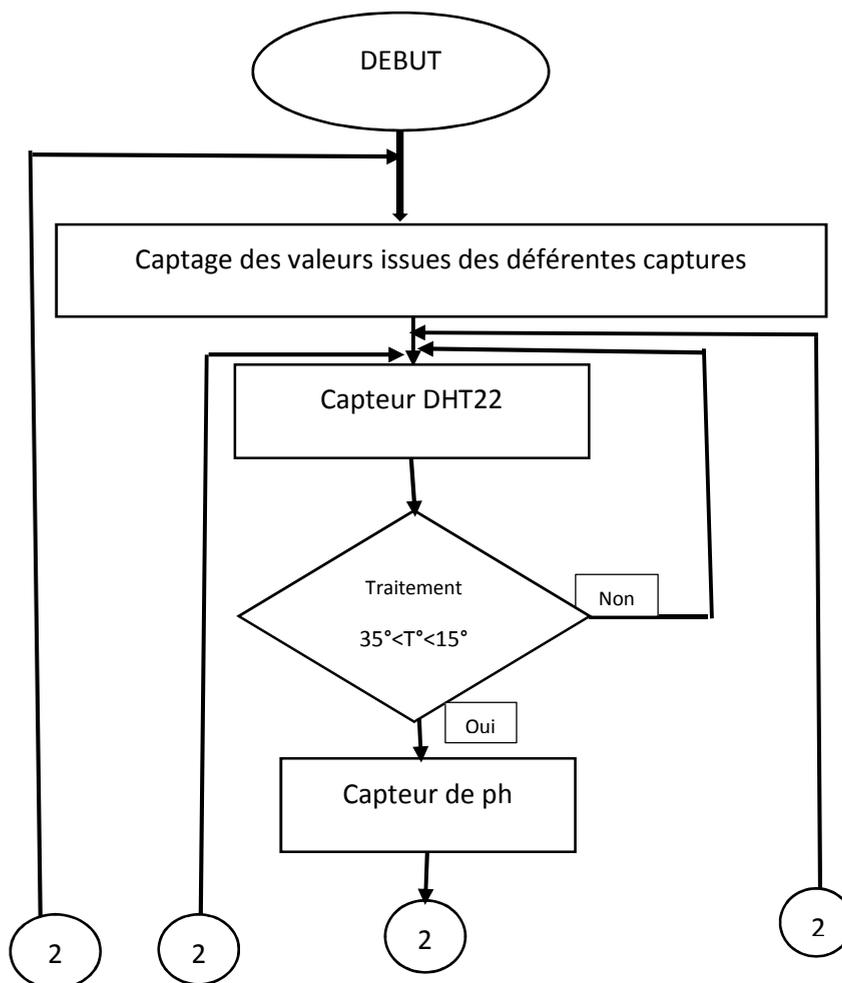
IV. Les organigrammes fonctionnels :

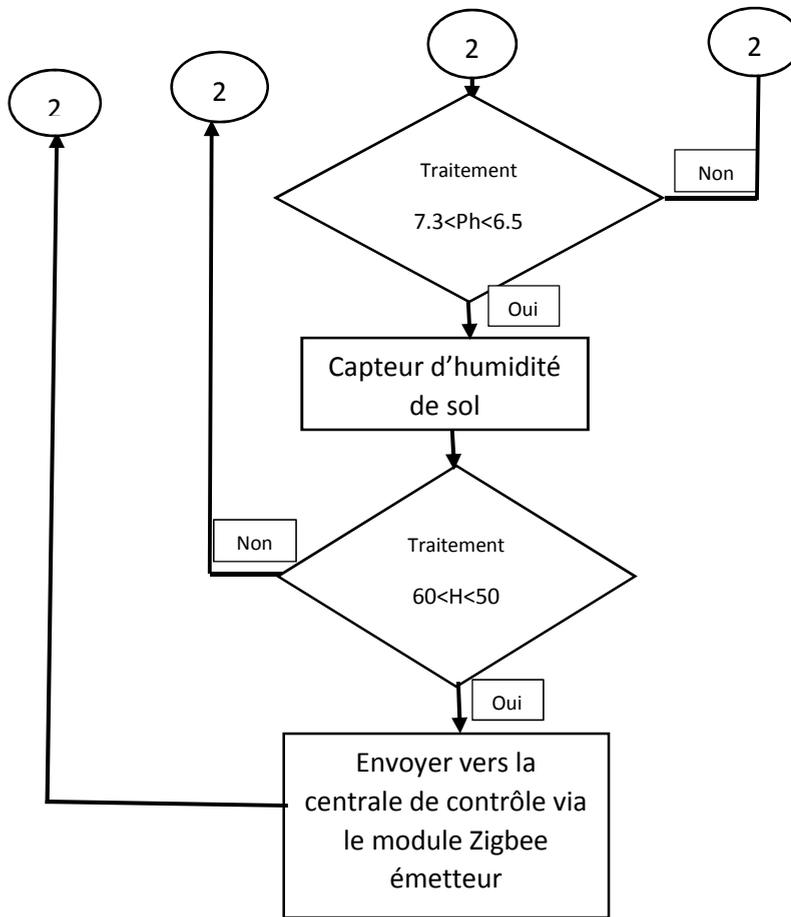
a) Organigramme générale de système



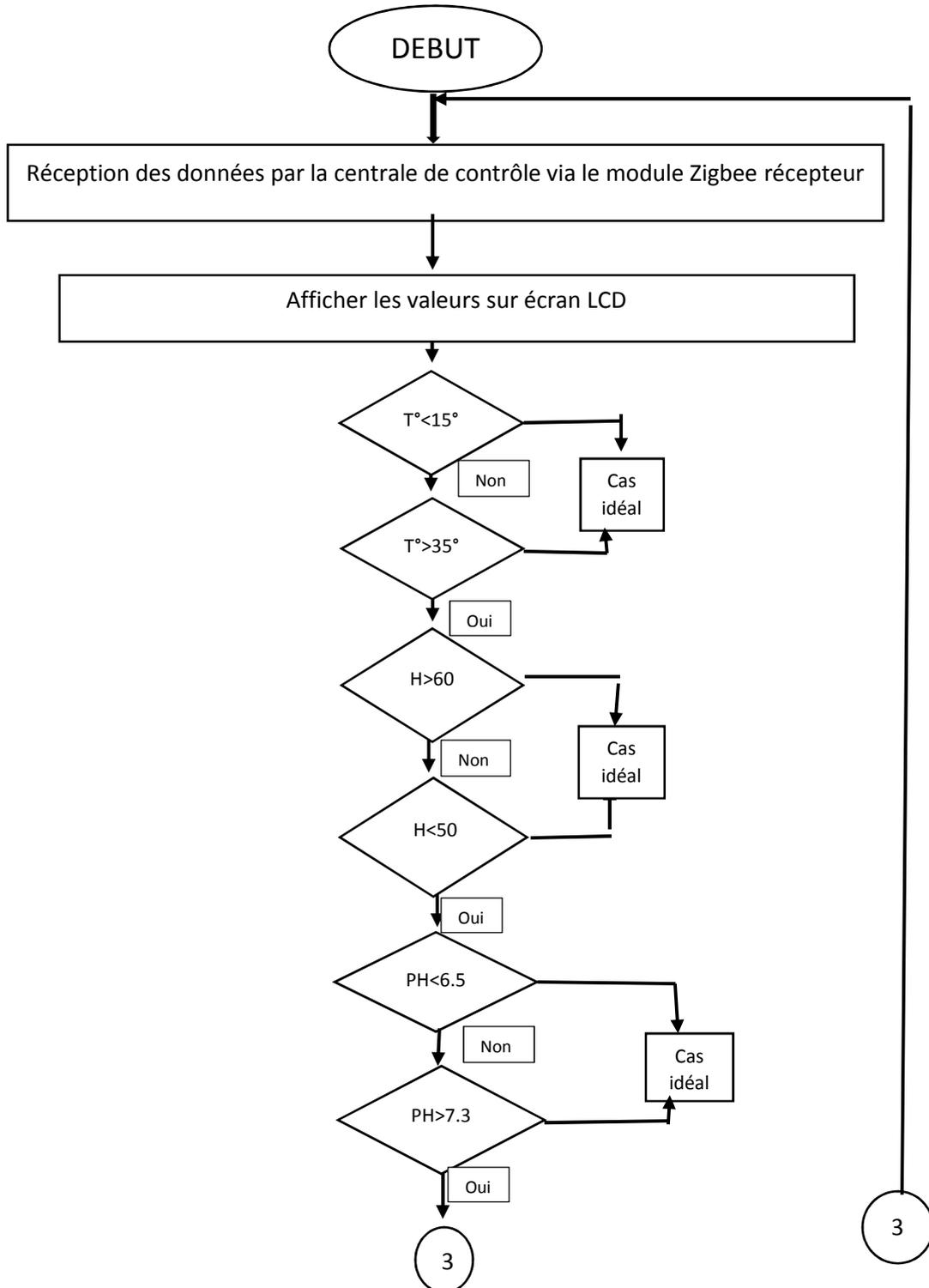


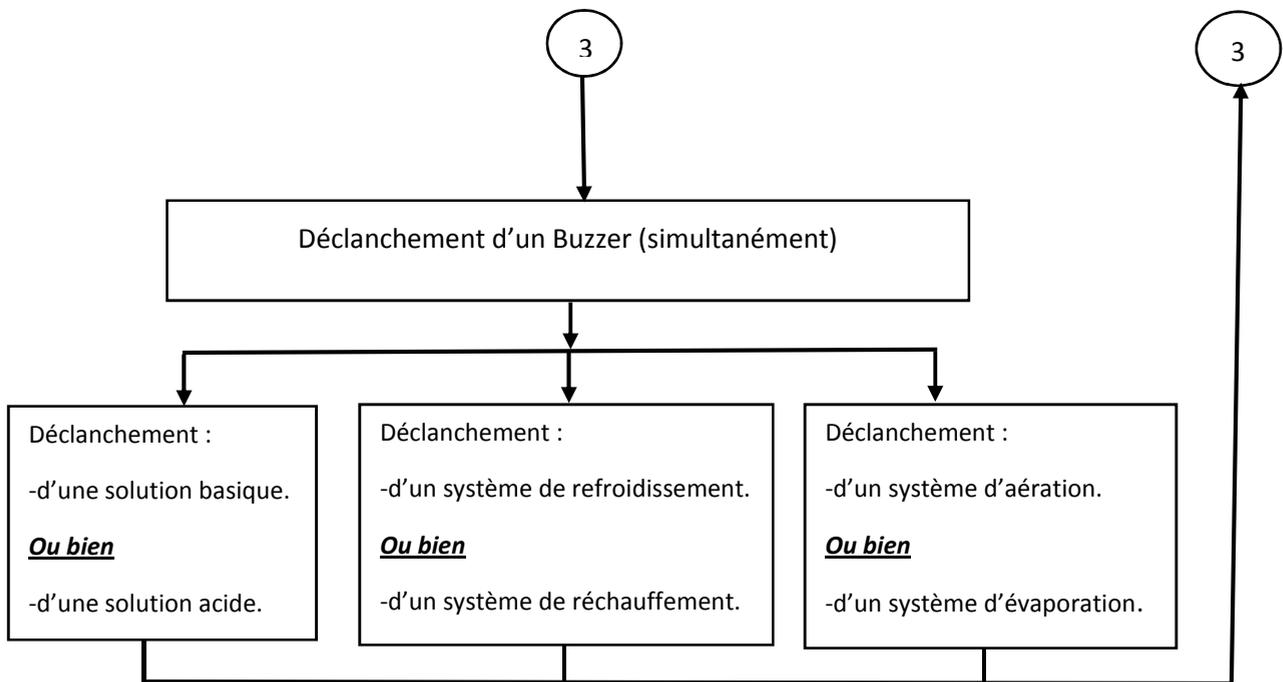
b) Organigramme de la zone de captage :





c) Organigramme de la centrale de commande :





V. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons identifié la structure et le fonctionnement du système, ensuite les différents éléments constituant le système en justifiant le choix de chacun de ces derniers afin de faciliter la réalisation de notre système.

Le chapitre suivant nous montrerons les étapes, plus en détails, que nous avons suivies pour implémenter et réaliser notre système.

I. Introduction :

Ce dernier chapitre consiste à mettre en exergue le côté pratique de ce que nous avons conçu dans le chapitre précédent. OÙ nous allons le diviser en deux parties : l'une est logicielle dans laquelle nous présenterons les outils utilisés pour le développement des programmes à embarquer dans les microcontrôleurs, et l'autre partie matérielle dont nous allons détailler les montages électroniques des deux blocs qui constituent notre système d'irrigation, communiquant par module Xbee.

II. Partie logicielle :

C'est la partie dont nous allons développer des programmes pilotant notre système, à embarquer dans les cartes Arduino à l'aide de l'IDE Arduino ; ainsi que la configuration des modules de communication Xbee en utilisant l'IDE XCTU.

A. Logiciel IDE Arduino :

La façon dont le microcontrôleur gère ses entrées/sorties est fixée par un programme, contenu dans le microcontrôleur. Ce programme doit être écrit par l'utilisateur. En pratique, l'utilisateur écrit le programme en langage C, en utilisant un environnement de développement spécialisé (IDE) installé sur un ordinateur. Ce programme est ensuite compilé et téléversé dans le microcontrôleur par liaison série (USB).

Nous utiliserons l'IDE standard Arduino (arduino.exe). Il suffit de taper le code dans la fenêtre dédiée, de compiler et de téléverser le programme sur la carte Arduino. La carte doit être reliée à l'ordinateur à l'aide d'un câble USB. Le modèle de la carte ainsi que le port série sur lequel elle est branchée, doivent être déclarés dans le menu de l'IDE Outils/type de carte et Outils/port série.

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

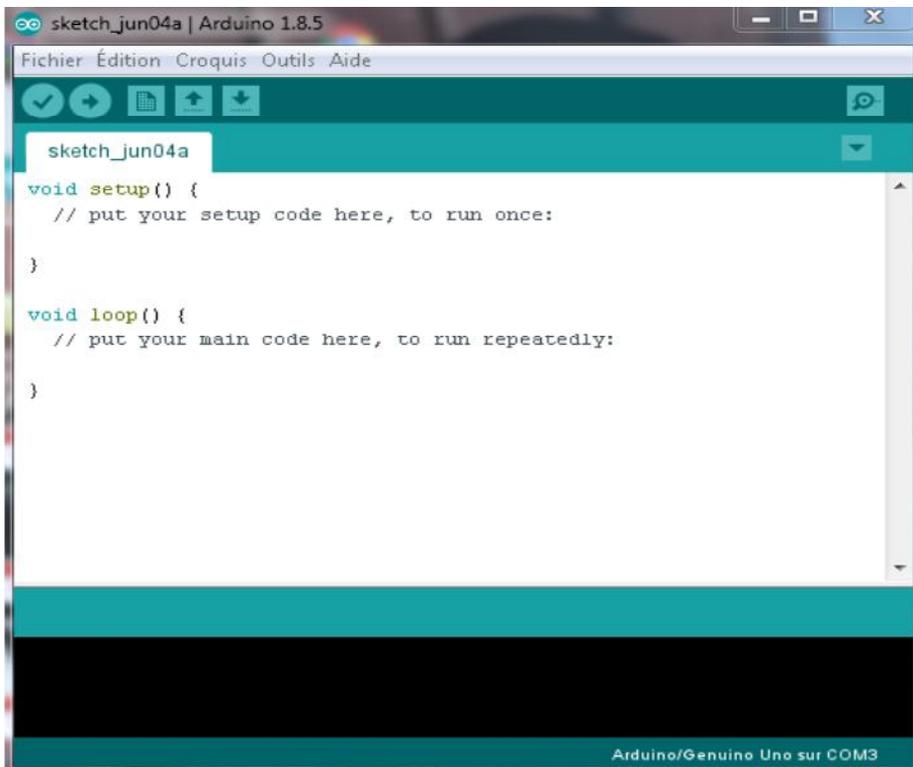
La structure minimale d'un code est constituée :

- **En tête** : déclaration des variables, des constantes, indication de l'utilisation de Bibliothèques.
- Une fonction **setup** (initialisation) : cette partie n'est lue qu'une seule fois, elle comprend les tâches devant être réalisées au démarrage (utilisation des broches en entrées ou en sortie, mise en marche du port série, etc...).
- Une fonction **loop (boucle)** : cette partie est lue en boucle ! C'est ici que les fonctions sont réalisées.

En plus de cette structure minimale, on peut rajouter :

- Des « **sous-programmes** » ou « **routines** » qui peuvent être appelées à tout moment dans la boucle, très pratique pour réaliser des morceaux de codes répétitifs.
- Des « **callbacks** », ce sont des fonctions qui sont appelées automatiquement depuis une bibliothèque.

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

The image shows a screenshot of the Arduino IDE interface. The window title is 'sketch_jun04a | Arduino 1.8.5'. The menu bar includes 'Fichier', 'Édition', 'Croquis', 'Outils', and 'Aide'. Below the menu bar is a toolbar with icons for saving, running, and other functions. The main text area contains the following code:

```
sketch_jun04a
void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
}

void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
}
```

The status bar at the bottom indicates 'Arduino/Genuino Uno sur COM3'.

Figure (26) : Code minimal sous IDE Arduino.

B. Programmation des capteurs :

Notre système fonctionne selon le programme embarqué dans les cartes Arduino, nous illustrons son fonctionnement par des croquis de codes qui actionnent ses divers dispositifs.

On mentionne au préalable que notre système est composé de deux parties dont la première représente la zone agricole où se fait la cueillette des données et la seconde c'est la centrale où se gère les actionneurs selon les valeurs reçues. Au niveau d'une zone, on met en place la première partie du système qui s'agit d'un réseau de capteurs branchés vers une carte Arduino UNO où chaque capteur se charge de mesurer une grandeur atmosphérique, les valeurs prélevées présentant un danger seront transmises via la liaison série vers Xbee émetteur qui les envoie à son tours vers Xbee récepteur de la centrale de contrôle d'actionneurs par Radio Fréquence.

▪ *capteur de température et d'humidité :*

Le capteur DHT22, est un capteur qui prélève le degré de température et le niveau d'humidité dans l'air exprimé en %; on illustre une partie de code sur la figure (27) ci-dessous.

```
Serial.println(HUM);
xbee.println(HUM);
delay(60000);
String TEMP="Temperature";
String UNIT="°C ";
TEMP+=t+UNIT;
Serial.println(TEMP);
xbee.println(TEMP);

// dht22 AM 2302
float h = dht.readHumidity();
// Read temperature as Celsius (the default)
float t = dht.readTemperature();
```

Figure (27) : Code lecture de données depuis le DHT22.

▪ *capteur d'humidité de sol :*

Le second est le capteur d'humidité de sol, quand il est enfoncé dans un terrain agricole, nous permet d'effectuer des prélèvements de l'humidité de sol, qui s'exprime en % ; une partie de son code est illustré ci-dessous.

```
int cpt=0; //nombre de collecte de données

void setup() {
  Serial.println("Test Capteur d'Humidite du Sol!");
  XBee.println("Test Humidite du Sol ");
  pinMode(sensorPin, INPUT);
}

void loop() {
  HumSol = analogRead(sensorPin);
  Serial.print("HumiditeDuSol: ");
  Serial.print(HumSol); Serial.println(" %");
  if(HumSol < 50 || HumSol >60){
    XBee.print("HumiditeDuSol: "); XBee.print(HumSol);
    XBee.println(" %");
  }

  cpt++;
```

Figure (28) : Code lecture de données depuis le capteur d'humidité de sol.

▪ *capteur de pH :*

Le dernier, il s'agit d'un capteur de pH qui est utilisé pour la détection des valeurs de pH d'un terrain agricole ; Son code est illustré ci-dessous.

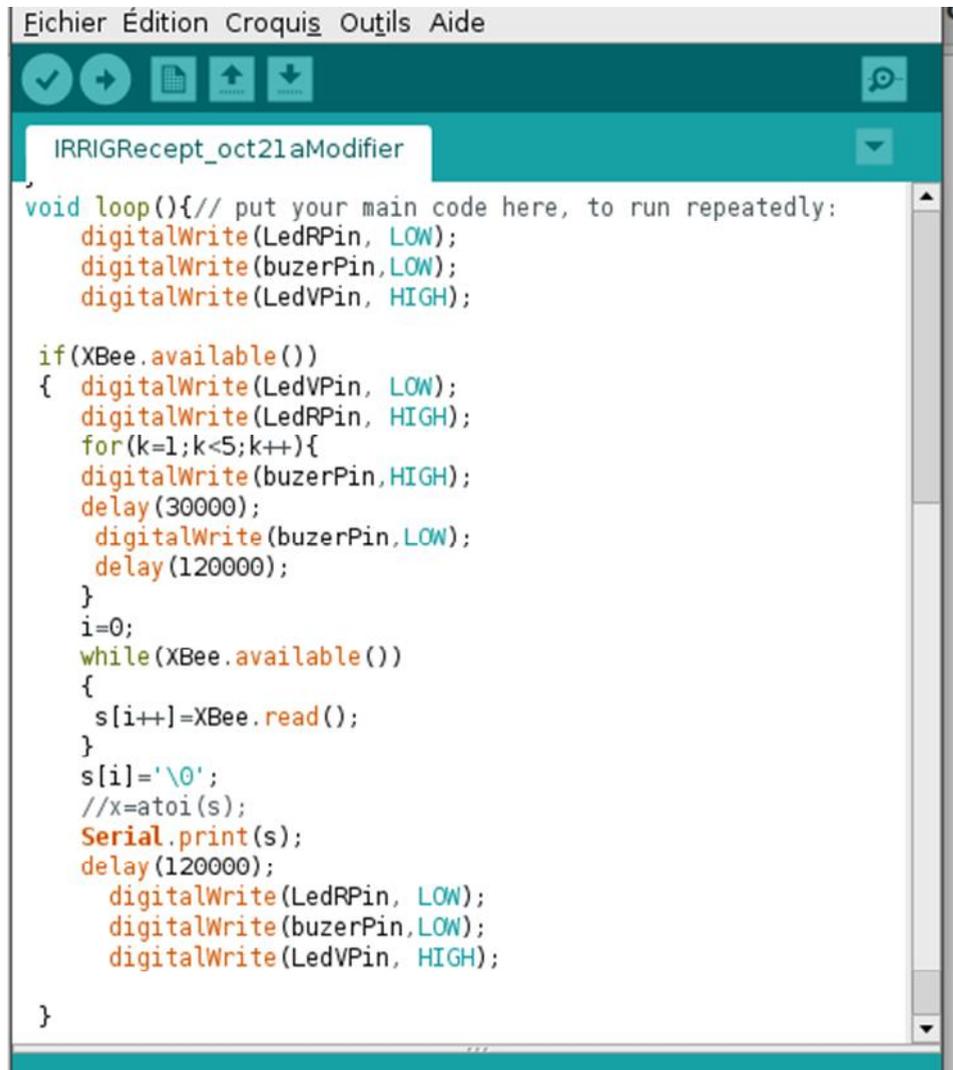
```
phValue = analogRead(sensorPin);
Serial.print("PH = ");
Serial.println(phValue);
if(phValue < 6 || phValue > 7)
{
    digitalWrite(LedRPin, HIGH);
    digitalWrite(buzzerPin, HIGH);
}
else
{
    digitalWrite(LedVPin, HIGH);
}
```

Figure (29) : Code lecture de données depuis le pH mètre.

Les mêmes étapes seront adoptés à la lecture de chaque valeur collecter d'un capteur et qui représente un danger, on l'affiche sur le moniteur série de Arduino ensuite on la transmit via le Xbee émetteur. Précédemment, nous avons présenté la centrale de contrôle dont laquelle nous avons mis en place la deuxième partie du système qui s'agit d'une carte Arduino Uno à laquelle nous avons branché Xbee récepteur qui reçoit les données transmises des différentes zones agricoles et par la suite les transmettre vers Arduino via la liaison série. Une fois ces valeurs reçues qui diffèrent des conditions valables définis dans le programme, le système réagit par l'actionnement des équipements actionneurs.

▪ *Programme de Buzzer :*

Il s'agit d'une alarme sonore programmée comme suite :



```
Fichier Édition Croquis Outils Aide
IRRIGRecept_oct21aModifier
void loop(){// put your main code here, to run repeatedly:
  digitalWrite(LedRPin, LOW);
  digitalWrite(buzzerPin,LOW);
  digitalWrite(LedVPin, HIGH);

  if(XBee.available())
  { digitalWrite(LedVPin, LOW);
    digitalWrite(LedRPin, HIGH);
    for(k=1;k<5;k++){
      digitalWrite(buzzerPin,HIGH);
      delay(30000);
      digitalWrite(buzzerPin,LOW);
      delay(120000);
    }
    i=0;
    while(XBee.available())
    {
      s[i++]=XBee.read();
    }
    s[i]='\0';
    //x=atoi(s);
    Serial.print(s);
    delay(120000);
    digitalWrite(LedRPin, LOW);
    digitalWrite(buzzerPin,LOW);
    digitalWrite(LedVPin, HIGH);
  }
}
```

Figure (30) : Code de fonctionnement d'un Buzzer

C. Configuration des modules Xbee :

C.1) Logiciel XCTU Zigbee :

X-CTU est une application multiplateforme de Digi International (Concepteur d'Xbee), qui permet aux développeurs d'interagir avec les modules Digi (RF) à travers une interface graphique simple à utiliser. L'application comprend des outils qui le rendent facile à installer, configurer et tester les modules Xbee.

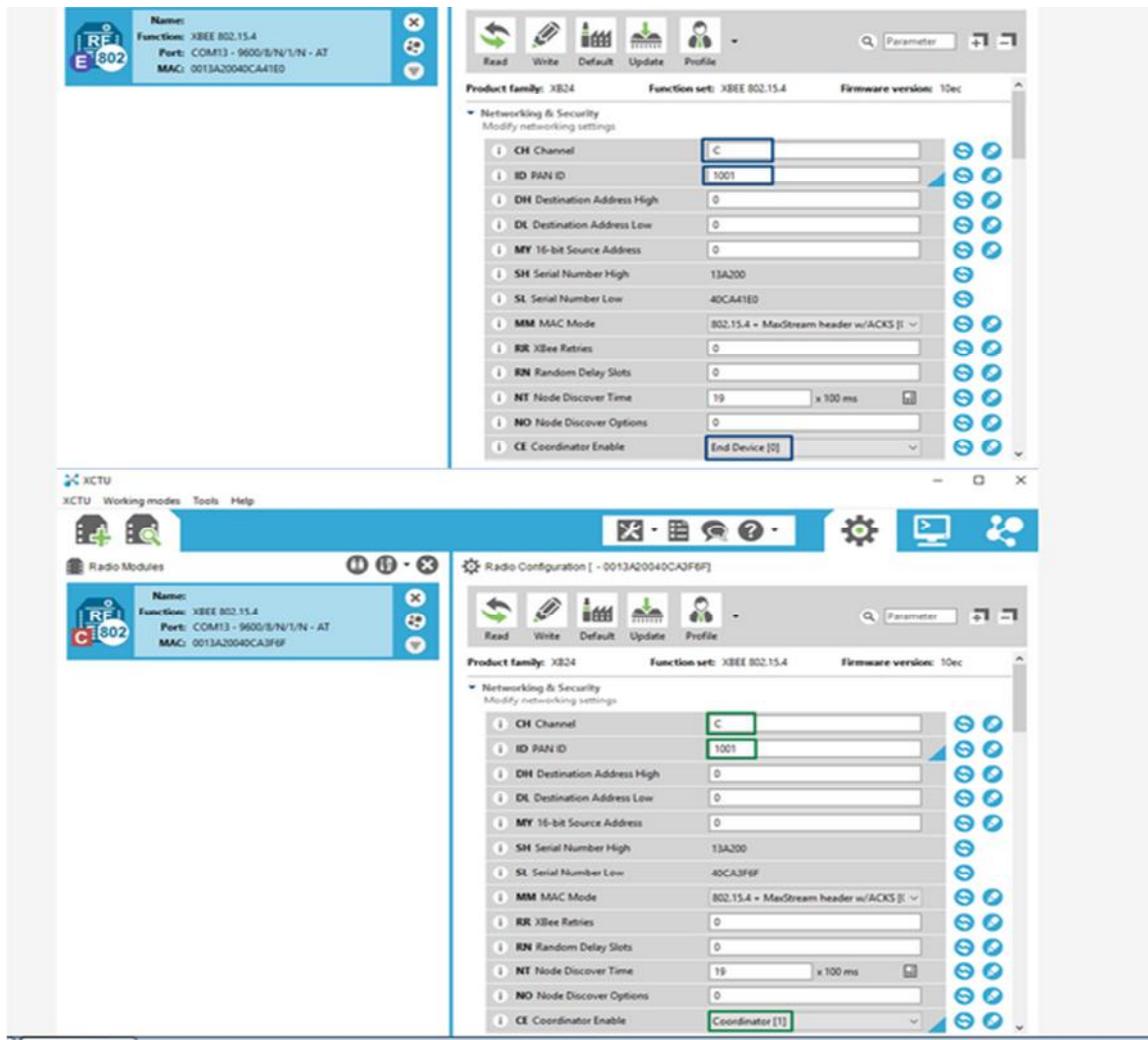


Figure (31) : Interface de configuration des Xbee (coordinator, end-device).

Les étapes de la configuration :

Pour faire communiquer les modules Xbee, il est nécessaire de suivre les étapes de configuration suivantes :

1. par défaut, le réglage des paramètres de communication série sont : 9600 bauds, huit bits, pas de stop et pas de contrôle de flux.
2. Définir le type de module (**COORDINATEUR**, **ROUTEUR** ou **END-DEVICE**) et le mode de fonctionnement transparent **AT** ou **API**.

Il existe deux modes de fonctionnement des modules Xbee, d'abord le mode AT en utilisant les commandes AT pour configurer le module dont l'émission ainsi que la réception. Le deuxième mode se nomme mode API, nécessite de concevoir les trames à envoyer par l'utilisateur lui-même.

3. Configuration des paramètres :

- **PAN ID** : représente un identifiant qui va permettre au monde de communiquer seulement avec les modules qui trouvent sur le même canal et qui portent le même PAN ID, ainsi on empêche les interférences avec d'autres modules non concernés par la communication.

- DH et DL : contiennent les parties hautes et basses des adresses destinataires (pour une communication en broadcast il faut mettre DH=0x0000 et DL=0xFFFF).
- On trouve aussi sur la liste deux autres paramètres importants et qui sont :
- CH : contient le numéro du canal utilisé par les modules pour communiquer, c'est le coordinateur qui fait un balayage des canaux de communication jusqu'à trouver son correspondant (ROUTEUR/END-DEVICE).
 - SH et SL : contiennent les numéros de série usine des modules. Et qui représente aussi leurs propres adresses (adresse source).
4. Enfin, écrire la nouvelle configuration sur «Write».

III. La partie matérielle :

Nous allons débuter cette partie par la réalisation des schémas électroniques des deux cartes (zone de captage et la centrale de contrôle), à l'aide du logiciel FRITZING.

1) Réalisation à base de logiciel FRITZING :

a) Le montage de la carte zone de captage :

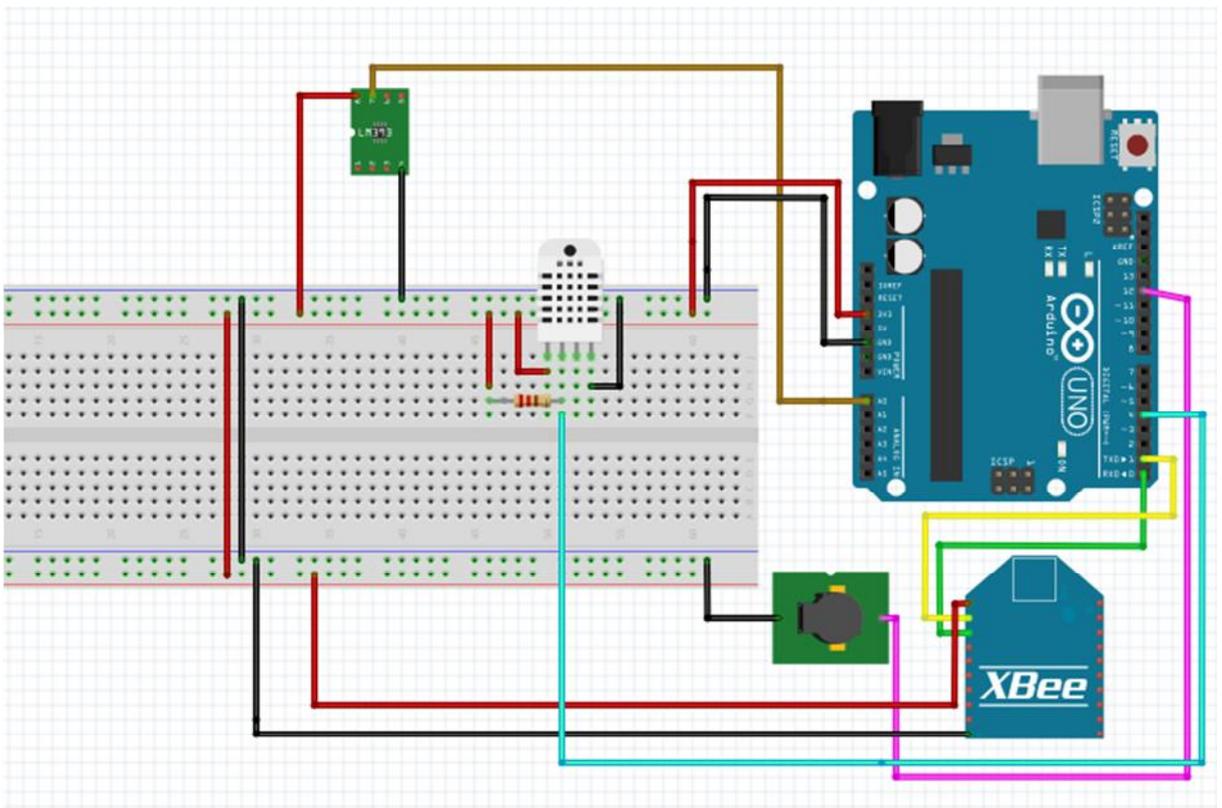


Figure (32) : schéma câblage de la carte zone de captage.

b) Le schéma électronique de la zone de captage :

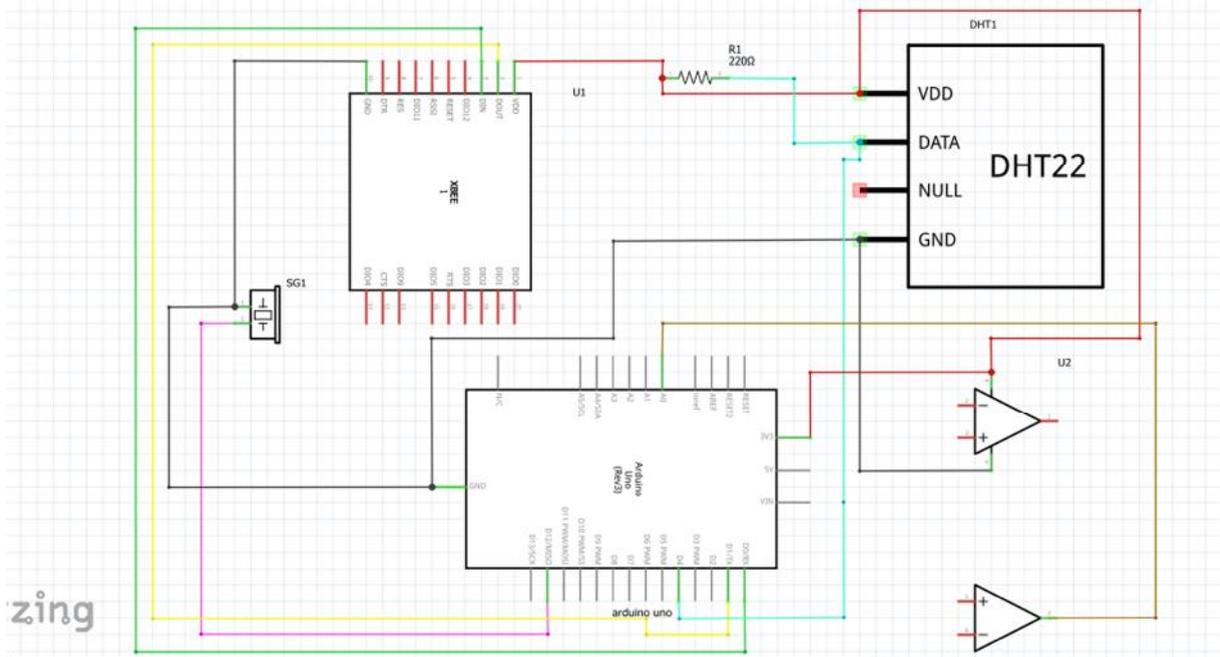


Figure (33) : schéma électrique de la carte zone de captage.

c) Le montage de la carte centrale de contrôle :

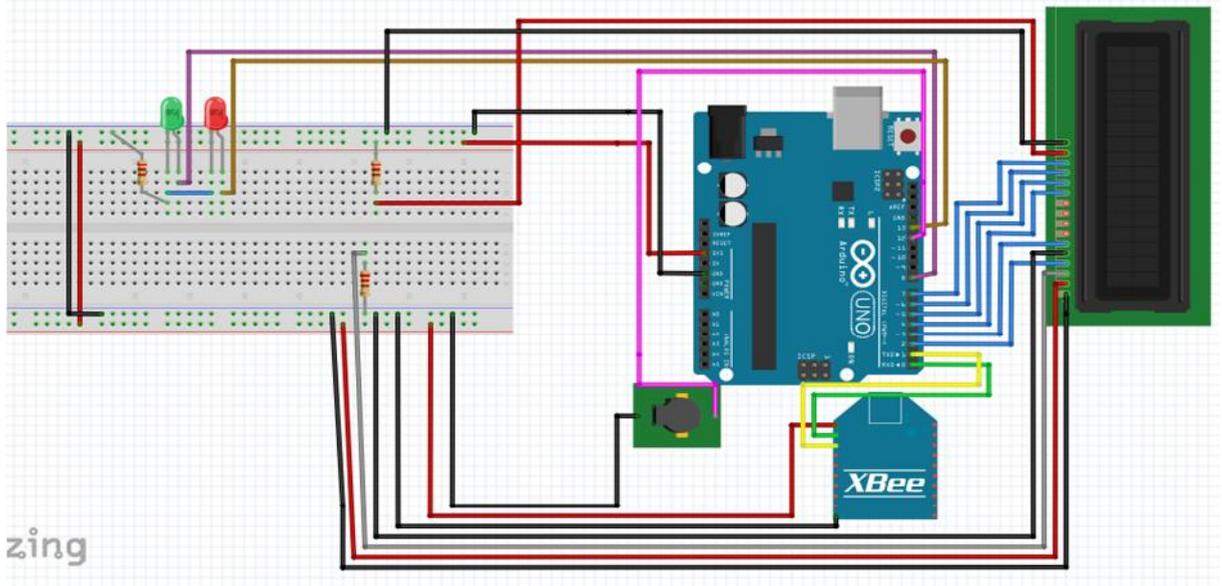


Figure (34) : schéma câblage de la carte centrale de contrôle.

La figure ci-dessous montre notre système réalisé :



Figure (36) : montage global de notre système réalisé.

2.1) Montage de la carte de la zone de captage :

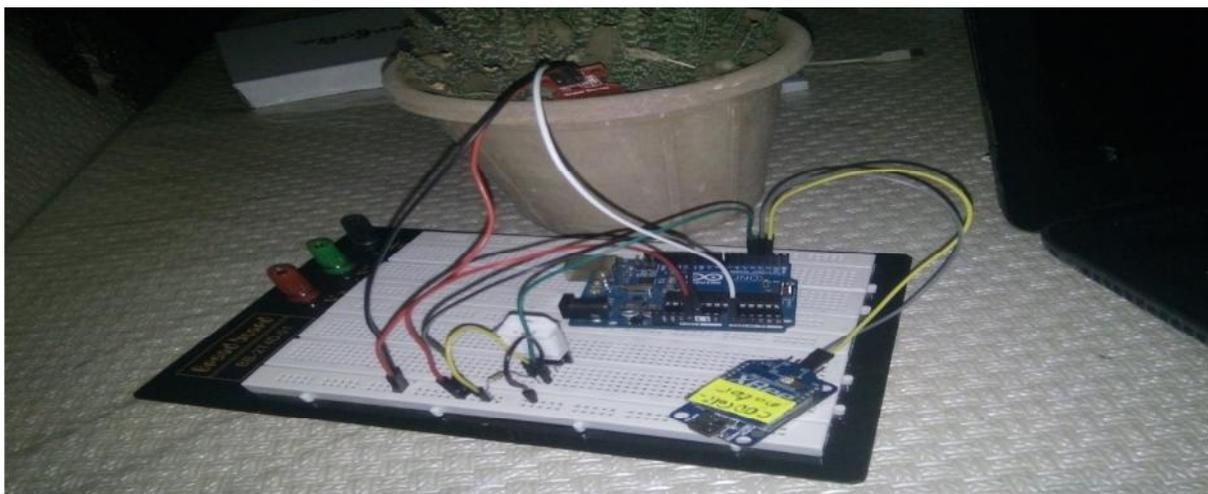


Figure (37) : montage réalisé de la carte zone de captage.

2.2) Montage de la carte centrale de contrôle :

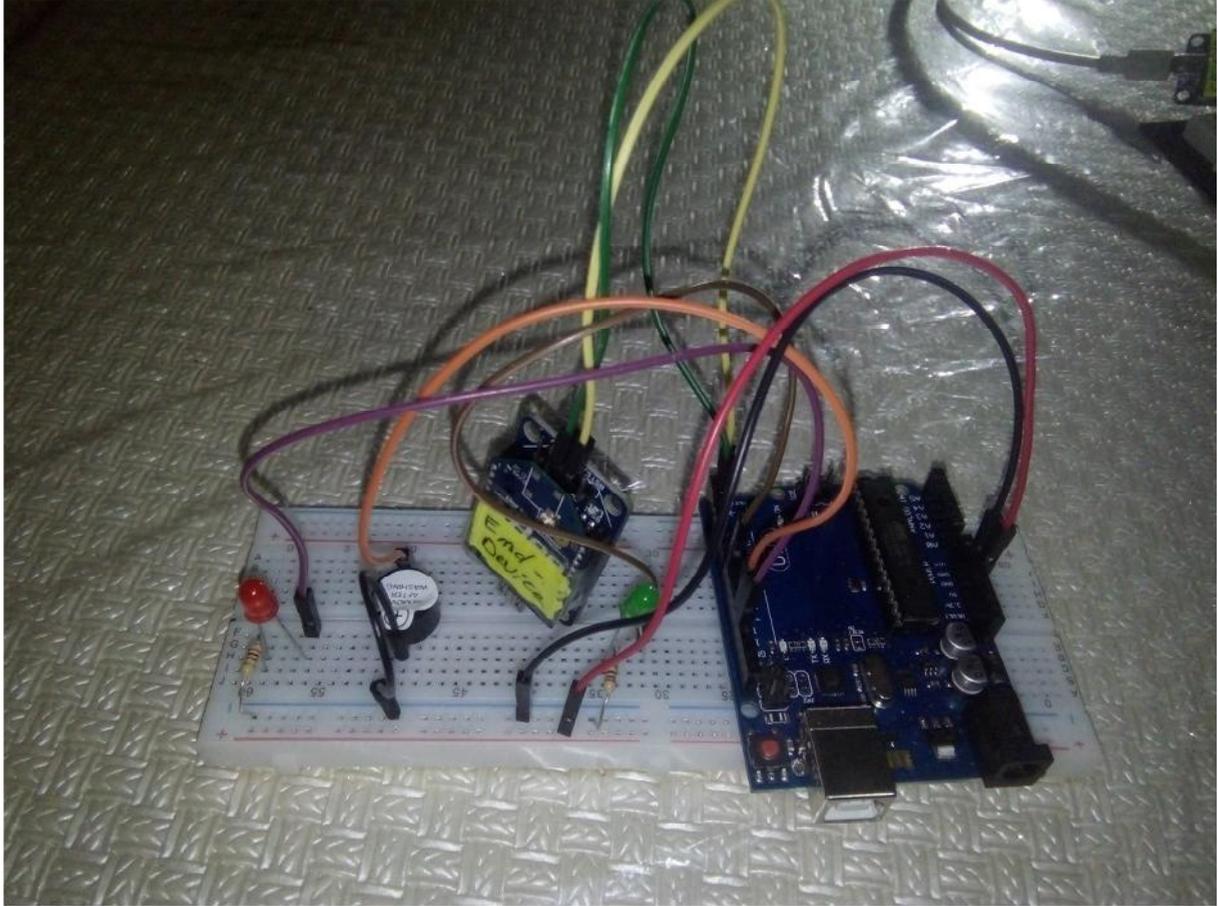


Figure (38) : montage réalisé de la carte centrale de contrôle.

2.3) Déroulement de la mise en marche

- Tout d'abord, chaque capteur est monté et testé séparément. Puis, le test des deux modules Xbee en utilisant deux cartes Arduino Uno.
- Ensuite, après avoir expérimenté les composants décrits dans le chapitre précédent, nous les avons regroupés et réalisés sur les deux circuits : l'un pour la carte zone de captage et l'autre pour le bloc central de contrôle

Lorsque le système est mis en marche, et si toutes les valeurs relevées au préalable par les capteurs sont satisfaites, la LED verte est allumée, comme est illustré dans la figure ci-dessous :

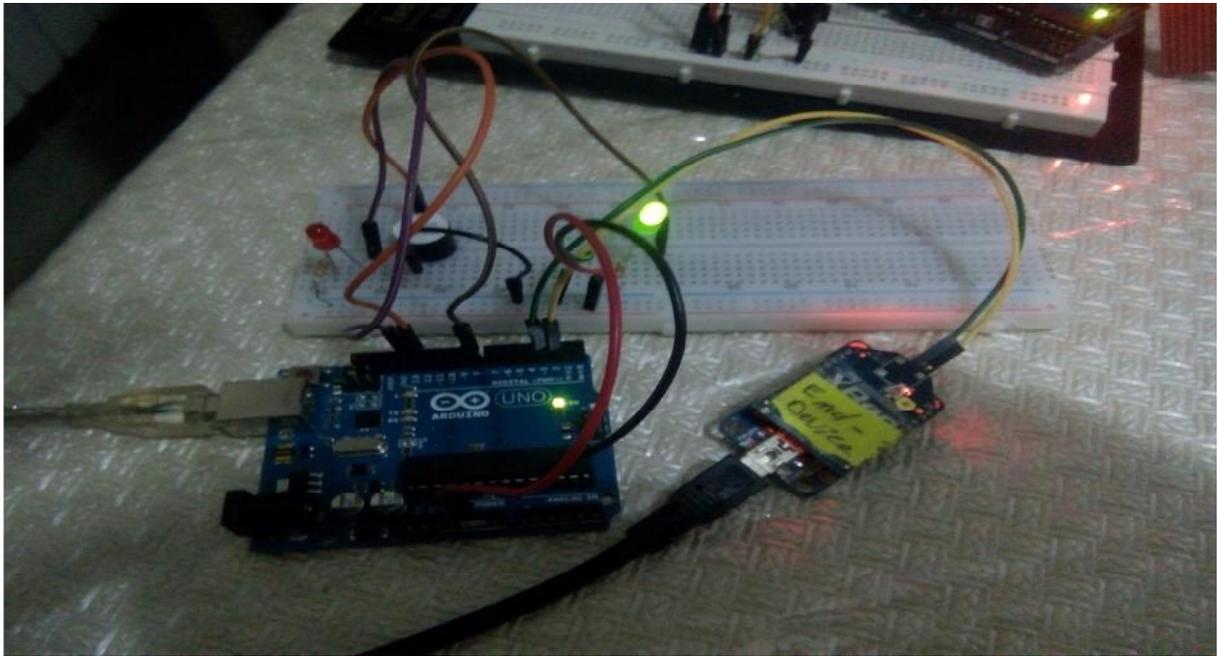


Figure (39) : test dans le cas de non danger, la LED verte est allumée.

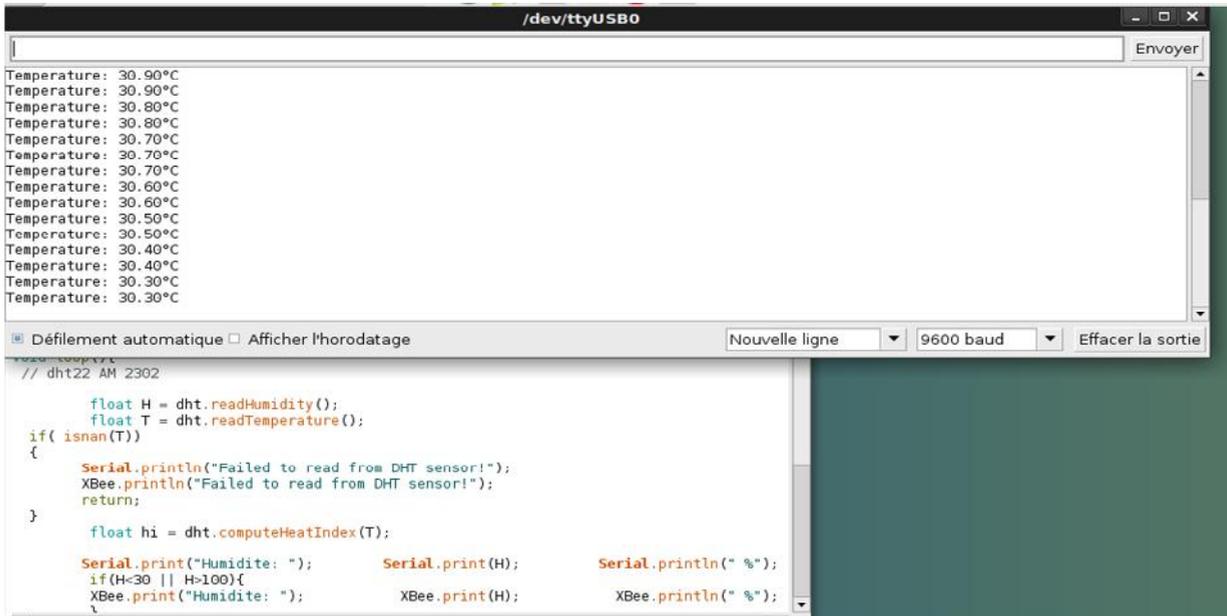
Lorsque la LED rouge est allumée et le Buzzer est déclenché, on constate un cas de danger dans le terrain agricole, soit pour les valeurs de température, de l'humidité de l'air ou bien de la valeur d'humidité de sol, qui est le cas illustré dans la figure ci-dessous :



Figure (40) : test dans le cas de danger relevé au niveau du capteur d'humidité de sol.

Chapitre IV : Réalisation

- Pour la lecture des données, il suffit de brancher la carte Arduino de la centrale de contrôle (réceptrice) sur le PC et sélectionner le port série correspond et lire sur le moniteur série les valeurs reçues en cas de danger, qui s'affichent séquentiellement.



The screenshot shows a serial monitor window titled "/dev/ttyUSB0". The top pane displays a list of temperature readings: "Temperature: 30.90°C", "Temperature: 30.90°C", "Temperature: 30.80°C", "Temperature: 30.80°C", "Temperature: 30.70°C", "Temperature: 30.70°C", "Temperature: 30.70°C", "Temperature: 30.60°C", "Temperature: 30.60°C", "Temperature: 30.50°C", "Temperature: 30.50°C", "Temperature: 30.40°C", "Temperature: 30.40°C", "Temperature: 30.30°C", "Temperature: 30.30°C". The bottom pane shows the following Arduino code:

```
// dht22 AM 2302
float H = dht.readHumidity();
float T = dht.readTemperature();
if( !isnan(T) )
{
  Serial.println("Failed to read from DHT sensor!");
  XBee.println("Failed to read from DHT sensor!");
  return;
}
float hi = dht.computeHeatIndex(T);
Serial.print("Humidite: ");      Serial.print(H);      Serial.println(" %");
if(H<30 || H>100){
  XBee.print("Humidite: ");      XBee.print(H);      XBee.println(" %");
}
```

Figure (41) : lecture des données température sur le moniteur série.



The screenshot shows a serial monitor window titled "/dev/ttyUSB0". The top pane displays a list of soil humidity readings: "HumiditeDuSol: 408 %", "HumiditeDuSol: 381 %", "HumiditeDuSol: 365 %", "HumiditeDuSol: 345 %", "HumiditeDuSol: 328 %", "HumiditeDuSol: 281 %", "HumiditeDuSol: 0 %", "HumiditeDuSol: 0 %", "HumiditeDuSol: 634 %", "HumiditeDuSol: 641 %", "HumiditeDuSol: 608 %", "HumiditeDuSol: 617 %", "HumiditeDuSol: 624 %", "HumiditeDuSol: 629 %", "HumiditeDuSol: 632 %". The bottom pane shows the following Arduino code:

```
void loop(){// put your main code here, to run repeatedly:
  digitalWrite(LedRPin, LOW);
  digitalWrite(buzzerPin,LOW);
  digitalWrite(LedVPin, HIGH);

  if (XBee.available())
  { digitalWrite(LedVPin, LOW);
    digitalWrite(LedRPin, HIGH);
    for (k=1;k<=5;k++){
      digitalWrite(buzzerPin,HIGH);
      delay(30000);
      digitalWrite(buzzerPin,LOW);
      delay(120000);
    }
  }
}
```

Figure (42) : lecture des données humidité de sol sur le moniteur série.

Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons réalisé un système d'irrigation à base de deux cartes Arduino Uno communiquant avec un module radio fréquence Xbee Pro S1. Aussi, nous avons illustrés les différentes étapes de la réalisation pratique de notre système tel que les maquettes des montages et les programmes embarqués dans les cartes Arduino.

Conclusions Générales

Notre travail représente la conception et la réalisation d'un système d'irrigation semi - automatique. Notre système comporte une carte zone de captage des grandeurs environnementales et une deuxième carte qui est une centrale de contrôle et de commande qui communiquent entre elles à l'aide d'un module de communication Radio fréquence Xbee.

Dans un premier temps, nous avons fait des recherches et un état de l'art sur le domaine de l'irrigation, étudions les types de sol, les méthodes d'irrigations et les besoins de chaque parcelle terrienne.

Le travail présenté dans ce mémoire, rassemble trois volets : le premier est un état de l'art sur l'importance du type d'irrigation utilisé selon les différent(e)s cultures et sols. Le second volet est une réalisation matérielle du réseau de capteurs avec la centrale de contrôle et le dernier est la réalisation logicielle qui pilote le système, et gère la communication entre les nœuds.

En outre, le fondement de ce projet repose sur un savoir et savoir-faire que nous avons découvert à travers le processus de sa réalisation, par exemple l'utilisation du protocole de communication Zigbee, de par le module Xbee S1, sa configuration, sa programmation et son utilisation. Ceci nous a alors permis de développer et de mettre en application les connaissances acquises lors de notre cursus.

De par ce travail, nous avons réussi à atteindre plus au moins les objectifs demandés.

Cependant, ce travail est susceptible d'être mieux développé à l'avenir pour être adapter aux éventuels changements liés au temps et au climats dont dépend le développement agricole. Comme point de vue, nous proposons de développer au futur un automate API à la place de la carte Arduino avec des câbles réseaux, aussi d'élaborer un programme qui serve les agronomes à diminuer la main d'œuvre afin d'améliorer le taux de production des végétations. Ce travail-là, peut aussi aider les étudiants à venir dans leurs travaux dans les domaines de systèmes embarqués et l'irrigation.

Glossaire

1. **Pousses** = Développement des graines et des bourgeons des végétaux.
2. **Nivellement** = Mesure des hauteurs de différents points d'un terrain.
3. **Drainage** = Opération d'assainissement des sols trop humides permettant à l'eau retenue en excès dans les terres de s'écouler.
4. **Moléculaire** = Tout phénomène vital ne peut être produit sans une action ou une réaction moléculaire.
5. **L'approvisionnement** = Est une technique ou méthode permettant de livrer à un tiers un bien ou un service.
6. **Phréatique** = Est une nappe d'eau que l'on rencontre à faible profondeur.
7. **Pénurie** = une situation ou une entité ou une collectivité ou un groupe de personnes manque d'un ou de plusieurs produits, ressource naturelle ou service.
8. **Aquifère** = Est une roche réservoir suffisamment poreuse ou fissurée pour stocker de grandes quantités d'eau.
Éléments minéraux nécessaires au développement de la plante.
9. **Agriculture pluvial** = Bien que la plus grande partie de cette région dépende d'une agriculture pluviale, l'agriculture irriguée est pratiquée.
10. **Céréale** = Est une plante cultivée principalement pour ses grains, c'est –à-dire ses fruits, utilisés en alimentation humaine et animale, souvent moulus sous forme de farine raffinée ou plus ou moins complète, mais aussi en grains entiers.
11. **Mousseur** = pour robinet un embout qui se fixe à l'orifice de sortie du robinet, et qui, en injectant de minuscules bulles d'air dans l'eau de sortie, permet de réduire.
12. **L'eau puisées** = l'eau résiduaire.
13. **Cosmique** = caractérise les différentes parts qui constituent l'univers.
14. **Maturation** = croissance, évolution vers la maturité pour un fruit ou toute cellule organique.
15. **Déficit hydrique** = la différence cumulée entre l'évapotranspiration potentielle et les précipitations pendant une période où ces dernières lui sont inférieures à la première.
16. **Infiltration** = action de pénétration d'un élément dans un autre, s'applique à plusieurs domaines comme la construction, médecine, la biologie.

Abréviations

LCD: Liquid Cristal display.

LED: Light emitting diode.

USB: Universal serial bus.

GND: Ground.

IDE : Intégration développement environnement.

RF : Radio fréquence.

ETP : Evaporation transpiration potentiel.

RU : Réservoir utile.

RFU : Réservoir facilement utile.

Annexe

Configuration et installation de Xbee X-CTU

INSTALLATION DU LOGICIEL DE CONFIGURATION X-CTU

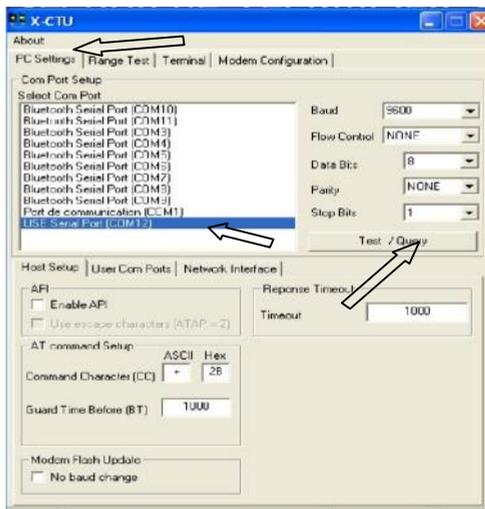
Cela ne pose pas de problème. Exécuter XCTU5250.exe et installer les drivers USB (FTDI_Windows_Driver_Setup.exe)

LANCEMENT DU LOGICIEL X-CTU

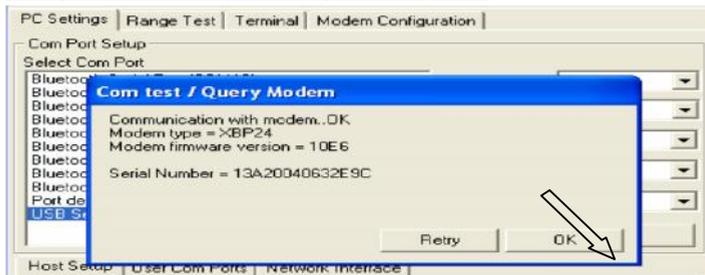


Créer un raccourci sur le bureau et lancez-le.

DÉCLARATION ET TEST DU PORT DE COMMUNICATION AVEC LE MODULE



Par défaut, le réglage des paramètres de communication série sont 9600bauds, 8 bits, pas de stop, pas de control de flux.

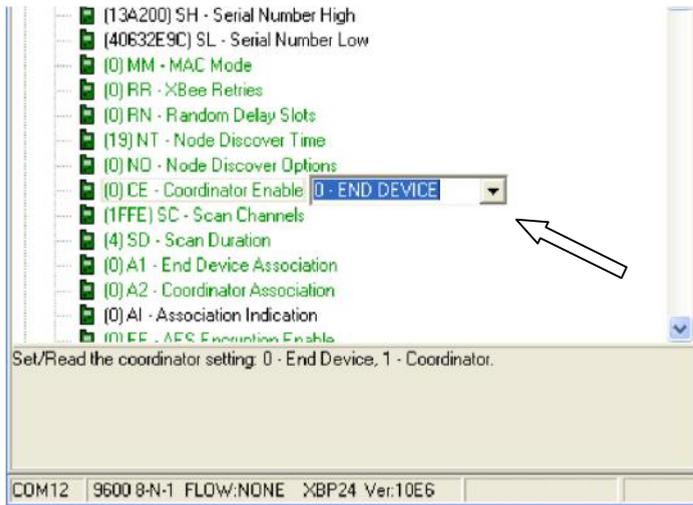


PARAMÉTRAGE DU MODULE XBEE



Annexe

DÉFINITION DU TYPE DU MODULE



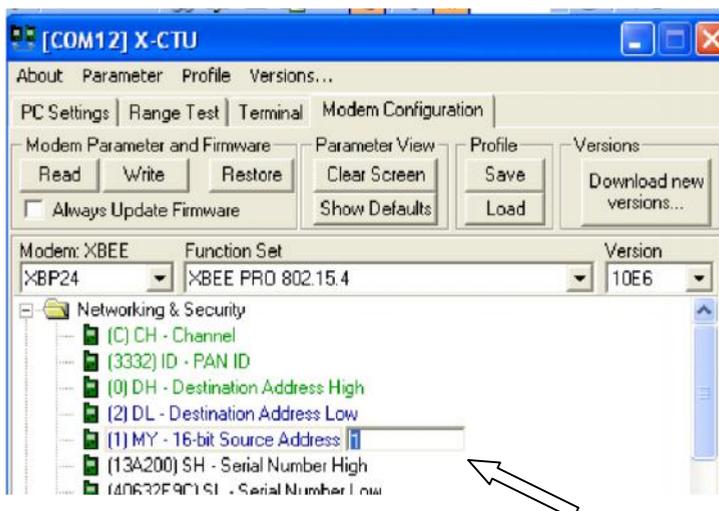
Le module est de type End Device ce qui permet une communication partagée

SÉLECTION DU CANAL RF DE COMMUNICATION



Le module peut émettre en RF sur 10 canaux différents (Cf. doc). Le canal doit être le même pour les 2 modules

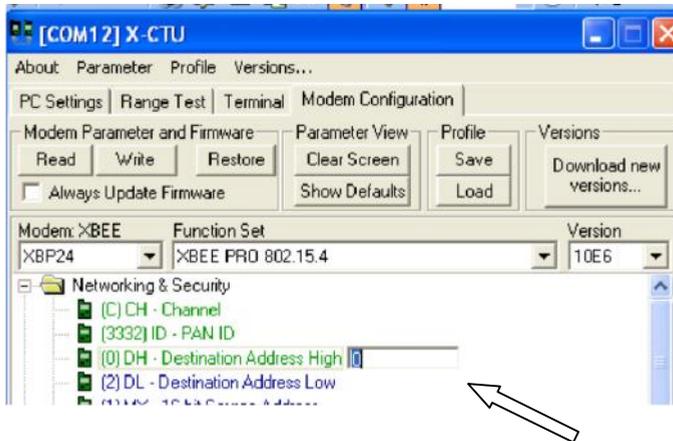
DÉFINITION DE L'ADRESSE DU MODULE EN COURS DE CONFIGURATION



L'adresse du module en cours de configuration est donc \$0001. On est en adresse courte (16 bits) car MY \$FFFE

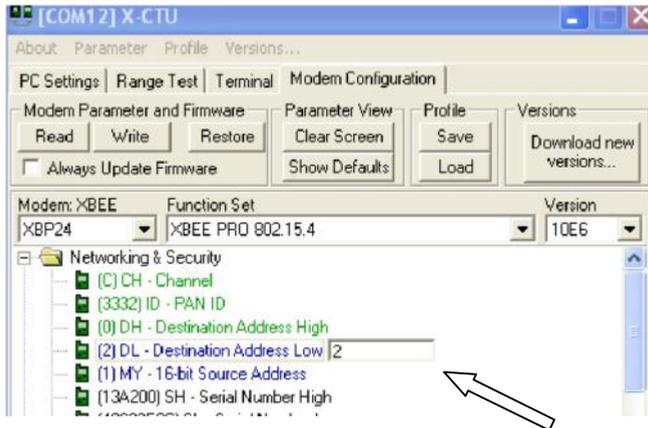
Annexe

DÉFINITION DE LA PARTIE HAUTE DE L'ADRESSE DU MODULE DE DESTINATION (8BITS).



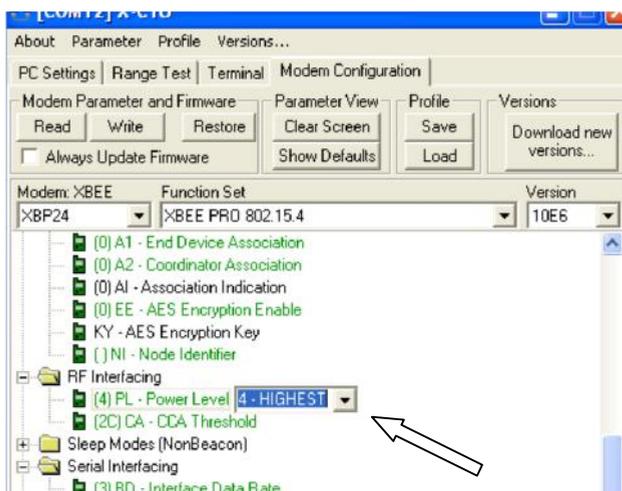
La partie haute de l'adresse du module de destination doit être '0' pour que le module en cours de configuration s'appaire avec le module de destination

DÉFINITION DE LA PARTIE BASSE DE L'ADRESSE DU MODULE DE DESTINATION (8BITS).



L'adresse du module de destination est donc \$0002

DÉFINITION DE LA PUISSANCE D'ÉMISSION .



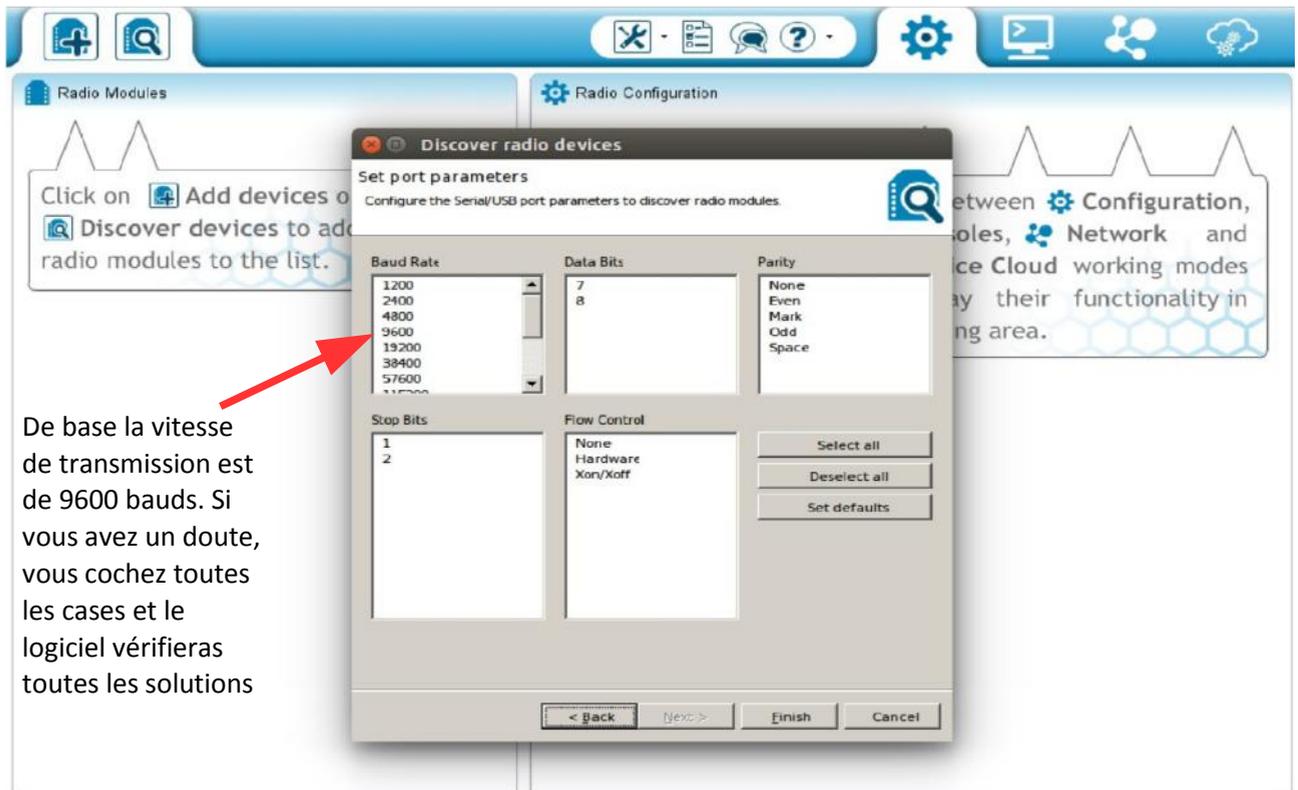
Annexe

Lancez X-CTU. Une fenêtre comme ci-dessous apparaît, montrant les différentes fonctions

- Utilisation X-CTU:

- Placez le Xbee que vous devez configurer dans le module "explorateur". Ensuite, connectez-le à un port USB de votre PC.
- Exécutez l'application X-CTU, appuyez sur le bouton "Découvrez modules radio connectés", sélectionnez le port de communication approprié et le configurer comme indiqué ci-dessous (si vous n'êtes pas sûr, vous pouvez sélectionner tout) ::

Annexe



Click on  Add devices or  Discover devices to add radio modules to the list.

Between  Configuration,  Network and  Cloud working modes may their functionality in this area.

Discover radio devices
Set port parameters
Configure the Serial/USB port parameters to discover radio modules.

Baud Rate	Data Bits	Parity
1200	7	None
2400	8	Even
4800		Mark
9600		Odd
19200		Space
38400		
57600		
115200		

Stop Bits	Flow Control
1	None
2	Hardware
	Xon/Xoff

Select all
Deselect all
Set defaults

< Back Next > Finish Cancel

De base la vitesse de transmission est de 9600 bauds. Si vous avez un doute, vous cochez toutes les cases et le logiciel vérifiera toutes les solutions

– Le logiciel cherche les modules connectés. Lorsque il à trouver il vous indique la fenêtre ci-dessous.

Annexe

Il est possible que X-CTU vous demande de faire une réinitialisation du Xbee dans cette étape (ou dans les prochaines étapes). Pour ce faire, il suffit d'appuyer sur le bouton "RST" sur le module "explorateur" pendant une ou deux secondes (broche 5 du Xbee à la masse).

Annexe

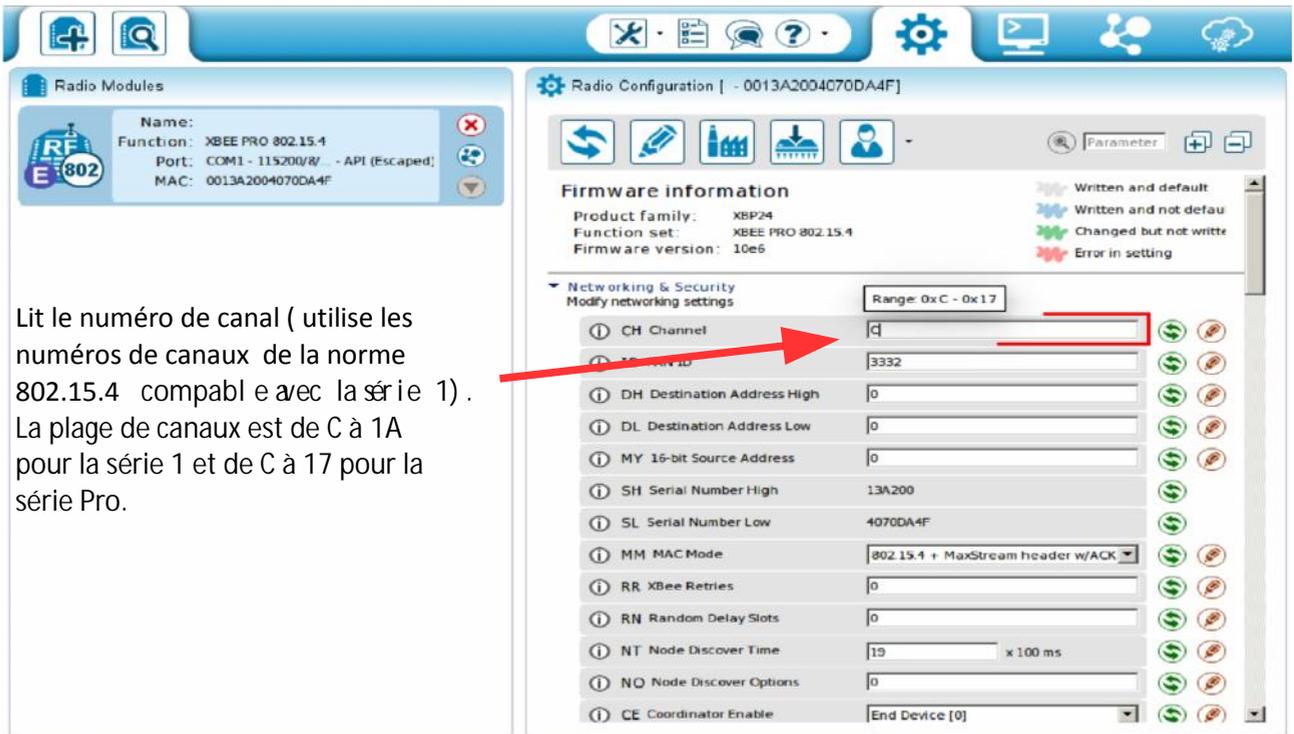
Ensuite, allez dans le mode de travail de configuration et cliquez sur le module pour sélectionner le périphérique. Il est possible de vérifier chaque paramètre et de les modifier.

Double cliquez sur le module pour aller lire les caractéristiques.

Annexe

- Vérifiez le premier paramètre, CH: Canal

Lit le numéro de canal (utilise les numéros de canaux de la norme 802.15.4 compabl e avec la série 1). La plage de canaux est de C à 1A pour la série 1 et de C à 17 pour la série Pro.



The screenshot displays the 'Radio Configuration' window for a device with ID '0013A2004C70DA4F'. The 'Networking & Security' section is expanded, showing a list of parameters. The 'CH Channel' parameter is highlighted with a red box and a red arrow pointing to it from the text on the left. The value for 'CH Channel' is 'C'. Other parameters include PAN ID (3332), Destination Address High/Low (0), 16-bit Source Address (0), Serial Number High/Low (13A200, 4070DA4F), MAC Mode (802.15.4 + MaxStream header w/ACK), Xbee Retries (0), Random Delay Slots (0), Node Discover Time (10 x 100 ms), Node Discover Options (0), and Coordinator Enable (End Device [0]).

Parameter	Value	Status
CH Channel	C	Written and default
PAN ID	3332	Written and not default
DH Destination Address High	0	Written and default
DL Destination Address Low	0	Written and default
MY 16-bit Source Address	0	Written and default
SH Serial Number High	13A200	Written and default
SL Serial Number Low	4070DA4F	Written and default
MM MAC Mode	802.15.4 + MaxStream header w/ACK	Written and default
RR Xbee Retries	0	Written and default
RN Random Delay Slots	0	Written and default
NT Node Discover Time	10 x 100 ms	Written and default
NO Node Discover Options	0	Written and default
CE Coordinator Enable	End Device [0]	Written and default

- L'ID PAN: qui est le numéro de réseau. Par défaut tout les modules sont en liaison transparente

Annexe

(Remplace un câble série physique) et leur numéro est 3332.

PAN (Personal Area Network) ID . Par défaut il est à 3332.

Si vous modifiez le numéro afin de réaliser un connexion unique entre un ou plusieurs modules n'oubliez pas d'enregistrer avec le petit crayon à droite.

Radio Configuration [- 0013A2004070DA4F]

Firmware information

- Product family: XBP24
- Function set: XBEE PRO 802.15.4
- Firmware version: 10e6

Networking & Security
Modify networking settings

Parameter	Value	Status
CH Channel	Range: 0x0 - 0xFFFF	Written and default
ID PAN ID	3332	Written and default
DH Destination Address High	0	Written and default
DL Destination Address Low	0	Written and default
MY 16-bit Source Address	0	Written and default
SH Serial Number High	13A200	Written and default
SL Serial Number Low	4070DA4F	Written and default
MM MAC Mode	802.15.4 + MaxStream header w/ACK	Written and default
RR XBee Retries	0	Written and default
RN Random Delay Slots	0	Written and default
NT Node Discover Time	19 x 100 ms	Written and default
NO Node Discover Options	0	Written and default
CE Coordinator Enable	End Device [0]	Written and default

Annexe

- Réglage de l'adresse de destination (2 parties) :

DH partie haute de l'adresse, indique qu'on veut utiliser les adresses sur 16 bits.

DL adresse de destinataire FFFF réglage qui permet de parler à tous les modules

MY est l'adresse que vous voulez donner au module.

N'hésitez pas à lire l'aide.

Parameter	Value	Status
CH Channel	C	Written and default
ID PAN ID	Range: 0x0 - 0xFFFFFFFF	Written and not default
DH Destination Address High	0	Changed but not written
DL Destination Address Low	0	Changed but not written
MY 16-bit Source Address	0	Written and default
SH Serial Number High		Written and default
SL Serial Number Low		Written and default
MM MAC Mode	802.15.4 + MaxStream header w/ACK	Written and default
RR XBee Retries	0	Written and default
RN Random Delay Slots	0	Written and default
NT Node Discover Time	19 x 100 ms	Written and default
NO Node Discover Options	0	Written and default
CE Coordinator Enable	End Device [0]	Written and default

Annexe

- Le paramètre KY (si nécessaire). Il doit être défini comme clé en hexadécimale :

The screenshot displays the 'Radio Configuration' window for a device with ID '0013A2004070DA4F'. On the left, the 'Radio Modules' section shows a module with the following details: Name, Function: XBEE PRO 802.15.4, Port: COM1 - 115200/8/... - API (Escaped), and MAC: 0013A2004070DA4F. The main configuration area lists various parameters. The 'KY AES Encryption Key' parameter is highlighted with a red box and a red 'X' icon, indicating an error. A red arrow points from the text 'Clé de cryptage entre modules.' to this parameter. The error message below the field states: 'Value must have at least 32 characters. Sets key used for encryption and decryption. This register can not be read.'

Parameter	Value	Status
SL Serial Number Low	4070DA4F	OK
MM MAC Mode	802.15.4 + MaxStream header w/ACK	OK
RR XBee Retries	0	OK
RN Random Delay Slots	0	OK
NT Node Discover Time	19 x 100 ms	OK
NO Node Discover Options	0	OK
CE Coordinator Enable	End Device [0]	OK
SC Scan Channels	1FFE Bitfield	OK
SD Scan Duration	4 exponent	OK
A1 End Device Association	0000b [0]	OK
A2 Coordinator Association	000b [0]	OK
AI Association Indication	0	OK
EE AES Encryption Enable	32 - 32 hexadecimal characters	OK
KY AES Encryption Key		ERROR

- La vitesse de transmission de l'interface série:

Annexe

- Options de l'API:

Figur

- Raccordement de plusieurs dispositifs

Annexe

Depuis la nouvelle version de X-CTU, tous les appareils connectés sur le même réseau peuvent être affichés et configurés.

- Appuyez sur le bouton «Numériser le réseau de module radio» et tous les appareils connectés seront affichés, dans sa topologie correspondante (P2P, arbre ou mesh).

Bibliographie

[1] : RACHIDI Fatima Ezzahra ; « Agriculture intelligente configuration et test d'un système intelligent basé sur des capteurs pour l'acquisition des données agroenvironnementales. » ; mémoire d'Ingénieur d'Etat en électronique,

[2] :livre1 : « irrigation des verges institut technique de l'arboriculture fruitière de la vigne. » ; Ed. DUNOD, 2009.

[3] : livre2 : Paul. Rolley ; « Amélioration agricoles-irrigation. » ; Ed. Lavoisier, 2005.

[4] : livre3 : Françoise Conac ; « irrigation et développement agricole. » ; Ed. DUNOD ,2010.

[5] : site :<https://www.aquaportail.com/definition-12892-irrigation.html>.

[6] site : <https://arrosage.ooreka.fr/comprendre/systeme-irrigation>.

[7] : site : <https://fr.m.wikipedia.org/wiki/irrigation>.

[8]: site<https://www.memoireonline.com>.

[9] : <https://www.dinafem.org/fr/blog/avantages-inconvenients-goutte-goutte-cannabis/> ?amp.