

Republique Algerienne Démocratique et Populaire
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEURE ET DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVESITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI OUZOU



FACULTE DE GEGIE ELECTRIQUE ET D'INFORMATIQUE
DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE

MEMOIRE
En vue de l'Obtention Du Diplôme de Master
RESEAUX ET TELECOMMUNICATION

Thème

**CONCEPTION ET REALISATION D'UN RESEAU DE CAPTEURS
SANS FILS
APPLICATION : AGRICULTURE DE PRECISION**

Présenté par :
Melle HADJAZ IMANE

Encadré par :
Mme AMIROU.Z

Proposé par :
Mr DJOUA SMAIL

Promotion : 2016

Remerciements

D'emblée, j'amorce par une action de grâce à dieu le tout puissant pour lui manifester toute ma gratitude, car c'est dans ce cadre que j'ai réalisé mon projet.

Je rends grâce à ma promotrice en l'occurrence **Madame AMIROU** pour sa bonne volonté, sa gentillesse son amabilité et son affabilité, son abnégation, ses qualité humaines et la qualité de ses conseils et orientations en somme de ses compétences.

Comme je souligne que c'est « tout à son honneur ».

Et je témoigne pour son grand mérite et sa bonne réputation pour lesquels je lui déclare toute mon admiration.

Je rends également hommage à **Mr DJIUA SMAIL** pour lui exprimer toute ma reconnaissance et mon témoignage de respect pour sa disponibilité, son accompagnement durant tout le processus de la réalisation de mon projet, ses conseils et ses idées pertinents notamment son apport pour nos compétences en terme de communication, sans oublier la mise à ma disposition de tout le matériel nécessaire à la concrétisation de mon projet et de noter la valeur de son savoir et savoir-faire .

Egalement à tous ceux qui ont apporté leur contribution de loin ou de près notamment **M. DAOUI Mahemmed** en soulignant la valeur ajoutée de ses orientations judicieuses.

Je rends honneur à tous les membres du jury pour leur acceptation de faire partie de cette commission à l'effet d'apprécier et d'évaluer objectivement mon projet.

Je dédie ce modeste travail à :

Mes chers parents qui m'ont soutenu tout le long chemin du savoir et de la connaissance et qui ont contribué à la réalisation de mes performances, que dieu les garde et leur donne une longue vie.

Mon frère et mes sœurs que j'aime beaucoup et à qui je souhaite une bonne réussite dans leur étude et dans leur vie.

Toute ma famille et mes amis.

Résumé

Les domaines d'application des réseaux connaissent une expansion continue. Cette expansion a donné naissance à de nouvelles générations de réseaux à divers usages. Les réseaux de capteurs sans fil (RCSFs) font partie de ce type de réseaux émergents, mais avec des propriétés et des contraintes spécifiques par rapport aux architectures des réseaux classiques. Les capteurs employés dans ce type de réseaux se présentent sous forme de petits équipements électroniques et sont souvent déployés à grand nombre et durant de longues périodes. Ils offrent des applications très variées et couvrent plusieurs domaines.

Cette thèse a pour objectif la conception et la réalisation d'un réseau de capteurs sans fil à base de **Xbee** et dont l'objectif est la récolte de données atmosphériques dans un champ agricole puis les transmettre à distance via le protocole de communication **ZigBee**, dont le but est d'améliorer les conditions de travail des agriculteurs.

Mots clés : RCSFs, ZigBee, protocole de routage, XBee, X-ctu, nœuds capteurs, arduino nano, RTC, SD, DHT11, unité de captage, unité de traitement, unité de communication, unité de d'énergie.

Table des matières

Introduction générale.....

CHAPITRE I : PROBLEMATIQUE ET OBJECTIFS

I.1	Introduction.....	01
I.2	Analyse de la situation agricole enAlgérie.....	01
I.3	Formulation de la problématique.....	02
I.4	Proposition de solutions.....	03
I.5	Objectifs de l'intégration des moyens technologiques.....	03
I.6	Vers une agriculture intelligente.....	04
1.7	Les capteurs et l'agriculture de précision.....	05
I.7.1	Les capteurs dans les stations météo	05
I.7.2	Les capteurs dans les drones.....	05
I.7.3	Les capteurs dans les robots de traite.....	06
I.7.4	Les capteurs dans les poulaillers	06
1.8	Notre contribution à travers ce mémoire.....	07
1.9	Conclusion.....	07

CHAPITRE II : PRESENTATION DES RESEAUX DE CAPTEURS

II.1	Introduction.....	08
II.2	Les réseaux de capteurs.....	08
II.2.1	Définition d'un capteur	08
II.2.2	Définition d'un capteur intelligent.....	09
II.2.3	Définition d'un réseau de capteur sans fil.....	10
II.2.4	Architecture d'un réseau de capteur sans fil.....	11
II.2.5	Architecture d'un nœud capteur.....	11
II.2.5.a	unité de captage.....	12
II.2.5.b	unité de traitement.....	13

Table des matières

II.2.5.c unité de communication.....	13
II.2.5.a unité de stockage.....	13
II.2.5.b unité d'énergie.....	14
II.3 Domaines d'application des RCSFs.....	14
II.3.1 Application militaire.....	14
II.3.2 Application médicale.....	15
II.3.3 Application domestique.....	15
II.3.4 Les musées interactifs.....	15
II.3.5 Les réseaux de capteurs dans l'agriculture.....	16
II.3.6 Autres application commerciales.....	16
II.4 la consommation d'énergie dans les RCSFs.....	17
II.5 La pile protocolaire dans un RCSF.....	17
II.5.1 La couche physique.....	18
II.5.2 couche liaison de données.....	19
II.5.2.a La sous-couche MAC.....	19
II.5.2.b La sous-couche LLC.....	20
II.5.3 La couche réseau.....	20
II.5.4 La couche transport.....	20
II.5.5 La couche Application.....	20
II.5.6 Le plan de gestion de l'énergie.....	21
II.5.6.a Le plan de gestion de mobilité.....	21
II.5.6.b Le plan de gestion des taches.....	21
II.6 Agrégation de données.....	22
II.7 Protocoles de communication.....	22
II.7.1 Small minimum energy communication network (SMECN).....	22
II.7.2 Flooding.....	22
II.7.3 Gossiping.....	22

II.7.4 Sensor Protocol for information via negotiation (SPIN).....	23
II.7.5 Sequential Assignment routing (SAR).....	23
II.7.6 Directed diffusion.....	23
II.7.7 Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy (LEACH).....	23
II.8 Réseau de communication sans fils.....	24
II.8.2 Bluetooth.....	24
II.8.3 Wi-Fi.....	25
II.8.4 LoRa.....	25
II.8.5 ZigBee.....	25
II.8.6 Comparaison entre les protocoles sans fil.....	26
II.9 Conclusion.....	27

CHAPITRE III : CONCEPTION DU SYSTEME

Introduction.....	28
III.1 Architecture globale du système.....	28
III.2 Définition structurelle du système.....	30
III.2.1 Unité de traitement	30
III.2.2 Unité de captage.....	30
III.2.3 Unité de stockage.....	30
III.2.4 Unité de communication.....	30
III.2.5 Unité d'énergie.....	30
III.3 Définition fonctionnelle du système.....	30
III.3.1 Le fonctionnement opérationnel du système.....	31
III.3.2 Fonction de chaque unité.....	31
III.3.2.a Fonction de l'unité de traitement.....	31
III.3.2.b Fonction de l'unité de captage.....	32
-1 Le capteur « DHT11 ».....	33

-2 Le « PH meter & moisture meter ».....	33
-3 Etalonnage du capteur.....	34
III.3.2.c Fonction de l'unité de communication.....	35
-1 Présentation du XBee.....	35
III.3.2.d La carte mémoire SD (unité de stockage).....	37
III.3.2.e Fonction de l'unité d'énergie.....	37
III.3.2.f Le module RTC.....	38
III.3.3 La topologie adoptée.....	38
Conclusion	39

CHAPITRE IV : REALISATIO DU SYSTEME

Introduction.....	40
IV.1 Logiciels et programmation.....	40
IV.1.2.a Arduino.....	40
IV.1.2.b Le logiciel x-ctu.....	40
IV.1.2.c Les étapes de la configuration.....	41
IV.1.3 Programmation.....	44
IV.1.3.1 Fonctionnement de l'émetteur.....	44
IV.1.3.2 Fonctionnement du récepteur.....	45
IV.2 Réalisation pratique.....	46
IV.2.1 Procédé pratique d'étalonnage.....	46
-1 Interprétation des lectures.....	46
-2 Les résultats obtenus.....	43
-3 Interprétation des résultats.....	49
IV.2.2 Le schéma sur le lab.....	52
IV.2.3 les résultats	58
Conclusion	61

Figure I: Les capteurs dans une station météo.

Figure I : Les capteurs dans les drones.

Figure I (3) : Les capteurs dans les labos de traite.

Figure I (4) : Les capteurs dans les poulaillers.

Figure II (5) : les différents types de capteurs.

Figure II (6): Les éléments composant un réseau de capteur.

Figure II (7): Architecture globale d'un réseau de capteur.

Figure II (8) : Architecture d'un nœud capteur.

Figure II (9) : La Pile protocolaire.

Figure II (10) : le logo de ZigBee alliance.

Figure III (11) : Architecture globale du système

Figure III (12) : la carte arduino nano.

Figure III (13) : ph & moisture meter.

Figure III (14) : le module XBee S2.

Figure III (15) : la carte mémoire micro SD.

Figure III (16) : Le module RTC.

Figure III (17) : Le composant DS1307.

Figure III (18) : distribution des nœuds dans La topologie maillée.

Figure IV-1 : l'interface de programmation Arduino.

Figure IV-2 : l'interface graphique de X-CTU

Figure IV-3 : les paramètres de configuration d'un module XBee.

Figure IV-4: mesure de l'humidité du sol dans trois niveaux d'humidité différents.

Figure IV-5: mesure du PH de l'eau minérale.

Figure IV-6 : Mesure avec liaison à la carte arduino.

Figure IV-7 : Résultats affiche a l'ecran.

Figure IV-8 : Schéma électrique de l'unité de captage avec XBee

Figure IV-9: . le schéma électrique de la carte SD.

Figure IV-10 : le schéma électrique de la RTC.

Figure IV-11 : le bloc de l'alimentation.

Figure IV-12 : Le schéma sur le lab.

Figure IV-13: L'implémentation des composants sur la carte.

Figure IV-14 : vue de dessus de la carte.

Figure IV-15 : vue en 3D.

Figure IV-16 : Carte réalisée.

Figure IV-17 : Nœud récepteur.

Figure IV-19 : la température et l'humidité sur le port de l'émetteur

Figure IV-20 : les trames de la réception

Figure (35) : la trame de réception après l'intégration de PH&moisture meter.

Les tableaux :

Tableau 1 : Comparaison des protocoles de communication sans fil

Tableau(2) : interprétation des valeurs d'humidité.

Tableau (3) : interprétation des valeurs du PH.

Introduction générale

Introduction générale

Introduction générale

En dépit des potentialités agricoles énormes dont dispose l'ALGERIE, 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. La crise économique mondiale a révélé la fragilité de notre économie qui repose sur les hydrocarbures.

Par conséquent, la diversification de notre économie hors hydrocarbures s'avère inévitable par la mise en place d'un nouveau modèle économique (un nouveau modèle de croissance) s'appuyant sur l'investissement productif. Pour ce faire, des mesures doivent être prises pour la modernisation du secteur agricole par l'introduction des outils technologiques c'est-à-dire la modernisation des pratiques agricoles. Cela permettra d'améliorer la croissance économique, d'atteindre l'autosuffisance alimentaire, réduire les importations et développer la culture des exportations des produits compétitifs.

L'introduction de la nouvelle technologie nous laisse penser à une agriculture intelligente et à la modernisation des pratiques agricoles classiques. Certaines tâches fastidieuses, voire même impossibles pourront être assurées de manière automatiques.

Parmi ces tâches, la récolte des données atmosphériques et des données du sol dans des champs agricoles très vastes notamment dans le sud du pays. Dans ce domaine-là, l'avancée des microsystèmes électromécaniques (MEMS) et le développement des technologies de communication sans-fil ont permis le développement de capteurs intelligents, minuscules et à faible coût. En outre, ces réseaux de capteurs ont ouvert de nombreuses perspectives d'applications et services dans le domaine agricole.

Devenu un créneau de recherche actif, le domaine de réseau de capteur a bénéficié de nombreux travaux de recherche théoriques. Ces travaux concernent les protocoles de routages dans les réseaux de capteurs sans fil, la réduction consommation d'énergie, la sécurité dans réseaux de capteurs sans fil...etc. En dépit de ces efforts, on constate un manque en termes d'application sur le terrain.

Avec l'esprit de créer une passerelle entre l'université et le secteur économique, nous inscrivons notre projet de fin d'étude dans cette problématique. Il constitue une première tentative de contribution à ce domaine. La motivation est d'améliorer les conditions de travail des agriculteurs. Nous proposons la conception et la réalisation d'un réseau de capteur à base de **XBee**. L'objectif poursuivi est la récolte de données atmosphériques dans un champ agricole. Ces données sont ensuite transmises à distance via le protocole de communication sans fil « **ZigBee** ».

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

Commenté [1]:

Introduction générale

Dans le premier chapitre nous avons abordé l'analyse de la situation de l'agriculture en ALGERIE en posant les éléments de la problématique que connaît le secteur. Nous avons ensuite proposé les solutions les différentes solutions à l'effet de résoudre cette problématique d'un des éléments de solutions proposées consiste en la réalisation d'un réseau de capteurs dans l'exercice de la agriculture intelligente.

Dans le deuxième chapitre nous exposons les concepts généraux relatifs au domaine des réseaux de capteurs sans fils. Le troisième chapitre est consacré à la conception générale de notre système dans laquelle nous allons détailler la structure et fonctionnement, les composants électroniques utilisés et les critères respectés lors de leur choix sont passés en revue.

Les étapes suivies pour la réalisation du système sont expliquées à travers le quatrième chapitre. Les partie matérielle et logicielle ainsi que les résultats obtenus sont exposés. Enfin, nous concluons sur ce travail en l'ouvrant sur quelques perspectives.

Introduction générale

- ;



I.1 Introduction

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. Ce développement devient ainsi, plus que par le passé, tributaire de la connaissance, de l'information et du savoir-faire qui, naturellement, s'inscrivent dans une dynamique évolutive.

Dans ce premier chapitre, nous allons tout d'abord faire une profonde analyse sur la situation de l'agriculture dans notre pays. Ensuite, nous passerons à la formulation de la problématique avant d'entamer la proposition de solution. Enfin on terminera par la définition des objectifs de l'intégration des moyens technologiques et leur application dans le domaine agricole.

I.2 Analyse de la situation de l'agriculture en Algérie

Pour analyser la situation de l'agriculture actuelle en Algérie, nous devons examiner les éléments suivants :

- ✓ Le potentiel agricole.
- ✓ Les moyens mis en œuvre dans le domaine agricole.
- ✓ Le modèle de production agricole.
- ✓ La stratégie agricole adoptée.
- ✓ La place qu'occupe l'agriculture dans notre économie.

L'Algérie possède un potentiel agricole important composé de :

- ✓ Des terres agricoles fertiles et cultivables.
- ✓ Agriculture des montagnes, des hauts plateaux, saharienne.
- ✓ L'élevage : ovins, bovins, caprins....etc.
- ✓ L'aquaculture.
- ✓ L'arboriculture.

Cependant, ce potentiel est malheureusement sous exploité car l'agriculture n'a pas eu la place qu'elle mérite dans l'économie du pays. De plus, la formation des ressources humaines laisse à désirer.



L'absence d'une bonne stratégie agricole a fait que toutes les orientations agricoles ont abouti à un échec car elles sont souvent inefficaces. Les investissements insignifiants dans ce secteur ont été à l'origine de l'inexistence d'un modèle de production efficace et moderne.

Par ailleurs, il n'existe aucun pont ou collaboration effective entre les institutions de recherche et les opérateurs économiques. Cette situation a engendré un retard considérable par rapport à d'autres pays développés ou en voie de développement. Ceci fait que le modèle de production agricole repose toujours sur des pratiques, techniques et procédés agricoles traditionnels et archaïques d'où la nécessité d'une mise à niveau.

Cette agriculture mal orientée et souvent négligée fait que l'Algérie importe plus de 90% de ses besoins en produits alimentaires contrairement à ses voisins. Les factures sont souvent élevées et l'autosuffisance alimentaire est encore très loin.

Aujourd'hui, le secteur agricole produit moins que nous consommons. Tous les indicateurs du secteur sont en rouge. Au niveau de notre secteur économique, certaines questions doivent être sérieusement posées :

- a) Pourquoi les exportations agricoles sont insignifiantes par rapport aux hydrocarbures ?
- b) Pourquoi la facture des importations en produits alimentaires est difficile à supporter.
- c) Pourquoi la participation du secteur agricole au PIB (Produit Intérieur Brut) de l'ALGERIE est très minime ?

I.3. Formulation de la problématique

- a) Quelles sont les actions à entreprendre pour remédier à ce retard en terme de développement ?
- b) Quelles sont les mesures à prendre pour optimiser le rendement agricole et améliorer sa qualité et sa compétitivité ?
- c) Comment valoriser toutes les ressources locales pour une mise à niveau de notre agriculture ?



d) Quelles sont les technologies à intégrer dans l'exercice des activités agricoles.

I.4 Proposition de solutions

- Un plan d'action opérationnel est urgent et nécessaire pour rattraper le retard en terme de développement.
- Budgétiser le secteur (accompagnement financier).
 - Formation de ressources humaines.
 - Programme de développement (mise en valeur des terres).
 - Intégration des équipements technologiques dans la production agricole.
- Aujourd'hui, des mesures s'imposent en l'occurrence des lois sur l'orientation agricole.
- ✓ La valorisation des ressources locales reste la seule issue pour l'agriculture algérienne en faisant participer notamment :
 - Les institutions de recherche.
 - Les universitaires.
 - Les ingénieurs en agronomie.
 - Intégration des sciences agricoles et des sciences technologiques.

I. 5 Objectifs de l'intégration des équipements technologiques

La technologie joue un rôle primordial, tant pour la compétitivité des systèmes de production, de valorisation et de commercialisation que pour la performance des systèmes administratifs ou de gestion.

L'innovation technologique peut être considérée comme un processus interactif de production ou de valorisation de ressources, qu'elles soient agricoles ou autres grâce, en général, à l'exploitation des acquis de la Recherche-Développement. Elle allie ainsi la solution technique à l'opportunité économique, commerciale ou sociale, par la traduction d'une idée



prometteuse en un bien ou un service utile. Dans le cas du secteur agricole, les objectifs poursuivis sont :

- ✓ La modernisation de modèle de production agricole.
- ✓ Améliorer l'activité agricole en qualité, quantité et en compétitivité.
- ✓ Rentabiliser l'activité agricole.
- ✓ Créer une base de production efficace.
- ✓ Répondre aux besoins du marché national et obtenir des parts de marché à l'international.
- ✓ Relever les défis agricoles de demain qui constituent les perspectives, les ambitions du secteur agricole.

I.6 Vers une agriculture intelligente

L'agriculture intelligente constitue un axe stratégique pour la diversification de l'agriculture. Pour ce faire, un investissement dans le domaine de « la biotechnologie » s'impose. A ce propos, le rôle de l'université, des institutions de recherche est prépondérant notamment dans les spécialités suivantes :

- ✓ Biologie animale (science qui étudie les animaux).
- ✓ Biologie végétale (science qui étudie les végétaux).
- ✓ Biologie marine (science qui étudie les poissons).

En effet, la biologie est une science qui étudie la matière vivante et les êtres vivants (c'est-à-dire). C'est une science de développement des organismes qui s'occupe de la reproduction, de l'embryologie (ensemble des transformations par lesquelles passe l'embryon). C'est dans ce cadre et ce processus qu'intervient « la Biotechnologie » comme technique qui met en œuvre des organismes vivants pour la diversification des produits agricoles (création de nouvelles variétés) dans des laboratoires équipés par des équipements et des installations technologiques répondant aux normes internationales.

Le développement de l'agriculture intelligente nécessite la mise en place d'un réseau de laboratoires dans le domaine de « la recherche développement » dans lequel seront impliquées toutes les compétences (universitaires, chercheurs, ingénieurs, biologistes, ...etc.).



Leur mission serait de :

- ✓ Diversifier les produits agricoles.
- ✓ Booster les rendements.
- ✓ Garantir la compétitivité des produits.
- ✓ Assurer la sécurité alimentaire.

En effet, la Biotechnologie agirait en termes d'application sur la culture des céréales, engraissement bovins et des vaches laitières et le fourrage. Ces nouvelles techniques et manipulations donneront naissance à de nouvelles variétés de fruits et légumes (pomme de terre, tomates, dates...etc.). Cependant, toutes ces nouvelles variétés qui sont l'émanation de la Biotechnologie doivent être cultivées en fonction de leurs caractéristiques et leurs particularités (température, humidité, taux d'azote, PH du sol...etc.).

I.7 Les capteurs et l'agriculture de précision

Grâce aux réseaux de capteurs installés dans des parcelles, embarqués dans des machines, dans des bâtiments d'élevage, l'agriculture devient plus connectée pour agir. Elle est devenue plus précise, plus productive, durable. De plus, l'utilisation de ces capteurs tend à améliorer les conditions de travail des agriculteurs.

En utilisant des réseaux de capteurs, plusieurs approches ont déjà été testées dans certains pays dans le but d'une meilleure récolte d'informations et un meilleur contrôle des processus agricoles. Parmi ces approches, on peut citer avec illustrations, les exemples suivant :

I.7.1 Les capteurs dans les stations météo :

- ✓ Une station météo peut communiquer au Smart Phone de l'agriculteur des informations utiles pour « Décider une intervention ou pas » donc connecter pour agir c'est le rôle des capteurs qui seront partout dans la ferme de demain :



Figure (1) : Les capteurs dans une station météo.

I.7.2 Les capteurs dans les drones :

Pour mettre des drones au service de l'agriculture, de nombreuses solutions sont actuellement proposées pour une agriculture de précision, plus compétitive, plus respectueuse de l'environnement et facilitant le travail agricole. Elles sont le fruit d'un mariage réussi entre le numérique et la robotique qui révolutionne déjà le quotidien des agriculteurs.

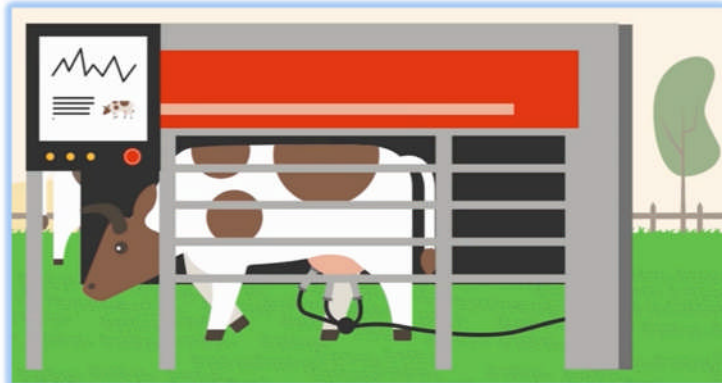


Figure(2) : les capteurs dans les drones.



I.7.3 Les capteurs dans les robots de traite :

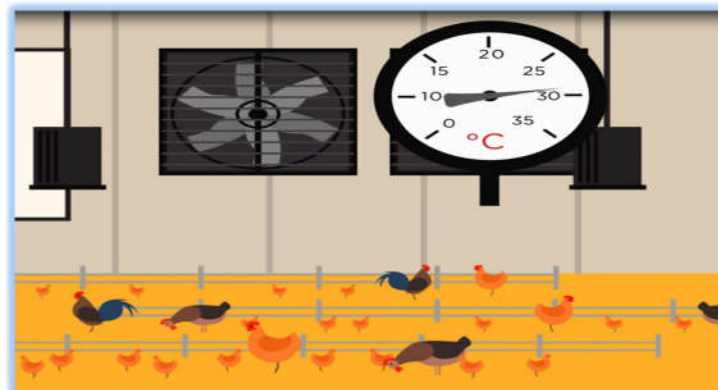
- ✓ Dans le robot de traite pour mesurer la qualité et la quantité du lait produit.



Figure(3) : Les capteurs dans les labos de traite.

I.7.4 Les capteurs dans les poulaillers :

- ✓ Dans le poulailler pour mesurer la température ambiante et moduler la ventilation.



Figure(4) : Les capteurs dans les poulaillers.



I.8. Notre contribution à travers ce mémoire

Notre contribution porte sur deux étapes :

1- la première étape consiste en la partie logicielle, c'est-à-dire le choix d'une topologie qui répond à nos besoins et le choix d'une configuration logicielle adéquate. Ensuite, le grand travail qui consiste en l'élaboration d'un programme intégrant tous les éléments constituant le système .ce dernier a pour mission de récolter les données à l'effet de les transmettre à distance.

2- la seconde étape consiste en la réalisation pratique du système après avoir choisi les composants électroniques appropriés en respectant les critères suivants (la taille, la consommation énergétique, le cout, la disponibilité, la qualitéetc.) .

I.9 Conclusion

La problématique du secteur agricole nécessite des solutions technologiques.

Les réseaux de capteurs sans fils représentent une solution idoine pour faire face aux contraintes du secteur agricole.

Le chapitre qui suit présente les caractéristiques liées aux réseaux de capteurs sans fil, leurs domaines d'applications, leurs aspects liés à la communication et leurs défis.



II.1 Introduction

Les réseaux de capteurs offrent un moyen sans égal pour instrumenter le monde physique, ces systèmes informatiques et électroniques communiquent principalement à travers des réseaux radio qui en font des objets communicants autonomes. Ils offrent l'opportunité de prendre en compte les évolutions temporelles et spatiales du monde physique environnant.

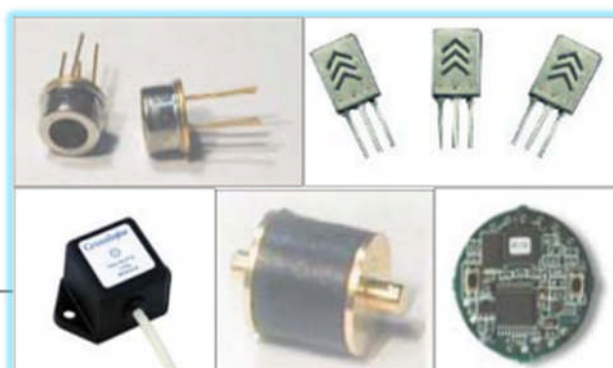
Les réseaux de capteurs se retrouvent au cœur de nombreuses applications couvrant des domaines aussi variés comme la santé, la domotique, les transports, la sécurité. Le succès qu'ont connu les réseaux de capteurs est dû à plusieurs facteurs. La taille réduite des nœuds permet un déploiement aisé dans différents environnements tels que les bâtiments, les champs et même sous la mer. L'intelligence implantée sur les capteurs leur permet de s'auto-organiser et de démarrer le réseau sans difficultés majeures. Les réseaux peuvent comporter un nombre de nœuds allant de quelques capteurs pour atteindre des centaines voire des milliers. D'autre part, les capteurs peuvent servir là où la présence humaine devient très risquée comme des zones militaires ou des zones d'éruption volcanique.[1]

Pour étudier les réseaux de capteurs, nous commençons par donner un bref aperçu sur les réseaux de capteurs. Les applications potentielles des réseaux de capteurs sont ensuite énumérées ainsi que les principaux facteurs qui influencent leur conception. Nous verrons que la communication dans un réseau de capteur se fait selon certaines architectures et selon un protocole développé pour chaque couche

II.2 Les réseaux de capteurs

II.2.1 Définition d'un capteur

Un capteur sans fil est un dispositif électronique capable de mesurer une valeur physique (la température, l'humidité, la luminosité, l'accélération, la distance, les mouvements, la position, la pression, la présence d'un gaz, la vision (capture d'image), le son, etc...), et de la communiquer à un centre de contrôle via une station de base.





Figure(5) : les différents types de capteurs.

Un capteur a pour tâche de transformer la mesure physique observée en une mesure généralement électrique qui sera à son tour traduite en une donnée binaire exploitable et compréhensible par un système d'information.

La notion de capteur a évolué avec le temps puisque leur domaine d'application s'est élargi. Les premiers capteurs n'étaient dédiés qu'à un unique type de mesure, les capteurs contemporains sont la combinaison de plusieurs dispositifs capables de mesurer différentes grandeurs physiques. En outre leurs possibilités de mesures multiples, les capteurs actuels se sont vus gérer des fonctionnalités qui leur permettent, en plus de l'enregistrement et de la détection d'événements mesurables, le traitement de ces données et leur communication vers un autre dispositif. On parle alors de capteur intelligent.[2]

II.2.2 Définition d'un capteur intelligent

Un capteur intelligent est capable à la fois de mesurer des données et de les communiquer avec d'autres capteurs au sein d'un réseau [2]. Il intègre de nombreux éléments électroniques additionnels, des unités programmables et des aspects logiciels nécessaires au traitement des données, aux calculs et à la communication numérique [3]. Il est donc caractérisé par sa capacité à effectuer une collecte de mesures, les traiter et à les communiquer à l'environnement extérieur...[4]

II.2.3 Définition d'un réseau de capteurs sans fil

Un réseau de capteurs sans fil est constitué d'un ensemble de terminaux (nœuds) qui communiquent par voie hertzienne. On peut distinguer trois types de nœuds:

- ✓ les nœuds sources (nœuds puits ou COORDINATEURS)



- ✓ les nœuds ROUTEURS,
- ✓ les nœuds .END-DEVICE.

Notons qu'un même nœud peut jouer alternativement tous les rôles. Les nœuds peuvent être tous identiques en terme de puissance de calcul, d'énergie. En général, certains d'entre eux ont un rôle plus spécifique. C'est le cas des puits ou certain relais qui peuvent jouer le rôle de concentrateurs.

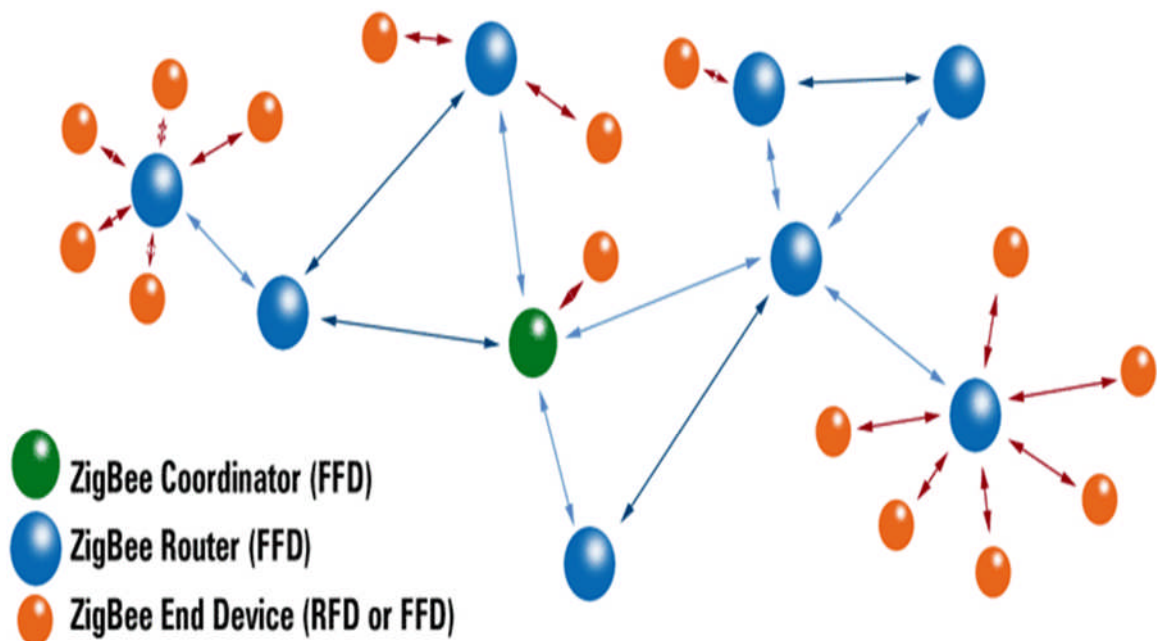


Figure (6) : Les éléments composant un réseau de capteur.

II.2.4 Architecture d'un réseau de capteurs sans fil

Un réseau de capteurs sans fil générique est composé d'un grand nombre de nœuds capteurs dispersés dans le terrain d'intérêt appelé « champ de captage ». Les nœuds ont la possibilité de collecter périodiquement les données sur le phénomène surveillé et d'envoyer les rapports de captage à un nœud spécial appelé puits (Sink), comme le montre la **Figure II.3**



Ce nœud est responsable, en plus de la collecte des rapports, de la diffusion des demandes sur les types de données requise aux capteurs via des messages de requêtes. Un réseau de capteurs peut contenir plusieurs nœuds puits diffusant des intérêts différents.

II.2.5 Architecture d'un nœud capteur

Un nœud capteur contient quatre composants de base : l'unité de captage, l'unité de traitement, l'unité de transmission, et l'unité de contrôle d'énergie. Il peut contenir également, suivant son domaine d'application, des éléments supplémentaires tels qu'un système de localisation, ou bien un système générateurs d'énergie.

L'unité de captage englobe généralement deux sous-unités, le capteur lui-même en plus d'un convertisseur analogique-numérique qui transforme les signaux analogiques produits par les capteurs, et basés sur le phénomène observé en signal digitale, ce dernier est transmis par la suite à l'unité de traitement.

L'unité de traitement, généralement associée à une petite unité de stockage, exécute les procédures permettant au nœud de collaborer avec les autres nœuds du réseau pour donner, en fin, le résultat de la tâche assignée au réseau.

La connexion du nœud au réseau est gérée par l'unité de transmission. L'unité de contrôle d'énergie, cependant, constitue l'un des systèmes les plus importants dans un nœud capteur

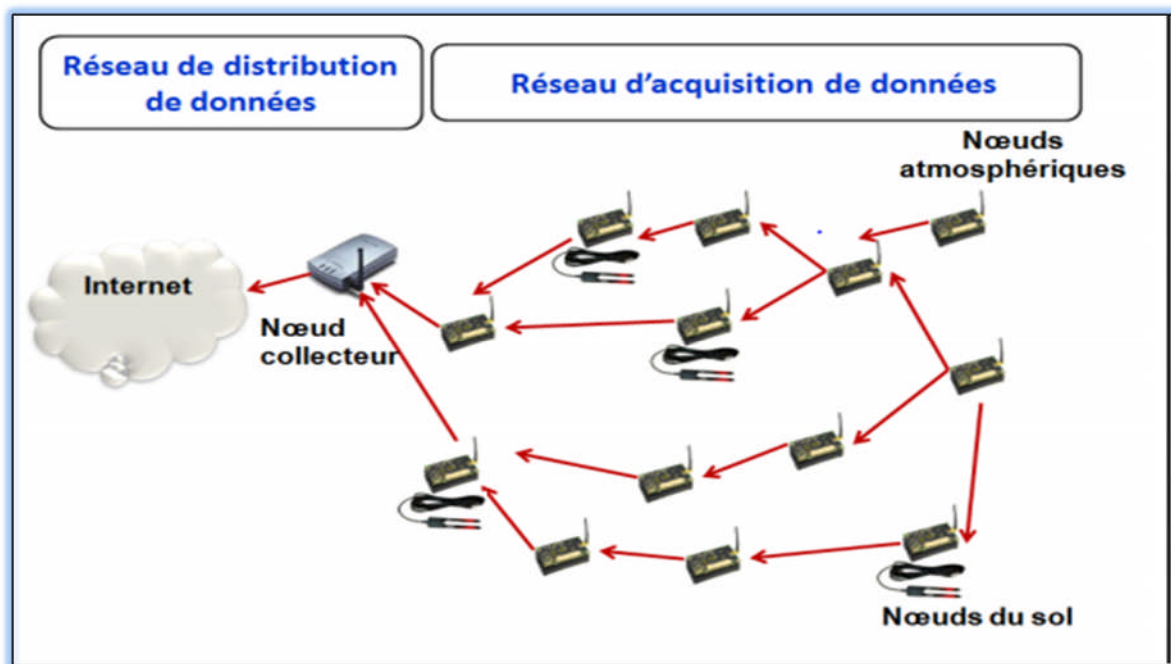


Figure (7): Architecture globale d'un réseau de capteur.

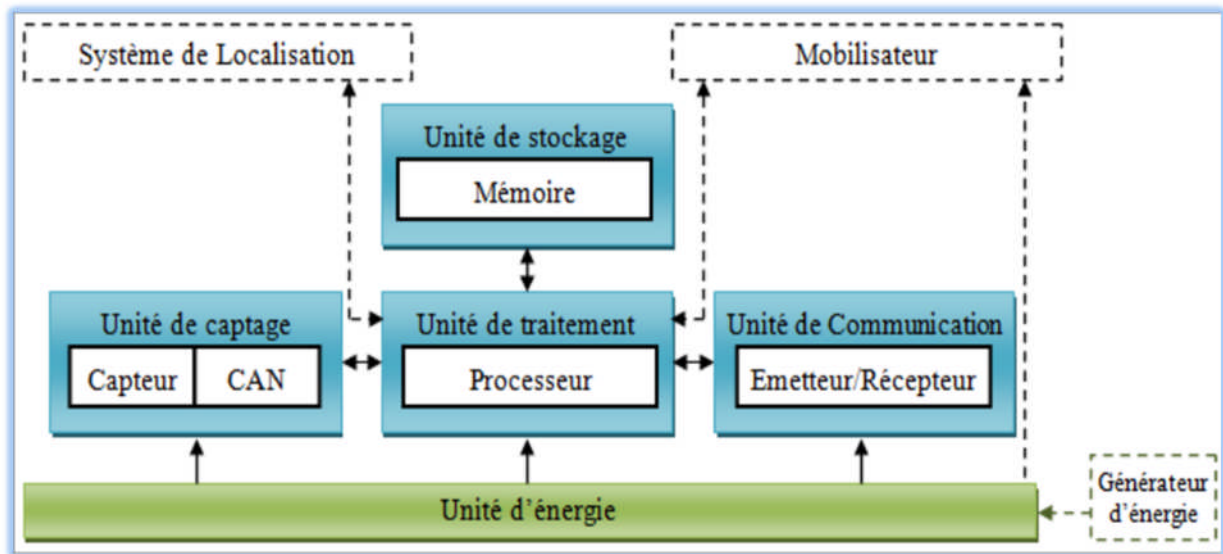


Figure (8): Architecture d'un nœud capteur.

a) Unité d'énergie

Après leur déploiement, les nœuds d'un réseau de capteurs sont généralement inaccessibles, de ce fait, la durée de vie du réseau dépend complètement de celle de la source d'énergie du nœud capteur. Celle-ci est influencée considérablement par la contrainte de taille des nœuds.

La source d'énergie est généralement une batterie [5], pour alimenter tous ses composants. Les batteries utilisées sont soit rechargeables ou non. Souvent, dans les environnements sensibles, il est impossible de recharger ou changer une batterie. Pour cela, l'énergie est la ressource la plus précieuse puisqu'elle influe directement sur la durée de vie des capteurs et donc d'un réseau de capteurs.

b) Unité de captage

La fonction principale de l'unité de captage est de capturer ou mesurer les données physiques à partir de l'objet cible. Il est composé de 2 sous-unités : le récepteur (reconnaissant la grandeur physique à capter) et le transducteur (convertissant le signal du récepteur en signal électrique). Le capteur fournit des signaux analogiques, basés sur le phénomène observé, au Convertisseur Analogique/Numérique (CAN). Ce dernier transforme ces signaux en données numériques et les transmet à l'unité de traitement. Un capteur peut avoir un ou plusieurs unités de captage [6].



c) Unité de traitements (processeur)

Elle est composée d'une interface d'acquisition et d'une interface pour l'unité de transmission ainsi qu'un processeur et un système d'exploitation spécifique. Elle acquiert les informations en provenance de l'unité d'acquisition et les envoie à l'unité de transmission. Les types de processeurs qui peuvent être utilisés dans un capteur incluent le Microcontrôleur, les DSP (Digital Signal Processors), les FPGA (Field Programmable Gate Array) et les ASIC (*Application Specific Integrated Circuit*). Parmi toutes ces alternatives, le Micro-contrôleur a été le processeur le plus utilisé pour les capteurs à cause de sa flexibilité à être reliés à d'autres composants (comme par exemple l'unité de communication), à son bon prix et sa faible consommation énergétique [7; 8].

d) Unité de communication

Les communications basées sur les composants de type radio-fréquence nécessitent des circuits de modulation, démodulation, filtrage, et multiplexage, ce qui implique la complexité de ce type de nœud et l'augmentation de leur coût de production. De plus, et puisque les antennes utilisées par ces nœuds sont très proches du sol, la perte du signal transmis entre eux peut être très élevée. Toutefois, ce mode de communication reste le mode préféré par la plupart des projets de recherche menés sur les réseaux de capteurs, car les paquets échangés dans ces réseaux sont de petite taille, et ils sont transmis à un faible débit, la possibilité de réutilisation de fréquence est également considérable à cause de la petite distance entre les nœuds. Toutes ces caractéristiques favorisent l'utilisation des composants de transmission radio dans les réseaux de capteurs, mais la réalisation de tels composants avec une faible consommation d'énergie constitue, jusqu'à présent, un défi technique important. Les technologies commercialisées disponibles telles que Bluetooth ne permettent pas encore une telle possibilité.

e) Unité de stockage (Mémoire)

Elle inclut la mémoire de programme et la mémoire de données. La taille de cette mémoire est souvent limitée essentiellement par les considérations économiques et elle est en continuelle amélioration au fil des années [9].

II.3 Domaines d'applications des RCSFs

Les réseaux de capteurs peuvent inclure différents types de capteurs selon la nature des signaux, à titre d'exemples, taux sismique, thermique, visuel, infrarouge, acoustique et radar, qui peuvent surveiller une grande variété de conditions ambiantes



incluant : la température, l'humidité, le mouvement véhiculaire, l'état de foudre, la pression, les niveaux de bruit, la présence ou l'absence de certains genres d'objets, les caractéristiques courantes d'un objet, telles que la vitesse, la direction et la taille.

Les nœuds capteurs peuvent être employés pour la capture continue, la détection d'événements, l'identification d'événements et la commande locale des déclencheurs. Le raccordement sans fils des nœuds de micro-capteur permet un large éventail d'applications, essentiellement dans le domaine militaire et environnemental.

II.3.1 Application militaire

L'exploitation militaire est l'une des principales applications des réseaux de capteurs. Dans ce contexte, l'emploi des réseaux de capteurs peut aller des surveillances de routine des périmètres, jusqu'à assister des attaques aériennes ou terrestres et conduire des opérations d'espionnage. Comme exemple d'application dans ce domaine, on peut penser à un réseau de capteurs déployé sur un endroit stratégique ou difficile d'accès, afin de surveiller toutes les activités des forces ennemies, ou d'analyser le terrain avant d'y envoyer des troupes (détection d'agents chimiques, biologiques ou de radiations).

Comme ces réseaux sont basés sur le déploiement dense d'un grand nombre de capteurs jetables et à coût réduit, la destruction de certains capteurs n'affectera pas une opération militaire entreprise, ce qui rend le concept de réseau de capteurs une meilleure approche pour les champs de bataille. De plus, il existe d'autres applications militaires aux quelles les réseaux de capteurs peuvent être appliqués :

- ✓ Le contrôle des forces, équipement et munition
- ✓ Reconnaissance et surveillance du champ de bataille
- ✓ Ciblage
- ✓ Estimation des dégâts...etc.

II.3.2 Application médicale

Dans le domaine de la médecine, les réseaux de capteurs peuvent être utilisés pour assurer une surveillance permanente des organes vitaux de l'être humain grâce à des micro-capteurs qui pourront être avalés ou implantés sous la peau (surveillance de la glycémie, détection de cancers, ..). Ils peuvent aussi faciliter le diagnostic de quelques maladies en effectuant des mesures physiologiques telles que : la tension artérielle, battements du cœur, ...



à l'aide des capteurs ayant chacun une tâche bien particulière. Les données physiologiques collectées par les capteurs peuvent être stockées pendant une longue durée pour le suivi d'un patient [10]. D'autre part, ces réseaux peuvent détecter des comportements anormaux (chute d'un lit, choc, cri, ...) chez les personnes dépendantes (handicapées ou âgées).

II.3.3 Application domestique

Les réseaux de capteurs peuvent également être utilisés dans la domotique et l'environnement intelligent. Ils jouent un rôle essentiel dans les grandes usines et les entrepôts en surveillant les changements climatiques. Par exemple, des capteurs peuvent être utilisés pour contrôler les vibrations susceptibles d'endommager la structure d'un bâtiment. Dans [11], les auteurs décrivent une application qui surveille l'état de grandes structures comme des immeubles administratifs. Ils exploitent les avantages d'un réseau de capteurs tels que le déploiement rapide (environ une demi-heure face à plusieurs jours pour l'installation des réseaux filaires) (thèse 3)

II.3.4 Autres applications commerciales

Les réseaux de capteurs possèdent également d'autres applications dans le domaine commercial. Parmi ces applications, on peut énumérer: la surveillance de l'état du matériel, la gestion des inventaires, le contrôle de qualité des produits, la construction des espace d'achat intelligents, le contrôle de l'environnement dans les bâtiments administratives, le contrôle des robots dans les environnement de fabrications automatiques, les jouets interactifs, les musées interactifs, le contrôle et l'automatisation des processus d'usinage, le diagnostic des machines, le transport, la détection et la surveillance des vols de voitures, le dépistage des véhicules, l'instrumentation des chambres blanches consacrées aux traitements des semi-conducteurs, etc...

II.3.5 Les musés interactifs

Dans le futur, les enfants pourront interagir avec tous les objets exposés dans les musées, pour avoir plus d'information. Ces objets seront capables de répondre à leurs touches et leurs paroles. Les enfants auront également la possibilité de participer aux expériences qui peuvent leurs apprendre plus de choses sur l'environnement et la science. De plus, les réseaux de capteurs sans fil peuvent fournir des services additionnels tels que le service de localisation



dans le musée. Le « San Francisco exploratorium » est un exemple de tels musées qui sont connus par les expériences interactives qu'ils contiennent [12].

II.3.6 Agriculture

Les réseaux de capteurs sont capables d'apporter des bénéfices considérables au domaine de l'agriculture, grâce à leur habilité de surveiller les taux de pesticides dans l'eau potable, le degré d'érosion du sol, et le niveau de pollution de l'air en temps réel.

Dans le domaine de l'agriculture, les capteurs peuvent être utilisés pour réagir convenablement aux changements climatiques par exemple le processus d'irrigation lors de la détection de zones sèches dans un champ agricole. Cette expérimentation a été réalisée par Intel Research Laboratory and Agriculture and Agri-Food Canada sur une vigne à British Columbia.these4

Les zones sèches seront facilement identifiées et l'irrigation sera donc plus efficace et économique.

Conclusion :

Les caractéristiques intrinsèques de cette nouvelle génération de micro-capteurs (miniaturisation, capacité de traitement (processeur), communication sans fil, diversité des capteurs (optiques, thermiques, multimédias, etc.), faible coût, etc.) ont ouvert de nouvelles perspectives applicatives très larges et très variées pour les réseaux de capteurs dans de nombreux domaines (militaires, domotiques, environnementales, etc.).



II.4 La consommation d'énergie dans les RCSFs

Comme les nœuds capteurs sont des composants micro-électroniques, ils ne peuvent être équipés que par des sources limitées d'énergie. De plus, dans certaines applications, ces nœuds ne peuvent pas être dotés de mécanismes de rechargement d'énergie, par conséquent, la durée de vie d'un nœud capteur dépend fortement de la durée de vie de la batterie associée.

Sachant que les réseaux de capteurs sont basés sur la communication multi-sauts, chaque nœud joue à la fois un rôle d'initiateur de données et de routeur également, le mal fonctionnement d'un certain nombre de nœud entraîne un changement significatif sur la topologie globale du réseau, et peut nécessiter un routage de paquets différent et une réorganisation totale du réseau. C'est pour cela que le facteur de consommation d'énergie est d'une importance primordiale dans les réseaux de capteurs.

La majorité des travaux de recherche menés actuellement se concentrent sur ce problème afin de concevoir des algorithmes et protocoles spécifiques à ce genre de réseau qui consomment le minimum d'énergie.

En effet, dans les réseaux ad hoc classiques, la consommation d'énergie est un facteur important mais ne constitue pas la première considération pour les concepteurs, car les batteries sont supposées toujours remplaçable par l'utilisateur, les chercheurs ont cependant concentré leurs efforts sur les facteurs de qualité de service dans ce type de réseau, tel que le débit de transmission et la tolérance aux panne. Par contre, Dans les réseaux de capteurs, l'efficacité en consommation d'énergie représente une métrique de performance significative, qui influence directement sur la durée de vie du réseau en entier. Pour cela, les concepteurs peuvent au moment du développement de protocoles négliger les autres métriques de performance telle que la durée de transmission et le débit, au détriment du facteur de consommation d'énergie.

II.5 Pile protocolaire dans un RCSF

Les nœuds capteurs sont généralement dispersés sur un champ de surveillance d'une manière arbitraire, chacun de ces nœuds a la capacité de collecter les données, les router vers le nœud puits (sink), et par la suite vers l'utilisateur finale via une communication multi-sauts. Le nœud puits peut communiquer avec le nœud coordinateur de tâches (utilisateur) par Internet.



La pile protocolaire utilisée par le nœud puits ainsi que tous les autres capteurs du réseau est illustrée par la figure 2. Cette pile prend en charge le problème de consommation d'énergie, intègre le traitement des données transmises dans les protocoles de routage, et facilite le travail coopératif entre les capteurs [13].

Elle est composée de la couche application, transport, réseau, liaison de données, physique, ainsi que de trois niveaux qui sont : le niveau de gestion d'énergie, de gestion de tâches et le niveau de gestion de mobilité.

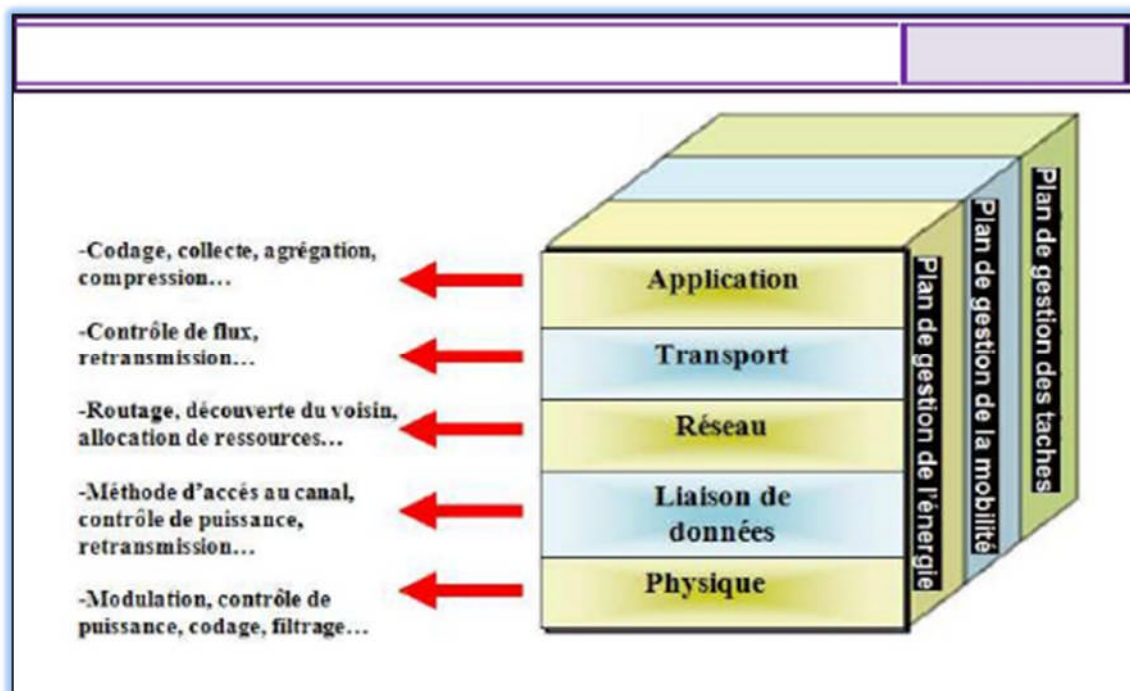


Figure (9) : La Pile protocolaire.

II.5.1 Couche physique

Elle est responsable de la modulation/démodulation, le cryptage/décryptage des informations, la détection du signal, sélection de fréquence et la génération de la fréquence porteuse. Au niveau de Cette couche, la consommation d'énergie peut être affectée par l'environnement de l'application, le choix du type de la modulation ou la bande de fréquence utilisée. Il est avantageux en matière d'économie d'énergie que le concepteur de la couche physique choisisse une transmission à multi-sauts plutôt qu'une transmission directe qui nécessite une puissance de transmission très élevée [14].



II.5.2 Couche liaison de données

Cette couche est composée de deux sous-couches : la sous-couche LLC et la sous-couche MAC. La première permet de détecter les erreurs des données binaires issues de la couche physique. Tandis que la sous-couche MAC gère les stratégies d'allocation du canal et de mise en veille de l'émetteur-récepteur. Elle influence considérablement la consommation énergétique globale.

II.5.2.a La sous-couche MAC

La sous-couche MAC [14] est chargée de mettre en œuvre les mécanismes suivants :

Les m d'accès au canal :

Ils doivent gérer le contrôle de l'accès et du partage du canal entre les différents nœuds qui désirent communiquer dans un réseau.

Les stratégies de mise en veille des capteurs :

Ils sont chargés de réduire la consommation d'énergie à travers la mise en veille de l'émetteur-récepteur pour préserver l'état de charge de la batterie. De plus, ces stratégies utilisées dépendent des mécanismes d'accès au canal.

Les trames de communications :

Elles définissent la mise en forme syntaxique des données issues de la couche physique. Elles permettent entre autre d'initier les communications entre les entités, de gérer les modes de communications ou encore de détecter les éventuelles erreurs introduites par le canal de propagation. Leur mise en œuvre passe généralement par l'insertion de diverses informations (bits additionnels, en têtes, somme de contrôle...) nécessaires au récepteur pour déterminer le début et la fin d'une trame ou chaque champ utile qui la compose (adresse, données, champs de synchronisation). La détection des erreurs introduites par le canal est quant à elle généralement réalisée via une somme de contrôle (checksum anglais) qui est insérée par l'émetteur et ensuite vérifiée par le récepteur via la couche LLC.

Partant de cette brève description des différents mécanismes employés par la couche MAC, il en résulte qu'un choix judicieux du protocole MAC s'avère nécessaire car ce dernier influence directement la consommation énergétique globale d'un réseau de capteurs.



II.5.2.b La sous-couche LLC

La sous-couche LLC est responsable du contrôle d'erreurs, a pour rôle de détecter les erreurs des données binaires issues de la couche physique. La technique de contrôle d'erreurs la plus utilisée dans les réseaux RCSF est le <Forward Error Correction > (FEC) ;

Cette technique comporte de simples mécanismes de codage et de décodage (codes de contrôle d'erreurs simples) [14].

II.5.3 Couche réseau

La couche réseau gère les échanges et les interconnexions à travers un RCSF. Elle gère entre autre l'adressage et l'acheminement des données. Le routage dans les RCSFs emploie souvent le multi-saut du nœud émetteur au nœud < Sink > vu les spécificités de ce type de réseaux. Ainsi, les protocoles de routage classiques des réseaux ad hoc sont inappropriés pour les RCSFs à cause des contraintes d'énergie et de [15]. Les métriques considérées dans l'optimisation des couts des chemins dans les RCSF sont :

- ✓ Le temps d'acheminement des paquets.
- ✓ L'énergie nécessaire pour transmettre le paquet [14].
- ✓ L'énergie disponible dans chaque nœud capteur.

Concernant l'adressage dans les RCSFs, celui le plus utilise est l'adressage géographique, c'est-à-dire que chaque nœud capteur est identifié dans le réseau par sa position géographique. D'ailleurs, ce type d'adressage est employé notamment dans les applications de surveillance [15].

II.5.4 Couche transport

Cette couche intervient dans la communication entre deux RCSFs ou entre un RCSF et Internet. Le protocole UDP reste le plus utilise entre un nœud émetteur et le nœud < Sink>. Entre autre, l'emploi du protocole TCP est évité vu la taille limitée des mémoires des nœuds capteurs qui ne leur permettent pas d'enregistrer de grandes quantités d'informations pour la gestion des communications. En plus, les communications entre l'utilisateur(le gestionnaire) et le nœud < Sink > peuvent être gérées par TCP ou UDP via Internet ou satellite.

II.5.5 Couche application



Bien que plusieurs domaines d'application ont été proposés et définis pour les réseaux de capteurs sans fil, la conception des protocoles agissant dans la couche application reste largement inexploitée.

Les trois protocoles d'application les plus utilisés pour les réseaux de capteurs sont : Sensor management Protocol(SMP), Task assignment and data advertisement protocol(TADAP), et enfin Sensor query and data dissemination protocol(SQDDP), ces protocoles sont nécessaires pour tous réseaux de capteurs basé sur le schéma de couches protocolaires décrit précédemment.

II.5.6 Le plan de gestion d'énergie

Les fonctions intégrées à ce niveau consistent à gérer l'énergie consommée par les capteurs, dès lors, un capteur peut par exemple éteindre son interface de réception dès qu'il reçoit un message d'un nœud voisin afin d'éviter la réception des messages dupliqués. De plus, quand un nœud possède un niveau d'énergie faible, il peut diffuser un message aux autres capteurs pour ne pas participer aux tâches de routage, et conserver l'énergie restante aux fonctionnalités de captage.

II.5.6.a Le plan de gestion de mobilité

Ce niveau détecte et enregistre tous les mouvements des nœuds capteurs, d'une manière à leur permettre de garder continuellement une route vers l'utilisateur final, et maintenir une image récente sur les nœuds voisins, cette image est nécessaire pour pouvoir équilibrer l'exécution des tâches et la consommation d'énergie.

II.5.6.b Le niveau de gestion des tâches

Lors d'une opération de captage dans une région donnée, les nœuds composant le réseau ne doivent pas obligatoirement travailler avec le même rythme, cela dépend essentiellement de la nature du capteur, son niveau d'énergie et la région dans laquelle il a été déployé. Pour cela, le niveau de gestion des tâches assure l'équilibrage et la distribution des tâches sur les différents nœuds du réseau, afin d'assurer un travail coopératif et efficace en matière de consommation d'énergie, et par conséquent, prolonger la durée de vie du réseau [13].

II.6 Agrégation des données



La méthode d'agrégation de données a été proposée comme un nouveau paradigme utile pour le routage dans les réseaux de capteurs. L'idée de base de cette méthode consiste à combiner les données provenant de différents nœuds sources en éliminant les redondances existantes et en minimisant aussi le nombre de transmissions possibles pour économiser la quantité d'énergie consommée.

Ce paradigme a changé le principe des algorithmes de routage conventionnels, qui avaient pour objectif de trouver le chemin le plus court entre deux nœuds adressables, vers une nouvelles approche beaucoup plus centrée-données (data-centric) qui vise à rechercher une route liant plusieurs sources à une seule destination et permettant le traitement des données redondantes au moment de leurs transmission sur le réseau.

II .7 Protocoles de routages

Afin de donner un aperçu sur les axes de recherches actuels, qui visent la couche réseau, nous discutons dans ce qui suit les schémas et les algorithmes de routages proposés pour les réseaux de capteurs.

II.7.1 Small minimum energy communication network (SMECN)

Le protocole développé dans [16] a pour objectif de calculer un sous réseau de communication efficace en consommation d'énergie appelé « minimum energy communication network » ou MECN. Un nouveau protocole SMECN est proposé dans [17] pour fournir également un tel sous réseau.

II.7.2 Flooding

La technique d'inondation (flooding) est une technique classique qui peut être utilisée pour le routage dans les réseaux de capteurs. Dans cette approche, chaque nœud recevant une donnée ou un paquet de contrôle le diffuse à tous les nœuds voisins jusqu'à ce que le nombre maximum de sauts pour ce paquet soit atteint ou le paquet arrive à sa destination.

II.7.3 Gossiping



Dans cette technique, dérivée de la technique d'inondation [13], le nœud ne diffuse pas les messages reçus à tous ses voisins, mais il les transmet à un seul, sélectionné aléatoirement. En effet, chaque nœud capteur dans le réseau sélectionne aléatoirement un nœud parmi ses voisins pour lui transmettre les données reçues, une fois le nœud voisin reçoit ces données, il choisit un autre nœud d'une façon aléatoire pour lui transmettre ces données à son tour.

Malgré que cette approche évite le problème d'implosion en ayant une seule copie du message au niveau de chaque nœud, elle prend beaucoup plus de temps pour propager les messages dans tout le réseau.

II.7.4 Sensor Protocol for information via negotiation (SPIN)

Cette famille de protocoles adaptatifs [18] est proposée pour pallier au problème d'ignorance de ressources confronté dans la technique d'inondation en utilisant la négociation et l'adaptation aux ressources disponibles.

II.7.5 Sequential Assignment routing (SAR)

Afin de sélectionner une route, Le protocole (SAR) prend en considération la consommation d'énergie et la qualité de service (QoS) sur chaque route candidate, ainsi que le niveau de priorité de chaque paquet transmis. Une approche multi-chemins est utilisée pour éviter les messages de contrôle qui peuvent résulter de la réestimation des routes quand celles employées deviennent défailtantes, dès lors, un schéma de restauration de chemins est utilisé.

Pour créer des chemins multiples à partir de chaque nœud jusqu'au nœud puits, plusieurs arbres d'une longueur d'un saut de ce nœud sont initialement construits, chaque arbre est par la suite développé en allant successivement du nœud puits vers les autres nœuds, tout en évitant ceux qui ont les valeurs faible de QoS (faible débit, grand délai de transmission) et d'énergie disponibles. A la fin du processus, chaque nœud fera partie des chemins multiples, et le capteur pourra savoir le nœud voisin qui peut être utilisé pour transmettre le message.

II.7.6 Directed diffusion



Cet algorithme, est basé sur le paradigme de dissémination de donnée, suivant lequel, le nœud puits diffuse son intérêt, qui présente une description des tâches affectées à tous les nœuds capteurs du réseau.

II.7.7 Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy (LEACH)

Le protocole LEACH est un nouveau protocole de routage efficace en consommation d'énergie pour les réseaux de capteurs. Les auteurs présument que ce protocole peut étendre la durée de vie du réseau par un facteur de 8, comparé aux autres protocoles basés sur le routage multi-sauts ou a regroupement statique.

LEACH est un protocole basé sur les groupes, dans lequel les chefs de groupes élus collectent les données à partir de tous les nœuds capteurs appartenant à leur groupe, agrègent les données rassemblées par des procédures de fusion, et transmettent ces données directement à la station de base.

Conclusion :

Les réseaux de capteurs sont destinés à collecter des données sur le monde physique, par conséquent leur utilisation doit être orientée-données. Contrairement aux communications traditionnelles point à point, le routage et la gestion de donnée dans les réseaux de capteurs doivent être traités conjointement afin de pouvoir optimiser la consommation d'énergie. Par conséquent, une composante importante du réseau est de fournir une plate-forme flexible pour construire des systèmes de gestion de données qui utilisent plusieurs stratégies d'agrégation des données spécifiques pour les différentes applications.

II.8 Réseau de communication sans fils

Au fil des années, de nombreux travaux ont été fait par le groupe 802.11 de **IEEE** pour améliorer les performances des protocoles d'accès au canal radio .le résultat de ces travaux a donné naissance à la norme **IEEE 802.11**, couramment appelée WI-FI, mais par la suite y'a eu l'avènement des normes dédiés aux réseaux personnels qui représentent a priori de meilleurs candidats dans un contexte de réseaux de capteurs : Bluetooth (IEEE 802.15.1) et ZigBee (IEEE 802.15.4).

II.8.1 Réseaux de communication sans fil



On distingue plusieurs catégories de réseaux sans fil, selon le périmètre géographique offrant une connectivité. (Appelée zone de couverture).

Deux organismes principaux gèrent la normalisation des réseaux et les bandes de fréquences attribuées aux réseaux sans fil.

L'organisme Américain — IEEE

Le centre **IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers)**, associé à la **FCC**; l'organisme européen est L'ETSI (European Télécommunications Standards Institute). Une fois les normes établies, des commissions distribuent ces fréquences aux utilisateurs selon la taille du réseau créé.

L'organisme Européen — CEPT

Du côté européen, pour les mêmes types de réseaux, **la CEPT (Conférence Européenne des Postes et Télécommunications)** organise les fréquences de cette manière.

II.8.2 Bluetooth

La principale technologie WPAN est la technologie Bluetooth, lancée par Ericsson en 1994, proposant un débit théorique de 1 Mbps pour une portée maximale d'une trentaine de mètres. Aujourd'hui le Bluetooth, connue aussi sous la norme IEEE 802.15.1, est largement commercialisée. Mais cette norme est rarement utilisée dans les RCSFs à cause de sa consommation importante d'énergie.

II.8.3 Wifi

Le Wifi (ou IEEE 802.11) soutenu par l'alliance WECA (Wireless Ethernet Compatibility Alliance) offre des débits allant jusqu'à 54Mbps sur une distance de plusieurs centaines de mètres.

II.8.4 LoRa

Ce réseau, déployé sur la technologie LoRa, permet de connecter des millions d'objets grâce à une communication radio longue portée et basse consommation (LPWA : Low Power, Wide Area). Elle est le seul standard international ouvert permettant notamment la géolocalisation sans GPS des objets, le sharing - qui permet à un objet de communiquer avec plusieurs réseaux LoRa sur un même territoire - ainsi que le roaming au niveau international.



Bouygues Telecom, membre fondateur de l'Alliance LoRa comme Sagemcom, participe ainsi au déploiement de LoRa dans le monde. L'Alliance, dont l'objectif est de promouvoir la technologie LoRa et d'en faire un standard mondial, comprend aujourd'hui 127 membres et couvre les 5 continents. Ce réseau permet l'émergence de nouveaux services notamment la gestion intelligente des ressources, la maintenance prédictive, le suivi des approvisionnements et des stocks, la localisation des objets, des animaux domestiques, le suivi médical des personnes, etc

II.8.5 ZigBee

La technologie ZigBee (aussi connue sous le nom IEEE 802.15.4) permet d'obtenir des liaisons sans fil à très bas prix et avec une très faible consommation d'énergie, ce qui la rend particulièrement adaptée pour être directement intégrée dans de petits appareils électroniques (appareils électroménagers, hifi, jouets, ...). La technologie ZigBee, opérant sur la bande de fréquences des 2,4 GHz et sur 16 canaux, permet d'obtenir des débits pouvant atteindre 250 Kb/s avec une portée maximale de 100 mètres environ.

Figure(10) : le logo de ZigBee alliance.



II.8.6 Comparaison entre les protocoles sans fil



protocole	ZigBee	Bluetooth	Wi-Fi
IEEE	802.15.4	802.15.1	802.11a/b/g
Débit	250 Kb/s	1 Mb/s	11-54 Mb/s
Besoins mémoire	4-32 Kb	250 Kb +	1 Mb +
Nombre de nœuds	65 000+	7	32
Durée de vie	Années	Jours	Heures
Portée	100m	10m	100m

Tableau 1 : Comparaison des protocoles de communication sans fil

Le protocole ZigBee se distingue des autres protocoles par ses faibles besoins en mémoire, ce qu'est favorable pour son implémentation. De plus, il présente une durée de vie très importante qu'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 qui est de l'ordre de 250 Kb/s.

Conclusion

Le succès qu'ont connu les réseaux de capteurs est dû à plusieurs facteurs. La taille réduite des nœuds permet un déploiement aisé dans différents environnements tels que les bâtiments, les champs et même sous la mer. L'intelligence implantée, sur les capteurs leur permet de s'auto-organiser et de démarrer le réseau sans difficultés majeures. Les réseaux peuvent comporter un nombre de nœuds allant de quelques capteurs pour atteindre des centaines voire des milliers.

Dans le chapitre suivant nous allons présenter la conception de notre propre réseau de capteurs en détaillant la structure et le fonctionnement général du système ainsi que le matériel nécessaire pour la réalisation de ce dernier.



INTRODUCTION:

La réalisation des nœuds capteurs sans fil consiste en une conception basée sur une analyse approfondie de leurs application afin d'atteindre les objectifs visés.

Ceci est obligatoire pour définir le profil des éléments (hardware) aussi bien les caractéristiques que les méthodes (logiciel et modèle de programmation), qui assurent une meilleure flexibilité et efficacité pendant le fonctionnement.

En outre, dans la genèse de ce système on doit prendre en considération le petit format des nœuds, leur efficacité énergétique, leur équipement en capteurs ayant de bonnes performances de calcul aussi qu'une unité de stockage de données et une autre pour la communication.

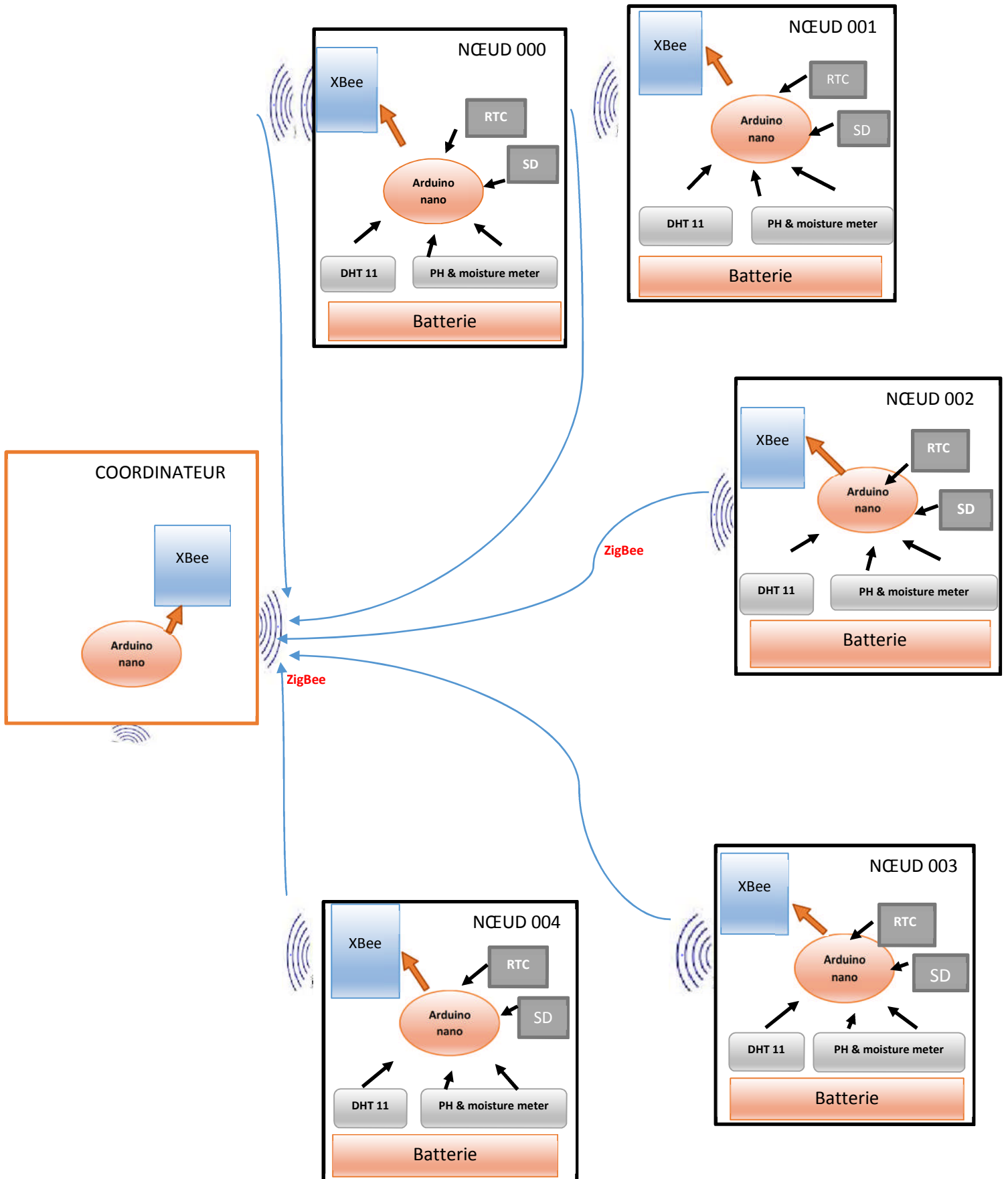
Le choix des éléments doit prendre en compte les paramètres économiques suivants : la taille et la consommation énergétique très réduite, cela pour établir une structure non onéreuse du système.

Dans ce chapitre, nous allons d'abord détailler l'architecture globale de ce système à réaliser, Ensuite, nous allons expliquer le fonctionnement général du système en l'occurrence celui des différentes unités composant les nœuds capteurs et le rôle de chaque élément.

III.1 Architecture globale du système :

Les éléments de base constituant un nœud capteur sont illustrés dans la figure suivante.

Figure (11) : Architecture globale du système.





III.2 Définition structurelle du système :

Ce système est ensemble de nœuds terminaux équipés de différentes unités en synergie pour le captage et la transmission de données atmosphériques.

Ce dernier est composé de nœuds de type **END DEVICE**, chacun est constitué de cinq unités réparties comme suit :

III.2.1 Unité de traitement :

Elle consiste en une carte arduino nano.

III.2.2 Unité de captage :

Elle contient les capteurs : le capteur **DHT 11** pour mesurer la température et l'humidité de l'air, un autre pour mesurer le ph et l'humidité du sol.

III.2.3 Unité de stockage :

Elle consiste en une carte mémoire **microSD** Pour sauvegarder les données.

III.2.4 Unité de communication :

Elle consiste en un ensemble de modules XBee Ayant pour rôle de transmettre à distance les données vers le nœud principal ou le coordinateur.

III.2.5 Unité d'énergie :

Elle est conçue sous forme d'une batterie dont la mission est d'alimenter les autres unités.

En outre, chaque nœud est doté d'un module RTC pour indiquer la date et l'heure de captage en temps réel.

Enfin, le système est équipé d'un nœud coordinateur ayant pour rôle de recevoir les données transmises par les différents nœuds. Ce dernier étant destiné à l'utilisateur.

III.3 Définition fonctionnelle du système :

Le fonctionnement d'un réseau de capteurs se déroule de la manière suivante : les nœuds étant déployés dans une zone d'intérêt, Ces derniers s'occupe de capter les données età



leurs traitement avant de les acheminer vers la station de base en utilisant une communication sans fil.

La collecte de données via les réseaux de capteurs peut se faire selon deux procédés différents :

- 1- La collecte de données doit se faire sur demande de la station de base, c'est-à-dire le nœud puits envoie une requête à l'adresse du nœud lequel transmet à son tour ses informations au demandeur. [19]
- 2- A travers ce procédé, les nœuds capteurs envoient leur flux de données à la station de base sans avoir formulé une demande (requête).

Ce dernier est appelé « **data streaming** ».

Cette méthode est très utilisée surtout dans les applications de surveillance, elle est caractérisée par l'acquisition de données par un certain nombre de nœuds capteurs pour les transmettre à distance à la station de base d'une manière périodique.

Car modèle est approprié aux applications dans lesquelles certains phénomènes doivent être surveillés constamment, comme la température ou l'humidité dans un espace.

III.3.1 Le fonctionnement opérationnel du système :

Le système est composé de nœuds intelligents à l'effet de couvrir une grande superficie agricole.

Ces derniers sont destinés à capter des données atmosphériques utilisées pour la pratique des activités agricoles.

Il faut signaler que toutes les unités sont reliées à l'unité principale du nœud capteur en l'occurrence la carte arduino nano.

Le fonctionnement du système repose sur l'élaboration d'un programme approprié qui constitue sa doctrine. Ce programme sera introduit dans l'unité de traitement pour formuler un ordre à l'unité de communication d'effectuer un travail transmission sans fil de données précises vers le nœud puits ou le coordinateur, lesquelles sont destinées à être exploitées par les opérateurs agricoles à l'effet d'améliorer leurs rendement, de planifier leur calendrier agricole et donner plus de visibilité aux opérateurs agricoles.



III.3.2 Fonction de chaque unité:

Le système est constitué de cinq unités dont les fonctions sont les suivantes :

III.3.2.a Fonction de l'unité de traitement :

Elle est responsable du traitement de toutes les données pertinentes et d'exécuter le code qui décrit le comportement du nœud capteur. Parmi les tâches communes assignées, il y a l'acquisition, le prétraitement et le traitement des informations entrantes et sortantes. Elle est composée d'une interface d'acquisition et d'une interface pour l'unité de transmission.

Dans notre système l'unité de traitement consiste en une carte (Arduino Nano 3.0), qui est basé sur un microcontrôleur Atmel ATmega328.

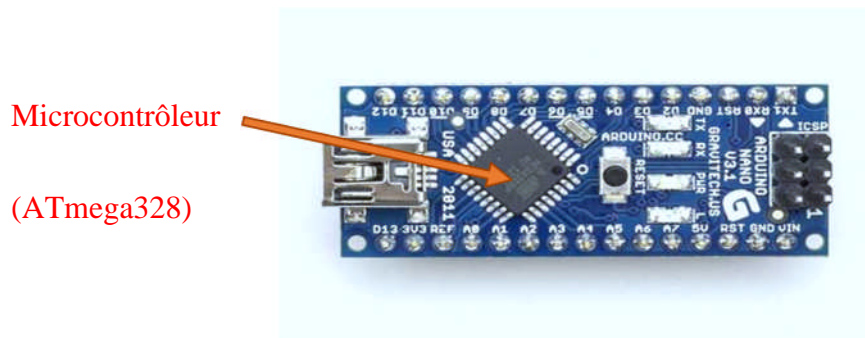


Figure (12) : la carte arduino nano.

Remarque : cette carte a été choisie pour sa taille et sa disponibilité.

Les spécifications techniques de cette carte sont les suivantes:

- Microcontrôleur Atmel ATmega328.
- Voltage opérationnel (au niveau logique) : 5 V.
- Voltage d'entrée recommandé : de 7 à 12 V.
- Limite de voltage d'entrée : de 6 à 20 V.
- Pins d'entrées/sorties digitales : 14 (dont 6 proposent une sortie PWM).
- Pins d'entrée analogique : 8.
- Courant direct par pin d'entrée/sortie : 40 mA.
- Mémoire Flash : 32 KO (ATmega328) dont 2 KO sont utilisés par le bootloader.
- SRAM : 2 KO (ATmega328).



- EEPROM : 1 KO (ATmega328).
- Vitesse d'horloge : 16 MHz.
- Dimensions 0.73" x 1.70".

III.3.2.b Fonction de l'unité de captage:

Elle permet la mesure des grandeurs physiques ou analogiques et leur conversion en données numériques. Elle est composée du capteur lui-même et de l'ADC qui permet la conversion des données. Le capteur est chargé de récupérer les signaux analogiques qu'il transmet à l'ADC qui a pour rôle de transformer et de communiquer les données analogiques en données numériques compréhensibles par l'unité de traitement.

-1 Le capteur « DHT11 »:

Ce module de mesure est constitué d'un capteur de température et d'un capteur d'humidité résistif. Un microcontrôleur intégré s'occupe de faire les mesures, de les convertir et de les transmettre. Chaque module est calibré en usine. Ses paramètres de calibration sont stockés dans la mémoire ROM du microcontrôleur local. Le DHT11 dialogue au moyen d'une seule ligne série bidirectionnelle de type OneWire. (Un fil).

Le capteur DHT11 est strictement étalonné dans le laboratoire.

Les caractéristiques techniques du capteur DHT11:

- Mesure des températures comprises entre 0 °C et 50 °C.
- Mesures d'humidité entre 30 % et 90% RH à 0°C.
 - entre 20 % et 90% RH à 25°C.
 - entre 20 % et 80% RH à 50°C.
- Résolution 1 % RH.
- Précision à 25 °C : ± 5% RH.
- Alimentation comprise entre 3 V et 5.5 V.
- Courant d'alimentation : 100 µA maximum en veille, 2.5 mA maximum en dialogue.

Les critères du choix du DHT11 :



Le capteur DHT11 a été choisi pour les raisons suivantes :

- Son faible coût.
- Sa grande fiabilité et stabilité à long terme.
- Il offre une excellente qualité.
- Une forte capacité anti-interférences.
- Un étalonnage précis.
- L'interface série mono-fil rend l'intégration du système rapide et facile.

Sa petite taille et sa faible consommation d'énergie font du DHT11 le meilleur choix pour diverses applications

- 2 Le « PH meter & moisture meter »:

Cet appareil mesure les trois grandeurs environnementales suivantes :

- 1) l'humidité du sol (MOIST).
- 2) La lumière de l'environnement (LIGHT).
- 3) Le ph du sol (PH).

Pour l'utiliser il suffit juste d'insérer la sonde 3/4 de sa longueur dans le sol, ensuite lire la valeur correspondante directement sur l'échelle. Comme est illustré sur la figure(15).

Dans notre projet on s'intéresse uniquement à la valeur de l'humidité et de ph.



Le protocole ZigBee utilise les modules XBee comme support de communication radio.

Présentation du XBee :

Les modules XBee se présentent sous la forme de circuits tels que le montre la figure. Le circuit est équipé de sa propre antenne planaire ou filaire ou dispose d'une sortie antenne sur connecteur pour les applications nécessitant le déport de l'antenne externe.

Les modules Xbee fabriqués par Maxstream (Digi) sont conçus pour opérer avec le protocole ZigBee, une communication radio 2.4Ghz.

Ces modules utilisent des versions de firmwares qui peuvent être mis à jour par téléchargement manuel depuis le site de Digi ou à travers le logiciel X-CTU.

Les modules XBee Série 2, en version normale ont une portée 30 à 100m en terrain découvert. La version PRO à d'une puissance supérieure est destiné à couvrir des distances de 100 à 1000m.



Figure(14) : le module XBee S2.



Les principales caractéristiques du XBee :

- fréquence porteuse : 2.4Ghz.
- portées variées : assez faible pour les XBee 1 et 2 (10 - 100m), grande pour le XBee Pro (1000m).
- faible débit : 250kbps.
- faible consommation : 3.3V, 50mA
- entrées/sorties : 6 10-bit ADC input pins, 8 digital IO pins.
- sécurité : communication fiable avec une clé de chiffrement de 128-bits.
- faible coût : 25€.
- simplicité d'utilisation : communication via le port série.
- ensemble de commandes AT et API.
- flexibilité du réseau : sa capacité à faire face à un nœud hors service ou à intégrer de nouveaux nœuds rapidement.
- grand nombre de nœuds dans le réseau : 65000.
- topologies de réseaux variées : maillé, point à point, point à multipoint

Remarque : Pour notre réalisation on a choisi le module XBee série 2, pour sa disponibilité et son faible cout.

III.3.2.d La carte mémoire SD (unité de stockage):

Une carte SD (« SD » étant le sigle de l'expression en anglais « Secure Digital ») est une carte mémoire amovible de stockage de données numériques créé en janvier 2000, par une alliance formée entre les industriels Panasonic, SanDisk et Toshiba.

Les cartes SD sont utilisées pour le stockage de fichiers dans les appareils photo numériques, les caméscopes numériques, les systèmes de navigation GPS, les consoles de jeux vidéo, les téléphones mobiles dont les smartphones, ou encore les systèmes embarqués.

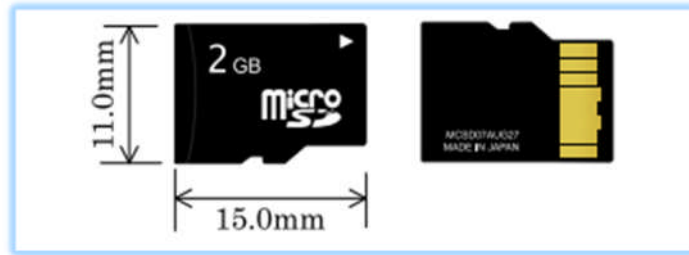


Figure (15) : la carte mémoire micro SD.

III.3.2.e Fonction de l'unité d'énergie :

L'application exige que la durée de vie du réseau soit de l'ordre de plusieurs mois ou même des années et pour cela nous allons utiliser une batterie de 9V pour l'alimentation des nœuds capteurs.

III.3.2.f Le module RTC :

Le module horloge temps réel ou RTC utilise le composant DS1307.

Il dispose de plusieurs registres contenant, notamment, l'heure la date et le jour codée en BCD.

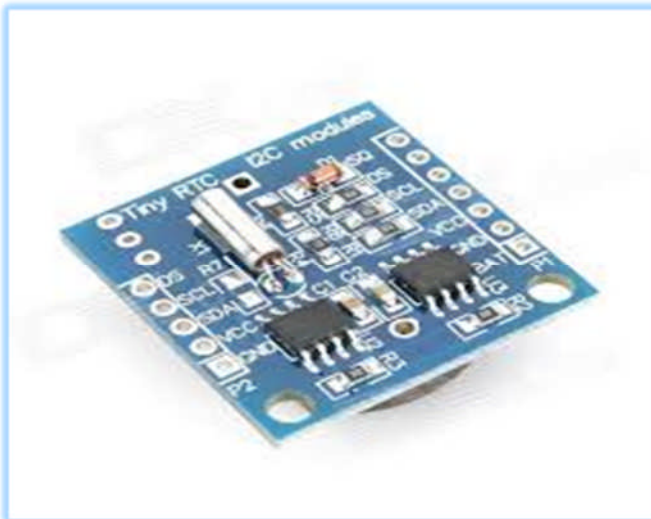


Figure (16):Le module RTC.

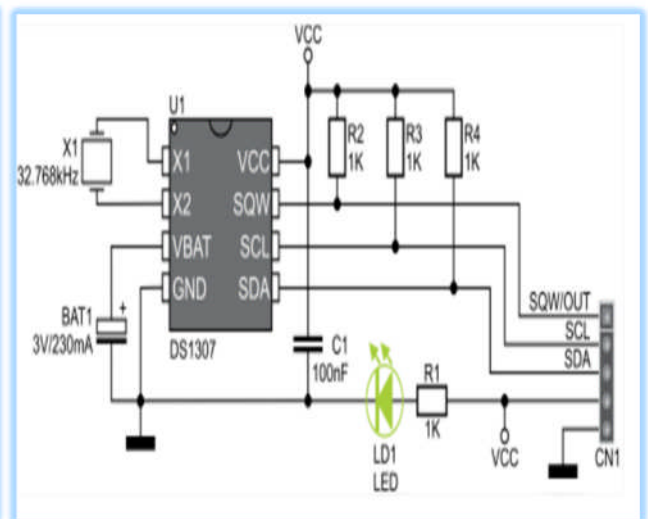


Figure (17): Le composant DS13



III.3.3 La topologie adoptée :

Avec la topologie maillée les nœuds capteurs peuvent communiquer entre eux sans structure hiérarchique grâce à un processus de routage qui doit être mis en place pour relayer les paquets de bout en bout dans le réseau ,ce processus est bien illustré dans la figure (17) .

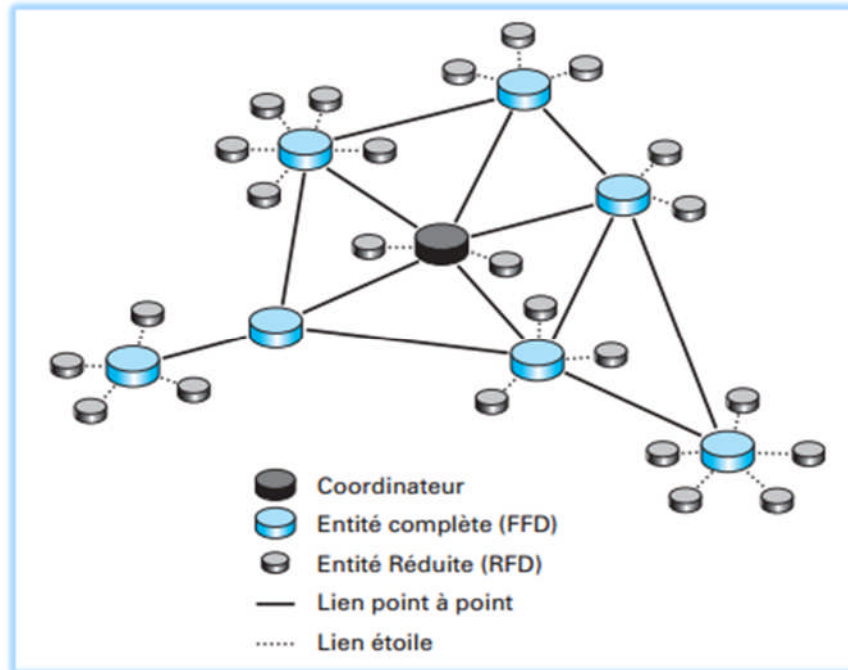


Figure (18) : distribution des nœuds dans La topologie maillée.

Nous avons choisi de travailler avec cette topologie pour les raisons suivantes :

- Sa simplicité.
- Elle offre plus de sécurité.
- Avec cette topologie on peut augmenter la portée de notre réseau grâce aux routeurs placés entre les différents nœuds.
- La possibilité de réduire la consommation énergétique.

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.

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

CHAPITRE IV : REALISATION DU SYSTEME

IV.1 INTRODUCTION :

Ce dernier chapitre est divisé en deux parties : une partie logicielle dans laquelle nous allons définir les logiciels utilisés ainsi que les étapes de configuration, et une seconde partie qui décrit le procédé pratique de notre système.

IV.1.2 LA PARTIE LOGICIELLES

Dans cette partie nous avons utilisé le logiciel **X-CTU** pour la configuration des modules XBee avant de passer à la programmation avec Arduino.

IV.1.2.a Arduino

Le logiciel de programmation des modules Arduino est une application Java, libre et multi-plateformes, servant d'éditeur de code et de compilateur.

Le langage de programmation utilisé est le C++, compilé avec avr-g++ 3, et lié à la bibliothèque de développement Arduino, permettant l'utilisation de la carte et de ses entrées/sorties. La mise en place de ce langage standard rend aisé le développement de programmes sur les plates-formes Arduino, à toute personne maîtrisant le C ou le C++.

L'interface de programmation Arduino est illustrée dans la **figure ()**.



Figure (19) : l'interface de programmation Arduino.

CHAPITRE IV : REALISATION DU SYSTEME

IV.1.2.b Le logiciel x-ctu :

X-CTU est une application multi-plateforme de Digi International (le concepteur de XBee), qui permet aux développeurs d'interagir avec les modules Digi (RF) à travers une interface graphique simple à utiliser cette dernière est illustrée dans la **figure (20)**.

L'application comprend des outils qui le rendent facile à installer, configurer et tester les modules RF Digi intégré.

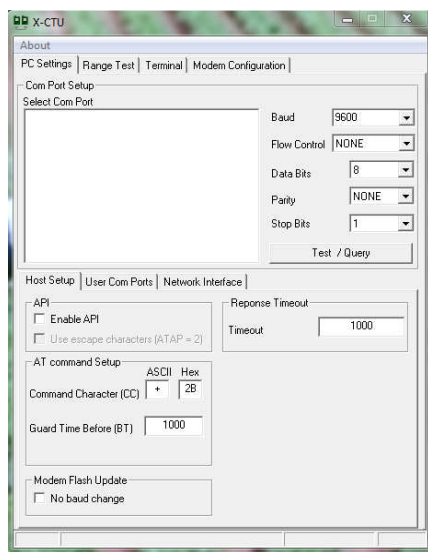


Figure (20) :l'interface graphique de X-CTU

IV.1.2.c Les étapes de la configuration :

CHAPITRE IV : REALISATION DU SYSTEME

Pour faire communiquer les modules Xbee S2, il est nécessaire de suivre les étapes de configuration suivantes :

- 1) Par défaut, le réglage des paramètres de communication série sont 9600 bauds, 8bits, pas de stop, pas de control de flux.
- 2) Définir le type du module (**COORDINATEUR**, **ROUTEUR** ou **END-DVICE**) et le mode de fonctionnement (**AT** ou **API**).

Remarque :

Il existe deux modes de fonctionnements des modules Xbee d'abord, le mode AT qui utilise les commandes AT pour configurer le module dont l'émission ainsi que la réception se font de façon simple. Le deuxième mode se nomme mode API, nécessite de concevoir les trames à envoyer par l'utilisateur lui-même. Et pour des raisons de simplicité (temps de configuration et taille du programme) nous avons adopté le mode AT pour la suite de notre configuration.

- 3) Configurer les paramètres nécessaires :

- **PAN ID** : Représente un identifiant qui va permettre au module de communiquer seulement avec les modules qui se 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** »

La figure suivante montre un modèle de configuration d'un module XBee de type

CHAPITRE IV : REALISATION DU SYSTEME

END-DEVICE AT.

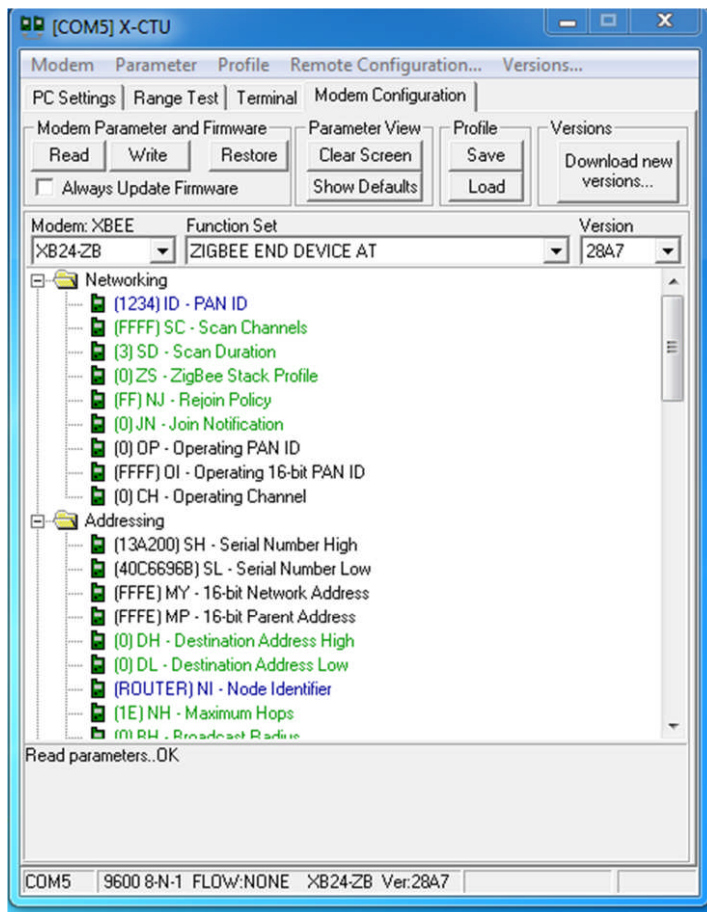
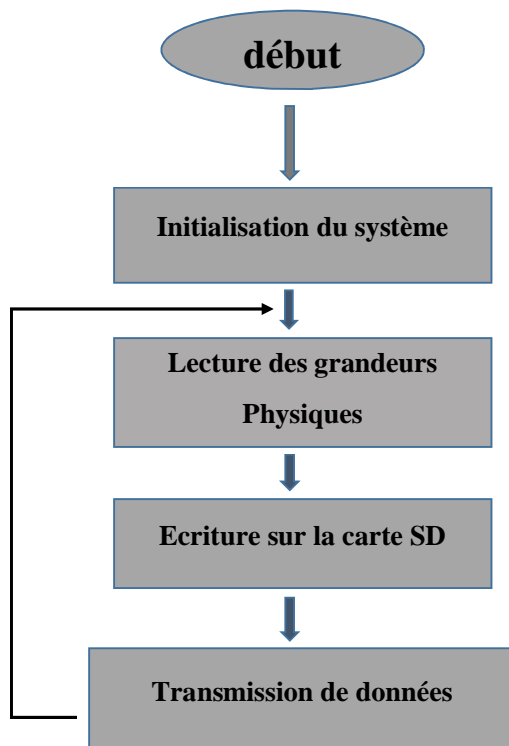


Figure (21) : les paramètres de configuration d'un module XBee.

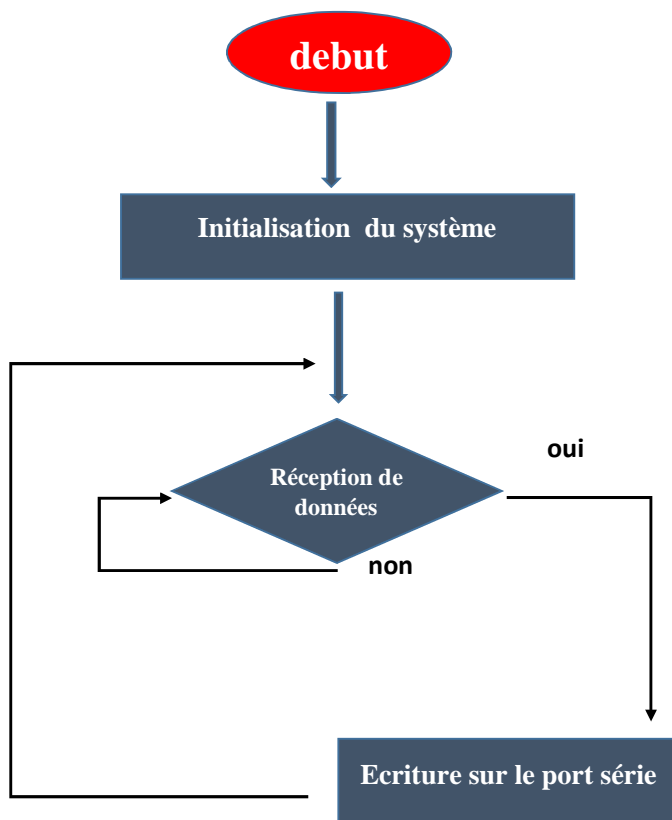
IV.1.3 PROGRAMMATION :

Cette partie contient deux programmes, un pour l'émetteur et un autre pour le récepteur

IV.1.3.1 Fonctionnement de l'émetteur :



IV.1.3.2 Fonctionnement du récepteur :



IV.2 REALISATION PRATIQUE

IV.2.1 Procédé pratique d'étalonnage :

1-Nous avons d'abord testé le bon fonctionnement des capteurs, et pour cela on a inséré les sondes dans trois niveaux différents d'humidité (sec, un peu humide et humide) pendant 1min, et puis nous avons obtenu ces résultats :



Figure(22) : mesure

de l'humidité du sol dans trois niveaux d'humidité différents.

-1 Interprétation des lectures :

- Si l'aiguille se situe dans la première moitié de la zone rouge (**0-1,5**) cela indique que le sol est sec. Comme le montre la première image sur la droite.

-le sol est un peu humide si l'aiguille est située dans la moitié de la zone verte (**4-7**). Comme le montre l'image du milieu.

-Si elle est située entre (**8-10**) cela indique que le sol est humide. Comme le montre la première image sur la gauche.

Pour le PH du sol:

CHAPITRE IV : REALISATION DU SYSTEME

-Si la valeur lue est inférieure à 7 cela indique que le taux d'acide est élevé, sinon c'est alcalin.

2- Dans une seconde étape, nous avons pris de différentes mesures avec le multimètre sur les trois niveaux d'humidité et du PH. **La figure ()** montre un exemple de mesure.



Figure (23) : mesure du PH de l'eau minérale.

Ensuite, on a relié le capteur à la carte Arduino comme est illustré dans les deux figures suivantes :

CHAPITRE IV : REALISATION DU SYSTEME

Tableau(2) : interprétation des valeurs d'humidité.

Humidité du sol	Interprétation
100-299	humide
300-599	moyen
600 et plus	sec

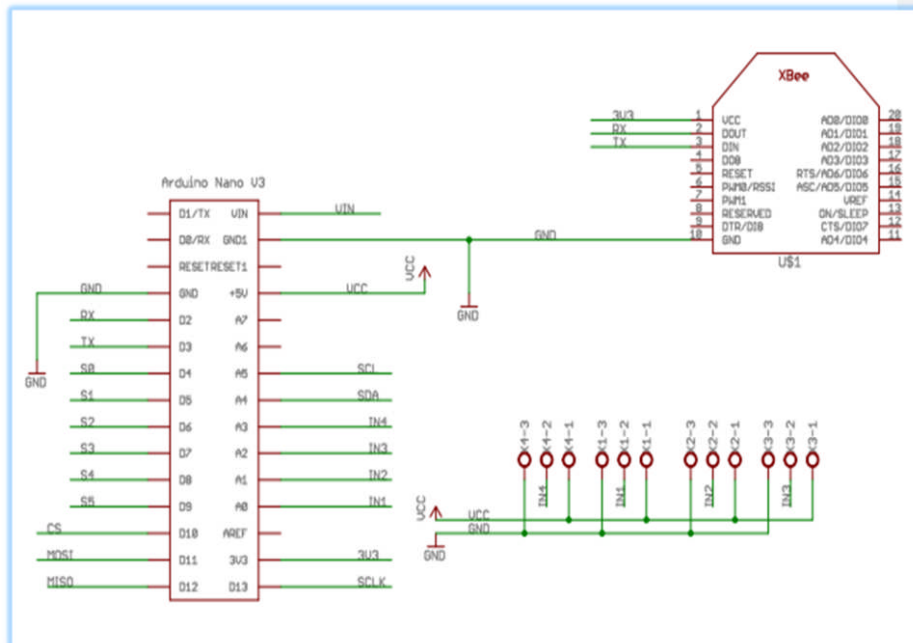
Tableau (3) : interprétation des valeurs du PH.

PH du sol	Interprétation
200-399	Acide
400 et plus	Alcalin

CHAPITRE IV : REALISATION DU SYSTEME

Les différents blocs constituant le nœud capteur :

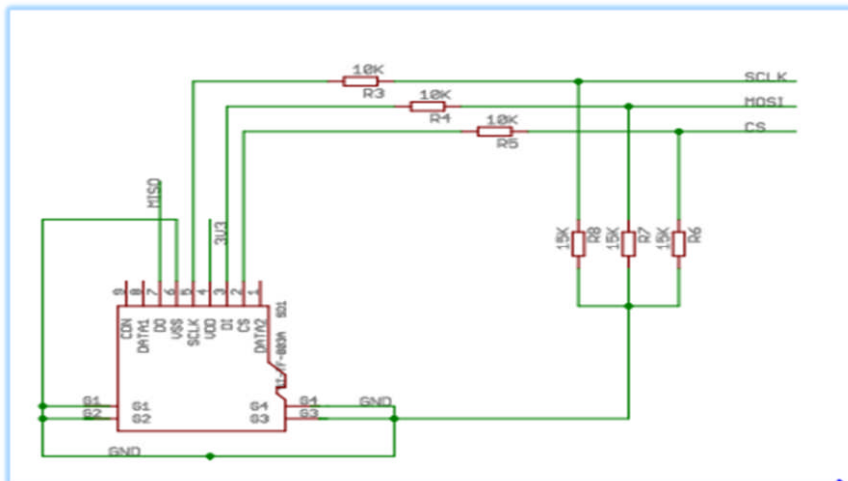
Ce schéma montre trois unités constituant un nœud capteur : unité de captage, unité de traitement, unité de communication, et comme nous l'avons cité dans le chapitre précédent, toutes les unités sont reliées à l'unité de traitement (la carte arduino nano) comme est illustré dans les figures suivantes :



Figure(25) : le schéma électrique de l'unité de captage et l'unité de traitement et le XBee.

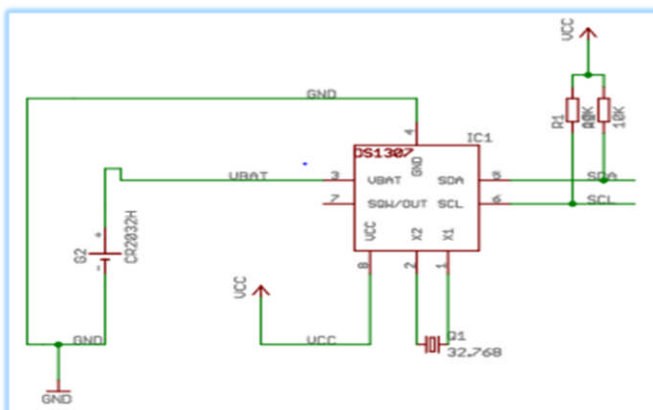
- ✓ Le capteur DHT11 est relié à l'entrée analogique A0 de la carte arduino.
- ✓ Le capteur d'humidité du sol est relié à l'entrée analogique A1 d'arduino.
- ✓ Le capteur PH du sol est relié à l'entrée analogique A2 d'arduino.
- ✓ le module XBee est relié à la carte arduino nano via le port série : RX à la pin 2.
TX à la pin 3.

CHAPITRE IV : REALISATION DU SYSTEME



Figure(26) : le schéma électrique de la carte SD.

- ✓ La carte SD utilise le mode SPI pour la communication :
 - CS reliée à la pin 10.
 - MOSI reliée à la pin 11.
 - MISO reliée à la pin 12.
 - SCK reliée à la pin 13.

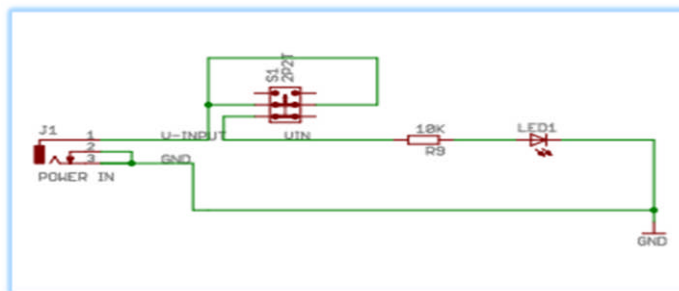


Figure(27) : le schéma électrique de la RTC.

- ✓ Le module RTC utilise le bus I2C pour communiqué avec l'unité de traitement :

CHAPITRE IV : REALISATION DU SYSTEME

SDA reliée à l'entrée analogique A4.
SCL reliée à l'entrée analogique A5.



Figure(28) : le bloc de l'alimentation.

IV.2.2 Le schéma sur le lab.

La figure suivante présente l'implémentation de deux nœuds.

1-Le nœud **émetteur N000** contient :

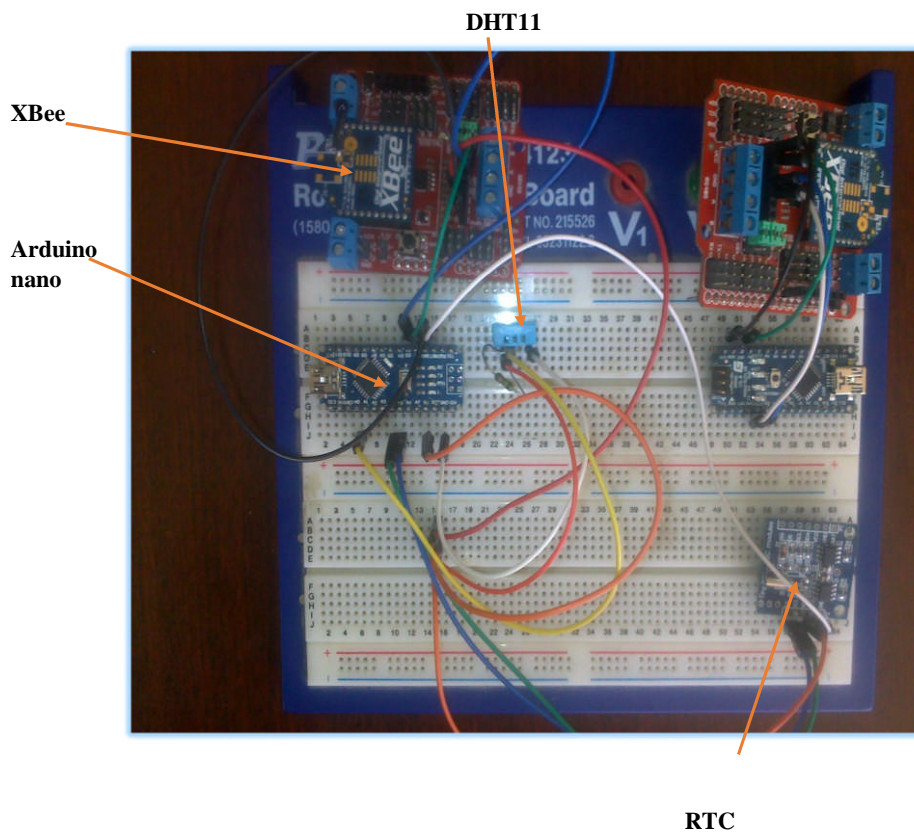
- un capteur DHT11.
- une carte Arduino nano.
- un module XBee
- un module RTC.

2-Le nœud **récepteur** contient :

- une carte Arduino.
- un module XBee.

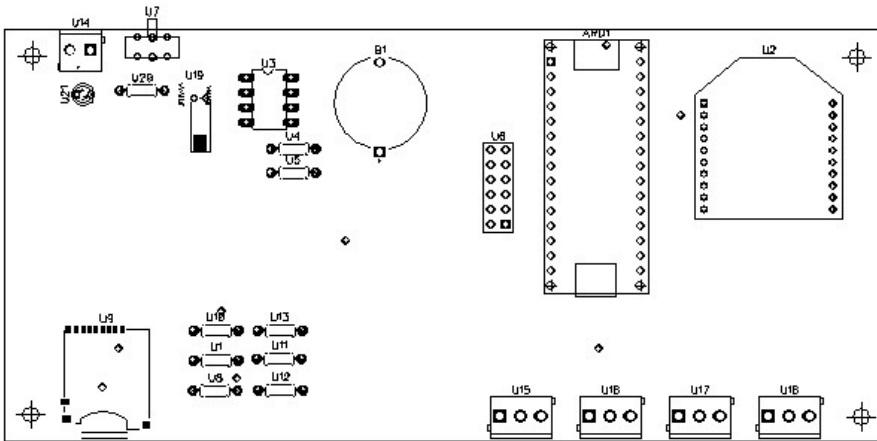
CHAPITRE IV : REALISATION DU SYSTEME

Figure (29) : Le schéma sur le lab.

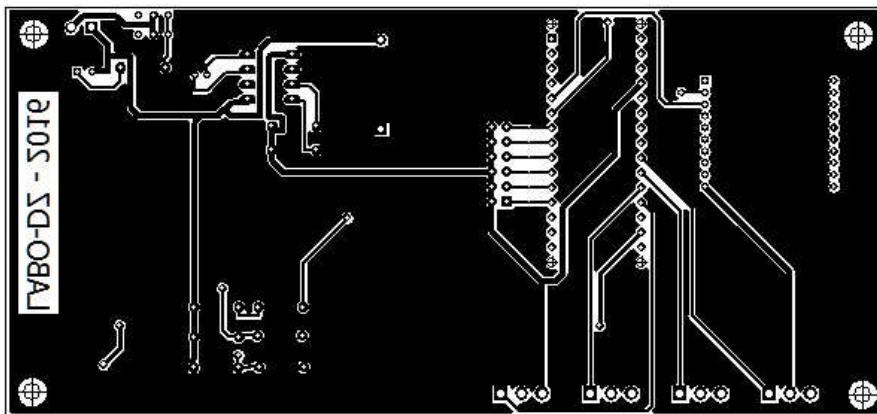


Le développement de la carte

CHAPITRE IV : REALISATION DU SYSTEME



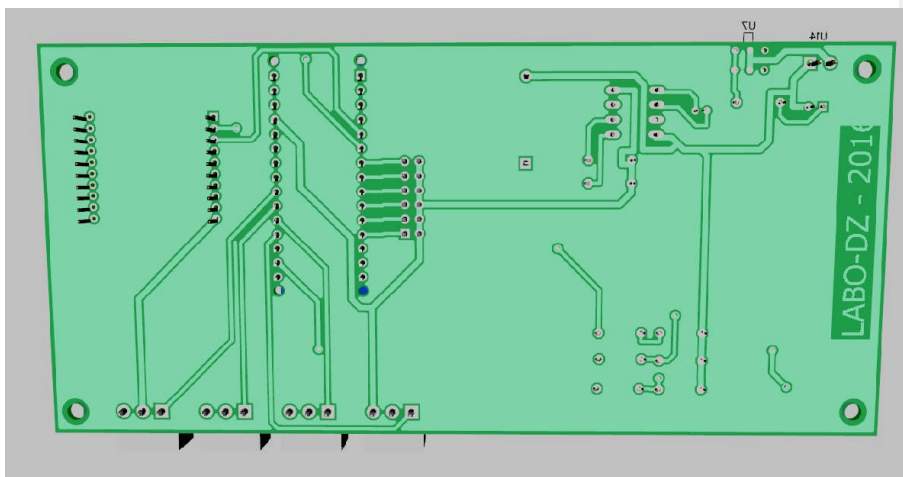
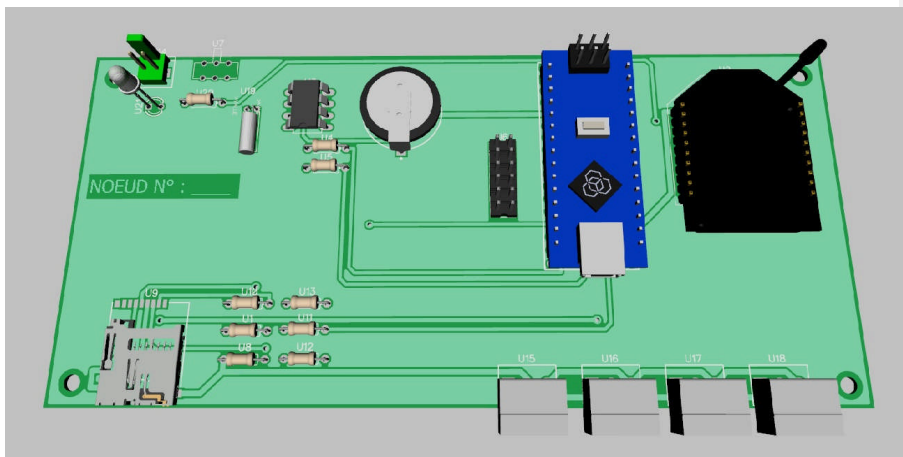
Figure(30) : L'implémentation des composants sur la carte.



Figure(31) : vue de dessus de la carte.

CHAPITRE IV : REALISATION DU SYSTEME

Figure(32) : la carte en 3D.

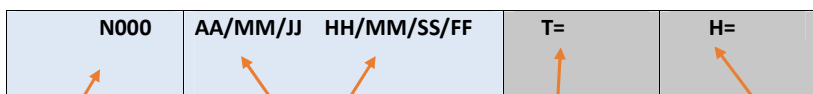


CHAPITRE IV : REALISATION DU SYSTEME

Le format de la trame à envoyer :

La trame est organisée comme suit :

L'adresse du nœud suivi de la date et l'heure en temps réel ensuite les valeurs capter par le DHT11.



Le numéro du nœud Date et heure Température Humidité

Commenté [11]:

IV.2.3 les résultats :

CHAPITRE IV : REALISATION DU SYSTEME

Après avoir compilé et téléversé le programme à la carte arduino, nous avons obtenu les résultats suivants :

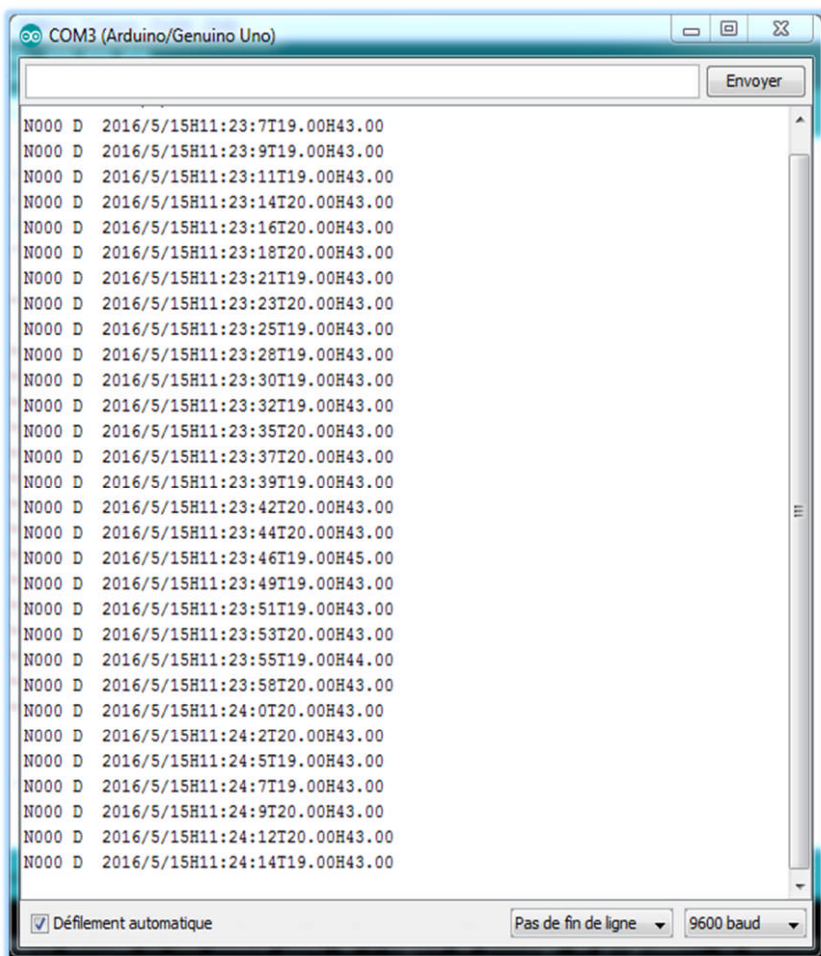
```
COM16
Temperature= 19.00Humidity= 43.00
Temperature= 19.00Humidity= 43.00
Temperature= 19.00Humidity= 43.00
Temperature= 20.00Humidity= 43.00
Temperature= 19.00Humidity= 43.00
Temperature= 19.00Humidity= 43.00
Temperature= 19.00Humidity= 43.00
Temperature= 19.00Humidity= 43.00
Temperature= 19.00Humidity= 43.00
Temperature= 19.00Humidity= 43.00
Temperature= 19.00Humidity= 43.00
Temperature= 19.00Humidity= 43.00
Temperature= 19.00Humidity= 43.00
Temperature= 19.00Humidity= 43.00
Temperature= 19.00Humidity= 43.00
Temperature= 19.00Humidity= 43.00
Temperature= 19.00Humidity= 43.00
Temperature= 19.00Humidity= 43.00
Temperature= 19.00Humidity= 43.00
Temperature= 19.00Humidity= 43.00
Temperature= 20.00Humidity= 43.00
Temperature= 19.00Humidity= 42.00
Temperature= 19.00Humidity= 43.00
Temperature= 19.00Humidity= 43.00
```

Figure (33) : la température et l'humidité sur le port de l'émetteur

CHAPITRE IV : REALISATION DU SYSTEME

Les résultats affichés sur le port série du récepteur sont les suivants :

Figure (34) : les trames de la réception



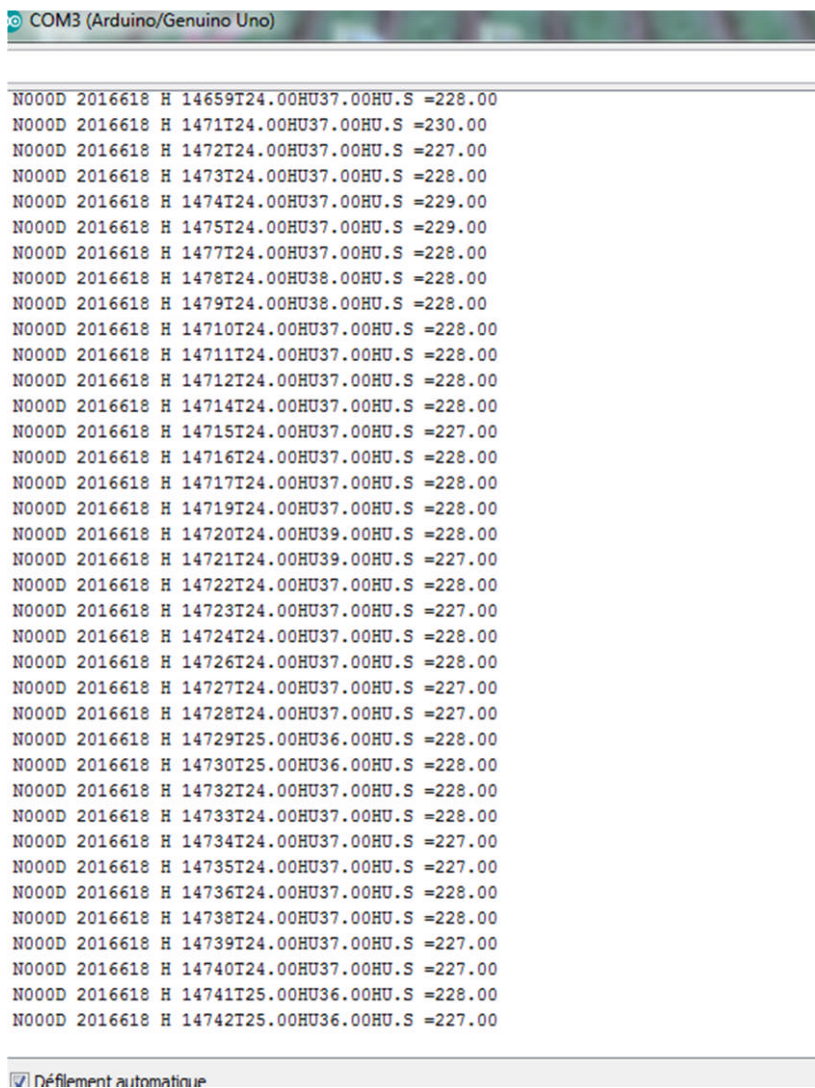
The screenshot shows a serial terminal window titled "COM3 (Arduino/Genuino Uno)". The window contains a list of 30 received data frames, each starting with "N000 D" followed by a timestamp and a hexadecimal value. The frames are as follows:

```
N000 D 2016/5/15H11:23:7T19.00H43.00
N000 D 2016/5/15H11:23:9T19.00H43.00
N000 D 2016/5/15H11:23:11T19.00H43.00
N000 D 2016/5/15H11:23:14T20.00H43.00
N000 D 2016/5/15H11:23:16T20.00H43.00
N000 D 2016/5/15H11:23:18T20.00H43.00
N000 D 2016/5/15H11:23:21T19.00H43.00
N000 D 2016/5/15H11:23:23T20.00H43.00
N000 D 2016/5/15H11:23:25T19.00H43.00
N000 D 2016/5/15H11:23:28T19.00H43.00
N000 D 2016/5/15H11:23:30T19.00H43.00
N000 D 2016/5/15H11:23:32T19.00H43.00
N000 D 2016/5/15H11:23:35T20.00H43.00
N000 D 2016/5/15H11:23:37T20.00H43.00
N000 D 2016/5/15H11:23:39T19.00H43.00
N000 D 2016/5/15H11:23:42T20.00H43.00
N000 D 2016/5/15H11:23:44T20.00H43.00
N000 D 2016/5/15H11:23:46T19.00H45.00
N000 D 2016/5/15H11:23:49T19.00H43.00
N000 D 2016/5/15H11:23:51T19.00H43.00
N000 D 2016/5/15H11:23:53T20.00H43.00
N000 D 2016/5/15H11:23:55T19.00H44.00
N000 D 2016/5/15H11:23:58T20.00H43.00
N000 D 2016/5/15H11:24:0T20.00H43.00
N000 D 2016/5/15H11:24:2T20.00H43.00
N000 D 2016/5/15H11:24:5T19.00H43.00
N000 D 2016/5/15H11:24:7T19.00H43.00
N000 D 2016/5/15H11:24:9T20.00H43.00
N000 D 2016/5/15H11:24:12T20.00H43.00
N000 D 2016/5/15H11:24:14T19.00H43.00
```

At the bottom of the window, there are three controls: a checked checkbox for "Défilement automatique", a dropdown menu set to "Pas de fin de ligne", and another dropdown menu set to "9600 baud".

CHAPITRE IV : REALISATION DU SYSTEME

Figure(35) : la trame de réception après intégration de PH&moisture meter.



```
COM3 (Arduino/Genuino Uno)

N000D 2016618 H 14659T24.00HU37.00HU.S =228.00
N000D 2016618 H 1471T24.00HU37.00HU.S =230.00
N000D 2016618 H 1472T24.00HU37.00HU.S =227.00
N000D 2016618 H 1473T24.00HU37.00HU.S =228.00
N000D 2016618 H 1474T24.00HU37.00HU.S =229.00
N000D 2016618 H 1475T24.00HU37.00HU.S =229.00
N000D 2016618 H 1477T24.00HU37.00HU.S =228.00
N000D 2016618 H 1478T24.00HU38.00HU.S =228.00
N000D 2016618 H 1479T24.00HU38.00HU.S =228.00
N000D 2016618 H 14710T24.00HU37.00HU.S =228.00
N000D 2016618 H 14711T24.00HU37.00HU.S =228.00
N000D 2016618 H 14712T24.00HU37.00HU.S =228.00
N000D 2016618 H 14714T24.00HU37.00HU.S =228.00
N000D 2016618 H 14715T24.00HU37.00HU.S =227.00
N000D 2016618 H 14716T24.00HU37.00HU.S =228.00
N000D 2016618 H 14717T24.00HU37.00HU.S =228.00
N000D 2016618 H 14719T24.00HU37.00HU.S =228.00
N000D 2016618 H 14720T24.00HU39.00HU.S =228.00
N000D 2016618 H 14721T24.00HU39.00HU.S =227.00
N000D 2016618 H 14722T24.00HU37.00HU.S =228.00
N000D 2016618 H 14723T24.00HU37.00HU.S =227.00
N000D 2016618 H 14724T24.00HU37.00HU.S =228.00
N000D 2016618 H 14726T24.00HU37.00HU.S =228.00
N000D 2016618 H 14727T24.00HU37.00HU.S =227.00
N000D 2016618 H 14728T24.00HU37.00HU.S =227.00
N000D 2016618 H 14729T25.00HU36.00HU.S =228.00
N000D 2016618 H 14730T25.00HU36.00HU.S =228.00
N000D 2016618 H 14732T24.00HU37.00HU.S =228.00
N000D 2016618 H 14733T24.00HU37.00HU.S =228.00
N000D 2016618 H 14734T24.00HU37.00HU.S =227.00
N000D 2016618 H 14735T24.00HU37.00HU.S =227.00
N000D 2016618 H 14736T24.00HU37.00HU.S =228.00
N000D 2016618 H 14738T24.00HU37.00HU.S =228.00
N000D 2016618 H 14739T24.00HU37.00HU.S =227.00
N000D 2016618 H 14740T24.00HU37.00HU.S =227.00
N000D 2016618 H 14741T25.00HU36.00HU.S =228.00
N000D 2016618 H 14742T25.00HU36.00HU.S =227.00

Défilement automatique
```

CHAPITRE IV : REALISATION DU SYSTEME

Conclusion :

Les expérimentations effectuées au niveau du laboratoire ont confirmé la faisabilité le fonctionnement et la fiabilité des données produites par ce système.

Conclusion générale

Les travaux présentés dans ce mémoire rassemblent deux volets : La réalisation matérielle du réseau de capteurs et une partie programmation qui gère la communication entre les nœuds. Ceci nous a alors permis de développer et de mettre en application les connaissances acquises lors de notre formation.

L'introduction des réseaux de capteurs sans fil dans le domaine agricole constitue une solution à la problématique de ce secteur dans la mesure où cette nouvelle technologie donnera une dynamique aux activités agricoles sur le plan de l'adaptation, de la gestion, de pratiques, rendement et de compétitivité, ce guise de réponses aux exigences de l'agriculture de précision.

En outre, le fondement de ce projet repose sur un savoir et savoir-faire (compétence) que j'ai découvert à travers le processus de sa réalisation, par exemple l'utilisation du protocole de communication ZigBee, l'utilisation de son module de communication XBee ainsi sa configuration et sa programmation.

Cependant, ce dernier est susceptible d'être mieux développé à l'avenir pour être adopté aux éventuels changements liés au temps et au climats dont dépend le développement agricole.

D'ailleurs, Plusieurs problématiques de recherches restent à explorer d'avantage comme le problème de la consommation énergétique, la qualité de service, la sécurité, l'irrigation intelligente....

BIBLIOGRAPHIE

- [1] **Fleury.E, Simplot-Ryl,** " Réseaux de capteurs : théorie et modélisation, p 23
- [2] **Vernon S. Somerset,** "Intelligent and Biosensors", Edited by Vernon S. Somerset, Intech, January 2010. (thèse5)
- [3] **F. Brissoud, D.Charpentier, A.Barros et C. Bérenguer,** « capteurs intelligents : nouvelles technologies et nouvelles problématiques pour la surté de fonctionnement », Maitrise des Risques et de surté de fonctionnement, Lambda-Mu 16, Avignon : France(2008).
- [4] **S. Sudevalayam, P. Kulkarn,** "Energy Harvesting Sensor Nodes: Survey and Implications", IEEE Communications Surveys & Tutorials, Vol. 13, No. 3, pp. 443-461,september 2011
- [5] S. Sudevalayam, P. Kulkarn, "Energy Harvesting Sensor Nodes: Survey and Implications", IEEE Communications Surveys & Tutorials, Vol. 13, No. 3, pp. 443-461,september 2011.
- [6] J. P. Lynch, A. Sundararajan, K. H. Law, A. S. Kiremidjian, E. Carryer, "Embedding damage detection algorithms in a wireless sensing unit for operational power efficiency", Smart Materials and Structures, Vol. 13, No. 4, pp. 800-810, April 2004.
- [7] H. Qi, Y. Xu, X. Wang, "Mobile-agent-based collaborative signal and information processing in sensor networks", Proceedings of the IEEE, Vol. 91, No. 8, pp. 1172-1183, August 2003.
- [8] Ben L. Titzer et J. Palsberg, "Nonintrusive Precision Instrumentation of Microcontroller Software", ACM, New York, NY, ETATS-UNIS, Vol. 40, No. 7, pp. 59-68, July 2005.
- [9] I. Vasilescu, K. Kotay, D. Rus, M. Dunbabin, P. Corke, "Data collection, storage, and retrieval with an underwater sensor network", In Proceedings of the 3rd international conference on Embedded networked sensor systems, ACM, pp. 154-165, November 2005.
- [10] LANGENDOEN (K.) et REIJERS (N.), « Distributed localization in wireless sensor networks: a quantitative comparison. », Computer Networks, vol. 43, n°4, November 2003, p. 499 518.
- [11] CHINTALAPUDI (K.), FU (T.), PAEK (J.) et al., « Monitoring civil structures with a wireless sensor network », IEEE Internet Computing, vol. 10, n2, 2006, p. 26–34.
- [12] TIAN (J.), HAHNER (J.), BECKER (C.) et al., « Graph-based mobility model for mobile ad hoc network simulation », In Annual Simulation Symposium, 2002, p. 337–344
- [13] K.M. Alzoubi, P.J Wan, and O. Frieder. New distributed algorithm for connected dominating set in wireless ad hoc networks. In Proceedings of the 35 Annual Hawaii

International Conference on System Sciences (HICSS'02), pp.3849-3855, Maui, Hawaii, January 2002.

[14] A.D. Amis, R. Prakash, T.H.P. Vuong, and D.T. Huynh. Max-Min D-Cluster Formation in Wireless Ad Hoc Networks. In Proceedings of IEEE Conference on Computer Communications (INFOCOM'00), vol.1, pp.32-41, Anchorage, Alaska, March 2000.

[15] K. Arisha, M. Youssef, and M. Younis. Energy-Aware TDMA-Based MAC for Sensor Networks. In Proceedings of the IEEE Workshop Integrated Management of Power Aware Communications, Computing and Networking (IMPACCT 2002), New York, USA, May 2002.

[16] B. An and S. Papavassiliou. A mobility-based clustering approach to support mobility management and multicast routing in mobile ad hoc wireless networks. International Journal of Network Management, vol.11, no.6, pp.387-395, November/December 2001.

[17] C.C. Chang, H.K. Wu, W. Liu, and M. Gerla. Routing in Clustered Multihop, Mobile Wireless Networks with Fading Channel. In Proceedings of IEEE Singapore International Conference on Networks (SICON'97), pp.197-212, Singapore, April 1997.

[18] M. J. Brown. Users Guide Developed for the JBREWS Project. Technical Report LA-UR-99-4676. Los Alamos National Laboratory of California University. 1999.

[Les photos CHAP I] les capteurs et le BigData en agriculture-Terrena.

[Ziani Amar : « Etude de la sécurité des données dans les réseaux de capteurs sans-fil (ZigBee) » mémoire de fin d'étude 2011 /2012].

[19] Abdallah Makhoul, Réseaux de capteurs : localisation, couverture et fusion de données. 14 novembre 2008 ,p27