الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE DR. YAHIA FARES DE MEDEA

FACULTE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE

Département du Génie Électrique
et de l'Informatique



Mémoire de Fin d'Études

Présenté pour l'obtention du Diplôme
de Master en Génie Électrique

Option : Systèmes de Télécommunications

THEME

ETUDE ET IMPLEMENTATION D'UNE PLATEFORME DE COMMUNICATION ZIGBEE A BASE D'UN MICROCONTROLEUR ATMEGA

Proposé et dirigé par,

Mr. Samir CHADLI

Préparé et présenté par,

Mr. Hamza DEHAL

M^elle^. Ahlem DILMI

Année universitaire 2014-2015



REMERCIEMENTS

En premier lieu, nous remercions Dieu qui nous a procuré ce succès.

- *Nous tenons à remercier vivement notre promoteur Mr CHADLI Samir pour ses conseils précieux et pour toutes les commodités et aisances qu'il nous a apportées durant notre étude et réalisation de ce projet.*
- *Nos remerciements les plus vifs s'adressent aussi aux messieurs le président et les membres de jury d'avoir accepté d'examiner et d'évaluer notre modeste travail.*
- *Nous exprimons également notre gratitude à tous les professeurs et enseignants qui ont collaboré à notre formation depuis notre premier cycle d'étude jusqu'à la fin de notre cycle universitaire. Sans omettre bien sur de remercier profondément tous ceux qui ont contribué de prés ou de loin à la réalisation du présent travail.*
- *Et enfin, que nos chers parents et familles, et bien avant tout, trouvent ici l'expression de nos remerciements les plus sincères et les plus profonds en reconnaissance de leurs sacrifices, aides, soutien et encouragement afin de nous assurer cette formation de master dans les meilleures conditions*

Hamza & Ahlem

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

A mes très chers parents
Mon très cher père pour sa patience et tous ses efforts

A ma mère pour m'avoir épaulé, encouragé à reprendre les études et motivé dans les moments les plus difficiles

A mes freres.
A Kamel et Samir.

A mes ancles et mes tantes.

Pour tous leurs encouragements

A mon encadreur Monsieur S.CHADLI pour l'excellence de son accompagnement et la confiance qu'il nous a accordé.

A mon binôme Ahlem avec qui j'ai eu l'honneur de finir mes années d'études.

.

A tous mes professeurs ainsi que tous les étudiants

de la promotion de télécommunication 2014/2015.

A tous mes amis.

Et toute personne que je connais et qui me sont chers et tous ceux qui m'aiment.

Hamza

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

A mes très chers parents
Mon très cher père pour sa patience et tous ses efforts

A ma mère pour m'avoir épaulé, encouragé à reprendre les études et motivé dans les moments les plus difficiles

A mes sœurs : Ismahane, Hind, Amina.
A mon frère Hacene et sa femme akila.
A mon frère Mohamed et sa femme Sabrina.
A mes neuveux : Lina, Mohamed et Meriem.
A mes ancles « khalo Ali, Samir et Rabie ».

Pour tous leurs encouragements

A mon encadreur Monsieur S.CHADLI pour l'excellence de son accompagnement et la confiance qu'il nous a accordé.

A mon binôme Hamza avec qui j'ai eu l'honneur de finir mes années d'études.

.

A tous mes professeurs ainsi que tous les étudiants
de la promotion e télécommunication 2014/2015, qui nous ont accueillis si généreusement et aidés tout au long années universitaire.

A mes chères : Amel, Baya, Lamia, Chafia.
A Messaoud, Hassiba, Meriem, Assia, Soumia, Hadjer, Yasmine... etc

Et toute personne que je connais et qui me sont chers et tous ceux qui m'aiment.

Ahlem

ملخص:

هذا المشروع يهدف الى دراسة بروتوكول الاتصالات ZigBee ، و كذلك تطبيق و تصميم منصة اتصال بسيطة باستخدام المتحكم الدقيق ATmega . تسمح هذه المنصة باستعمال وحدات لاسلكية في عمل تطبيقات في مجال الاكترونيك باستعمال الوصلات اللاسلكية XBee.

من أجل اظهار بساطة و فائدة هذه الواجهة، قمنا بعمل تطبيق في ميدان أتمتة المنازل.

الكلمات المفتاحية: ZigBee، متحكم دقيق، لاقط ، ATmega، XBee، الاتصالات اللاسلكية...

Résumé :

L'objectif de ce projet est l'étude du protocole de communication ZigBee et son implémentation à base d'un microcontrôleur ATmega. Cette plateforme de communication permet d'utiliser des liaisons RF dans des applications électroniques utilisant les modules XBee.

Afin de montrer la simplicité et l'intérêt de cette plateforme, nous avons réalisé une petite application dans le domaine de la domotique.

Les mots clés : ZigBee, Microcontrôleur, Capteur, ATmega, XBee, Communication sans fils…

Abstract:

The purpose of this project is to study the ZigBee protocol, and its implementation based on the ATmega microcontroller. This platform allows the use of RF link a simple electronic applications using the XBee module.

In order to show the simplicity and the benefit of this platform, we've made a simple application in the "home automation" field.

Keywords: ZigBee, Microcontroller, Sensor, ATmega, XBee, Wireless communication…

TABLE DES MATIERES :

LISTE DES FIGURES……..……..…I

LISTE DES TABLEAUX……..……..II

Chapitre I : Généralités

I.1. Introduction 2

I.2. Protocole de communication sans fil 2

I.2.1. Définitions 2

I.2.2 Les catégories des réseaux sans fils 2

I.3. Les réseaux de capteurs sans fils (RCSF) 4

I.3.1. Les capteurs 4

I.3.2. Les nœuds de capteurs sans fils (NCSF) 4

I.3.3 Les réseaux de capteurs sans fils (RCSF) 5

I.4. Le protocole de communication ZigBee 6

I.4.1. Définition 6

I.4.2 Domaines d'application 6

I.4.3 Historique 6

I.4.4 Comparaison des caractéristiques des protocoles sans fils 7

I.4.5 Principe du protocole ZigBee 8

I.4.6. L'architecture ZigBee 13

I.4.7. Le routage 15

I.4.8. L'Adressage 17

I.4.9- Méthode d'accès au medium 18

I.5. La trame ZigBee 18

I.6. Les modules radios ZigBee/802.15.4 19

I.7. La sécurité ZigBee 20

I.8. Avantages et inconvénients du protocole ZigBee 21

I.9. Conclusion 21

Chapitre II : Plateforme de communication ZigBee

II.1. Introduction 22

II.2. Platforme ZigBee-ATmega 22

II.2.1. Liaison XBee-ATmega 22

II.2.2. Configuration des modules XBee 31

II.2.3. Les modes de fonctionnement des modules XBee 35

II.3. Analyse des trames 37

II.3.1. La structure de la trame XBee 37

II.3.2. Exemple d'une trame API 37

II.3.3. La communication RF 38

II.3.4. Exemple de simulation 39

II.4. Conclusion 41

Chapitre III : Réalisation et mise en marche

III.1. Introduction 42

III.2. Principe de fonctionnement de l'application 42

II.2.1. Etude des différents éléments de l'application 43

III.3. Réalisation du circuit imprimé du montage (PCB) 53

III.3.1. Présentation du logiciel EAGLE 53

III.3.2. Développement du PCB et soudage des composants 55

III.4. Etude pratique 57

II.4.1. Mesure de la température et d'humidité 57

III.4.2. Détection du mouvement 58

III.4.3. Lecture d'un tag RFID 59

III.5. Conclusion 59

Conclusion générale……60

Bibliographie……..61

Annexes……63

LISTE DES FIGURES

Figure I.1. Les différentes catégories des réseaux sans-fils.....3
Figure I.2. Schéma de principe d'un capteur.....*4*
Figure 1.3. Les composants d'un nœud de capteur.....*4*
Figure I.4. Architecture de communication d'un RCSF.....*5*
Figure I.5. Les topologies des réseaux ZigBee *9*
Figure I.6. Système à étalement de spectre à séquence directe.....*11*
Figure I.7. Principe de l'étalement de spectre à séquence directe.....*12*
Figure I.8. Schéma de principe de la transmission du signal QPSK.....*12*
Figure I.9. Chronogramme pour la modulation OQPSK.....*13*
Figure I.10. La pile protocolaire 802.15.4/ZigBee *14*
Figure I.11. Principe de routage AODV *17*
Figure I.12. La trame ZigBee. *18*

Figure II.1. Module XBee..... .....*23*
Figure II.2. Les types d'antennes pour les modules XBee.....*23*
Figure II.3. Brochage du module XBee.....*24*
Figure II.4. Brochage de l'ATmega328.....*25*
Figure II.5. Brochage de l'ATmega328 TQFP.....*26*
Figure II.6. Schéma de principe de la liaison série synchrone.....*27*
Figure II.7. Schéma de principe de la liaison série synchrone.....*27*
Figure II.8. Trame de données envoyée via le port série.....*27*
Figure II.9. Interfaçage du module XBee avec un microcontrôleur.....*28*
Figure II.10. Architecture interne du module XBee.....*30*
Figure II.11. Les états de fonctionnement du module XBee.....*30*
Figure II.12. Le circuit FT232..... .....*31*
Figure II.13. Communication à travers Arduino.....*32*
Figure II.14. Le Breakout FT232R.....*32*
Figure II.15. Communication à travers le FT232R Braekout.....*32*
Figure II.16. Communication avec l'USB Explorer.....*32*
Figure II.17. Menu principal du logiciel X-CTU.....*33*
Figure II.18. Test de communication avec les modules XBee.....*34*
Figure II.19. Menu de configuration.....*34*
Figure II.20. Configuration avec les commandes AT.....*36*
Figure II.21. Configuration du Mode API.....*37*
Figure II.22. Structure de la trame API.....*37*

Figure II.23. Système de communication RF utilisant des modules XBee.....*38*
Figure II.24. Canal de communication RF.....*39*
Figure II.25. Simulation d'une communication avec trames ZigBee.....*40*
Figure II.26. Résultat de la simulation.....*41*

Figure III.1. Schéma de principe de l'application.....*42*
Figure III.2. Schéma synoptique d'un nœud terminal.....*43*
Figure III.3. Schéma synoptique de la station de base.....*44*
Figure III.4. Capteur LM35DZ.....*44*
Figure III.5. Le capteur d'humidité HIH-4030 et son brochage.....*45*
Figure III.6. Schéma électrique du nœud de capteur de la température et d'humidité.....*45*
Figure III.7. Capteur de mouvement PIR.....*46*
Figure III.8. Schéma de principe d'un capteur ILS.....*46*
Figure III.9. Schéma électrique du nœud des capteurs analogiques.....*47*
Figure III.10. Schéma électrique de la station de base.....*48*
Figure III.11. Schéma bloc du nœud RFID.....*49*
Figure III.12. Le module UM-005.....*49*
Figure III.13. Schéma électrique du nœud de capteur RFID.....*50*
Figure III.14. La différence des niveaux logiques.....*51*
Figure III.15. Le circuit intégré 74AHC125N et son brochage.....*52*
Figure III.16. Schéma électrique de l'adaptateur.....*52*
Figure III.17. L'interface du logiciel EAGLE.....*53*
Figure III.18. L'éditeur de schémas.....*54*
Figure III.19. L'éditeur de routage.....*54*
Figure III.20. Notre adaptateur XBee réalisé.....*55*
Figure III.21. Partie émission (détection de la température et l'humidité).....*56*
Figure III.22. Partie réception.....*57*
Figure III.23. Partie émission (détection du mouvement) *58*
Figure III.24. Interface série de l'arduino IDE indique la détection du mouvement.....*58*
Figure III.25. Partie émission (lecture des tags RFID) *59*

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.1. Comparaison des caractéristiques des protocoles sans fils.....7

Tableau I.2. Les bandes de fréquences de fonctionnement.....11

Tableau I.3. Les différents modules ZigBee.....20

Tableau II.1. Les caractériqtiques techniques des modules XBee.....24

Tableau II.2. Brochage du module XBee 25

Introduction générale

Les technologies sans fil ont fait des progrès significatifs ces dernières années. L'utilisation de ces technologies a envahi le marché des réseaux de télécommunication, il existe de multiples technologies de transmission sans fils ayant chacune leurs caractéristiques à savoir: la consommation, la portée, le débit, ... parmi ces technologie on cite : WI-Fi, Bluetooth et le Zigbee.

Le ZigBee est une norme de transmission de données sans fil, conçu par la ZigBee Alliance basé sur la norme IEEE 802.15.4, la caractéristique principale de ce protocole est la faible consommation énergétique.

L'objectif de ce travail consiste à étudier et détailler le protocole de communication ZigBee et son implémentation à base d'un microcontrôleur ATmega, utilisant des modules Xbee.

Le premier chapitre présente des notions de base liée aux réseaux de communication sans fils et les réseaux de capteur, passant à une étude détaillée sur le protocole de communication Zigbee.

Le deuxième chapitre est consacré à l'étude de la plateforme de communication ZigBee à base d'un microcontrôleur ATmega, où nous allons expliquer l'interfaçage du module XBee avec le microcontrôleur ATmega et montrer la souplesse de ces modules.

Le dernier chapitre présente quelques réalisations d'un réseau ZigBee utilisant les modules XBee et des différents capteurs, réalisant une station de base (coordinateur) et des nœuds terminaux (END Device).

Chapitre I : Généralités

I.1. Introduction

Dans ce premier chapitre, nous allons au début passer en revue certaines notions de bases liées aux réseaux de communications sans fils et les réseaux de capteurs (WSN), par la suite nous allons décrire le protocole de communication RF ZigBee qui a été exploité dans ce projet de fin d'étude.

I.2. Protocole de communication sans fil

I.2.1. Définitions

Un réseau sans fil (en anglais *Wireless network*) est un ensemble d'appareils connectés entre eux, qui sont capable d'émettre et de recevoir des données grâce à des signaux radioélectriques.

Un réseau sans fil donne la possibilité à l'utilisateur de rester connecté tout en se déplaçant dans un périmètre géographique plus ou moins étendu, c'est la raison pour laquelle on entend parfois parler de "mobilité". [1]

En général, l'installation de ces réseaux ne demande pas de lourds aménagements des infrastructures existantes comme c'est le cas avec les réseaux filaires. [1]

I.2.2 Les catégories des réseaux sans fils

Les réseaux sans fils actuels permettent de relier très facilement des équipements distants d'une dizaine de mètres à quelques kilomètres. De plus ils facilitent et réduisent le coût de connexion pour les réseaux de grande taille. [1]

On distingue quatre catégories selon le périmètre géographique (Figure I.1):

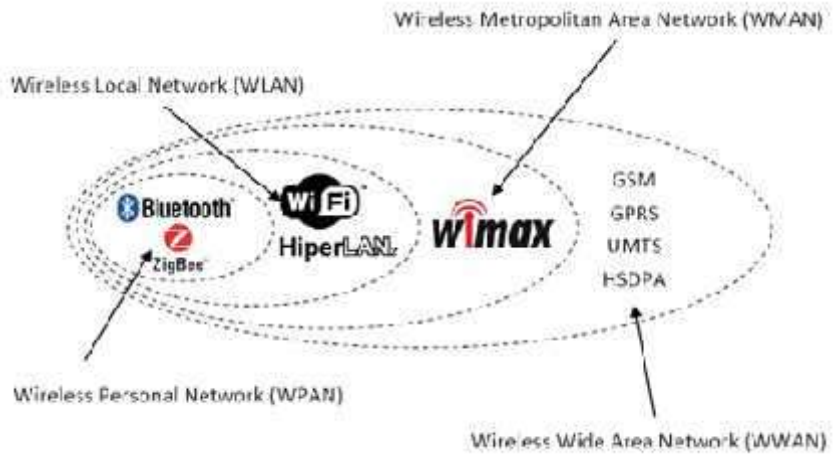


Figure I.1. Les différentes catégories des réseaux sans-fil

I.2.2.1 Les WWAN (Wireless Wide Area Networks) [1]

C'est des réseaux sans fil qui couvrent une surface étendue, typiquement à l'échelle d'un pays ou d'un continent. C'est la catégorie des réseaux cellulaires mobiles (GSM, CDMA,…etc).

I.2.2.2 Les WMAN (Wireless Mitropolitan Area Networks)

C'est des réseaux métropolitains, plus connus sous le nom de Boucle Locale Radio (BLR), ce type de réseau peut couvrir une zone de la taille d'une ville avec une portée pouvant aller jusqu'à 50 Km. C'est dans cette catégorie que l'on classe le WiMAX et les HIPERMAN.

I.2.2.3 Les WLAN (Wireless Local Area Networks) [1]

C'est la catégorie des réseaux locaux sans fil, Il s'étend en moyenne de 10 m à 1 kilomètre environ. Souvent le réseau WLAN assure la couverture d'une zone donnée (un campus, un immeuble, un aéroport …etc). On y trouve les standards tels que le Wi-Fi et les HIPERLAN.

I.2.2.4 Les WPAN (Wireless Personal Area Networks) [1]

C'est des réseaux personnels dont la portée maximale est limitée à quelques dizaines de mètres autour de l'usager (bureaux, salles de conférence...etc.). On y trouve les standards tels que le Bluetooth, ZigBee, RFID et HomeRF.

I.3. Les réseaux de capteurs sans fils (RCSF)

I.3.1. Les capteurs

Un capteur « Sensor en anglais », est un dispositif qui soumis à l'action d'un mesurande (grandeur physique objet de la mesure) présente une caractéristique de nature électrique (charge, tension, courant ou impédance) qui est fonction du mesurande. [2]

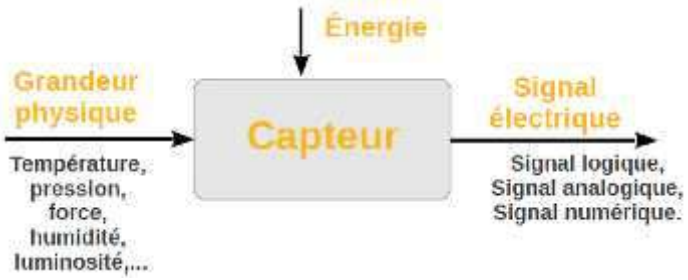


Figure I.2. Schéma de principe d'un capteur

I.3.2. Les nœuds de capteurs sans fils (NCSF)

Un nœud de capteur (NCSF) est composé principalement d'un processeur, une mémoire, un émetteur/récepteur radio, un ensemble de capteurs, et une source d'énergie (par exemple une batterie). Il est capable de mesurer une valeur physique environnementale (température, lumière, pression, humidité…etc.) et de la communiquer à un centre de contrôle via une station de base.

Le NCSF est composé en général de quatre unités principales, qui sont présentées sur la figure I-3:

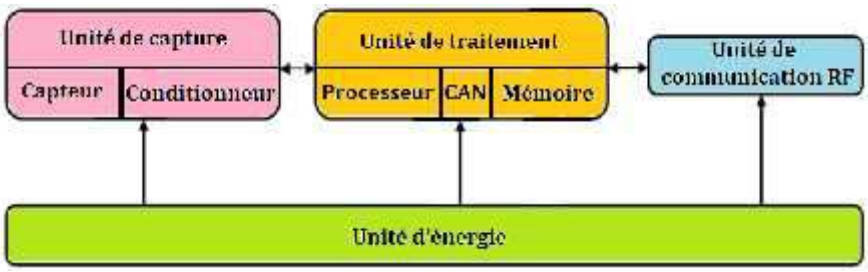


Figure I.3. Les composants d'un nœud de capteur

L'unité de capture (Sensing Unit) : Elle est composée d'un ou plusieurs capteurs qui prélèvent les informations de l'environnement local avec leurs conditionneurs, les informations prélevées sont transmis à l'unité de traitement.

L'unité de traitement (Processing Unit) : Cette unité possède deux interfaces, une pour communiquer avec l'unité d'acquisition et l'autre pour communiquer avec l'unité de communication RF. Cette unité est également composée d'un processeur qui assure les traitements, d'un convertisseur analogique numérique qui assure la numérisation des grandeurs analogiques et une mémoire où les données prélevées, numérisées et traitées sont stockées.

L'unité de communication (Transceiver Unit) : Elle est responsable de toutes les émissions et réceptions de données elle est composée d'un transmetteur permettant la communication entre les différents nœuds du réseau.

L'unité d'énergie (Power Unit) : En général elle est à base d'une batterie qui est souvent ni rechargeable ni remplaçable, elle permet d'alimentée les trois autres unités.

I.3.3 Les réseaux de capteurs sans fils (RCSF)

Un RCSF « en anglais Wireless Sensor Network » est composé de plusieurs nœuds capteurs connectés entre eux qui permettent de mesurer des valeurs physiques, et une station de base qui permet la collection de ces informations à distance.

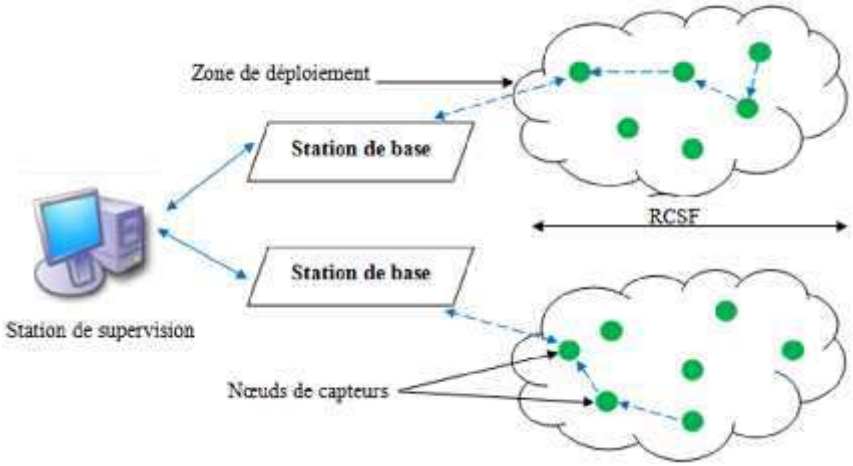


Figure I.4. Architecture de communication d'un RCSF

I.4. Le protocole de communication ZigBee

I.4.1. Définition

Le ZigBee est une norme de transmission de données sans fil, de faible débit à bas coût, à courte portée et à faible consommation énergétique qui utilise les ondes hertziennes pour transporter des messages entre deux ou plusieurs entités du réseau.

Ce protocole de communication conçu par la **ZigBee Alliance** basé sur la norme IEEE 802.15.4 qui définit les réseaux personnels de faible portée et de faible débit (Low Power Wireless Personal Arae Network : LP WPAN). Le ZigBee est donc un standard de communication sans fils tout comme le Wifi ou le Bluetooth. [3]

I.4.2 Domaines d'application [4]

On regroupe généralement les applications ZigBee dans cinq grandes catégories :

1. **L'automatisation des immeubles :** La sécurité, le contrôle d'accès, l'éclairage, le chauffage, ...
2. **Le médical :** Le suivi et la surveillance continue des patients, le monitoring des phases d'efforts lors d'activité physiques et sportives, ...
3. **Le contrôle industriel :** La gestion des biens, des stocks, la gestion de l'énergie, la surveillance des risques et de l'environnement, les applications de contrôle/commande industrielles, les télé-relevés, ...
4. **Les services de télécommunications :** Le m-commerce (commerce mobile), les infos services, les échanges d'informations et de données provenant de dispositifs présents dans le monde réel vers le réseau Internet que l'on appelle souvent « Internet des objets », ...
5. **La domotique :** La gestion du chauffage, de l'éclairage, le contrôle d'accès, les alarmes,…

I.4.3 Historique [5] [3]

- ✓ **1998** : dès l'arrivée des technologies sans fil Wi-Fi et Bluetooth, les premières ébauches de réseaux de type ZigBee furent leurs apparitions. La technologie Bluetooth a beaucoup inspiré le protocole ZigBee.
- ✓ **2002:** naissance de la ZigBee Alliance.

- ✓ **Mai 2003** : Le standard IEEE 802.15.4 est annoncé (souvent associé à tort au protocole ZigBee).
- ✓ **Octobre 2004** : La ZigBee Alliance annonce que le nombre d'inscriptions a doublé pour arriver à plus d'une centaine d'entreprises dans 22 pays.
- ✓ **14 Décembre 2004** : Ratification des premières spécifications de ZigBee.
- ✓ **13 Juin 2005** : La ZigBee Alliance publie les premières spécifications officielles de la version ZigBee 1.0 qui sont désormais disponibles en libre téléchargement.

I.4.4 Comparaison des caractéristiques des protocoles sans fils

Le tableau suivant montre une comparaison entre les principaux protocoles de communication sans fils:

Tableau I.1. Comparaison des caractéristiques des protocoles sans fils

Protocole	*ZigBee*	*Bluetooth*	*Wi-Fi*
IEEE	802.15.4	802.15.1	802.11
Besoin mémoire	4-32 kb	250 kb+	1 Mb+
Débit	250 kb/s	1 Mb/s	11-54-108-320 Mb/s
Portée	100 m +	10-100 m	300 m
Autonomie	Années	Jours	Heures
Topologie	Etoile, Maillé, Arbre	Etoile	Etoile
Nombre de nœuds	65000 +	7	32
Fréquence	868-916 MHz, 2.4 GHz	2.4 GHz	2.4 GHz

- On peut noter que le protocole ZigBee règle le problème de l'autonomie d'énergie qui dure au moins une année et peut aller jusqu'à 10 ans.
- Le nombre de nœuds supportés par le protocole ZigBee est considérable.
- Les deux seuls points noirs de la technologie ZigBee sont : la vitesse de transfert limitée (Quatre fois inférieure à celle du Bluetooth) et la portée qui inférieure à celle du WiFi. [6]

I.4.5 Principe du protocole ZigBee

Un réseau ZigBee se compose de plusieurs nœuds (dispositifs) ZigBee, un nœud peut être utilisé pour une grande variété d'applications, par exemple, la gestion d'éclairage, détecteur de fumée, la sécurité, … . Par conséquent, un nœud peut supporter plusieurs entités, et chaque entité possède un objet d'application qui décrit la fonction de ce dernier.

I.4.5.1-Les entités réseaux

Un nœud peut fonctionner en tant que dispositif d'entité complète (FFD) ou un dispositif d'entité réduite (RFD).

1. **Les FFD (Full Function Device**) : Implémentent la totalité de la spécification (entité complète). Ils ont trois rôles possibles: Coordinateurs PAN, routeur ou dispositif terminal (End-Device). [4]
2. **Les RFD (Reduce Function Device) :** Sont des entités allégées (entité réduite) dans un objectif de moindre consommation énergétique et de moindre utilisation mémoire pour le microcontrôleur. Ils sont généralement des nœuds terminaux du réseau (End-Device). [4]

- ***Le coordinateur ZigBee (ZC) :*** Un coordinateur est un FFD, il est responsable de la gestion globale du réseau, un seul coordinateur doit exister au sein d'un réseau ZigBee. Son rôle est de stocker l'information sur le réseau et de déterminer le chemin optimal entre deux points du réseau. [6]

Ce dernier doit être actif en permanence pour répondre aux requêtes des autres éléments du réseau à tout moment. Au niveau du réseau, le nœud coordinateur sert principalement à :

- L'initialisation du réseau ZigBee.
- Il sélectionne la bande de fréquence nécessaire.
- Autorise les autres dispositifs (routeurs, terminaux) à rejoindre ou quitter le réseau.

- ***Les routeurs ZigBee (ZR) :*** Un routeur est un FFD, il est optionnel, son rôle principale est de trouver le meilleur chemin vers la destination si cette dernière est, par exemple, trop loin pour être directement contactée par l'émetteur du message.

Il peut y avoir plusieurs routeurs dans le réseau, mais la présence d'un routeur n'est pas forcément nécessaire au fonctionnement du réseau. Chaque module routeur répète les signaux

reçu aux autres modules qui lui sont enregistrés. Le signal se répercute ainsi de module en module pour atteindre le End-Device concerné. [4]

- ***Les ZigBee End-Devices (ZED) :*** Ce sont tous les modules terminaux, ils peuvent être un FFD ou un RFD, ils sont toujours localisés en périphérie du réseau, comme les capteurs, actionneurs… [4]

Ils consomment de l'énergie uniquement lors de la transmission d'informations, leurs consommation est donc très faible et ils peuvent tout à fait être alimenté par batteries.

I.4.5.2 Topologies du réseau ZigBee

La norme IEEE 802.15.4 propose comme fonctionnement une topologie en étoile, point à point, maillée et en arborescence (Figure I.5).

Le réseau ZigBee est un réseau maillé sans fil. Chaque nœud (module) doit s'identifier avant de rejoindre le réseau. [4]

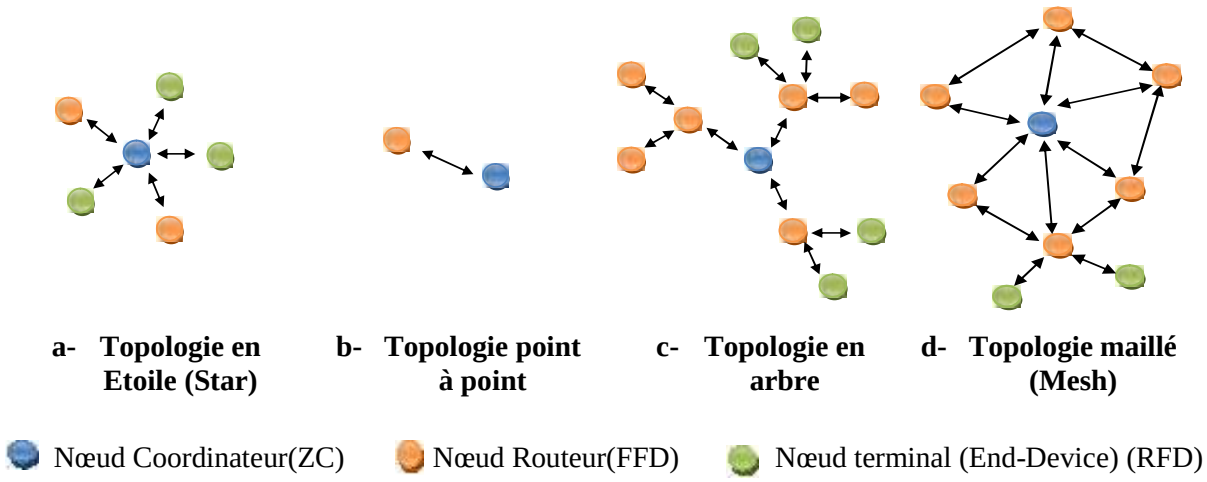


Figure I.5. Les topologies des réseaux ZigBee

a. Topologie en étoile (star) : [4] Dans cette topologie (Figure I.5-a), le réseau est contrôlé par le coordinateur seulement. Elle se compose d'un coordinateur donc et de plusieurs End Devices.

Tout échange de paquets entre les nœuds terminaux doit passer par le coordonnateur. Si un dispositif **A** souhaite dialoguer avec un dispositif **B**, la communication doit impérativement passer par le coordinateur. Dans cette topologie, les dispositifs sont très simples et n'embarquent qu'une couche simplifiée du protocole ZigBee. Le coordinateur est en général fixe et alimenté en permanence pour garantir le fonctionnement du réseau.

b. Topologie Point à Point : [4] Les dispositifs sont capables de dialoguer directement entre eux s'ils sont à proximité, ou bien d'utiliser le coordinateur pour contacter un dispositif à plus longue distance.

Une technique de tables de liaison permet également à chaque dispositif de jouer le rôle de coordinateur, permettant à deux dispositifs éloignés de dialoguer par l'intermédiaire d'un élément à portée.

c. Topologie en arbre ou maillé : Dans cette topologie, le réseau se compose d'un nœud central (racine de l'arborescence), qui est un coordinateur, des routeurs et des nœuds terminaux (End Devices). Les nœuds d'extrémités qui sont connectés au coordinateur ou aux routeurs sont appelés dispositifs enfants. Seuls les routeurs et le coordonnateur peuvent avoir des dispositifs enfants.

Si l'un des parents est désactivé, les enfants de ce dernier ne peuvent pas communiquer avec d'autres périphériques du réseau. Même si deux nœuds sont géographiquement proches les uns des autres, ils ne peuvent pas communiquer directement. Dans la topologie maillé, lors de la transmission, si un chemin est saturé/occupé le nœud trouve un autre chemin vers la destination.

I.4.5.3 Les fréquences de fonctionnement

La norme IEEE 802.15.4 spécifie trois bandes de fréquences différentes afin d'adapter les réglementations dans les différents pays du monde qui sont appelés ISM (bandes radio Industriel Scientifique et Médical). ZigBee peut être actionné en trois bandes de fréquences ayant des fréquences centrales de 868 MHz, 915 MHz et 2,4 GHz.

La norme 868 MHz est appelée « la bande européenne », et la norme 915 MHz est appelée « la bande nord-américaine ». ZigBee opère principalement à la fréquence 2,4 GHz « utilisation mondiale » en raison du taux de données élevé obtenus qui est de 250 kbps.

Dans la norme de 2,4 GHz, la couche physique utilise comme mécanisme de transmission de données une combinaison dite DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) se qui signifie « étalement de spectre à séquence directe », et une technique de modulation appelé « Offset Quadrature Phase Shift Keying » (OQPSK).

Ces bandes de fréquences sont divisées en canaux et le nombre de canaux attribués à chaque bande est fixe.

Il existe seize (16) canaux dans la bande de fréquences de 2,4 à 2,483 GHz (numérotées de 11 à 26), dix (10) canaux dans la bande de fréquences 902-928 MHz (numérotés de 1 à 10) et un canal dans la gamme de fréquences de 868 à 868,6 MHz (numéro 0).

Tableau I.2. Les bandes de fréquences de fonctionnement

Fréquence	Bande	Usage	Débit	Nombre de canaux
2.4 GHz	ISM	Mondial	250kb/s	16
915 MHz	ISM	Amérique	40kb/s	10
868 MHz	ISM	Europe	20kb/s	1

Avec un total de 27 canaux de communications possibles, partagés sur 3 bandes de fréquences (868 MHz, 915 MHz et 2,4 GHz), le protocole ZigBee s'affirme comme un standard de couverture mondiale. [7]

I.4.5.4 Étalement de spectre à séquence directe (DSSS)

Afin d'assurer une bonne transmission en toute sécurité le ZigBee utilise le principe de l'étalement de spectre à séquence directe (DSSS).

Cela est réalisé grâce à un codage de l'information à transmettre avec une séquence pseudo-aléatoire (PN code : Pseudo Noise code), de longueur N, connue seulement des utilisateurs. L'étalement de spectre en séquence directe se fait par la somme en modulo-2 (Xor) de l'information à transmettre avec un code pseudo-aléatoire (aussi appelé signature) pour étaler le signal de bande étroite en un signal de bande large. [8]

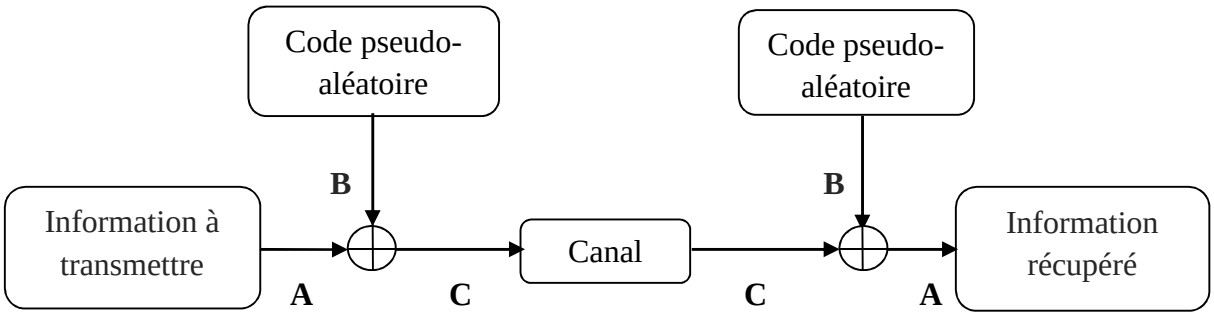


Figure I.6. Système à étalement de spectre à séquence directe

Le récepteur récupère le signal original en corrélant le signal reçu avec une réplique de cette séquence.

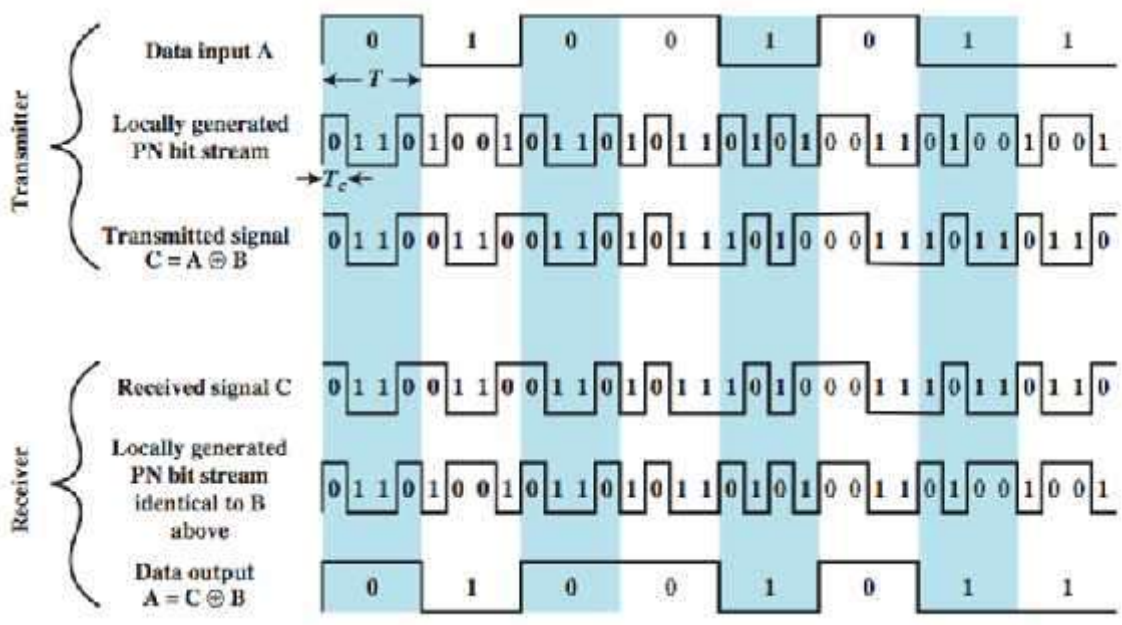


Figure I.7. Principe de l'étalement de spectre à séquence directe

I.4.5.5. La modulation OQPSK

La modulation OQPSK (Offset Quadrature Phase Shift Keying) est une version à décalage de la modulation QPSK. C'est donc une modulation PSK-4 en utilisant quatre valeurs de phase différentes.

Bien que le QPSK puisse être vu comme une modulation en quadrature, il est aussi simple de le considérer comme deux modulations indépendantes. Avec cette interprétation, les bits pairs (ou impairs) sont utilisés pour moduler la composante In-Phase(I), tandis que les bits impairs (ou pairs) sont utilisés pour la Quadrature-phase (Q). [9]

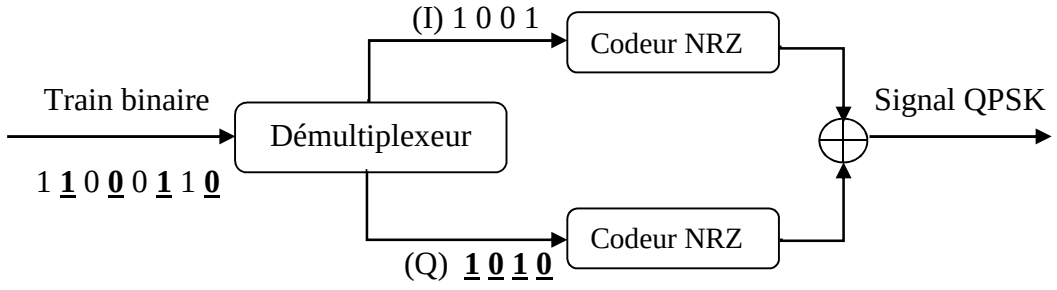


Figure I.8. Schéma de principe de la transmission du signal QPSK

- Bits impairs correspondant à la composante I (In-phase): **1** 1 **0** 0 **0** 1 **1** 0
- Bits pairs correspondant à la composante Q (Quadrature): 1 **1** 0 **0** 0 **1** 1 **0**

Prendre quatre valeurs de phase à la fois pour la construction d'un symbole QPSK peut permettre à la phase du signal de sauter jusqu'à 180° à la fois. Ces déphasages résultent des grandes fluctuations d'amplitude, et une qualité de communication faible et indésirable.

En décalant le train des bits pairs ou impairs par un temps de bit ou un demi temps de symbole, les composantes en phase (I) et en quadrature (Q) ne changeront jamais en même temps. C'est la modulation QPSK décalé (OQPSK).

Pour obtenir l'OQPSK, après la division du train binaire en composantes paires et impaires (Q et I), un train binaire est décalé (offset) par une (1) période de bit par rapport à l'autre. Après cela les trains de bits directs et décalés vont se mélanger.

Le train de données binaires est représenté sous l'axe des temps, Les deux composantes de signal (I et Q) avec leurs affectations de bits sont affichées en haut et le signal obtenu combiné (OQPSK) en bas. On note le décalage entre les deux composantes de signal de demi-période.

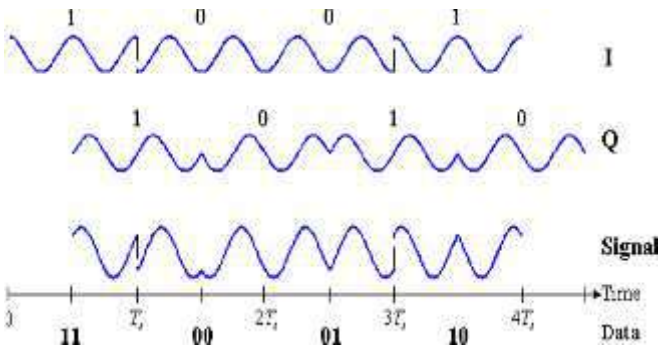


Figure I.9. Chronogramme pour la modulation OQPSK

I.4.6. L'architecture ZigBee

I.4.6.1. La pile ZigBee

Comme tout réseau, ZigBee est composé des différentes couches, similaire au sept couches du modèle OSI. En raison de la faible complexité du protocole ZigBee, ce modèle a été simplifié en quatre couches seulement qui sont : la couche Physique (PHY), la couche Liaison (MAC), la couche Réseau (NWK) et la couche Application (APL). Chaque couche a des fonctionnalités qui sont mise à la disposition des couches supérieures.

La norme IEEE 802.15.4 concerne uniquement les deux premières couches du modèle OSI (PHY et MAC), et les deux couches supérieures (NWK et APL) qui sont proposées

directement par la norme « ZigBee Alliance ». Entre ces couches se trouve les points d'accès aux services (SAP), ZigBee utilise deux types de point d'accès par couches [10]:

- Un pour les données.
- Un pour le management.

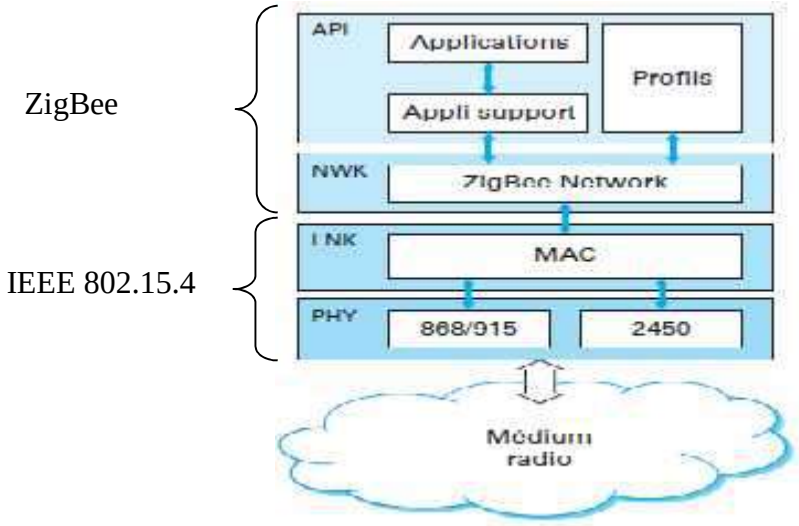


Figure I.10. La pile protocolaire 802.15.4/ZigBee

1. La couche Physique (PHY) : [10] Traduit les trames en bits qu'elle peut transmettre et recevoir par transmission radio. La norme prévoit deux couches physiques différentes, une pour la 868 MHz et 915MHz (PHY868/915) et une seconde pour le 2,4 GHz (PHY2450) mettant en œuvre une modulation à spectre étalé. Les principales fonctions remplies par cette couche sont :

- L'activation et l'arrêt de la transmission et la réception radio.
- La sélection du canal d'émission (sélection de fréquence).
- La communication des canaux.
- L'évaluation de la qualité du canal…

2. La couche liaison (LNK) : Cette couche contient une sous-couche de contrôle d'accès au médium MAC.

La sous-couche MAC : Est la moitié basse de la couche liaison de données, elle permet :

- L'accès au canal physique (medium).
- L'ordonnancement des données.
- La délivrance de la trame d'acquittement (ACK).
- Gérer la sécurité.

3. La couche réseau (NWK) : [10] Les principales fonctions remplies par cette couche sont les suivantes :

- La construction et la maintenance de la topologie.
- Création des connexions entre les nœuds du réseau.
- Gestion de l'adressage et du routage.
- Propose des services à la couche supérieure (applications).

4. La couche application (APL) : Elle comporte les éléments logiciels, cette couche est constituée de plusieurs sous-couches, elle se compose des éléments suivants :

- **APS (Application support Sublayer)** : Elle est responsable du :
  - Filtrage des doublons.
  - Définition de la trame des paquets de données échangées entre les nœuds du réseau.
  - Fragmentation et réassemblage des paquets.
  - Maintenance des tables de routage et redirection des paquets indirects.
  - Gestion de la sécurité de la couche application.

- **AF (Application Framework) :** Est un environnement d'exécution pour les objets d'application (Endpoints) pour envoyer et recevoir les données, les Objets d'application sont définis par le fabricant du dispositif ZigBee.

- **Périphérique ZigBee (ZDO) (ZigBee Device Object) :** Le ZDO est responsable de la gestion globale de l'appareil, il est responsable de :
  - L'initialisation de la sous-couche APS et la couche NWK.
  - Définir le mode de fonctionnement du dispositif (soit coordinateur, routeur, ou End Device).
  - gestion du routage et de la sécurité et du nœud.

I.4.7. Le routage

Au niveau de la couche réseau, le routage est soit direct, soit indirect. Le routage est direct lorsqu'un dispositif voulant transmettre des données connaît l'adresse réseau du destinataire. Cette adresse est donc transmise dans la trame pour atteindre et agir sur le dispositif prévu.

Lorsque le dispositif ne connaît pas l'adresse du destinataire, un équipement de type routeur ou coordinateur (cas de la topologie en étoile) fait la relation avec le vrai destinataire d'après la table de routage, le routage est dit indirect.

Le protocole ZigBee s'appuie sur le protocole de routage AODV (Ad hoc On Demand Vector) qui est un algorithme de routage suggéré par la ZigBee Alliance pour les réseaux maillés.

I.4.7.1. Principe du protocole AODV [11]

AODV définit plusieurs types de messages distincts, parmi ces messages on trouve:

Les requêtes **RREQ** (Route Request) : requête de recherche de route, et les réponses **RREP** (Route Reply) qui permettent de construire ses routes utilisées pour relayer les informations sur le réseau.

Lorsqu'un nœud source veut envoyer un message à un autre nœud de destination pour lequel il ne possède pas encore de chemin, il lance tout d'abord une opération de découverte de route (Path Discovery) en diffusant en broadcast un paquet RREQ aux autres nœuds adjacents. Si une réponse RREP est reçue alors l'opération de découverte de route est terminée.

Dans le cas contraire, au bout d'un délai d'attente, il rediffuse le message RREQ et attend une période supérieure à la première. En l'absence de réponse RREP, ce processus peut être répété jusqu'à 2 fois. S'il n'y a toujours pas de réponse au bout des trois (3) tentatives, le processus de recherche de route est abandonné. Une nouvelle demande de route sera initiée au bout d'un délai de 10 s.

I.4.7.2. Les étapes de routage

- Le coordinateur doit découvrir un chemin (route) vers le nœud de destination en créant une table de routage, il va commencer une procédure de routage.
- Le coordinateur va diffuser en broadcast un paquet RREQ aux autres nœuds adjacents.
- Après que les nœuds voisins reçoivent le paquet RREQ, ils vont créer leur propre table de routage, et chacun de ces nœuds va rediffuser encore la trame RREQ.
- La diffusion de la trame RREQ continue à se propager à travers le réseau (les différents nœuds) jusqu'à atteindre la destination.

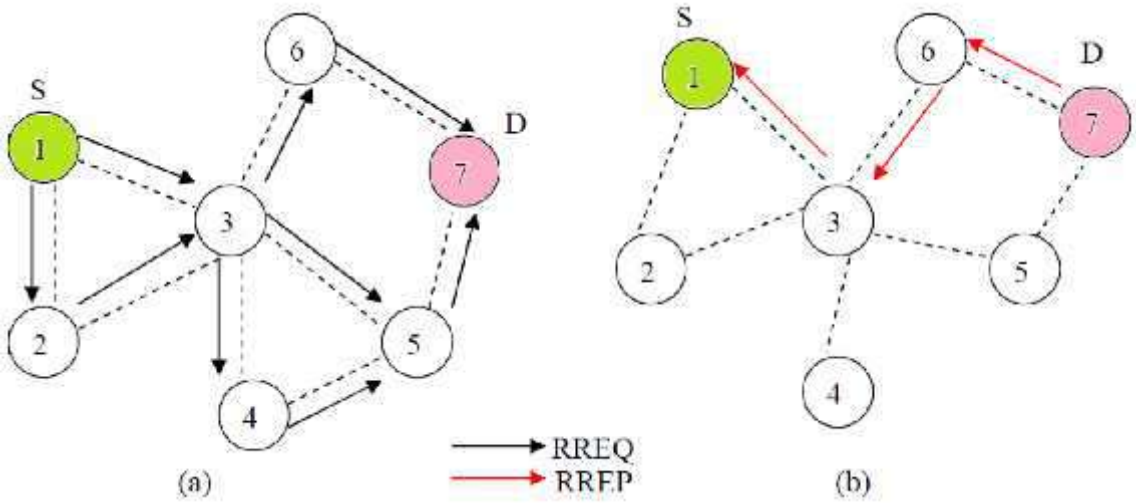


Figure I.11. Principe de routage AODV

- Maintenant chaque nœud possède sa table de routage pour le chemin de destination.
- Le nœud de destination 7 va maintenant créer une réponse RREP et la renvoyer en mode unidirectionnel (Figure I.11).
- Le nœud 1 reçoit la trame RREP et va générer la table de routage.
- A la différence du Route Request qui avait été envoyé par diffusion, la réponse est envoyée seulement au dernier routeur ayant relayé la diffusion ainsi de suite, jusqu'au nœud qui avait initialement demandé la route en se basant sur les valeurs de la table de routage.

Comme les équipements ZigBee restent silencieux 97 % du temps, il est logique que la ZigBee Alliance ait choisie de ne pas maintenir des routes inutilement. Le réseau devient actif seulement lorsqu'un équipement envoie une requête (Route Request) à l'ensemble des nœuds.

I.4.8. L'Adressage

Toute entité ZigBee possède une adresse unique appelée adresse MAC (Media Access Control) codée sur 64 bits (adresse étendue) ou bien sur 16 bits (adresse courte). Alors le protocole ZigBee utilise deux types d'adressage :

- Sur un réseau maillé : une adresse 64 bits IEEE est utilisée (adresse source + adresse destination).
- Sur une topologie en étoile : une adresse plus courte, sur 16 bits, est utilisée (ID du réseau + ID du nœud), elle est utilisée seulement une fois que le réseau est en place ce qui donne en total 2^{16} (65 536) nœuds disponibles dans un réseau ZigBee.

I.4.9- Méthode d'accès au medium

Lorsqu'un nœud ZigBee possède une information à transmettre, il utilise le mécanisme de détection de porteuse sur le canal (CSMA-CA) (Carrier Sense Multiple Access – Collision Avoidance) : c'est une méthode d'accès à la couche Liaison de données du modèle OSI, c'est-à-dire qu'il écoute le canal pour repérer si celui-ci est libre dans ce cas il transmet sa trame. Dans le cas contraire, il attend pendant une courte période de temps, mais de durée aléatoire, avant de faire une autre tentative. [7]

I.5. La trame ZigBee

Comme dans n'importe quel réseau, les données sont transmises en trames ("paquets"). La structure des trames ZigBee a été conçue afin de limiter au maximum la complexité et pour les rendre suffisamment robustes pour fonctionner en environnement (canal) fortement bruité.

Les trames ZigBee ont une taille maximale de 127 octets si on exclut l'overhead (en-tête) du protocole. Il y a donc au total de la place pour 104 octets de données. Dans un réseau ZigBee, on trouve 4 structures de trames:

- **Trame de données** : utilisée pour tous les transferts de données.
- **Trame de confirmation(ACK) :** utilisée pour confirmer qu'une trame de données a été reçue sans erreur.
- **Trame de commande MAC** : Configuration et contrôle des nœuds à distance par le coordinateur.
- **Trame "Beacon" ou SuperFrame :** Les trames de balise (Beacon) réveillent les modules clients qui attendent leur adresse et se rendorment s'ils ne la reçoivent pas. Les trames Beacon sont importantes dans les réseaux maillés et les clusters d'étoile pour que les nœuds soient synchronisés avec une consommation d'énergie minimum. [12]

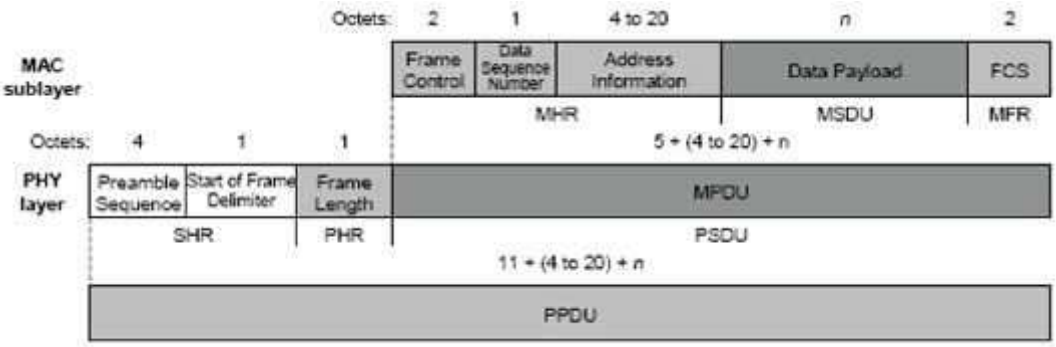


Figure I.12. La trame ZigBee

La forme générale et la structure de trame : [13]

MAC Protocol Data Unit = MAC HeadeR + MAC Service Data Unit + MAC FooteR

✓ **MHR (MAC HeadeR) :**

- Le champ **Frame Control :** indique type de trame MAC et spécifie le format du champ adresse.
- Le champ **Sequence Number :** assure l'ordre à la réception et permet l'acquittement des trames MAC
- Le champ **adresse :** est variable de 0 à 20 octets en fonction du type trame.

✓ **MSDU (MAC Service Data Unit) :**

- La trame de données permet une charge utile jusqu'à 104 octets.

✓ **MFR (MAC FooteR) :**

- Le FCS (Frame Check Sequence) assure que la trame est transmise sans erreur.
- CRC sur 16 bits.

I.6. Les modules radios ZigBee/802.15.4:

Les modules radio 802.15.4 sont des petits dispositifs sans fils utilisés pour communiquer avec d'autres dispositifs selon le protocole IEEE 802.15.4. Parmi ces dispositifs on trouve celle qui sont des « tranceivers-only modules » c'est-à-dire des modules émetteurs-récepteurs uniquement, prêts à l'utilisation, et se composent d'un espace mémoire pour la mise en œuvre d'une pile ZigBee, d'un MCU (Unité Microcontrôleur), d'une antenne et des entrées/sortie (I/O).

Le tableau suivant illustre quelques familles des modules ZigBee :

Tableau I.3. Les différents modules ZigBee

 Module ZigBit	 Module EMB-WMB169PA
Constructeur : ATmel (2009)	Constructeur : Embit (2012)
 Module EasyBee	 Module XBee
Constructeur : FlexiPanel Ltd (2008)	Constructeur : Digi International (2007)
 Module ProBee	 Module ETRX2
Constructeur : Sena Technologies (2011)	Constructeur : Telegesis Ltd (2009)

I.7. La sécurité ZigBee

Contrairement à d'autres technologies qui ne ciblent pas d'applications où la sécurité des transmissions est nécessaire, le protocole 802.15.4 définit 3 niveaux de sécurisation des informations [7]:

- **Bas** : Aucune sécurisation des données.
- **Moyen** : Contrôle des communications par filtrage des adresses des expéditeurs.
- **Haut** : Cryptage par clé symétrique 128 bits (compatible AES-128).

Le protocole ZigBee protège les messages transmis de nœud à nœud (Point To Point) en utilisant la sous-couche sécurité comprise dans la couche Liaison du modèle OSI. [6]

La couche MAC utilise un algorithme de cryptage avancé de type AES-128 (Advanced Encryption Standard), qui protège la confidentialité, l'intégrité, et l'authenticité des trames MAC. La couche MAC fournie donc le processus de sécurité, mais les couches supérieures déterminent les clés de cryptage et le niveau de sécurité à appliquer.

Quand un nœud reçoit ou émet une trame sécurisée, la couche MAC regarde la destination (source), détermine la clé de cryptage associée à cette destination puis utilise cette clé pour traiter la trame. [12]

I.8. Avantages et inconvénients du protocole ZigBee [14]

Les principaux avantages du standard ZigBee sont :

- L'avantage majeur de cette technologie est qu'elle est peu consommatrice en énergie.
- Autonomie de l'émetteur, il est possible de le faire fonctionner durant plusieurs années à l'aide d'une simple batterie.
- La possibilité de mettre en place une topologie de réseaux maillés.
- 65535 nœuds sont adressables sur le réseau.
- L'ensemble des produits sont certifiés par l'Alliance ZigBee et soutenus par de nombreuses entreprises industrielles.
- Le ZigBee s'intègre à plus bas coût face aux autres technologies sans fils comme le Bluetooth et le WiFi.

Le seul inconvénient de cette technologie est le débit qui ne peut atteindre que 250 kbps.

I.9. Conclusion

La faible consommation électrique et les faibles coûts de production et de diffusion de la technologie ZigBee en font une candidate idéale pour les applications du secteur industriel nécessitant des systèmes de mesures à base de capteurs, des systèmes de télécommandes, des équipements de contrôle ou bien les équipements grand public comme le cas de la domotique.

Chapitre II : Plateforme de communication ZigBee

II.1. Introduction :

Ce chapitre est consacré à l'étude de la plateforme de communication ZigBee qu'on se propose d'implémenter, notre choix s'est porté sur le produit OEM RF XBee Serie 1 du constructeur DIGI, nous présentons les différent liaisons possibles de cette plateforme (XBee-ATmega, XBee-FT232, XBee-ordinateur, XBee-XBee) où nous avons présenté aussi les configurations possibles du modules XBee et leurs modes de fonctionnement et on termine par un exemple de simulation sur Proteus.

II.2. Platforme ZigBee-ATmega :

Puisque la réalisation d'un transmetteur RF ZigBee est hors de portée d'un électronicien amateur, il faut donc se tourner vers une solution intégrée, la plateforme ZigBee-ATmega est considérée comme solution.

II.2.1. Liaison XBee-ATmega

II.2.1.2. Présentation des modules XBee

Les modules XBee sont des « transmetteurs » fabriqués par Digi International, qui permettent d'envoyer et de recevoir des données, ils sont spécialement conçus pour la réalisation des systèmes de communication basés sur le protocole ZigBee.

Ils sont caractérisés par une portée assez confortable d'une centaine de mètres en environnement d'intérieur, et jusqu'à plusieurs kilomètres en zone dégagée pour certains modèles de modules équipés d'une antenne adaptée.

Les modules XBee sont très intéressants et s'adaptent parfaitement pour l'implémentation d'une interface de communication ZigBee, ils peuvent être utilisés couplés à un microcontrôleur ou de façon indépendante.



Figure II.1. Module XBee

II.2.1.3. Types des modules XBee :

1. ***Les modules XBee Serie 1 (1mW) :*** Sont les plus populaires, Ces modules prennent la pile 802.15.4 (Base Zigbee) et l'envelopper dans une commande série simple à utiliser. Ils permettent une communication très fiable et simple entre des microcontrôleurs, des ordinateurs, ou des périphériques à base d'une liaison série, et supportent une topologie point à point et point à multi-point.
2. ***Les modules XBee S1 PRO (60mW) :*** La version PRO a les mêmes caractéristiques que les modules XBee Serie 1 sauf que la version PRO dispose d'une portée plus importante.
3. ***Les modules XBee Serie 2 (2mW) :*** Les modules XBee S2 permettent de créer des topologies plus complexes : maillé (mesh) et en arbre (cluster).

Néanmoins, il faut noter que les modules XBee Serie 1 et Serie 2 ne sont pas compatible entre eux.

II.2.1.4. Les caractéristiques des modules XBee :

La figure suivante montre quelques modèles de ces modules et leurs antennes:



Figure II.2. Les types d'antennes pour les modules XBee

Il existe plusieurs types d'antennes pour les modules XBee :

- **Wire :** Antenne fouet permettant de recevoir des ondes omnidirectionnelles.
- **Chip :** Puce plate en céramique permettant de recevoir des ondes cardioïdes, sans risques de casser l'antenne.
- **UFL :** Connecteur permettant la connexion éventuelle d'une petite antenne externe.
- **RPSMA :** Connecteur permettant la connexion éventuelle d'une antenne externe plus grande.

Le tableau suivant résume les caractéristiques techniques des deux types de modules XBee :

Tableau II.1. Les caractéristique techniques des modules XBee

Spécifications		XBee	XBee PRO
Performances	Portée intérieure	Jusqu'à 30m	Jusqu'à 100m
	Portée extérieure	Jusqu'à 100m	Jusqu'à 1600m
	Puissance d'émission RF	1mW	60mW
	Vitesse de transmission RF	250 Kbps	250 Kbps
Alimentation et Consommation	Tension d'alimentation	2.8 VDC- 3.4 VDC	2.8 VDC- 3.4 VDC
	Courant en émission	45mA	215mA
	Courant en réception	50mA	50mA
	Courant de repos	<10µA	<10µA
Autres caractéristiques générales	Fréquence	ISM 2.4GHz	ISM 2.4GHz
	Dimensions	24.4mmX27.6mm	24.4mmX32.9mm
	Température de fonctionnement	-40 à 85°C	-40 à 85°C
	Antennes optionnelles*	UFL,Chip, Wire	UFL,Chip, Wire
Réseau	Topologies supportées	Point à point, point à multi-point, peer to peer et mesh	Point à point, point à multi-point, peer to peer et mesh

La figure suivante montre le brochage du module XBee :

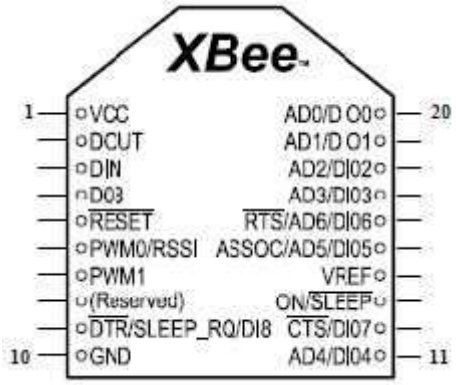


Figure II.3. Brochage du module XBee

Le tableau II-2 montre le brochage du module XBee :

Tableau II.2. Brochage du module XBee

Numéro de broche	Nom	Type	Fonction
1	VCC	-	Alimentation
2	DOUT	Sortie	Sortie UART
3	DIN/CONFIG	Entrée	Entrée UART
4	DO8	Sortie	Sortie digitale 8
5	Reset	/	Reset
6	PWM0/RSSI	Sortie	Sortie PWM0/Indication puissance Rx
7	PWM1	Sortie	Sortie PWM1
8	Réservé	/	Non connecté
9	DTR/Sleep_RQ/DI8	Entrée	Contrôle Sleep/Entrée digitale 8
10	GND	/	Ground
11	AD4/DIO4	Entrée/Sortie	Entrée analogique 4 ou E/S digitale 4
12	CTS/DIO7	Entrée/Sortie	Clear to send/ E/S digitale 7
13	ON/Sleep	Sortie	Indicateur d'état
14	VREF	/	Tension de référence pour conversion
15	Associate/AD5/DIO5	Entrée/Sortie	Indication association/entrée analogique 5 ou E/S digitale 5
16	RTS/AD6/DIO6	Entrée/Sortie	Ready To Send/Entrée analogique 6 ou E/S digitale 6
17	AD3/DIO3	Entrée/Sortie	Entrée analogique 3 ou E/S digitale 3
18	AD2/DIO2	Entrée/Sortie	Entrée analogique 2 ou E/S digitale 2
19	AD1/DIO1	Entrée/Sortie	Entrée analogique 1 ou E/S digitale 1
20	AD0/DIO0	Entrée/Sortie	Entrée analogique 0 ou E/S digitale 0

II.2.1.5. Présentation des microcontrôleurs ATmega :

Les microcontrôleurs Atmel de type ATmega sont des composants électroniques programmables et reprogrammables à volonté, connaissent un succès croissant due à leur facilité d'utilisation et leurs performances générales très satisfaisantes.

Le microcontrôleur ATmega328 : c'est un microcontrôleur 8bits de la famille AVR dont la programmation peut être réalisée en langage C ou en assembleur, il est le cœur de la carte électronique Arduino. La figure suivante montre le brochage de l'ATmega328 :

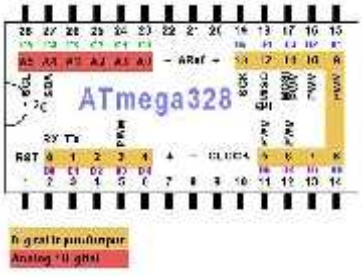


Figure II.4.Brochage de l'ATmega328

La figure suivante montre l'ATmega328 TQFP de type SMD de très faible dimension :

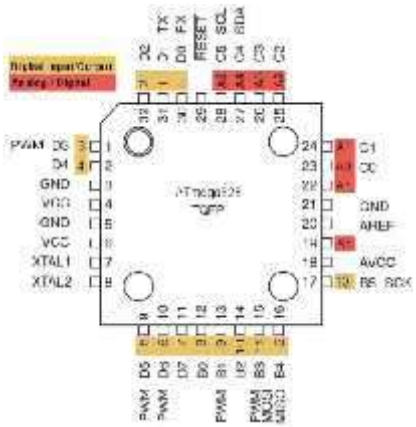


Figure II.5. Brochage de l'ATmega328 TQFP

L'ATmega328 TQFP dispose de 14 broches digitales, 8 broches analogiques une horloge interne et une mémoire interne type EEPROM.

L'ATmga possède une interface de communication série UART accessible, grâce aux broches numériques 0 (Rx) et 1 (Tx). D'autre part il supporte le bus I2C, et la liaison série synchrone SPI.

L'ATmega328 doit être alimenté en 5V et ne nécessite aucun composant annexe pour fonctionner à part un résonateur pour lui servir d'horloge.

II.2.1.6. Le mode de transmission série :

Un module XBee émet et reçoit des données par voie RF utilisant les liaisons séries, c'est pour cette raison que ces modules s'interfacent avec n'importe qu'elle circuit qui présente une liaison UART comme les microcontrôleurs par exemple.

Afin que les éléments communicants puissent se comprendre, il est nécessaire d'établir un protocole de transmission. Ce protocole devra être le même pour les deux éléments à fin que la transmission fonctionne correctement. [15]

Le port série permet la transmission des données entre 2 microcontrôleurs, le circuit périphérique qui gère cette fonction s'appelle un « UART ».

1. **La liaison série synchrone :** C'est celle qui autorise les plus grands débits. Elle consiste à transmettre les données avec une horloge permettant de synchroniser les deux équipements interconnectés. Elle est utilisée en général pour des débits supérieurs à 200 Kbits/s.

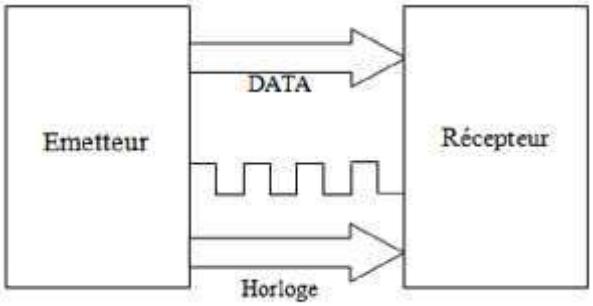


Figure II.6. Schéma de principe de la liaison série synchrone

2. La liaison série asynchrone : Cette liaison ne nécessite aucune transmission d'horloge entre l'émetteur et le récepteur. Elle peut émettre les messages (trames) n'importe quand pourvu que la ligne soit libre. Le récepteur se synchronise alors sur le début du message.

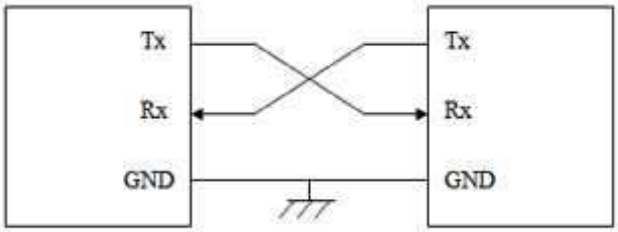


Figure II.7. Schéma de principe de la liaison série synchrone

II.2.1.7. La liaison UART :

UART pour « Universal Asynchronous Receiver Transmitter», est un émetteur/récepteur asynchrone universel. C'est l'élément qui gère la communication série asynchrone, il permet la gestion du port série, il se charge du transfert d'octets bit par bit vers le récepteur, et d'éliminé les bits de START et de STOP de chaque octet.

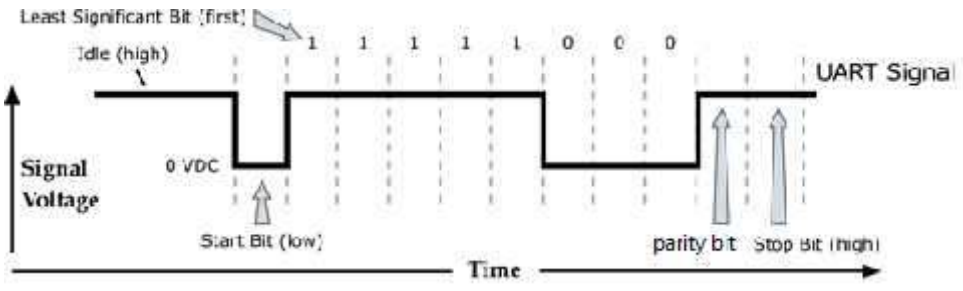


Figure II.8. Trame de données envoyée via le port série

Chaque paquet est constitué d'un bit START de niveau bas, suivi de 8 bits de données avec le bit de poids faible en premier, et enfin un bit STOP de niveau haut. La synchronisation des données et la vérification de la parité sont assurées par le module UART.

- La transmission s'effectue dans l'ordre suivant :

1- Au repos (IDLE) le niveau logique est à "1".

2- Début de la transmission par l'envoi d'un bit de START (niveau logique "0").

3- Envoi des bits de données, on commence par le bit de poids faible, et on termine par le bit de poids fort.

4- Envoi d'un bit de parité paire ou impaire.

5- Envoi d'un ou deux bits de STOP (niveau "1") indiquant la fin d'émission du caractère.

6- La ligne se retrouve alors en état de repos (niveau "1"), le cycle peut recommencer avec l'envoi d'un nouveau caractère.

Les niveaux de tension : Les niveaux de tension sont de type TTL soit 0V pour le niveau bas et +5V pour le niveau haut.

II.2.1.8. Liaison XBee-ATmega :

Les modules XBee peuvent être connectés à n'importe quel circuit présentant une liaison UART. La figure ci-dessous montre la liaison de l'XBee à un microcontrôleur :

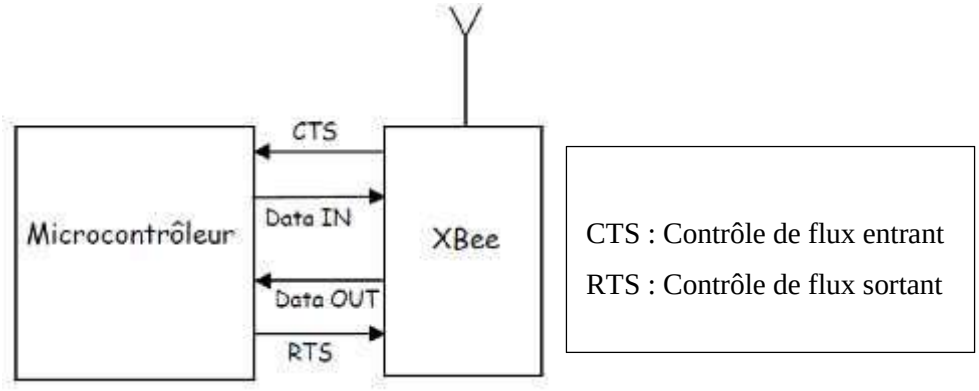


Figure II.9. Interfaçage du module XBee avec un microcontrôleur

- ***Principe :*** la communication avec le module XBee s'établit par une liaison série asynchrone. Une connexion minimale de quatre fils suffit :
  - ✓ Deux pour l'alimentation (+Vcc et GND).
  - ✓ Un pour la réception (RX) et un pour l'émission (TX).

Dans certaines situations, la simple connexion de TX et RX ne suffise pas pour assurer la délivrance des données. Dans ce cas, le contrôle de flux assure que rien ne soit perdu pendant la transmission. Les données sont stockées dans des tampons (buffers) des modules XBee pendant l'opération d'émission et de réception.

Le buffer est un espace de mémoire temporaire qui accumule et contient les données à transmettre jusqu'à ce qu'elles soient prêtes à être envoyées. Ils sont limités en taille et donc parfois besoin d'être gérés pour éviter de perdre les données importantes.

Les données restent en attente de transmission par la voie RF dans le buffer tandis que le module XBee reçoit des informations, car il ne peut pas parler et écouter en même temps.

En raison de la taille limitée du buffer, les microcontrôleurs ne seront pas toujours prêts à traiter les données venantes de l'XBee, ou pendant les périodes où le programme de microcontrôleur est occupé, dans ce cas un contrôle de flux est une nécessité.

- ***Le contrôle de flux :***

1. **Flux entrant :** le microcontrôleur envoi ses données vers le port DI (Data IN) du module XBee, ces données vont être mémorisées dans le buffer de réception et contrôlées par le signal CTS de la manière suivante :
   - ✓ Quand le buffer DI est plein, le signale CTS est mis à "1" pour signalé l'arrêt de l'envoi des données sur Data IN.
   - ✓ Dès que le buffer est libre, le CTS repasse à "0", les données peuvent être renvoyées sur Data IN.
2. **Flux sortant :** le microcontrôleur reçoit des données du port DO (Data OUT) du module XBee qu'étaient mémorisées dans le buffer d'émission et contrôlées par le signal RTS de la manière suivante :
   - Quand le buffer DO est plein, toute donnée envoyée par voie RF est perdue.
   - Quand le buffer de réception du microcontrôleur est plein, le signal RTS est mis à "1" pour signaler l'arrêt de l'envoi des données vers le microcontrôleur.
   - Dès que le buffer est libre, le RTS repasse a "0" les données ressortent du XBee par Data OUT.

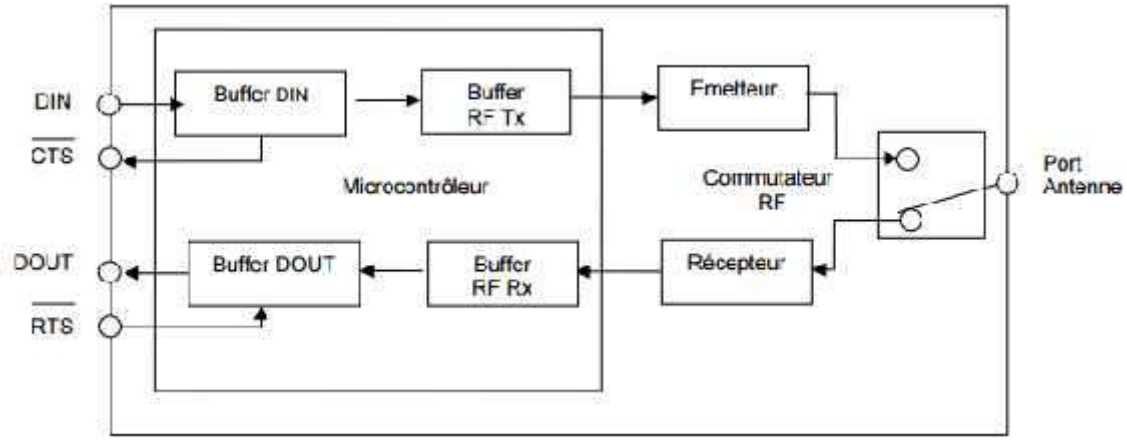


Figure II.10. Architecture interne du module XBee

Les états de fonctionnement : Il existe cinq états de fonctionnement :

- **Le mode IDLE (attente) :** correspond à l'état de repos.
- **Le mode émission :** c'est le mode dans lequel le module XBee est en état d'émission (envoie des données reçu par le buffer DIN).
- **Le mode réception :** c'est le mode dans lequel le module XBee reçoit des données par la voie RF.
- **Le mode commande :** c'est un mode utilisé par les modules XBee que nous allons détailler par la suite.
- **Le mode veille :** correspond à l'état de sommeil de l'XBee pour économiser l'énergie.

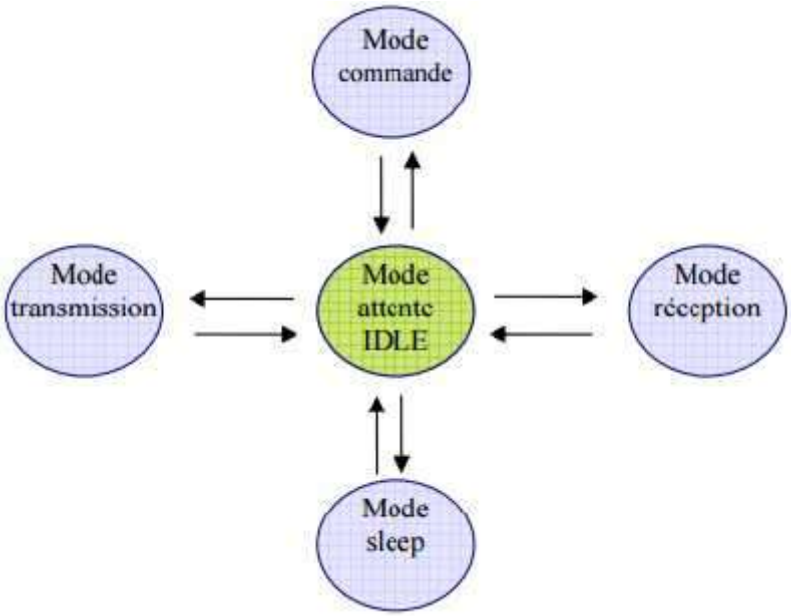


Figure II.11. Les états de fonctionnement du module XBee

II.2.2. Configuration des modules XBee :

Les modules XBee doivent êtres configurés avant de les utilisées, la configuration des modules ce fait par un outil de configuration qui s'appelle X-CTU sous Windows ou Mac.

II.2.2.1. La communication avec ordinateur :

Puisque la communication avec les modules XBee s'établit par une liaison série asynchrone, de type RS232 et la communication avec l'ordinateur s'établit avec le port USB, donc pour que les modules XBee puissent se communiqués avec l'ordinateur, il faut une adaptation RS232/Usb. Le circuit FT232 de la firme FTDI permet la conversion des signaux RX/TX d'un microcontrôleur vers le protocole USB.

La communication entre le module XBee et l'ordinateur se fait en deux étapes :

1. XBee vers FT232 : Liaison série asynchrone.
2. FT232 vers l'ordinateur : Liaison suivant le protocole USB.

Le circuit FT232 : il a la fonction de convertir le signal provenant d'un port USB vers un port série et l'inverse, il s'occupe de la gestion du protocole USB (très complexe à mettre en œuvre par rapport à la liaison RS232) en ne nécessitant que peu de composants externes, et en fournissant une véritable liaison série ensuite. La figure suivante montre le brochage du circuit FT232 :

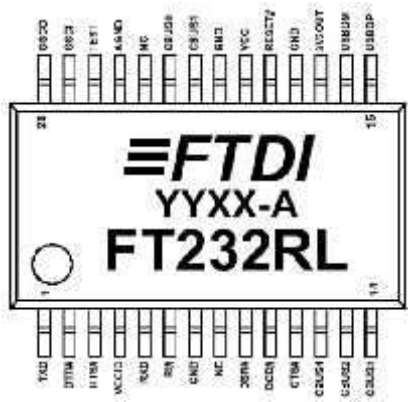


Figure II.12. Le circuit FT232

Il y a trois options pour établir une communication avec l'ordinateur:

1. **Communication à travers Arduino :** La plateforme de développement Arduino dispose d'un microcontrôleur ATmega, d'un circuit FT232RL, un port USB, et fourni une tension de +3.3V ce qui le rend idéal pour relié le module XBee à l'ordinateur.



Figure II.13. Communication à travers Arduino

2. **Communication à travers le « FT232R Breakout » :** le module d'interfacage FT232R Breakout est un circuit imprimé de petite dimension de Sparkfun, pour la conversion USB/série UART, il comporte un circuit FT232R et il dispose d'un port USB.



Figure II.14. Le Breakout FT232R

Ce petit module permet l'assemblage de l'XBee et le connecte à un ordinateur.



Figure II.15. Communication à travers le FT232R Braekout

3. **Communication avec l'USB Explorer :** l'USB Explorer de Sparkfun est un convertisseur USB/série simple à utiliser, il est chargé de la régulation de 3.3V, il est compatible avec tous les modules XBee, il suffit d'insérer un module XBee est de raccordé un câble mini-USB pour accéder directement au port série et aux broches de programmation de module XBee.



Figure II.16. Communication avec l'USB Explorer

II.2.2.2. Configuration avec X-CTU :

Une fois le module XBee est connecté à l'ordinateur, il ne reste qu'a le configuré pour pouvoir communiqué avec d'autre modules.

Le logiciel X-CTU : (Configuration and Test Utility) c'est un logiciel de Digi International (le concepteur des modules XBee), c'est un outil de configuration des modules XBee disponible à télécharger gratuitement.

Ce logiciel est conçu pour interagir avec les fichiers du firmware trouvés sur les modules RF de Digi et de fournir une interface graphique simple pour les utilisateurs, il permet d'ouvrir le port série associé au module XBee qui y est relié, de lire, écrire et modifier les paramètres du module XBee.

Avec un module XBee connecté à l'ordinateur, et après installation du logiciel X-CTU, on lance le X-CTU, l'onglet "PC Settings" est par défaut afficher de la manière suivante :

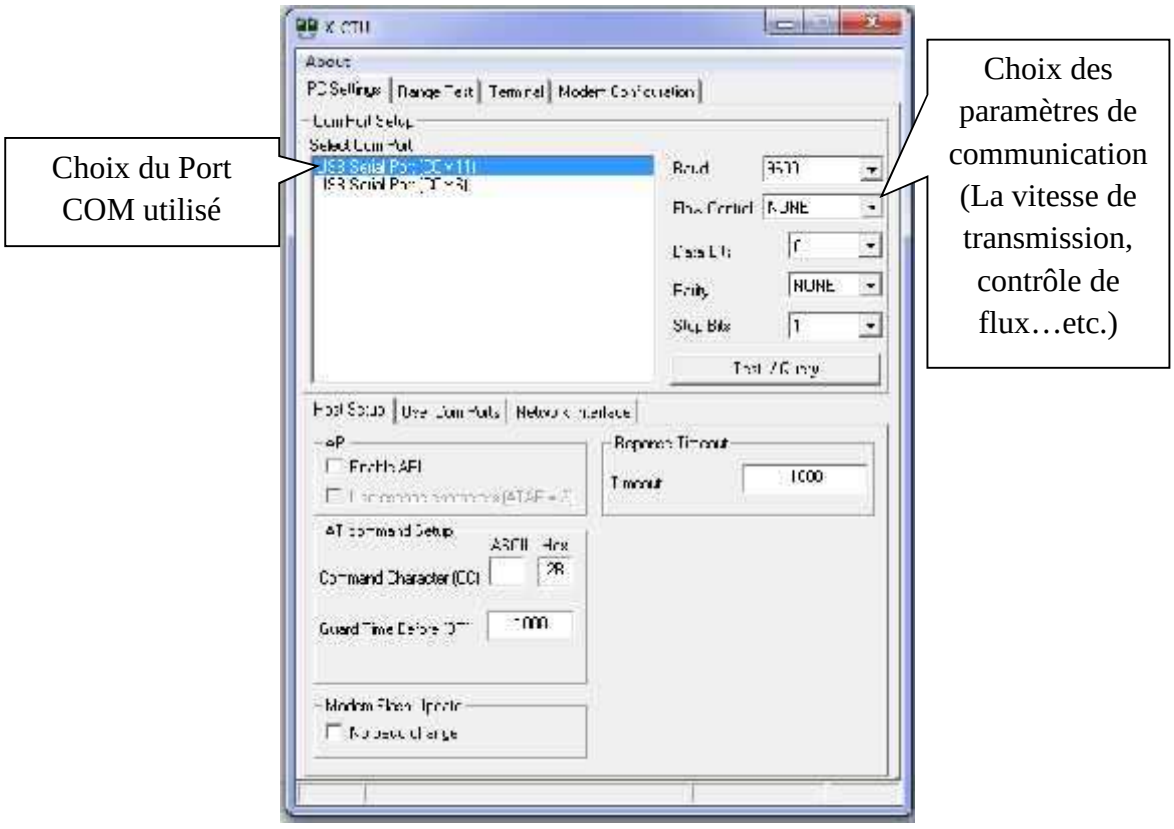


Figure II.17. Menu principal du logiciel X-CTU

Apres avoir sélectionné le port COM et choisir les paramètres de communication, on clique sur le bouton "Test / Query" pour vérifier que la communication avec l'XBee est établie.

Si la communication est établie, la fenêtre suivante s'affiche indiquant le type, la version du firmware et le numéro de série du module utilisé.

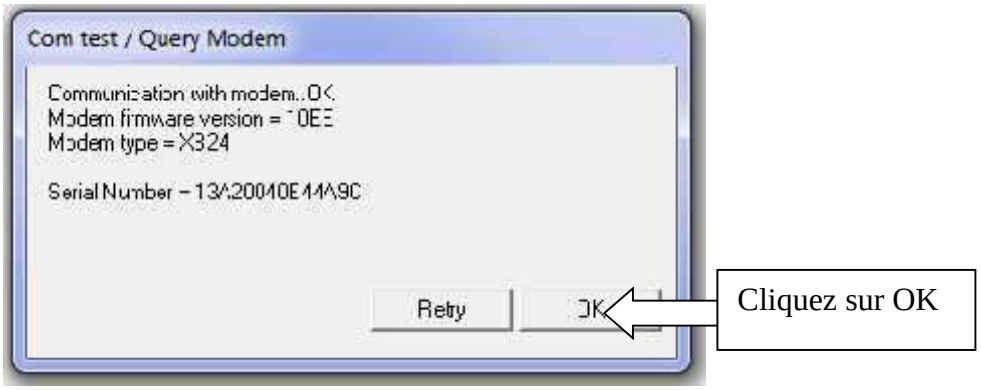


Figure II.18. Test de communication avec les modules XBee

Par la suite il faut sélectionner l'onglet "Modem Configuration" pour configurer le module.

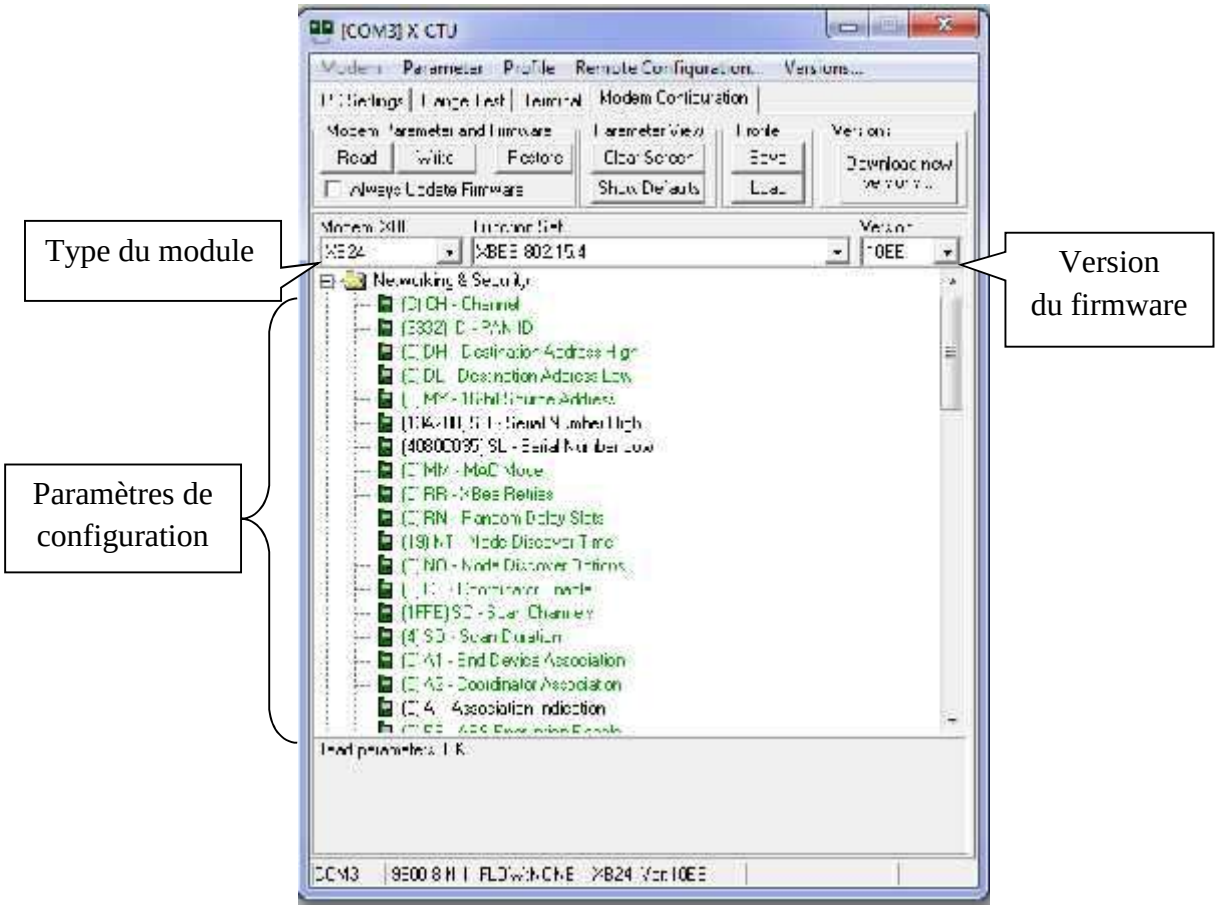


Figure II.19. Menu de configuration

Lorsqu'on clique sur le bouton "Read", le X-CTU va lire et afficher les paramètres déjà inscrits sur le module XBee. Il est nécessaire de configurer au moins les paramètres suivants :

- **CH-Channel :** C'est le numéro du canal utilisé par les modules pour communiquer.
- **ID-PAN ID :** C'est l'identifiant du réseau personnel, il permet au module de communiquer seulement avec les modules qui se trouvent dans le même canal et qui portent le même PAN ID, par défaut sa valeur est de 3332.
- **DH-Destination Address High** et **DL-Destination Address Low :** C'est les parties hautes et basses des adresses des correspondants.
- **MY-16-bits Source Address :** C'est l'adresse source, elle représente les 16 bits de poids faible.
- **CE–Coordinator Enable :** C'est le type du module (Coordinateur, End Device).

Une fois que tous les paramètres sont modifiés il faut les sauvegarder dans l'EEPROM du module XBee en cliquant sur le bouton "Write".

II.2.3. Les modes de fonctionnement des modules XBee :

Les modules XBee peuvent fonctionnées sous deux modes :

- Le mode transparent (commandes AT).
- Le mode API.

II.2.3.1. Le mode transparent (La commande AT) :

Ce mode est le mode de fonctionnement par défaut, c'est le plus simple à configuré où les données sont directement envoyées/reçues par le module XBee, ce mode utilise les commandes AT pour la configuration des modules.

La commande AT appelée aussi « Commande Hayes », à pour but de standardiser les configurations de modem branché sur port série.

- **Configuration en mode AT :**

La syntaxe des commandes AT correspond au format ci-dessous :

"AT" + "ASCII commande" + "Espace" (Optionnel) **+ Paramètre** (Options, HEX) **+ CR**

La configuration des modules XBee en mode "AT" avec le logiciel X-CTU :

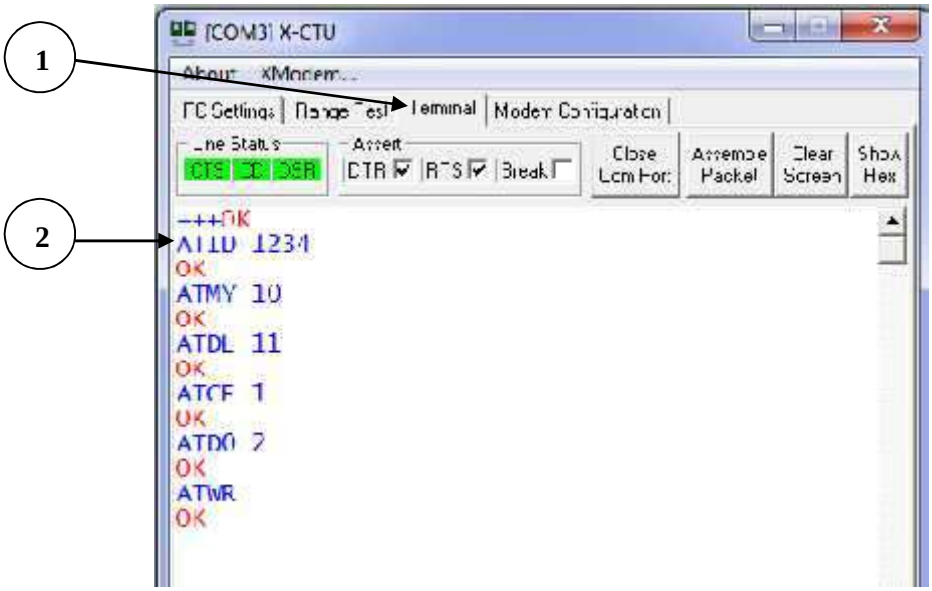


Figure II.20. Configuration avec les commandes AT

1- On clique sur l'onglet "Terminal".

2- On envoie "+++", le message "OK" devrait afficher comme indiquer sur la figure, ce message indique que le module XBee est en mode « commande AT » et prêt à recevoir les instructions de configuration. Chaque instruction de configuration est constituée de deux caractères "A" et "T" suivi de deux caractères spécifiques à la commande suivi d'un paramètre de configuration optionnel. [16]

II.2.3.2.Le mode API :

API « Application Programming Interface », ce mode est plus puissant et plus compliquer, il consiste à concevoir les trames à envoyer par l'utilisateur, il donne la possibilité de modifier les paramètres sans passer en mode de commande.

- **Configuration en mode API :** Pour communiquer en mode API, il faut que tous les modules (Coordinateur et End Device) doivent être en mode API. Le logiciel X-CTU permet la configuration en mode API.

Sur l'anglet "Modem Configuration", choisir AP-API Enable à "1", et compléter les modifications nécessaire.



Figure II.21. Configuration du mode API

II.3. Analyse des trames :

II.3.1. La structure de la trame XBee :

Les données échangées entre les modules XBee sont sous forme de trame, la visualisation de cette trame se fait par le terminal du logiciel X-CTU.

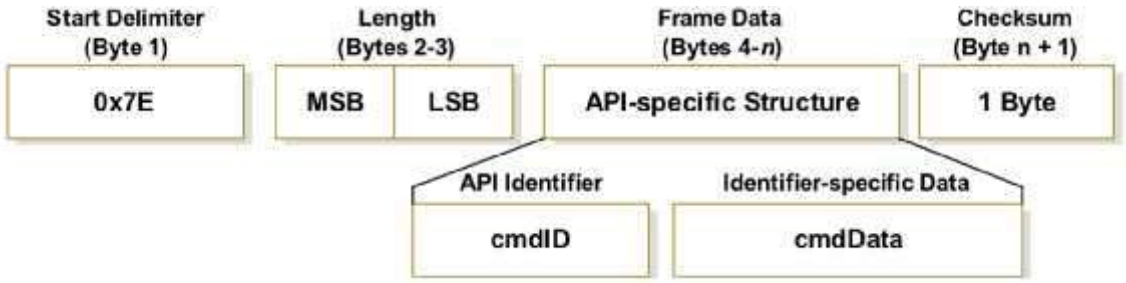


Figure II.22. Structure de la trame API.

La trame est constituée des champs suivants :

- **Start Delimiter :** Début de la trame est toujours 0x7E.
- **Length :** Définit la longueur totale de la trame sans le Checksum.
- **API Identifier :** Définit le type de la trame (mode API, commande AT).
- **cmdData :** Données spécifiques selon la commande désirée.
- **Checksum :** Permet de contrôler la bonne réception de la trame.

II.3.2. Exemple d'une trame API

Soit la trame suivante :

7E 00 0F 17 00 13 A2 00 40 8A 0D 2E FF FE 00 03 00 FF 2F

- **7E :** Début de la trame.
- **00 0F :** Langueur de la trame : nombre d'octets entre length et le chucksum.
- **17 :** Identificateur API.

- **00 13 A2 00**
- **40 8A 0D 2E**

} 64-bit d'adresse du périphérique de destination.

- **FF FE :** 16 bits d'adresse source.
- **00 03 00 FF :** Data.
- **2F :** Checksum, somme de tous les octets sauf 7E 00 10. (FF-(la somme des octets)).

Checksum = FF – (17+ 13 + A2 + 40 + 8A + 0D + 2E + FF + FE + 03 + FF) = 2F

II.3.3. La communication RF :

Les modules XBee communiquent entre eux par voie radio fréquence, basée sur le protocole de communication ZigBee. Les modules XBee présentent une puissance de sortie RF jusqu'à 60 mW, la portée de ces dernier est variable suivant la version du module utilisé, elle peut atteindre plus de 1500 m en zone dégagé (sans obstacle) pour les module XBee Pro, concernant la portée d'intérieur elle peut atteindre les 90 m.

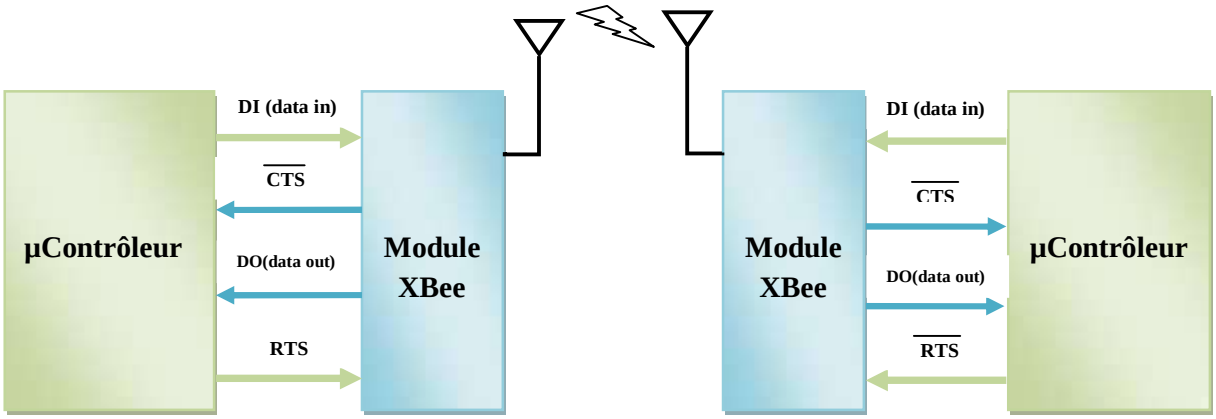


Figure II.23. Système de communication RF utilisant des modules XBee

La création d'un réseau ZigBee avec les modules XBee se fait par la configuration de ces derniers.

Avant de commencer la configuration par le logiciel de configuration, il est nécessaire de choisir un canal et un PAN ID: [17]

- Tous les modules sur le même réseau doivent avoir le même canal ;
- Tous les modules sur le même réseau doivent avoir le même PAN ID ;
- Le PAN ID doit être unique est différent du PAN ID des réseaux avoisinants ;
- Les valeurs possibles sont de 0 à FFFF (en hexadécimal).

La figure suivante montre un canal qui contient plusieurs réseau personnel (PAN) sans avoir des interférences, même si les entités réseau ayant la même adresse source/destination.

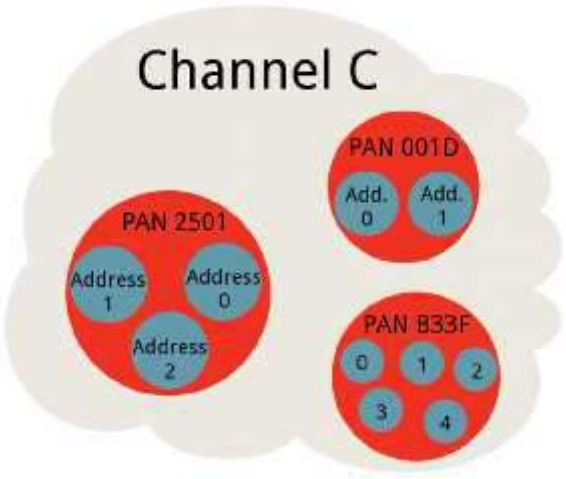


Figure II.24. Canal de communication RF

Les modules XBee peuvent fonctionner suivant 2 modes réseau:

1. **Le mode "PEER TO PEER" (sans maître) :** Chaque module du réseau peut tenir le rôle de maître ou d'esclave. Chaque module est configuré comme un "END DEVICE".

Il faudra également mettre le même PAN ID (identificateur du réseau personnel) et le même canal RF.

2. **Mode "Avec coordinateur" :** Dans ce cas un module sera le coordinateur du réseau (maître). Les autres modules seront des "End Device" (esclaves).

Chaque module du PAN aura un ID qui sera le même pour tout le PAN. Ce PAN ID devra être unique pour éviter des communications entre les autres PANs.

II.3.4. Exemple de simulation :

Pour bien comprendre les échanges de données entre modules XBee, nous avons fait une petite simulation, utilisant le logiciel ISIS de Proteus où on peut afficher le contenu d'une trame, définir sa taille et extraire sa charge utile (données utiles envoyées).

Puisque on ne peut pas simuler avec les modules XBee sous Proteus. On peut les remplacer par une liaison série utilisant deux moniteurs séries et deux Arduino Nano (que nous avons détaillé dans le chapitre suivant).

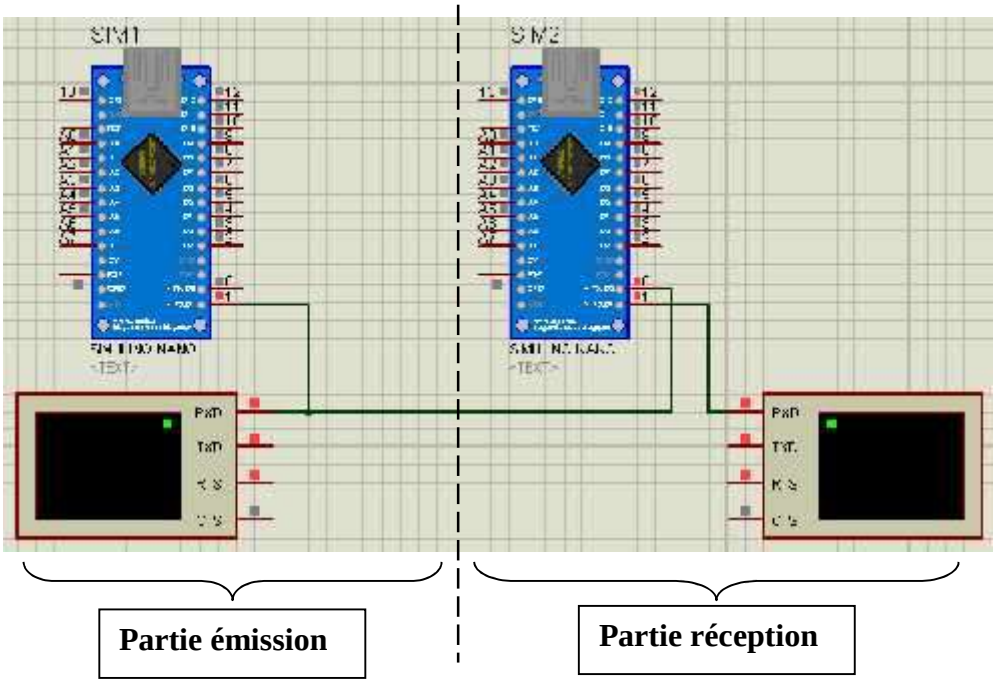


Figure II.25.Simulation d'une communication avec trames ZigBee

- **Partie émission :** Consiste à construire une trame pour envoyer le message "HELLO".
- **Partie réception** : Permet la réception et l'extraction et la visualisation du la trame reçu.

➢ **Programme de la partie émission :**

```
void setup() {
    Serial.begin(9600);
}
void loop() {
  // construction de la trame
    Serial.write(0x7E);
    Serial.write(0x00);
    Serial.write(0x0A);
    Serial.write(0x17);
    Serial.write((byte)00);
    Serial.write((byte)00);
    Serial.write((byte)00);
    // début de la données utile ("HELLO" en héx)
    Serial.write(0x48);
    Serial.write(0x45);
    Serial.write(0x4C);
    Serial.write(0x4C);
    Serial.write(0x4F);
    // fin de la données utile
    Serial.write(0xFF);
    long checksum = 0x17 + 0x48 + 0x45 + 0x4C+ 0x4C + 0x4F + 0xFF;
    // calcul de chucksum
    Serial.write(0xFF - (checksum & 0xFF));
    while(Serial.available());
    Serial.write(Serial.read());
    delay (2000);
    }
```

➢ **Programme de la partie réception :**

```
byte p[3];
int numOctets = 0;
void setup() {
Serial.begin(9600);
}
void loop() {
if (Serial.available()>13){
if (Serial.read()==0x7E){
{
p[1] = Serial.read();
Serial.print("Poid fort de la trame: ");
Serial.println(p[1],HEX); // MSB
p[2] = Serial.read();
Serial.print("Poid faible de la trame: ");
Serial.println(p[2],HEX); // LSB
numOctets = p[1]<<8|p[2] ;
Serial.print("Taille de la trame en decimale: ");
Serial.println(numOctets);
}
int tab[0];
Serial.print("Donnees utile: ");
for (int i=0;i<numOctets-1;i++){
tab[i]= Serial.read();
if(i >= numOctets-6){
Serial.print(tab[i],HEX);
Serial.print(",");
}}
Serial.println();
}}}
```

➢ **Résultat de la simulation :** nous avons obtenus les résultats suivants :



Figure II.26. Résultat de la simulation (Message envoyé à l'émission à gauche, Résultat à la réception à droite)

II.4. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons abordé les liaisons de communication des modules XBee (communication RF, liaison UART…), l'interfaçage avec le microcontrôleur ATmega, ainsi que la configuration et le teste avec le logiciel X-CTU. Pour montrer l'intérêt et l'utilité de ce type de modules nous avons opté pour la conception d'une application dans le domaine de la domotique qui fera l'objet du chapitre suivant.

Chapitre III : Réalisation et mise en marche

III.1. Introduction

Dans ce dernier chapitre, nous allons présenter d'abord la conception de notre application composée de trois nœuds (End Device) et une station de base (Coordinateur) représentés par des modules XBee, utilisant des capteurs analogiques et numériques et un lecteur RFID, ensuite nous allons montrer quelques schémas électriques et leurs fonctionnements puis le développement des PCB.

III.2. Principe de fonctionnement de l'application

La figure suivante montre le schéma de principe de notre application :

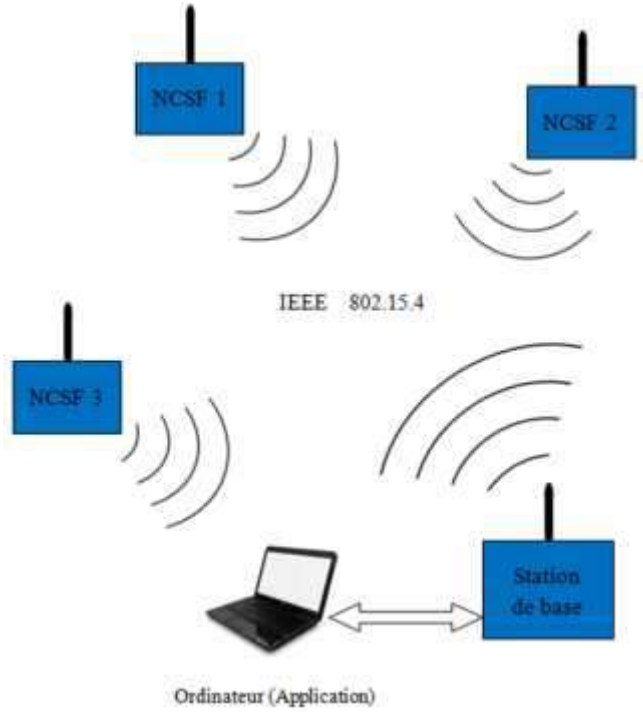


Figure III.1. Schéma de principe de l'application

L'application est composée d'une station de base (nœud de type collecteur) connectée à un ordinateur et de trois nœuds de capteurs sans fils (de type source).

Le premier nœud (N1) capte la température et l'humidité de l'environnement, le deuxième (N2) a le rôle d'ouvrir et de fermer une serrure électrique par la technologie RFID, et le troisième (N3) détecte le mouvement et l'ouverture d'une porte ou une fenêtre.

Chaque nœud terminal envoie ces données vers la station de base (Coordinateur). Cette dernière est connectée à un ordinateur, via une liaison filaire (USB), munie d'une interface d'utilisateur pour visualiser et traiter les données reçues.

Chaque nœud mesure sa grandeur physique et la transforme en signal électrique, lequel est transmis à la station de base via une liaison RF suivant le protocole de communication ZigBee (802.15.4).

La station de base reçoit ces données qui les traite puis les visualise via une interface d'utilisateur sur un ordinateur.

II.2.1. Etude des différents éléments de l'application :

Notre application est constituée d'un ensemble d'éléments qui sont illustrés par les schémas synoptiques suivants :

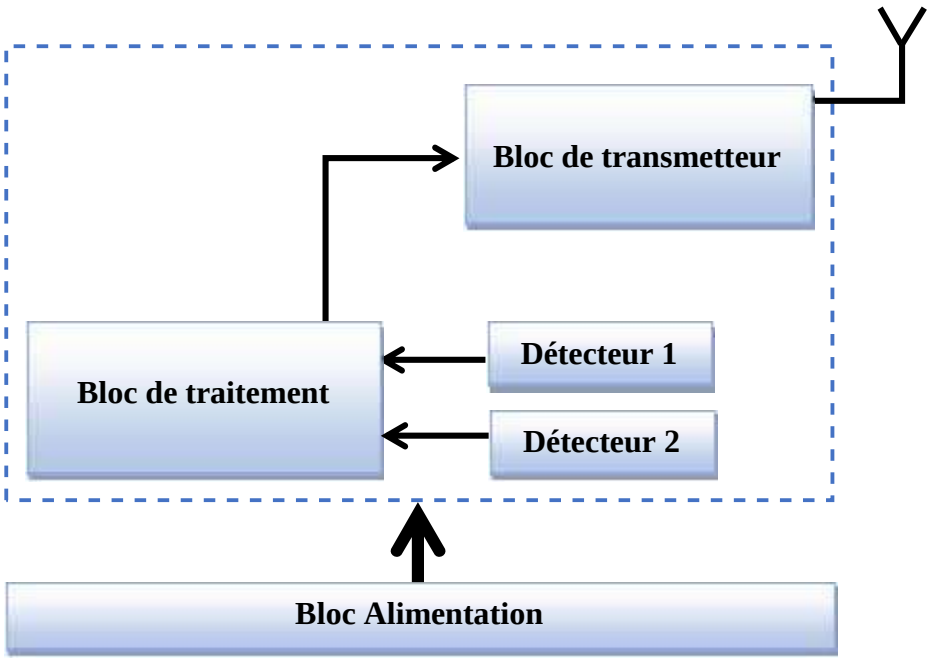


Figure III.2. Schéma synoptique d'un nœud terminal

La figure suivante monte le schéma bloc de notre station de base :

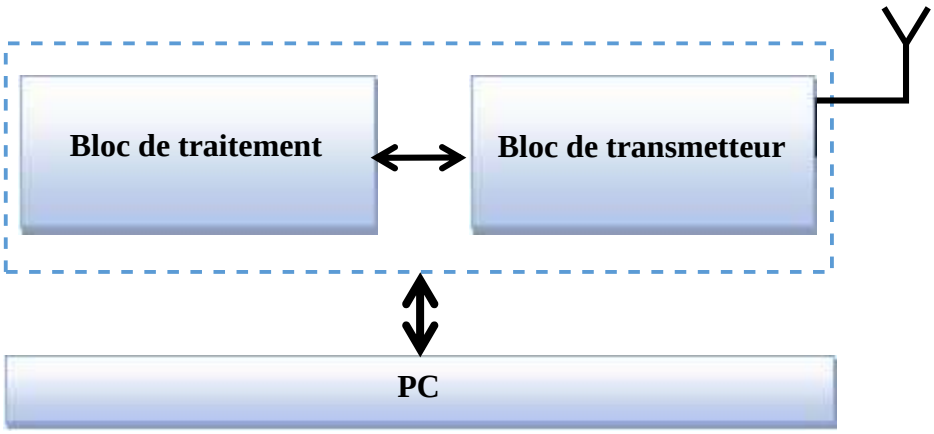


Figure III.3. Schéma synoptique de la station de base

1. Bloc détecteur

Ce bloc a pour rôle le prélèvement d'information d'un phénomène déterminé (Température, humidité, mouvement…etc.).

Nous avons choisis d'utiliser des capteurs analogiques et d'autres numérique, pour cela, notre choix a été orienter vers les fameux capteurs de température LM35DZ, d'humidité HIH4030, le détecteur de mouvement PIR et le capteur logique ILS.

Le capteur de température LM35DZ

Est un capteur à circuit intégré de type analogique de *National Semiconductors* de faible dimension, qui permet la mesure de la température extérieur.

Sa principale particularité est que sa tension de sortie est linéairement proportionnelle à la température mesurée exprimée en degrés Celsius (la sensibilité est de 10mV/°C).

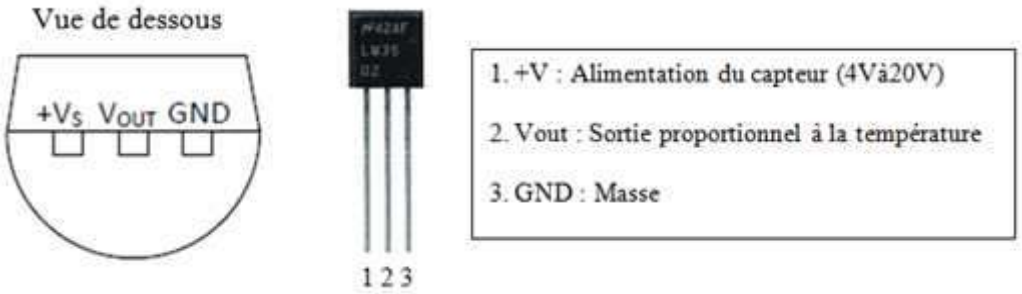


Figure III.4. Capteur LM35DZ

Le capteur d'humidité HIH-4030

Le capteur d'humidité (HIH-4030) platine de Sparkfun, est une platine contenant le capteur de l'humidité Honeywell HIH-4030.

Le capteur d'humidité HIH-4030 mesure l'humidité relative (%HR) et elle est livrée en une tension de sortie analogique (proportionnelle à l'humidité de l'environnement à 25°C, avec 30.680 mV/%RH).

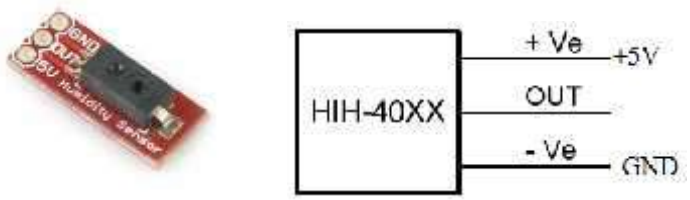


Figure III.5. Le capteur d'humidité HIH-4030 et son brochage

La figure (III.6) montre le schéma électrique du nœud des capteurs LM35DZ et le HIH-4030 :

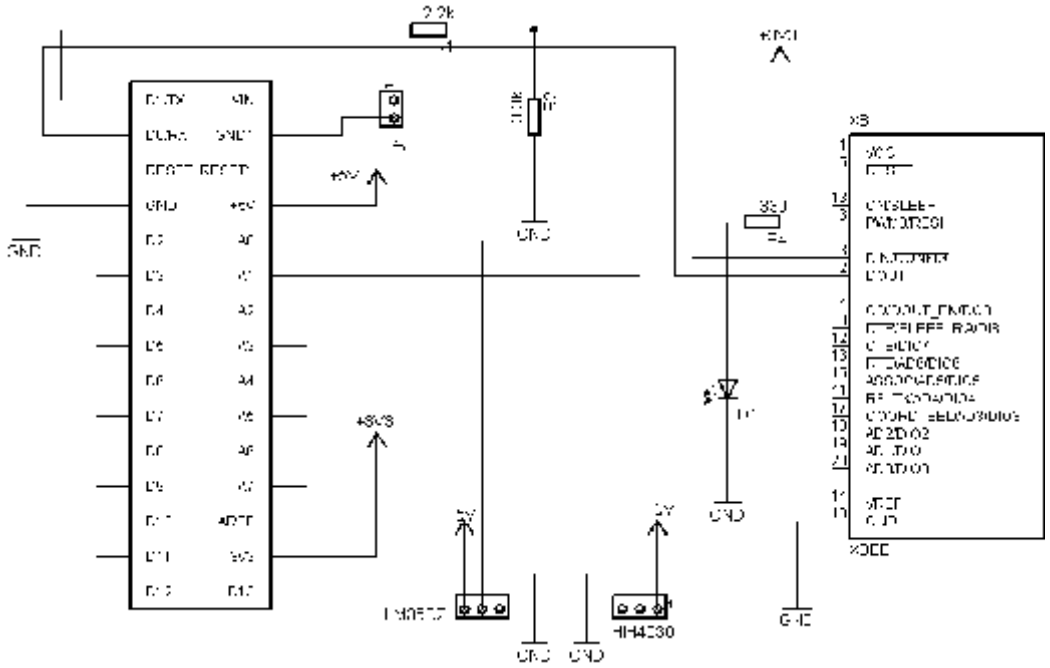


Figure III.6. Schéma électrique du nœud de capteur de la température et l'humidité

Ce montage est alimenté par une pile de 9V DC à travers l'arduino nano, qui permet de fournir une tension de 5V pour les capteurs LM35DZ et le HIH-4030 et de 3.3V pour l'XBee.

Les deux capteurs sont alimentés par une tension de 5V, l'arduino lit les valeurs analogique de la température et l'humidité par les entrées A0 et A1 respectivement.

Les résistances R1 et R2 sert à diviser la tension sortante de la broche Tx de l'arduino pour obtenir 3.3V à l'entrée DIN de l'XBee.

La LED D1 sert à indiquer l'état de la transmission.

Le détecteur PIR :

« Passive InfraRed sensor » est un détecteur de mouvement simple, il est opérationnel deux secondes après sa mise sous tension, la broche "Alarme" est au niveau haut, s'il détecte un mouvement la broche passe au niveau bas.

Ce capteur fonctionne parfaitement avec une alimentation comprise entre 5 et 12V.

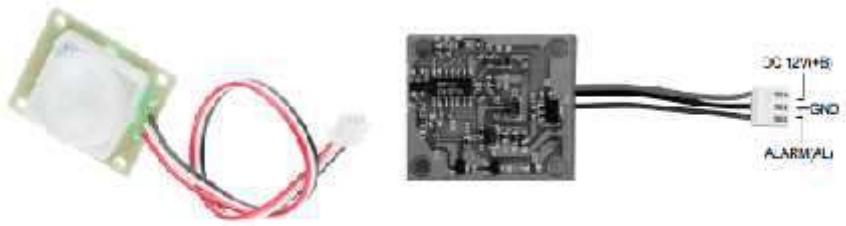


Figure III.7. Capteur de mouvement PIR

Le capteur ILS :

ILS (Interrupteur à Lame Souple), est un capteur présentant deux états (0 et 1) dont le modèle est le contact ouvert ou fermé. Son importance est notoire dans de nombreux domaines. Ils interviennent souvent en tant qu'éléments de sécurité.[18]

Lorsqu'un aimant est dans le champ d'action de ce capteur, les deux lames se touchent, il est donc activé.

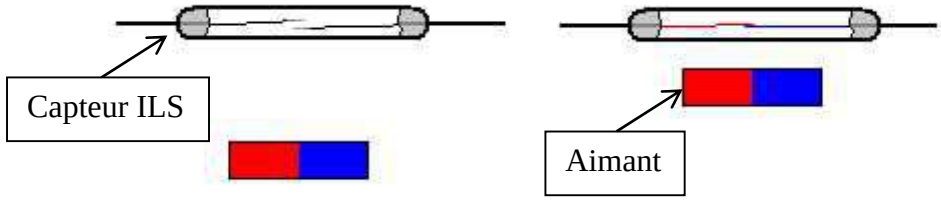


Figure III.8. Schéma de principe d'un capteur ILS

2. Bloc de traitement

Les données fournis par le bloc de détection sont envoyées vers une carte à microcontrôleur, ce dernier s'occupe du traitement à effectuer sur les données reçues, de la gestion et de la configuration des différents capteurs.

3. Bloc transmetteur

Au niveau du Nœud, ce bloc à la possibilité de faire la conversion analogique/numérique, il transmit les données reçues à son buffer du bloc précédent à la station de base par voie RF.

Au niveau du coordinateur (station de base), il collecte les données venant des Nœuds, puis il les transférer vers le bloc de traitement. Par la suite elles sont envoyées vers l'ordinateur pour le stockage et la visualisation.

La figure (III.8) montre le schéma électrique du nœud des capteurs PIR et ILS:

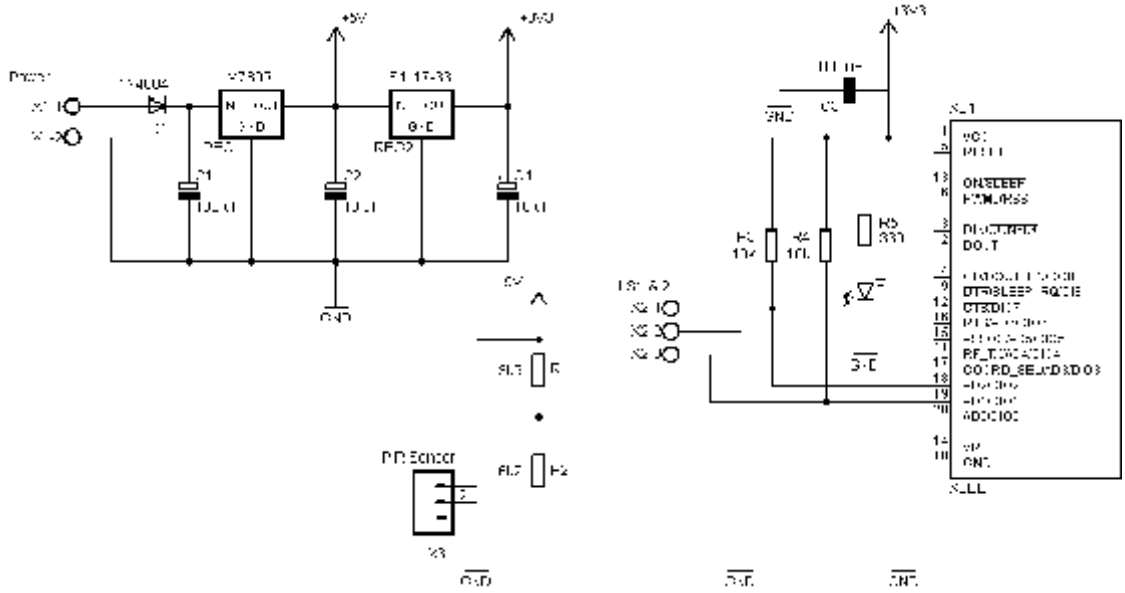


Figure III.9. Schéma électrique du nœud des capteurs logiques

Ce montage est alimenté par une pile de +9V DC, passant par un régulateur de tension de +5V le courant arrive au régulateur, ce dernier se charge de réguler la tension à +5V pour alimenter les capteurs, ainsi qu'un autre régulateur de 3.3V pour l'alimentation du module XBee.

Les capteurs envoient leurs grandeurs vers les entrées DIO0 et DIO1 de l'XBee pour pouvoir les envoyer au coordinateur par la voie RF.

Schéma électrique de la station de base :

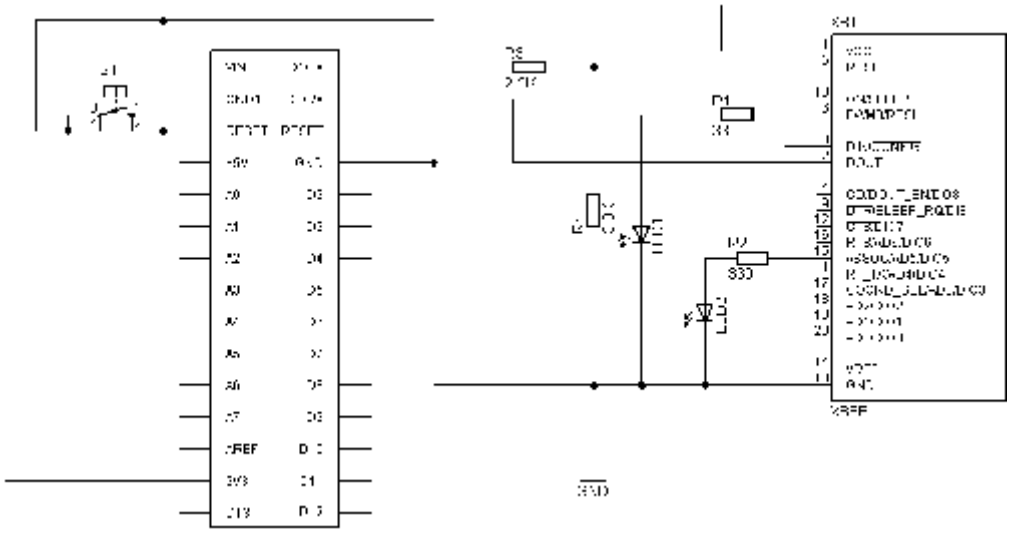


Figure III.10. Schéma électrique de la station de base

Ce montage est relié avec le PC à travers le port USB de l'arduino, qui permet d'alimenté tout le montage.

Le module XBee collecte ses informations puis les transmettre à l'entrée Rx de l'arduino à travers la sortie Dout. L'arduino transfert ces données vers l'ordinateur par le port USB. Dans le sens opposé, la transmission doit passer par un pont diviseur de tension (Résistance R3 et R4).

Le bouton poussoir S1 sert à la remise à zéro (reset) de l'arduino.

4. Bloc alimentation

Les Nœuds sont alimentés par une batterie de 9VDC et le coordinateur par l'ordinateur à travers un câble USB.

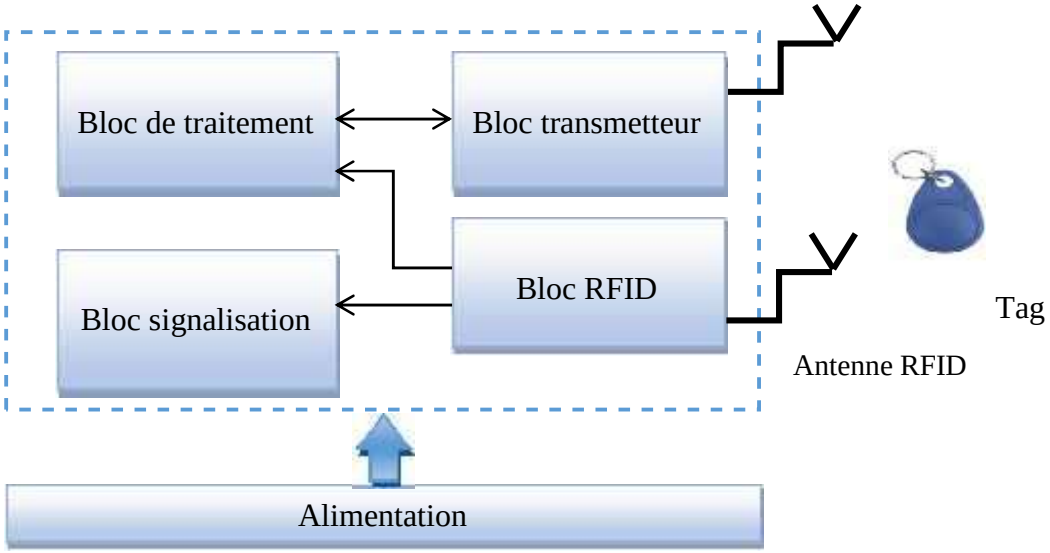


Figure III.11. Schéma bloc du nœud RFID

5. Bloc RFID

Ce bloc a pour rôle la récupération des informations inscrites sur le transpondeur RFID au moyen d'un module au format DIL de faible dimension appelée « OEM RFID UM-005 » qui contient toutes l'électronique nécessaire à la mise en œuvre et le développement d'une application RFID.

***Le module UM-005* :** c'est un lecteur de faibles dimensions (37 x 18 mm), à base d'un microcontrôleur 8 bits préprogrammé ne nécessitant qu'une alimentation de +5 V et une antenne externe pour fonctionner. Il dispose d'une sortie LED, d'une sortie Buzzer et d'une sortie série (format RS-232 aux niveaux logiques TTL).

Ainsi il enverra une suite d'octets relatifs au "code usine" préconfiguré sur chaque transpondeur que l'on passera devant l'antenne associé au module.



Figure III.12. Le module UM-005

Caractéristiques techniques du module UM-005 :

Le tableau (III.1) résume les caractéristiques techniques du module les plus importantes:

Tableau III.1. Caractéristique du module UM005

Alimentation	4.5 à 5.5 V
Consommation	5 à 55mA
Fréquence RFID	125 kHz
Type de modulation de données	Manchester
Distance de lecture max	12 cm (suivant le type d'antenne et de tag utilisés)
Vitesse de transmission des données émise par le tag	1958 bps
Nombre max de lecture	2 lectures / sec
Sortie série	9600 bps / 8 bits / 1 stop / sans parité / niveau TTL

6. Bloc signalisation :

Il est très intéressent d'ajouter des indications sonores et lumineux à notre montage afin de le rendre plus conviviale et plus simple à utiliser, ainsi on a réalisé un simple bloc de signalisation composé d'une LED qui indique visuellement à l'utilisateur la lecture d'un transpondeur et d'un Buzzer le quelle émet un signal sonore à chaque acquisition.

7. Bloc traitement :

Ce bloc est à base d'un microcontrôleur (nous avons choisis d'utiliser un Arduino Nano) pour la sélection des tags autorisés.

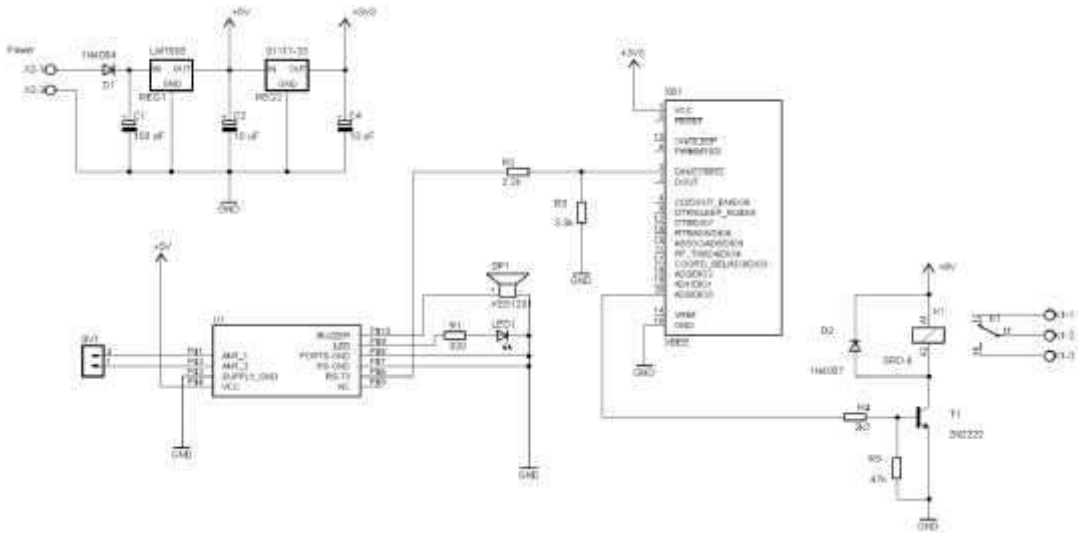


Figure III.13. Schéma électrique du nœud de capteur RFID

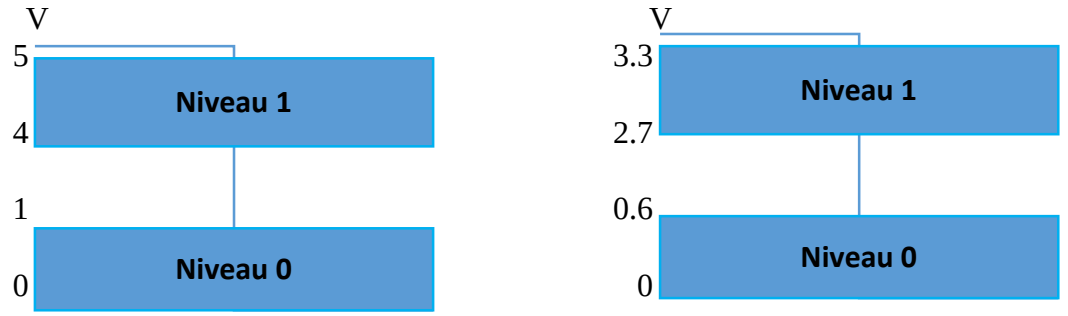
Le module XBee n'est pas au pas standard de 2.54mm entre les broches, alors il est impossible de le mettre sur une plaque d'essai, ce qui rend nos essais assez délicates, pour cela nous avons réalisé un adaptateur pour les modules XBee qui permet de facilité les essais.

Il est constitué principalement de :

- Un circuit intégré 74AHC125.
- Deux supports d'un pas de 2mm pour XBee.
- Un régulateur de tension de 3.3V pour alimenter le module XBee.
- 2 LED : une pour indiquer le branchement du module XBee, et une autre pour l'état de la transmission.
- Des E/S: +3.3V, CTS, Tx, Rx, +5V, RTS, GND, Reset, DTR.

Le module XBee délivre ou accepte un état logique 1 pour une tension comprise entre 2.7 et 3.3V, et un état logique 0 pour une tension comprise entre 0 et 0.6V

Par contre, la plus part des microcontrôleurs délivrent ou acceptent un état logique 1 pour une tension entre 4 et 5V et un état logique 0 pour une tension entre 0 et 1V.



a. Les niveaux logiques du microcontrôleur

b. Les niveaux logiques du module XBee

Figure III.14. La différence des niveaux logiques

Puisque les niveaux de tension ne sont pas les mêmes, il est nécessaire de faire une adaptation des niveaux utilisant le circuit intégré 74AHC125N.

Le circuit intégré 74AHC125N

C'est un circuit intégré, il permet de relier deux dispositifs 3.3V et 5V en toute sécurité pour que la donnée soit la même dans les deux niveaux. On dit alors qu'il est un adaptateur de niveau logique.

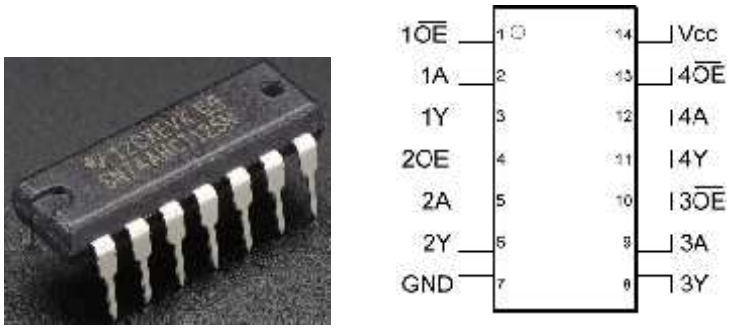


Figure III.15. Le circuit intégré 74AHC125N et son brochage

La figure III.16 montre le schéma électrique de l'adaptateur XBee :

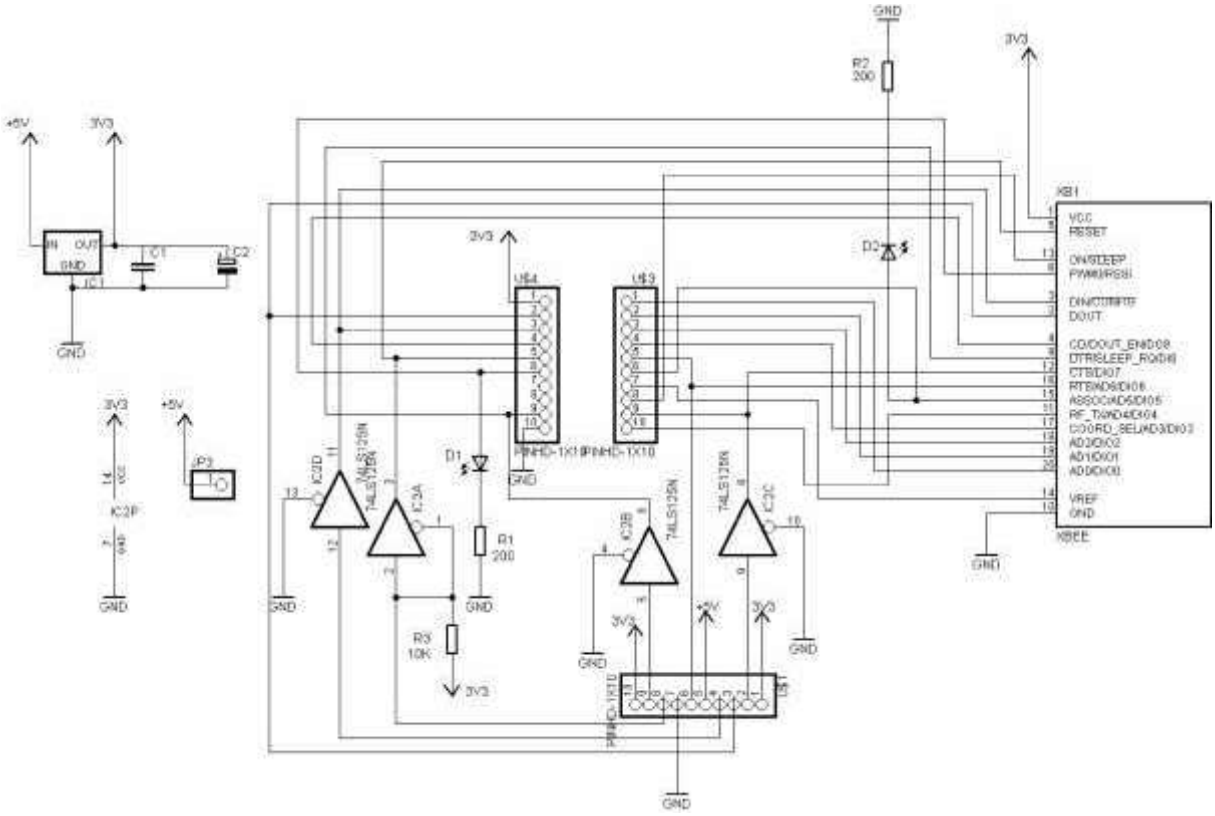


Figure III.16. Schéma électrique de l'adaptateur

III.3. Réalisation du circuit imprimé du montage (PCB)

III.3.1. Présentation du logiciel EAGLE

« Easily Applicable Graphical Layout Editor » est un logiciel professionnel de conception assisté par ordinateur de circuits imprimés permettant de créer des schémas électriques et de réaliser les PCB « Printed Circuit Board » de ces schémas allant des PCBs simple face aux multicouches (jusqu'a 16 couches).

Il comprend un **éditeur de schémas**, qui permet la saisie des schémas électriques, un **éditeur de Layout** qui permet d'éditer les PCB avec des fonctions de routage automatique et manuelle et un **éditeur de Librairies** fort efficaces qui sert à éditer les symboles électrique et les boitiers des nouveaux composants. La figure ci-dessous représente l'interface principale du logiciel EAGLE.

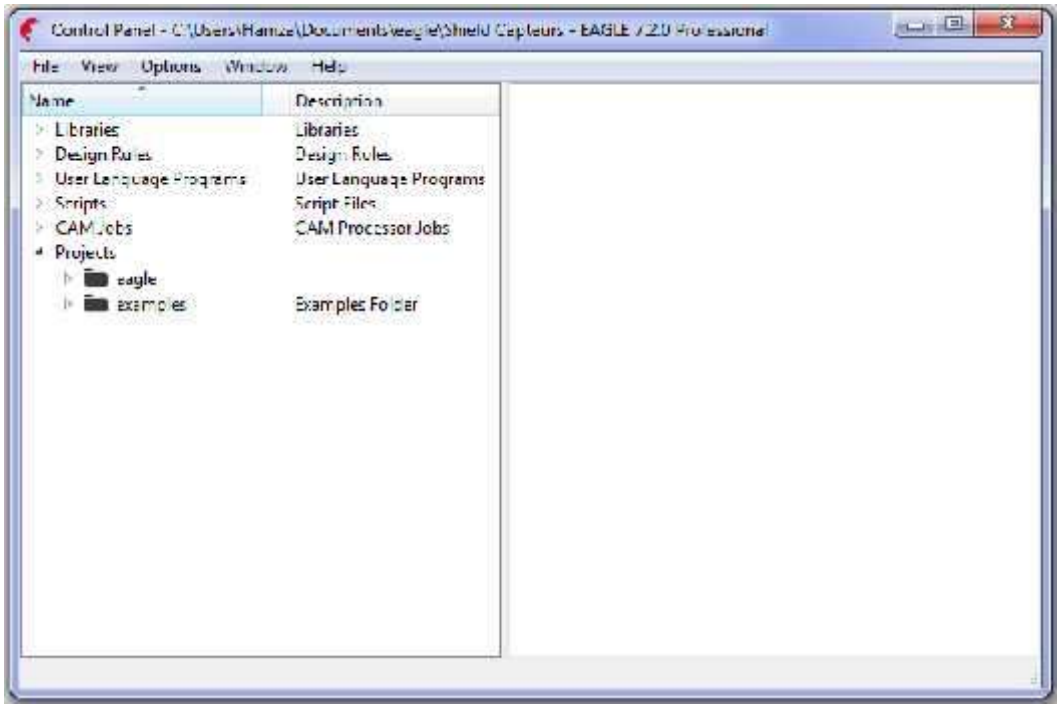


Figure III.17. L'interface du logiciel EAGLE

Bien que EAGLE soit payant, une version limité de ce même logiciel est disponible gratuitement.

Cette version gratuite limitée à des cartes simple et double faces (couches top et bottom) d'une dimension maximale de 100 x 80mm. Malgré cette limitation, la version gratuite du logiciel est efficace et elle est très populaire dans le milieu des électroniciens amateurs. Cette version fonctionne avec Windows, Linux et Mac, elle possède un outil qui contrôle les erreurs (exemple: composant non relié) et signale des warning « avertissement » (exemple : un noeud non placé, un composant non référencié,…).

Elle comprend un outil de routage automatique, offrant la possibilité de faire un routage en simple face ou en double faces, elle possède des librairies de composants qui peuvent être étendues. Il est possible de dessiner soi-même de nouveaux composants comme le cas de notre module UM-005 où nous avons été amenés à créer sa librairie. [19]

Les deux figures ci-dessous nous donnent un aperçu de l'interface de l'éditeur de schéma et celui de l'éditeur de routage.

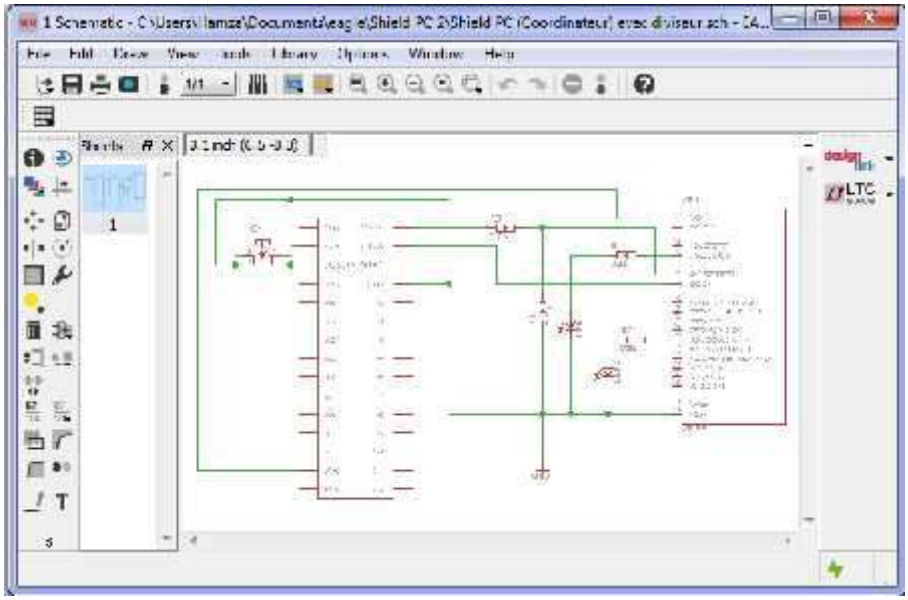


Figure III.18. L'éditeur de schémas

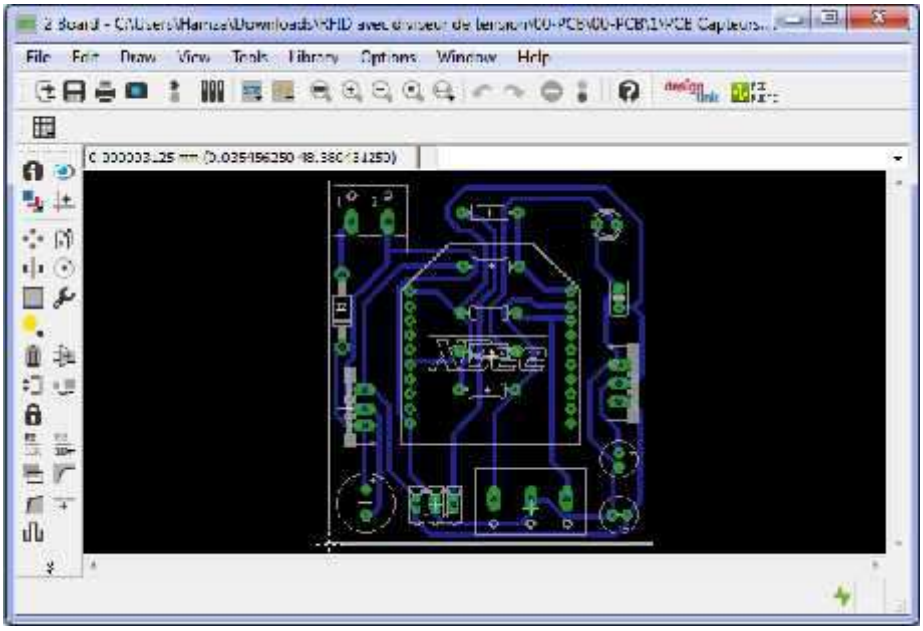


Figure III.19. L'éditeur de routage

III.3.2. Développement du PCB et soudage des composants

Les étapes de la réalisation de la plaque du circuit imprimé

La première étape que nous avons faite c'est la saisie du schéma électrique de notre montage, par la suite nous avons créés le circuit imprimé (PCB) du montage à l'aide du logiciel EAGLE.

Ensuite nous avons imprimé le typon du PCB sur papier calque avec une imprimante laser. Une fois le typon est obtenue nous passerons à l'étape suivante qui est la coupure de la plaque en cuivre de même dimension que le papier photo.

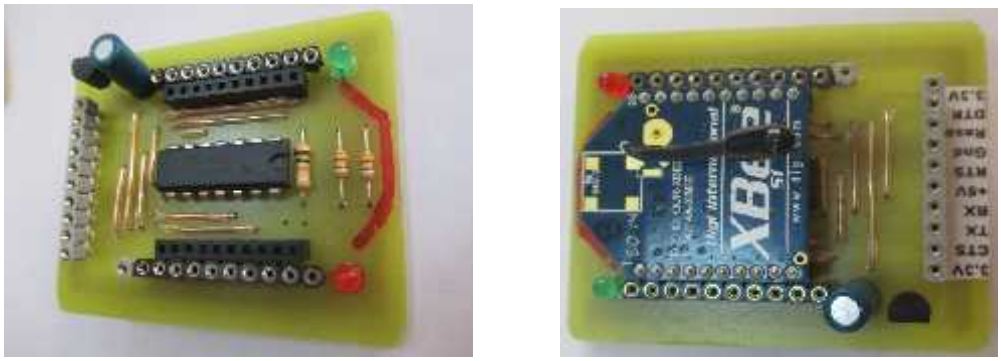
On enlève la couche de protection de la plaque (couche photosensible), on nettoie la plaque avec de l'eau, ensuite, on positionne le coté encre du papier photo sur la plaque, à l'aide d'un fer à repasser, le typon sera transférer sur la plaque. L'ancre transféré sur la plaque (qui représente les pistes et les pastilles du montage) protège le cuivre contre l'attaque chimique de l'acide de gravure.

Ensuite avec de l'eau on enlève le papier photo qui s'y collé sur la plaque et on introduit la plaque dans l'acide HF pour la gravée. Après gravure on nettoie la plaque avec de l'eau complètement, on utilise un diluant pour nettoyer et éliminer les résidus de l'ancre, ensuite avec un peu d'alcool on nettoie bien la plaque et finalement on applique un décapant pour nettoyer les pistes et les pastilles en cuivre pour pouvoir étamer le PCB par la suite.

Après étamage du PCB et perçage des pastilles, on effectue un test de continuité des pistes à l'aide d'un multimètre, pour rechercher des éventuels courts circuits ou des coupures des pistes.

Notre circuit imprimé est maintenant terminé il ne reste plus qu'à souder les composants pour finaliser le montage.

La figure III.19 montre notre adaptateur XBee réalisé et prêt pour le test :



a. L'adaptateur XBee **b. Le module XBee connecté sur l'adaptateur**

Figure III.20. Notre adaptateur XBee réalisé

III.4. Etude pratique

II.4.1. Mesure de la température et d'humidité

Description de la partie émission

Dans cette partie nous avons utilisés:

- Un module Arduino Nano.
- Le capteur LM35DZ et HIH4030.
- Le module RF : XBee S1.
- Une Pile 9V pour l'alimentation.



Figure III.21. Partie émission (détection de la température et l'humidité)

Le LM35DZ et le HIH4030 capte la température et l'humidité sous forme d'une grandeur physique, l'Arduino récupère cette grandeur pour la transformé en une valeur numérique, cette dernière va être transférée vers l'XBee à partir du Tx de l'arduino.

Le module XBee envoi la donnée reçue par la voie RF au récepteur.

Description de la partie réception

Le récepteur est le même pour toutes les applications.

Le module XBee reçoit la valeur numérique venante de l'XBee émetteur, cette donnée est transférée vers arduino on applique une formule (III.1) qui va faire la conversion en température et en humidité puis les affichés sur le moniteur série de l'arduino IDE.

$$te = [(V \times 5) \div 10.23)] - 273 \qquad \textbf{(III.1)}$$

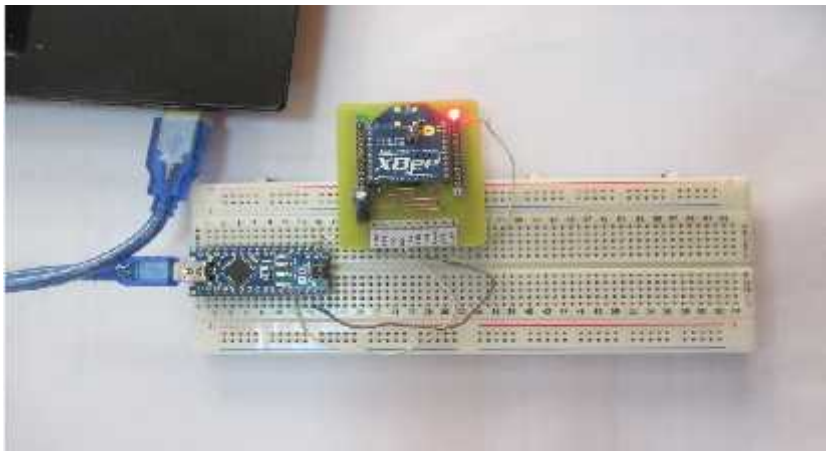


Figure III.22. Partie réception

III.4.2. Détection du mouvement

Description de la partie émission

Dans cette partie nous avons utilisés:

- Un module Arduino Nano.
- Detecteur de mouvement PIR.
- Le module RF : XBee S1.
- Une Pile de 9V pour l'alimentation.



Figure III.23. Partie émission (Détection du mouvement)

Le PIR détecte les mouvements sous forme d'une grandeur physique, cette grandeur va être transférée vers le module Xbee à partir de Rx.

Le module XBee envoi la donnée reçue par la voie RF au récepteur.

Description de la partie réception

Le module XBee récepteur reçoit les données de l'XBee émetteur, ces données sont transférées à partir de la sortie Tx vers l'entrée Rx de l'arduino. On peut ensuite voir le résultat sur le moniteur série de l'arduino IDE.



Figure III.24. Interface série de l'arduino IDE indique la détection du mouvement

III.4.3. Lecture d'un tag RFID

Description de la partie émission

Dans cette partie nous avons utilisés:

- Lecteur RFID et des TAG.
- Le module RF : XBee S1.
- Une Pile 9V pour l'alimentation.

Le lecteur RFID récupère les informations inscrites sur le tag RFID, puis les envoyées par la broche Tx vers Rx du module XBee à travers un pont de diviseur de tension, et enfin par la voie RF vers l'XBee de réception.



Figure III.25. Partie émission (Lecture des tags RFID)

Description de la partie réception

Le module XBee récepteur collecte les informations reçues, ensuit les transférées vers l'entrée Rx de l'arduino pour la sélection des tags autorisés à l'ouverture d'une serrure codé par exemple.

III.5. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons développé et réalisé un coordinateur ZigBee et trois End Devices (nœuds de capteur sans fils), à base d'un module RF de type XBee Serie 1, ces applications permettent l'acquisition d'un ensemble d'entrées/sorties analogiques (capteur de température et d'humidité) et numériques (capteur PIR, ILS, et RFID).

Conclusion générale

La technologie de communication sans fil ZigBee est devenue de plus en plus populaire, elle attire la tension grâce à sa simplicité, efficacité, et sa capacité de supporter de multiples applications ne nécessitent pas de haut débit de transfert, et d'être intégré dans des petits appareils électronique tels que les appareils de contrôle et d'acquisition.

La simplicité, la souplesse et la petite taille des modules permet de les utiliser seuls ou accompagné par un microcontrôleur et les rendre plus adaptée à ce type de systèmes.

De plus, elle permet d'obtenir des liaisons sans fil à bas coût et à faible consommation énergétique.

Ce projet nous a bien permis de s'introduire dans le domaine de la technologie sans fil ZigBee, qu'elle est facile à mettre en place grâce à des modules comme le XBee que nous avons utilisé.

Notre projet nous a aussi permis de manipuler des logiciels intéressent comme EAGLE, le logiciel de configuration X-CTU, l'interface de programmation arduino IDE et aussi d'avoir une expérience pratique avec les montages électroniques.

Bibliographie

[1] HUBSCHER, R. (2013). ***Concepts de base des réseaux sans fil***. Récupéré sur ZigBee 0.1 document. Disponible sur: http://zigbee.readthedocs.org/fr/latest/reseaux-sans-fil.html

[2] Georges Asch et coll, ***Les capteurs en instrumentation industrielle***, Edition Dunod, 2010.

[3] LAURENT. (Novembre 2010). ***Généralité sur le ZigBee***. Récupéré sur News Domotiques by Domadoo. Disponible sur: http://blog.domadoo.fr/2010/11/10/generalites-sur-le-zigbee/

[4] VAL Thierry, CAMPO Eric, VAN DEN BOSSCHE Adrien. ***Technologie ZigBee / 802.15.4 Protocoles, topologies et domaines d'application***. Université de Toulouse.

[5] ***ZigBee.*** (2009). Récupéré sur Wikipédia: http://fr.wikipedia.org/wiki/ZigBee

[6] Batou. (2011). ***Les Objets Communicants***. Art Libre.

[7] ZARADER, Cyril. (2004). ***Le protocole sans-fil ZigBee/802.15.4 et ses applications***.

[8] KRIM, Mohamed. ALI-PACHA, Adda. HADJ SAID, Naima. ***L'Etalement de spectre en séquence directe 'DS' (DS-CDMA).*** Oran. Université des Sciences et de la Technologie d'Oran

[9] ***Phase-shift keying***. Récupéré sur http://www.comoria.com/215603/

[10] AMBROGI, Anthony . (2010). ***Etude de protocole, de la sécurité et création d'une application ZigBee.***

[11] ***Ad-hoc On-demand Distance Vector.*** (2009). Récupéré sur Wikipédia: http://fr.wikipedia.org/wiki/Ad-hoc_On-demand_Distance_Vector

[12] Descharles Stephane, Waïa Bernard. (2006). ***ZIGBEE Protocole pour WPANS***. Rdisponible sur: Télécom Lille1: http://wapiti.telecomlille1.eu/commun/ens/peda/options/ST/RIO/pub/exposes/exposesrio2006/Descharles-Waia/network.htm

[13] ***ZigBee doc travail***. Récupéré sur Iris: http://iris.appert44.org/~plegal/index.php/ZigBee-doc travail

[14] Nowicki, C. (2009). ***Présentation du standard ZigBee.*** Récupéré sur https://csquad.org/2009/12/19/zigbee/

[15] La transmission Série RS 232. (2008). Récupéré sur daskoo: http://www.daskoo.org/afficher_cours.php?cours_id=203&hist_id=2129&execut=historique

[16] GARAVILLON, V. (2012). ***Configuration hardware d'un module XBee par commande AT.***

[17]*Arduino/XBee.* (2014). Récupéré sur http://wiki.t-o-f.info/Arduino/Xbee

[18]HUBIN, M. (2013). ***METROLOGIE des CAPTEURS.*** Récupéré sur http://michel.hubin.pagesperso-orange.fr/capteurs/metro/chap_met1.htm

[19] *elektronique.* (s.d.)**." Eagle"** Récupéré sur http://www.elektronique.fr/logiciels/eagle.php

ANNEXES

ANNEXE A :

- **Datasheet du module XBee:**

1. XBee®/XBee-PRO® RF Modules

The XBee and XBee-PRO RF Modules were engineered to meet IEEE 802.15.4 standards and support the unique needs of low-cost, low-power wireless sensor networks. The modules require minimal power and provide reliable delivery of data between devices.

The modules operate within the ISM 2.4 GHz frequency band and are pin-for-pin compatible with each other.



Key Features

Long Range Data Integrity

XBee

- Indoor/Urban: up to 100' (30 m)
- Outdoor line-of-sight: up to 300' (90 m)
- Transmit Power: 1 mW (0 dBm)
- Receiver Sensitivity: -92 dBm

XBee-PRO

- Indoor/Urban: up to 300' (90 m), 200' (60 m) for International variant
- Outdoor line-of-sight: up to 1 mile (1600 m), 2500' (750 m) for International variant
- Transmit Power: 63mW (18dBm), 10mW (10dBm) for International variant
- Receiver Sensitivity: -100 dBm

RF Data Rate: 250,000 bps

Advanced Networking & Security

Retries and Acknowledgements

DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)

Each direct sequence channels has over 65,000 unique network addresses available

Source/Destination Addressing

Unicast & Broadcast Communications

Point-to-point, point-to-multipoint and peer-to-peer topologies supported

Low Power

XBee

- TX Peak Current: 45 mA (@3.3 V)
- RX Current: 50 mA (@3.3 V)
- Power-down Current: < 10 µA

XBee-PRO

- TX Peak Current: 250mA (150mA for international variant)
- TX Peak Current (RPSMA module only): 340mA (180mA for international variant
- RX Current: 55 mA (@3.3 V)
- Power-down Current: < 10 µA

ADC and I/O line support

Analog-to-digital conversion, Digital I/O

I/O Line Passing

Easy-to-Use

No configuration necessary for out-of box RF communications

Free X-CTU Software (Testing and configuration software)

AT and API Command Modes for configuring module parameters

Extensive command set

Small form factor

Worldwide Acceptance

FCC Approval (USA) Refer to Appendix A [p64] for FCC Requirements. Systems that contain XBee®/XBee-PRO® RF Modules inherit Digi Certifications.

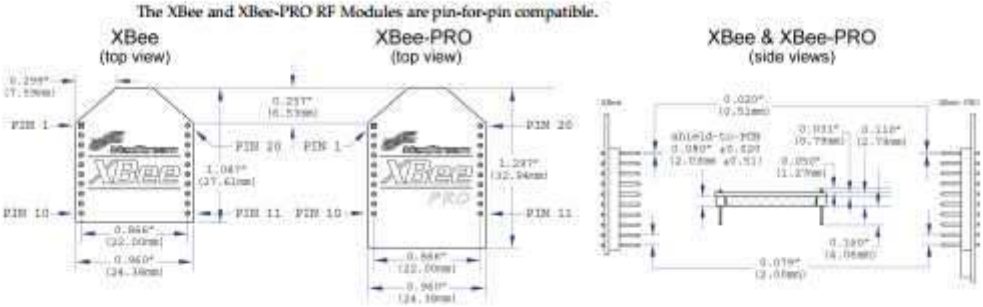
ISM (Industrial, Scientific & Medical) **2.4 GHz frequency band**

Manufactured under **ISO 9001:2000** registered standards

XBee®/XBee-PRO® RF Modules are optimized for use in the United States, Canada, Australia, Japan, and Europe. Contact Digi for complete list of government agency approvals.

© 2009 Digi International Inc.

The XBee and XBee-PRO RF Modules are pin-for-pin compatible.



Mounting Considerations

The XBee®/XBee-PRO® RF Module was designed to mount into a receptacle (socket) and therefore does not require any soldering when mounting it to a board. The XBee Development Kits contain RS-232 and USB interface boards which use two 20-pin receptacles to receive modules.

Figure 1-02. XBee Module Mounting to an RS-232 Interface Board.

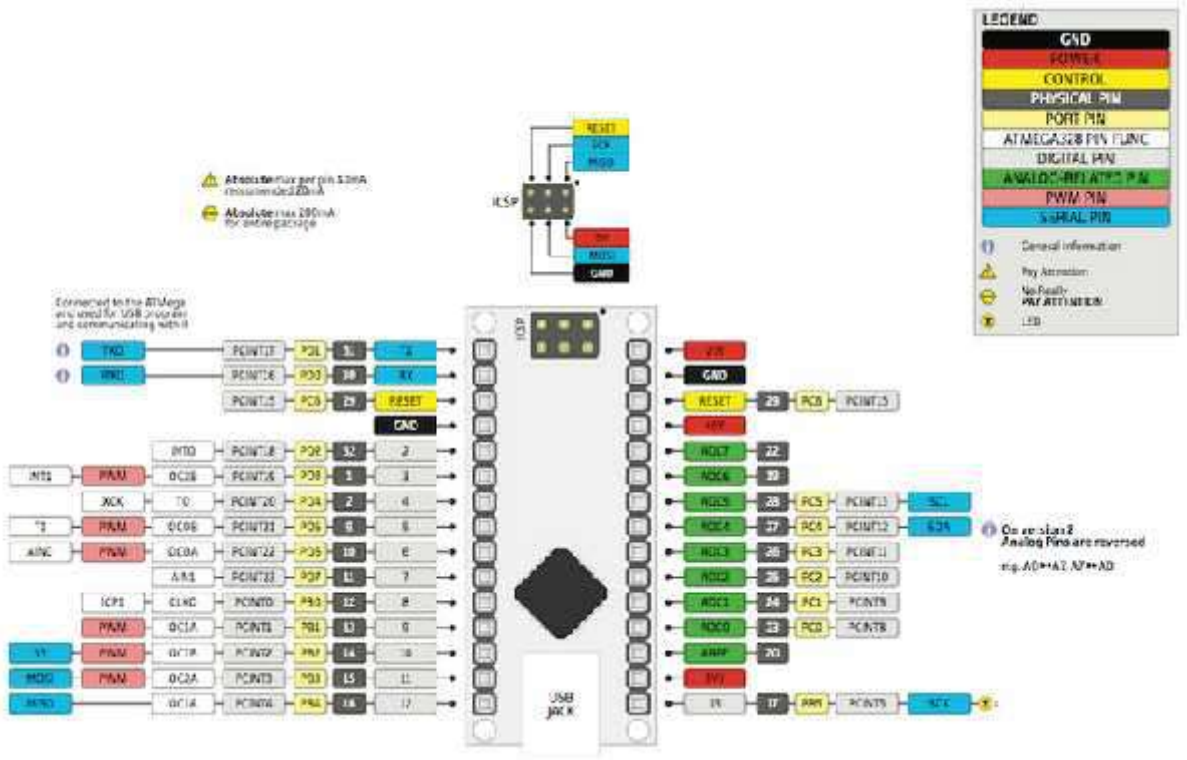


The receptacles used on Digi development boards are manufactured by Century Interconnect. Several other manufacturers provide comparable mounting solutions; however, Digi currently uses the following receptacles:

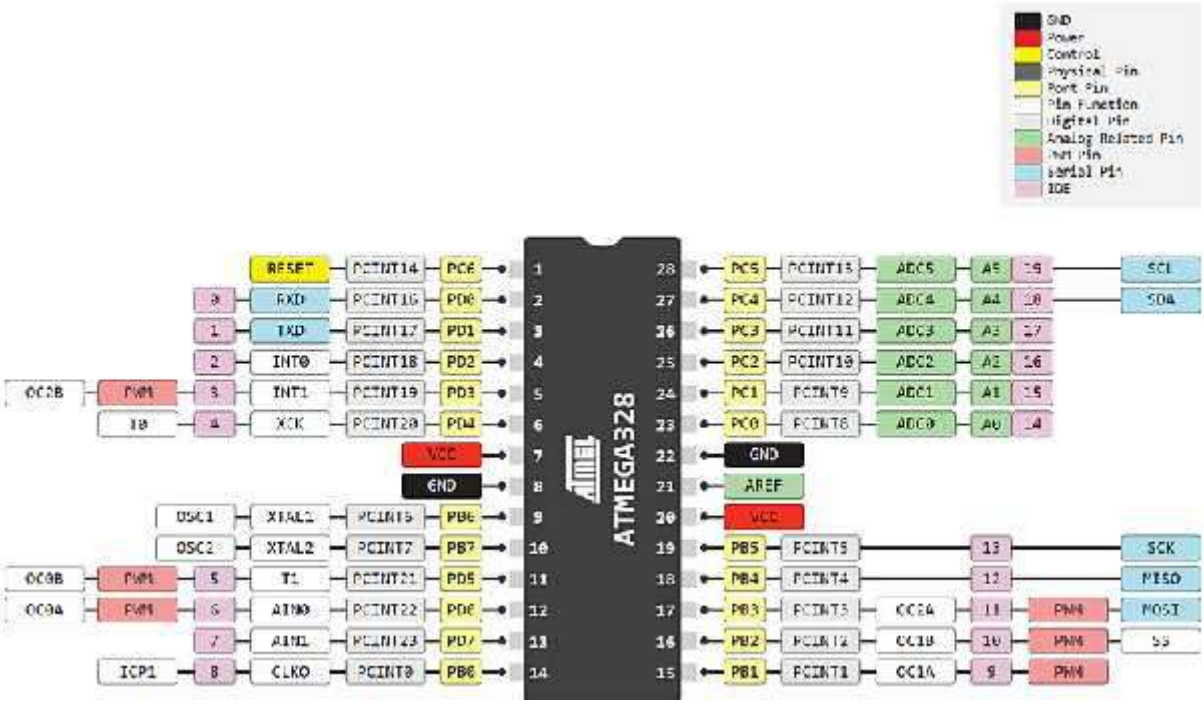
- Through-hole single-row receptacles -
  Samtec P/N: MMS-110-01-L-SV (or equivalent)
- Surface-mount double-row receptacles -
  Century Interconnect P/N: CPRMSL20-D-0-1 (or equivalent)
- Surface-mount single-row receptacles -
  Samtec P/N: SMM-110-02-SM-S

Digi also recommends printing an outline of the module on the board to indicate the orientation the module should be mounted.

- **<u>Brochage du module arduino Nano:</u>**



- **Brochage de l'ATmega 328**



- **Datasheet du circuit intégré 74AHC125 :**

DIODES
INCORPORATED

74AHC125

QUADRUPLE 3-STATE BUFFERS OE LOW

NEW PRODUCT

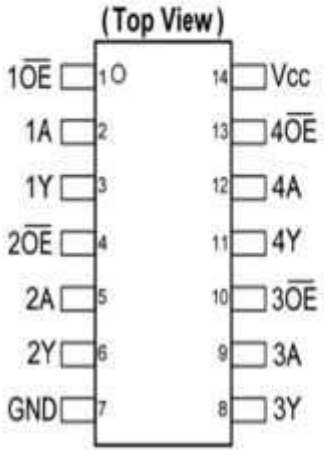
Description

The 74AHC125 provides provides four independent buffer gates with 3-state outputs. Each buffer has a separate enable pin that when driven with a high logic level places the corresponding output in the high impedance state. The device is designed for operation with a power supply range of 2.0V to 5.5V. The inputs are tolerant to 5.5V allowing this device to be used in a mixed voltage environment.

Features

- Wide Supply Voltage Range from 2.0V to 5.5V
- Outputs Sink or Source 8mA at V_{CC} = 4.5V
- CMOS Low Power Consumption
- Schmitt Trigger Action at All Inputs
- Inputs can be driven by 3.3 V or 5.5V allowing for voltage translation applications.
- ESD Protection Exceeds JESD 22
  - 200-V Machine Model (A115-A)
  - 2000-V Human Body Model (A114-A)
  - Exceeds 1000-V Charged Device Model (C101C)
- Latch-Up Exceeds 250mA per JESD 78, Class II
- Range of Package Options SO-14 and TSSOP-14
- **Totally Lead-Free & Fully RoHS Compliant (Notes 1 & 2)**
- **Halogen and Antimony Free. "Green" Device (Note 3)**

Pin Assignments



SO-14 / TSSOP-14

Applications

- General Purpose Logic
- Wide array of products such as:
  - PCs, Networking, Notebooks, Netbooks
  - Computer Peripherals, Hard Drives, CD/DVD ROM
  - TV, DVD, DVR, Set Top Box

Notes:
1. No purposely added lead. Fully EU Directive 2002/95/EC (RoHS) & 2011/65/EU (RoHS 2) compliant.
2. See http://www.diodes.com for more information about Diodes Incorporated's definitions of Halogen- and Antimony-free, "Green" and Lead-free.
3. Halogen- and Antimony-free "Green" products are defined as those which contain <900ppm bromine, <900ppm chlorine (<1500ppm total Br + Cl) and <1000ppm antimony compounds.

DIODES INCORPORATED

74AHC125

NEW PRODUCT

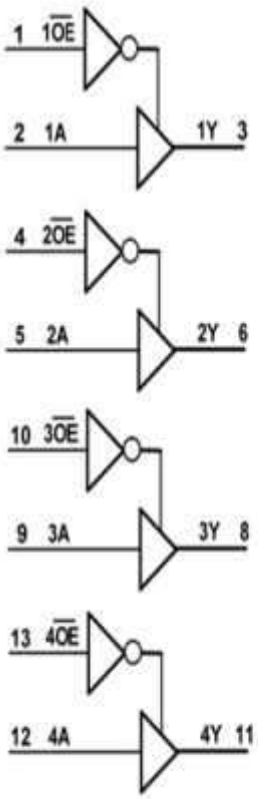
Pin Descriptions

Pin Number	Pin Name	Function
1	$1\overline{OE}$	Data Enable Input (active low)
2	1A	Data Input
3	1Y	Data Output
4	$2\overline{OE}$	Data Enable Input (active low)
5	2A	Data Input
6	2Y	Data Output
7	GND	Ground
8	3Y	Data Output
9	3A	Data Input
10	$3\overline{OE}$	Data Enable Input (active low)
11	4Y	Data Output
12	4A	Data Input
13	$4\overline{OE}$	Data Enable Input (active low)
14	V_{CC}	Supply Voltage

Function Table

Inputs		Output
$\overline{OE}$	A	Y
L	H	H
L	L	L
H	X	Z

Logic Diagram

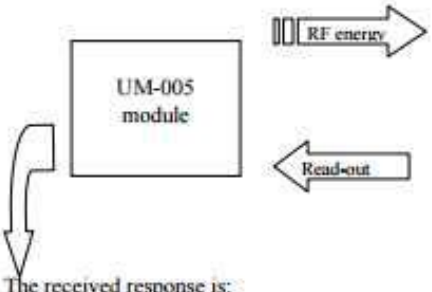


- **Datasheet du module UM-005 :**

Introduction

The UM-005 module operates on principle of the contact less unique data acquiring from UNIQUE (RFID) transponders. Read-out data is sent via RS-232 interface with voltage levels TTL format compatible.

The principle of module operation:
Applying the transponder to reader – read-out (from transponder) – data transmission (to master unit).



Byte no.	Unique transponder
1	ID1 (8 bits)
2	ID2 (8 bits)
3	ID3 (8 bits)
4	ID4 (8 bits)
5	ID5 (8 bits)
6	Parity 1 (8 bits)
8	Parity 2 (6 bits)

The received response is:

Module address	Frame width	Response	ID	Operation code	CRCH,CRCL
01	0b	01	**ID1…ID5**	ff	xx xx

The module is equipped with two outputs, which signal successful read-out of the transponder.

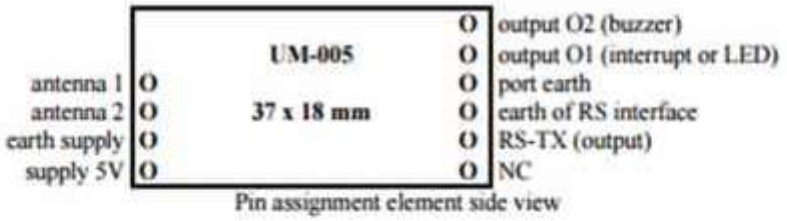
Connect the antenna to UM-005 module in form of air coil, which will produce electromagnetic field and supply the transponder located in this field.

Dane techniczne

Supply voltage Vdd: . . . . . 4.5...5.5V
Supply current: . . . . . 5...55 mA
Module rated operating radio frequency: . . . . . 125 kHz
Modulation type of data received from transponder: . . . . . Manchester
Baud rate of data received from transponder: . . . . . RF/64 (1953 b/s)
Maximum read-out frequency: . . . . . 2 read-outs/sec
Output current capacity buzzer, LED and RS-TX: . . . . . 5 mA
Transponder read-out distance (depending on used antenna): . . . . . up to 12 cm
Antenna inductance . . . . . 1 mH +-5%
RS232 transmission: . . . . . 9600 b/s, 8 data bits, 1 stop bit, no parity bit, with voltage levels TTL format compatible.

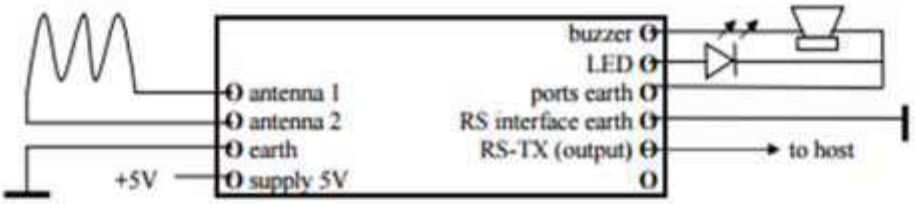
Pin description

antenna1, antenna2	external antenna with inductance of ca 1 mH
supply earth and supply 5V	module supply
output O2	after successful transponder read-out, the reader activates external buzzer for ca. 100 ms (active H)
output O1	interrupt or LED – after successful transponder read-out, the reader sets output in logical one state for ca. 400 ms (interrupt triggering with rise slope)
port earth	earth of O1 and O2
earth of RS interface.	earth of RS-TX
output RS-TX.	after successful transponder read-out, the reader sends data via RS with TTL voltage levels
NC	Non connected



Pin assignment element side view

Connection diagram



- **Datasheet du capteur LM35DZ :**

TEXAS INSTRUMENTS

LM35

SNIS159E – AUGUST 1999 – REVISED JANUARY 2015

LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors

1 Features

- Calibrated Directly in Celsius (Centigrade)
- Linear + 10-mV/°C Scale Factor
- 0.5°C Ensured Accuracy (at 25°C)
- Rated for Full −55°C to 150°C Range
- Suitable for Remote Applications
- Low-Cost Due to Wafer-Level Trimming
- Operates from 4 V to 30 V
- Less than 60-µA Current Drain
- Low Self-Heating, 0.08°C in Still Air
- Non-Linearity Only ±¼°C Typical
- Low-Impedance Output, 0.1 Ω for 1-mA Load

2 Applications

- Power Supplies
- Battery Management
- HVAC
- Appliances

3 Description

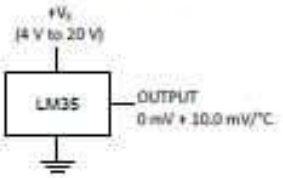
The LM35 series are precision integrated-circuit temperature devices with an output voltage linearly-proportional to the Centigrade temperature. The LM35 device has an advantage over linear temperature sensors calibrated in Kelvin, as the user is not required to subtract a large constant voltage from the output to obtain convenient Centigrade scaling. The LM35 device does not require any external calibration or trimming to provide typical accuracies of ±¼°C at room temperature and ±¾°C over a full −55°C to 150°C temperature range. Lower cost is assured by trimming and calibration at the wafer level. The low-output impedance, linear output, and precise inherent calibration of the LM35 device makes interfacing to readout or control circuitry especially easy. The device is used with single power supplies, or with plus and minus supplies. As the LM35 device draws only 60 µA from the supply, it has very low self-heating of less than 0.1°C in still air. The LM35 device is rated to operate over a −55°C to 150°C temperature range, while the LM35C device is rated for a −40°C to 110°C range (−10° with improved accuracy). The LM35-series devices are available packaged in hermetic TO transistor packages, while the LM35C, LM35CA, and LM35D devices are available in the plastic TO-92 transistor package. The LM35D device is available in an 8-lead surface-mount small-outline package and a plastic TO-220 package.

Device Information[1]

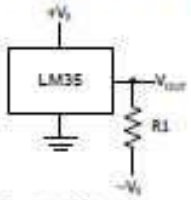
PART NUMBER	PACKAGE	BODY SIZE (NOM)
LM35	TO-CAN (3)	4.699 mm × 4.699 mm
	TO-92 (3)	4.30 mm × 4.30 mm
	SOIC (8)	4.90 mm × 3.91 mm
	TO-220 (3)	14.986 mm × 10.16 mm

(1) For all available packages, see the orderable addendum at the end of the datasheet.

Basic Centigrade Temperature Sensor (2°C to 150°C)



Full-Range Centigrade Temperature Sensor



Choose $R_1 = -V_S / 50\ \mu A$
$V_{OUT} = 1500$ mV at 150°C
$V_{OUT} = 250$ mV at 25°C
$V_{OUT} = -550$ mV at −55°C

5 Pin Configuration and Functions

NDV Package
3-Pin TO-CAN
(Top View)



Case is connected to negative pin (GND)

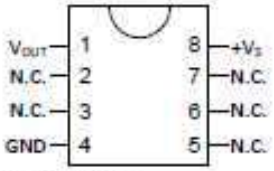
NEB Package
3-Pin TO-220
(Top View)



Tab is connected to the negative pin (GND).

NOTE: The LM35DT pinout is different than the discontinued LM35DP.

D Package
8-PIN SOIC
(Top View)



N.C. = No connection

LP Package
3-Pin TO-92
(Bottom View)



Pin Functions

PIN					TYPE	DESCRIPTION
NAME	TO46	TO92	TO220	SO8		
V$_{OUT}$	—	—	—	1	O	Temperature Sensor Analog Output
N.C.	—	—	—	2	—	No Connection
	—	—	—	3		
GND	—	—	—	4	GROUND	Device ground pin, connect to power supply negative terminal
N.C.	—	—	—	5	—	No Connection
	—	—	—	6		
	—	—	—	7		
+V$_S$	—	—	—	8	POWER	Positive power supply pin

6.9 Typical Characteristics

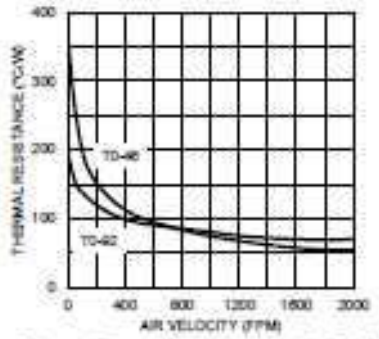


Figure 1. Thermal Resistance Junction To Air

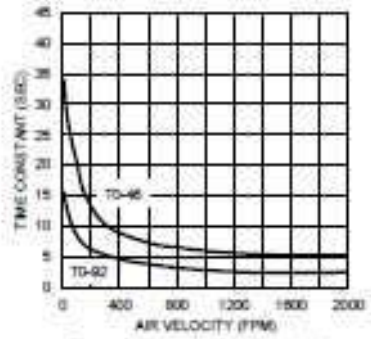


Figure 2. Thermal Time Constant

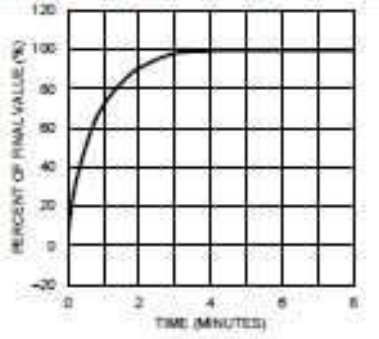


Figure 3. Thermal Response In Still Air

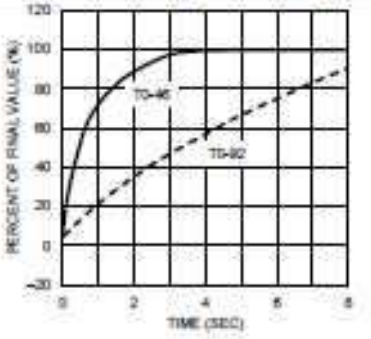


Figure 4. Thermal Response In Stirred Oil Bath

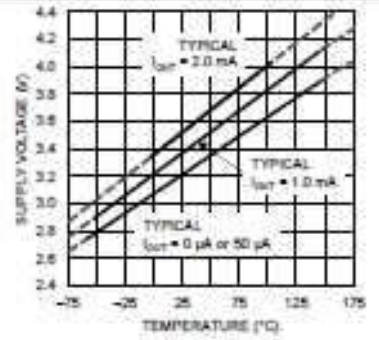


Figure 5. Minimum Supply Voltage vs Temperature

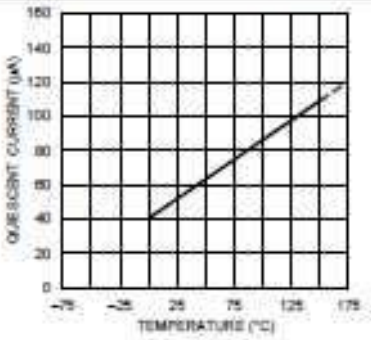


Figure 6. Quiescent Current vs Temperature (In Circuit of Figure 14)

- **Datasheet du capteur HIH-4030 :**

Honeywell



HIH-4030/31 Series

Humidity Sensors

DESCRIPTION

Honeywell has expanded our HIH Series to include an SMD (Surface Mount Device) product line: the new HIH 4030/4031. The HIH 4030/4031 complements our existing line of non-SMD humidity sensors. SMD packaging on tape and reel allows for use in high volume, automated pick and place manufacturing, eliminating lead misalignment to printed circuit board through-hole.

The HIH-4030/4031 Series Humidity Sensors are designed specifically for high volume OEM (Original Equipment Manufacturer) users.

Direct input to a controller or other device is made possible by this sensor's near linear voltage output. With a typical current draw of only 200 µA, the HIH-4030/4031 Series is often ideally suited for low drain, battery operated systems.

Tight sensor interchangeability reduces or eliminates OEM production calibration costs. Individual sensor calibration data is available.

The HIH-4030/4031 Series delivers instrumentation-quality RH (Relative Humidity) sensing performance in a competitively priced, solderable SMD.

The HIH-4030 is a covered integrated circuit humidity sensor. The HIH-4031 is a covered, condensation-resistant, integrated circuit humidity sensor that is factory-fitted with a hydrophobic filter allowing it to be used in condensing environments including industrial, medical and commercial applications.

The RH sensor uses a laser trimmed, thermoset polymer capacitive sensing element with on-chip integrated signal conditioning.

The sensing element's multilayer construction provides excellent resistance to most application hazards such as condensation, dust, dirt, oils and common environmental chemicals.

Sample packs are available. See order guide.

FEATURES

- Tape and reel packaging allows for use in high volume pick and place manufacturing (1,000 units per tape and reel)
- Molded thermoset plastic housing
- Near linear voltage output vs %RH
- Laser trimmed interchangeability
- Low power design
- Enhanced accuracy
- Fast response time
- Stable, low drift performance
- Chemically resistant

POTENTIAL APPLICATIONS

- Refrigeration equipment
- HVAC (Heating, Ventilation and Air Conditioning) equipment
- Medical equipment
- Drying
- Metrology
- Battery-powered systems
- OEM assemblies

HIH-4030/31 Series

FIGURE 3. TYPICAL OUTPUT VOLTAGE VS RELATIVE HUMIDITY (At 25 °C and 5 V.)

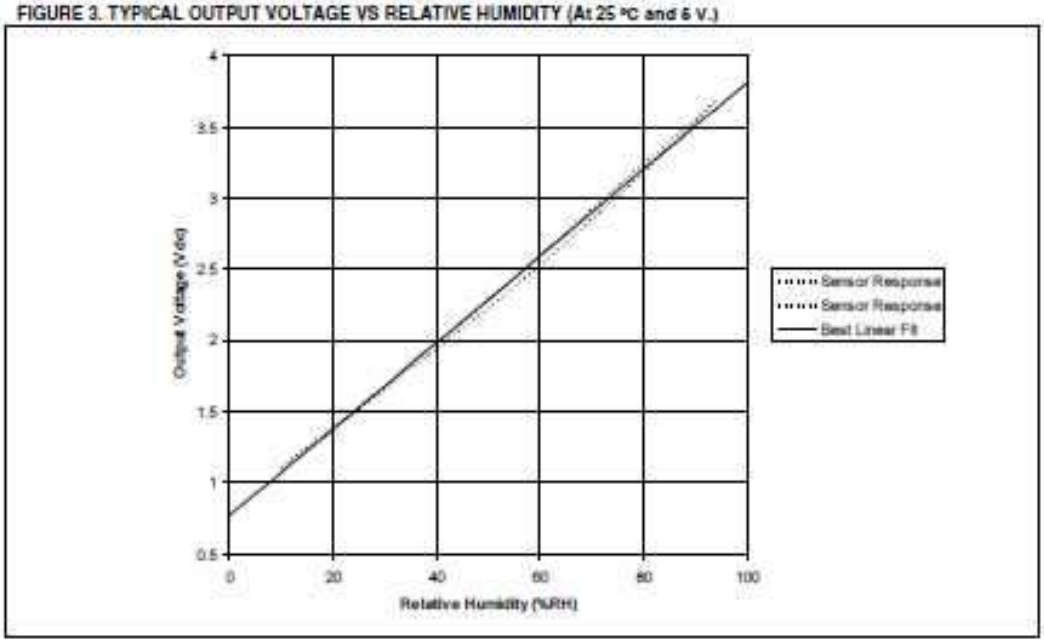
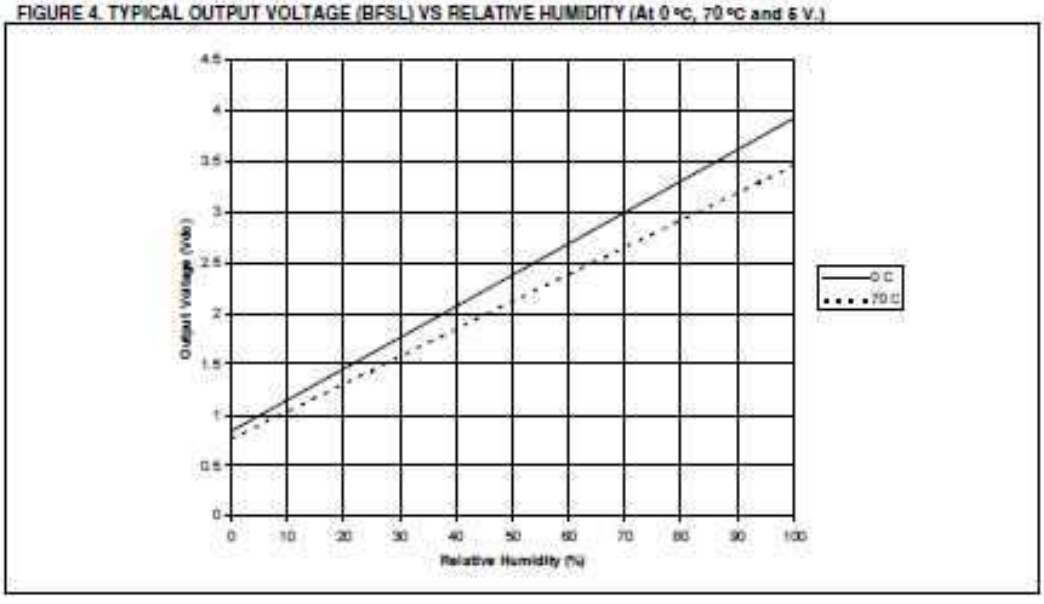


FIGURE 4. TYPICAL OUTPUT VOLTAGE (BFSL) VS RELATIVE HUMIDITY (At 0 °C, 70 °C and 5 V.)



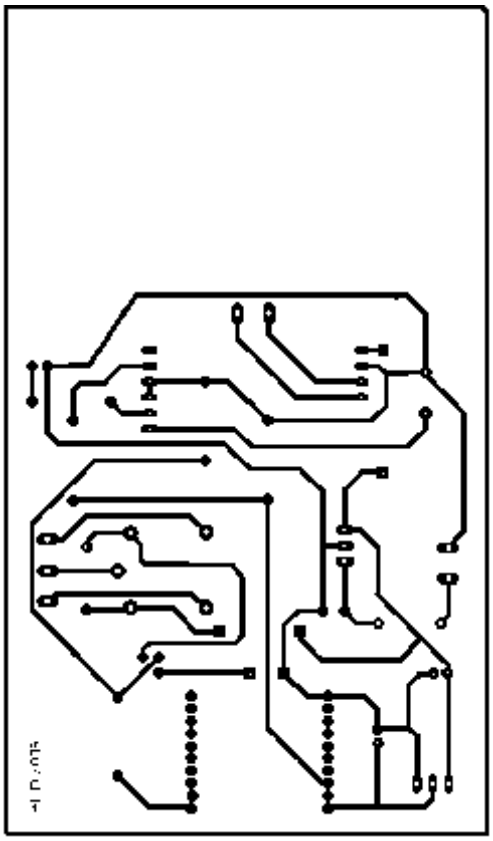
ANNEXE B :

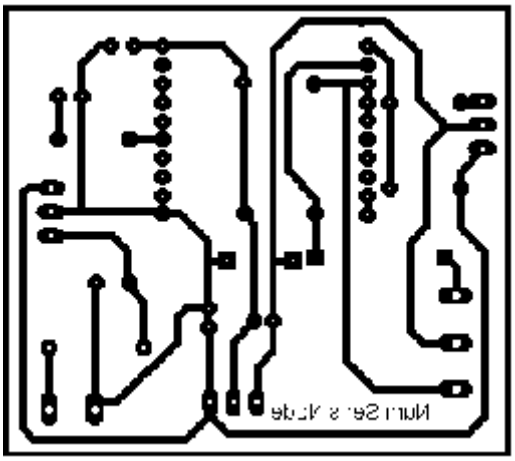
- **La liste des composants :**

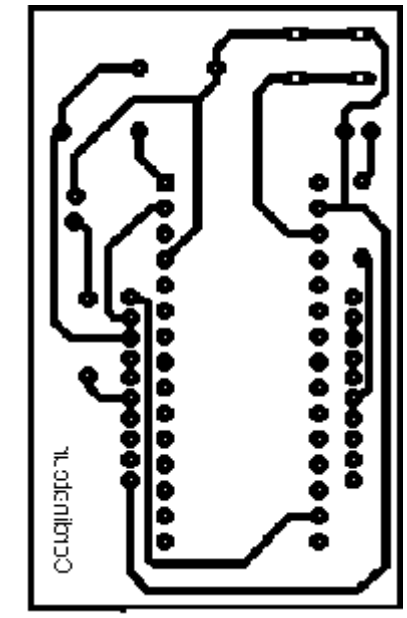
  - 4 modules XBee Série 1.
  - 2 Arduino Nano.
  - Capteur LM35DZ.
  - PIR (détecteur de mouvement).
  - Lecteur RFID UM005.
  - Capteur HIH4030.
  - Régulateurs 3.3V.
  - Piles 9V.
  - Câbles USB.
  - Transistor.
  - Résistances.
  - LEDs.
  - Diodes.

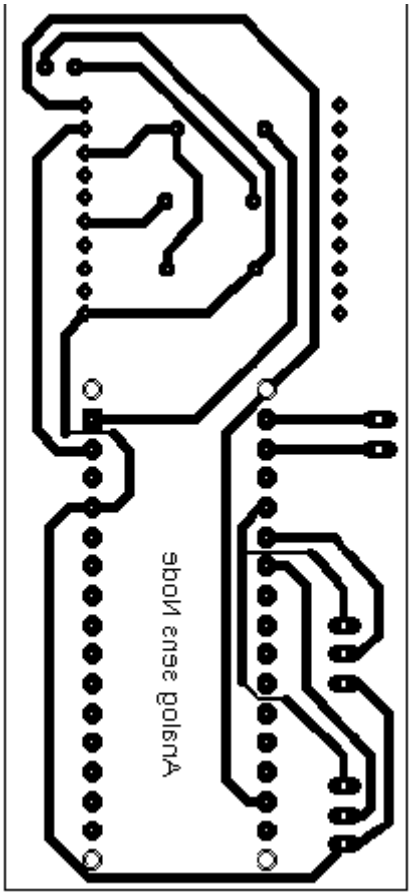
ANNEXE C :

Les circuits imprimés PCB :






Conditionneur


Analog sens Node