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



Projet de fin d'étude

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

Spécialité : Systèmes Intelligents et Communicants.

THEME

ETUDE ET REALISATION D'UN NŒUD SANS FIL A BASE D'UN CIRCUIT FPGA

Proposé et dirigé par,

Encadreur : Mr. BENGHERBIA BILLEL

Co-encadreur: Mr. CHADLI SAMIR

Préparé et présenté par,

Melle. KADIK NAIMA

Melle. HALLAH CHAFIA

REMERCIEMENTS

Tout d'abord nous aimerions remercier DIEU de nous avoir offert le

Courage pour réaliser ce projet et de nous avoir éclairé notre lanterne

Tout au long des années d'études.

Nous adressons nos remerciements les plus sincères à notre

et notre encadreur Mr. BENGHERBIA BILLEL et notre Co-encadreur Mr CHADLI SAMIRE pour leur patience, leur disponibilité,

Leurs sacrifices, leur compréhension et leurs conseils bénéfiques.

Nous remerciements vont également à Ahlam et hamza pour l'aide qu'ils nous ont offert et pour leur soutien moral au tout long de ce projet.

Nous remercions particulièrement les membres de jury qui évalue notre travail.

Et le personnel de notre département ainsi que nos enseignants qui ont fait prouvent disponibilité durant nos études.

Enfin, nous remercions toute personne ayant contribuée de prés

ou de loin à la réalisation de ce projet.

DEDICACE

Je dédie ce modeste travail à mes très chers parents qui veillent sur moi pour me voir réussir, et qui n'ont jamais cessé de m'encourager, de me conseiller... Ils

m'ont tout donné.

A Mes chers frères : Mohamed Rafik, Sofiane, Abderzak.

Et à toute ma grande famille sans exception spécialement à mes chères cousines Lamia et Amina et Chaima.

A mon âme sœurs (Houria, Wiam,)

A tous mes particulièrement (Sarah, Zineb, Nadiya, Meriem, Nabila)

A tous mes chères collègues (Liela, Shah, Razika , Dalila , Yemna, Slah , Mohamed , Sajida, Romaisa , Meriem , Sara)

Et Ma chère amie et sœur binôme Chafia et à sa famille

A tous qui m'ont soutenue de prés ou de loi.

Naima

DEDICACE

Je dédie ce modeste travail à mes très chers parents qui veillent sur moi pour me voir réussir, et qui n'ont jamais cessé de m'encourager, de me conseiller. . . Ils

m'ont tout donné.

A Mes cher frère: Amine et sa femme Samia et ses enfants chaima et Meriem, Mustapha, Billel.

Et ma chère sœur : Amel et son marie Kamel et leur fils Moncef.

Et a mon fiancé Yazid et sa famille.

Et Ma chère amie et sœur binôme Naima et à sa famille

Et mes âme sœurs : Assia, Djalila, Aicha, Ahlem, Houria, Nadia, Karima , Souad,et spécialement Asma.

Et à toute ma grande famille sans exception spécialement à mes chères cousines.

A tous mes amis, particulièrement :Liela ,Abdou,Dalila,Mohamed, Redouan, , Sabah, Razika , Hamza,
Sarah,Yamna ,Zineb,Imen, Soumia ,Takia, Meriem.

A tous qui m'ont soutenue de prés ou de loin.

Chafia

ملخص :

الغرض من هذا العمل هو دراسة بروتوكول الاتصالات ZigBee وإنجاز عقدة استشعار لاسلكية اعتمدا على لوحة تطوير FGPA ,في هذا السياق أجرينا اختبارات تثبت وتأكد إرسال بيانات،تارة من لوحة التطوير FPGA إلى اردوينو و تارة أخرى من الاردوينو إلى FPGA عبر وحدات XBee التي سيتم وضعها بينهما .

الكلمات المفتاحية: لوحة تطوير FPGA , ZigBee , Arduino, XBee,عقدة عقدة استشعار لاسلكية

Résume :

L'objectif de ce travail est l'étude de protocole de communication ZigBee et la réalisation d'un nœud de capteur sans fil a base d'un circuit FPGA, Dans ce contexte nous avons effectué des tests de vérification qui prouve l'établissement d'une transmission de données, d'une part du FPGA vers l'Arduino et d'autre part du D'Arduino vers le FPGA via les modules XBee qui seront mettre en milieu entre eux

Les mots clés : ZigBee, nœud de capteur sans fil, FPGA, Arduino, Modules XBee.

Abstract:

The purpose of this work is the study of ZigBee communication Protocol and realization of a wireless sensor node based on an FGPA circuit in this context we conducted a checking and verification tests that prove the establishment of a data transmission, on one hand from the FPGA to the Arduino and on the other hand from Arduino to the FPGA via the XBee modules that will set in the middle of them

Keywords: ZigBee, Wireless sensor node, FPGA Circuit, Arduino, XBee modules.

Sommaire

Introduction générale 1
Chapitre I : Généralités 2
I.1. Introduction 3
I.2. Les réseaux sans fil 3
I.2.1. Définition 3
I.2.2. Les techniques de transmission dans les réseaux sans-fil 3
I.2.3. Avantages des réseaux sans fil 4
I.2.4. Les catégories de réseaux sans fil 4
I. 3. Les réseaux de capteurs sans-fils (RCSF) 5
I.3.1. Définition 5
I.3.2. Les capteurs 5
I.3.3. Le nœud de capteurs sans fils 6
I.4. Comparaison entre les réseaux sans fils 7
I.5. Le protocole de communication ZigBee 8
I.5.1. Definition 8
I.5.2. Historique 9
I.5.3. L'alliance ZigBee 9
I.5.4. La norme IEEE 802.15.4 10
I.5.5. Principe du protocole ZigBee 10
I.5.5.1. Les entités réseaux 10
I.5.5.2. Topologies du réseau ZigBee 11
I.5.6. L'architecture ZigBee 13
I.5.6.1. La pile protocolaire 13
I.5.7. Le routage 15
I.5.7.1. Principe du protocole AODV 16
I.5.7.2. Les étapes de routage 16
I.5.8 L'Adressage 17
I.5.9. Méthode d'accès au medium 18
I.6. La trame Zig Bee 18
I.7. Les module radios Zig Bee/802.15.4 19
I.8. La sécurité Zig Bee 20
I.9. Avantages et inconvénients du protocole ZigBee 21

I.10. Domaines d'application 21
I.11. Conclusion 22
Chapitre II: Sélection de la technologie 23
II.1. Introduction 23
II.2. Présentation des modules XBee 23
II.2.1. Définition 23
II.2.2. Types des modules XBee 23
II.2.3. La caractéristique technique des modules XBee 24
II.3. Présentation du circuit FPGA 25
II.3.1. Définition 25
II.3.2. Application des FPGA 26
II.3.3. Architecture des FPGA 26
II.3.5. Les processeurs embarqués 29
II.4. Le mode de transmission série 31
II.4.1. La liaison série synchrone 32
II.4.2. La liaison série asynchrone 32
II.4.3. La liaison UART 33
II.5. l'interfaçage FPGA –XBee 34
II.6. Les modes de fonctionnement des modules XBee 36
II.7. Analyse des trames 37
II.7.1. La structure de la trame XBee 37
II.7.3. La communication RF 38
II.8. Conclusion 41
Chapitre III: Réalisation et mise en marche 42
III.1. Introduction 42
III. 2. Principe de fonctionnement d'application 42
III.3. La création de MicroBlaze 43
III.4. La configuration des modules XBee 44
III.4.1 La communication avec l'ordinateur 44
III.5 étude technique 51
III.6. Les tests et les essais 52
III.7. Conclusion 66
Conclusion générale 68

Annexe A 70
Annexe B 79
Bibliographie 81

Liste des figures

Figure I. 1 Les différentes catégories des réseaux sans-fil 5
Figure I. 3 Schéma de principe d'un capteur 6
Figure I. 2 Architecture de communication d'un RCSF 5
Figure I. 4 Architecture d'un nœud capteur. 6
Figure I. 5 Suspenseurs du ZigBee alliance 9
Figure I. 6 Topologie en Etoile (Star) 11
Figure I. 7 Topologie Point à point 12
Figure I. 9 Pile de protocoles Zig Bee 13
Figure I. 8 Topologie en arbre ou maillé 13
Figure I. 10 Principe de routage AODV 17
Figure I. 11 La trame ZigBee 19
Figure I. 12 Les différents modules ZigBee 20
Figure II. 1 Les différentes types d'antenne de module XBee 25
Figure II. 2 Architecteur interne d'une carte FPGA de la famille Xilnix 27
Figure II. 3 Un schéma qui représente le fonctionnement d'un LUT 28
Figure II. 4 L'architecture interne d'un MicroBlaze 30
Figure II. 6 Principe de fonctionnement de la liaison série asynchrone 32
Figure II. 5 Schéma de principe de fonctionnement la liaison série synchrone 32
Figure II. 7 Trame de données envoyée via un port série 33
Figure II. 8 Interfaçage du module XBee avec un MicroBlaze 34
Figure II. 9 Architecture interne du module XBee 35
Figure II. 10 Les états de fonctionnement du module XBee 36
Figure II. 11 Structure de la trame API 37
Figure II. 12 Système de communication RF utilisant des modules XBee 39
Figure II. 13 Canal de communication RF 40
Figure III. 1 Schéma de principe de fonctionnement de première Scénario. 42
Figure III. 2. Schéma de principe de fonctionnement de deuxième Scénario 42
Figure III. 3.Flux de génération de fichier ELF. 44
Figure III. 4. Break out FT 232 45
Figure III. 5.Communication à travers le FT232R Break out 46
Figure III. 6. Communication à travers Arduino 46
Figure III.7.Communication avec l'USB Explorer 46
Figure III. 8.Fenêtre du menu principal du logiciel X-CTU. 47
Figure III. 9. Fenêtre de menu du choix du port 48

Figure III. 10. Fenêtre de choix de paramètres 48
Figure III. 11. Détection du module XBee 49
Figure III. 12. Fenêtre indiquant l'existence module XBee 49
Figure III. 13 Fenêtre menu principale des configurations 50
Figure III. 14 Fenêtre des configurations possible 50
Figure III. 15 Fenêtre de sauvegarde des configurations. 51
Figure III. 16 Organigramme de fonction main. 53
Figure III. 17 Organigramme de la fonction UartSimple 53
Figure III. 18 Organigramme de la fonction UartSimple (suite) 54
Figure III. 19 Organigramme de la fonction UartSimple (suite) 55
Figure III. 20 Fenêtre résultat de test 1 57
Figure III. 21 Partie récepteur. 58
Figure III. 22 Différents éléments constitutive de la carte Arduino Uno 58
Figure III. 23 Sheild de module XBee pour Arduino 59
Figure III. 24 Organigramme de fonction main 59
Figure III. 25 Organigramme de fonction main(suit) 60
Figure III. 26 Organigramme de la fonction UartSimple. 60
Figure III. 27 Fenêtre de résultat de test2 61
Figure III. 28 Fenêtre de résultat de test2 62
Figure III. 29 Capteur LM35DZ. 62
Figure III. 30 Organigramme de la patrie émission 63
Figure III. 31Organigramme de la partie réception 65
Figure III. 32 Fenêtre de résultat de test 3 66

Liste des tableaux

Tableau I. 1 Table de comparaison entre les réseaux sans fils..... 8

Tableau II. 1 Table de caractéristiques techniques et électriques du module XBee..... 24

Tableau III. 1.Table des niveaux de tension des dispositifs associes…….....52

Tableau III. 2. Table de description des fonctions prédéfinies employés……56

Introduction générale

Le réseau de capteurs sans fil (RCSF) est une technologie émergente qui vise à offrir Des capacités innovantes. Leur utilisation ne devrait cesser d'augmenter et ceci dans de Nombreux domaines qu'ils soient scientifiques logistiques, militaires ou encore Sanitaires. Cependant, la taille des capteurs constitue une limitation importante, il existe de multiples technologies de transmission sans fils ayant chacune leurs caractéristiques à savoir: La consommation, la portée, le débit, ... Parmi ces technologies on cite : Wifi, 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.

C'est dans ce cadre que s'insère notre projet, qui se base sur l'étude et la réalisation d'un nœud de capteur sans fil à base d'un circuit FPGA.

Ce mémoire est structuré en trois chapitres ;

Le premier chapitre présente des différentes notions de base liées aux réseaux de capteur sans fil, ainsi qu'une étude détaillée sur le protocole de communication Zigbee.

La deuxième partie de cette étude prend en charge l'étude des nœuds de capteurs sans filet ces différents composants ainsi que la description des modules Xbee et FPGA qui représentent les éléments de base de notre nœud.

Tandis que le dernier chapitre présente les différentes étapes de l'implémentation de notre nœud sans fil, ainsi que les différents tests effectué et les résultats.

Chapitre I : Généralités

I.1. Introduction

Ce premier chapitre, est le point de départ de notre projet, il matérialise notre premier contact avec ce projet. Ce chapitre est consacré à l'introduction de certaines notions de base liées aux réseaux sans fils, et plus précisément les réseaux de capteur sans fils (RCSF) (Wireless Sensors Network (WSN), en outre on va décrire les différents protocoles de communication sans fil qui existe et plus en détaille le protocole ZigBee qui a été mis en œuvre dans notre projet.

I.2. Les réseaux sans fil

I.2.1. Définition

Un réseau sans fil(en anglais *Wireless network*) est un ensemble de dispositifs 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 techniques de transmission dans les réseaux sans-fil

Il existe principalement deux méthodes pour la transmission dans les réseaux sans fil :

A. Transmission par les ondes infrarouges

La transmission par les ondes infrarouges nécessite que les appareils soient en face l'un des autres et aucun obstacle ne sépare l'émetteur du récepteur. (Car la transmission est directionnelle). Cette technique est utilisée pour créer des petits réseaux de quelques dizaines de mètres (télécommande de : télévision, les jouets, voitures...). [2]

B. Transmission par les ondes radios

La transmission par les ondes radios est utilisée pour la création des réseaux sans fil distants d'une dizaine de mètres à quelques kilomètres. Les ondes radios ont l'avantages de ne pas êtres arrêtés par les obstacles car sont émises d'une manière omnidirectionnelle. Le problème de cette technique est les perturbations extérieures qui peuvent affecter la communication à cause de l'utilisation de la même fréquence par exemple. [2]

I.2.3. Avantages des réseaux sans fil

- ✓ Liberté de mouvement des usagers et des terminaux.
- ✓ Moins de risques de rupture de liens que dans le filaire (coupure du câble, abîmer les connecteurs et prises, etc.).
- ✓ Délais de mise en service du réseau plus faibles.
- ✓ Des économies à long terme (retour sur investissements)[2]

I.2.4. Les catégories de réseaux sans fil

On distingue quatre catégories selon le périmètre géographique ou zone couverture

- ✓ **Les WWAN** (Wireless Wide Area Networks) : C'est des réseaux sans fil qui couvrent une surface étendue, typiquement à l'échelle d'un pays ou d'un continent. [1]
- ✓ **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. [1]
- ✓ **Les WLAN** (Wireless Local Area Networks) : 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 Wifi et les HIPERLAN. [1]
- ✓ **Les WPAN** (Wireless Personal Area Networks) : 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 Home RF. [1]

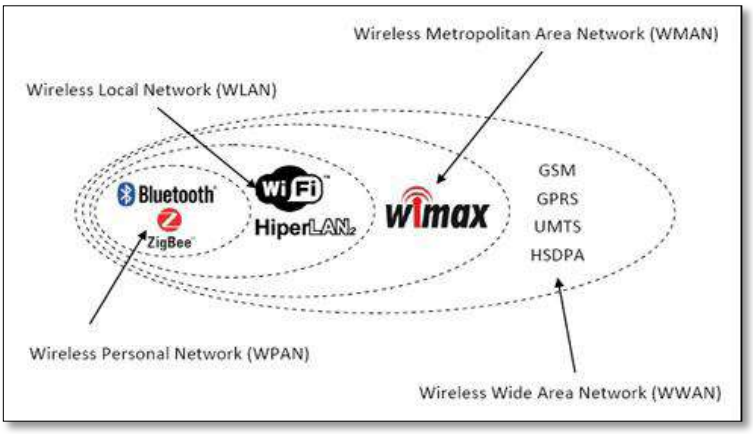


Figure I. 1 *Les différentes catégories des réseaux sans-fil*

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

I.3.1. Définition

Un RCSF 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. [4]

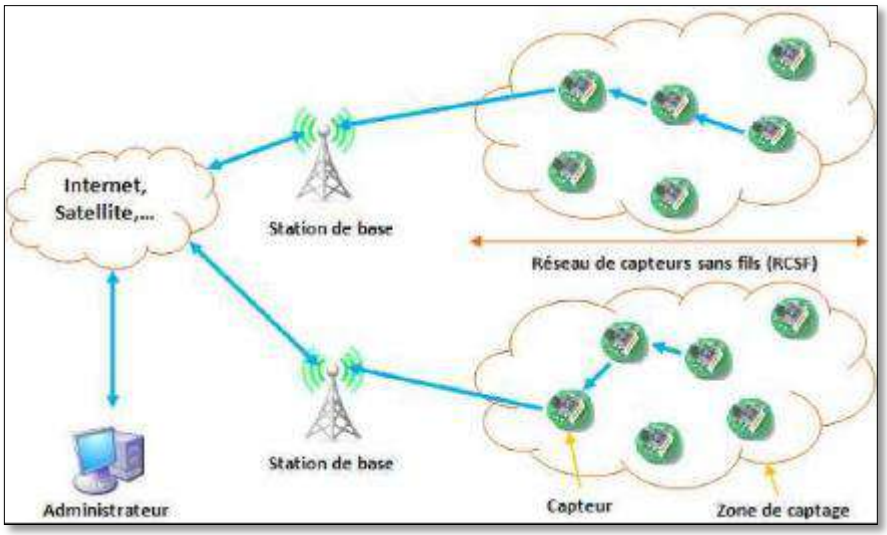


Figure I. 2. *Architecture de communication d'un RCSF*

I.3.2. Les capteurs

Un capteur « Sensor en anglais », est un dispositif qui soumit 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. [3]

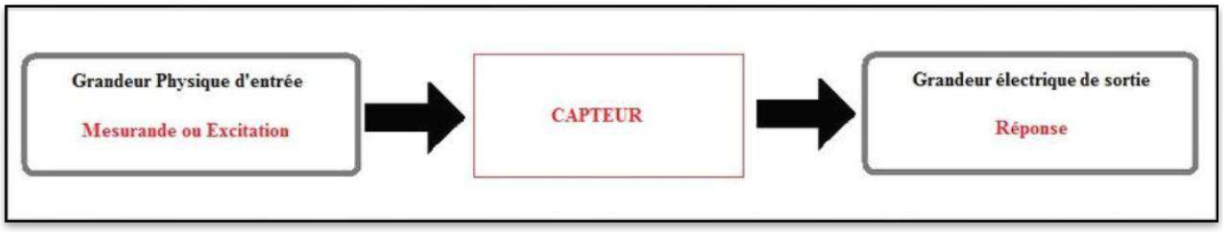


Figure I. 3 *Schéma de principe d'un capteur [16]*

I.3.3. Le nœud de capteurs sans fils

Un nœud de capteur sans fil est un ensemble de dispositifs connectés entre eux et plusieurs nœuds connectes entre eux se forment un réseau capteur sans fils, un nœud de capteur sans fil est censé a faire ces 3 tâches:

- ✓ Capter des données (de type son, vibration, lumière,...).
- ✓ Traiter et Calculer des informations à l'aide de ces valeurs collectées.
- ✓ Les communiquer avec d'autre nœud de capteur. [4]

a) Architecture d'un nœud de capteur [4]

Un nœud capteur est composé de plusieurs éléments ou modules correspondant chacun à une tâche particulière d'acquisition, de traitement, ou de transmission de données. Il comprend également une source d'énergie.

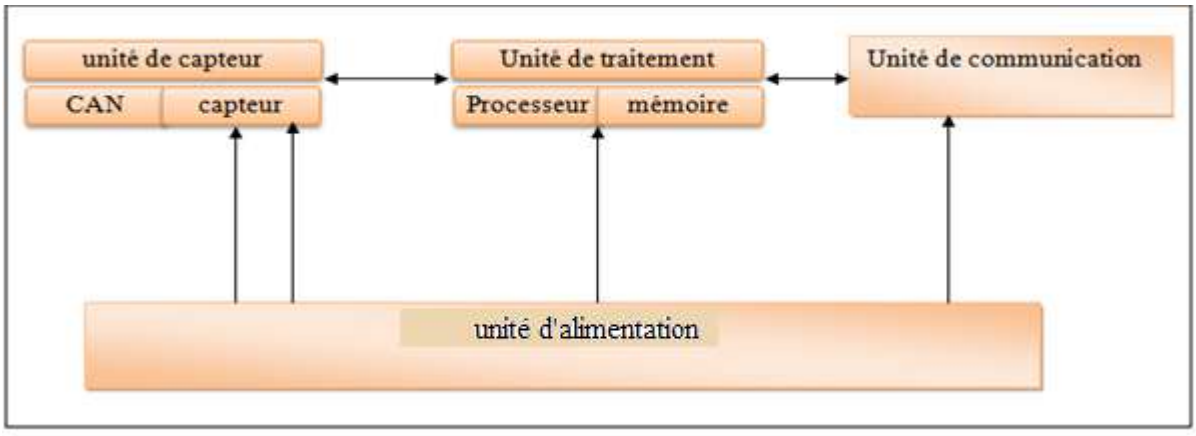


Figure I. 4. *Architecture d'un nœud de capteur.*

✓ **Unité de capture ou d'acquisition (Sensing unit)**

Est généralement composée de deux sous-unités : les capteurs et les convertisseurs analogique-numérique (CANs). Les capteurs obtiennent des mesures numériques sur les paramètres environnementaux et les transforment en signaux analogiques. Les CANs convertissent ces signaux analogiques en signaux numériques.[4]

✓ **Unité de traitement (Processing unit)**

Les données captées sont communiquées au processeur où elles sont stockées dans la mémoire. Cette unité est composée de deux interfaces, une interface avec l'unité d'acquisition et une autre avec le module de transmission. Elle contrôle les procédures permettant au nœud de collaborer avec les autres nœuds pour réaliser les tâches d'acquisition, et stocker les données collectées.[4]

✓ **Unité de communication (Transceiver unit)**

Elle est composée d'un émetteur/récepteur (module radio), elle est responsable de toutes les communications via un support de communication radio qui relie le nœud au réseau. [4]

✓ **Unité d'énergie (Power unit)**

En générale elle est base d'une batterie qui est souvent ni rechargeable ni remplaçable, elle permet d'alimentée les trois autres unités. [4]

I.4. Comparaison entre les réseaux sans fils

Les réseaux sans-fil possèdent plusieurs protocoles de communication, chaqu'un d'entre eux sont distinguent par des caractéristiques qui varie selon la bande passante, le débit, coût …etc. Le tableau suivant représente les différents types des réseaux sans-fil ainsi qu'une comparaison entre ces principaux protocoles de communication.

Protocole	Bluetooth	Zig Bee	Wifi
Norme IEEE	802.15.1	802.15.4	802.11a/b/g/n/n-draft
Besoins mémoire	250 kb	4-32 kb	1Mb
Autonomie avec pile	Jours	Années	Heurs
Portée	10-100 m	100 m	300 m
Nombre de nœuds	7	65000	32
Vitesse de transfert	1 Mb/s	250 kb/s	11-54-108-320Mb/s

Bande de fréquence	2.4 GHz	2.4 GHz	2.4 GHz
Modulation	GFSK	OQPSK	BPSK/PSK/QPSK/ OFDM
Nombre de canaux	19	16	13
Mécanisme de transmission	FHSS	DSSS	DSSS
Application	USB sans fil combiné, casque d'écoute	Télécommande, piles, capteurs	Navigation sur internet mis en réseau PC, transfert de fichier
Cout puce	4 €	2 €	6 €
Mise en œuvre	Très complexe	Simple	Complexe
Extensible	Non	Oui	Possible
Sécurité	Oui	Oui couche applicative utilisateur définie	Oui

Tableau I. 1 *Table de comparaison entre les réseaux sans fils*

Toutes les caractéristiques du protocole ZigBee sont bien adaptées à notre nœud de capteur. En effet, le protocole ZigBee se distingue des autres protocoles par ses faibles besoins en Mémoire, ce qu'est favorable pour son implémentation. De plus, la batterie présente une durée de vie très importante qu'est de l'ordre de plusieurs années. Enfin, ce protocole répond parfaitement aux besoins de notre application.

I.5. Le protocole de communication ZigBee

I.5.1. Définition

ZigBee: zig comme zigzag, **Bee** comme abeille [5]

ZigBee est une norme de communication sans-fil de type LP-WPAN (Low power Wireless personal area network) conçu par la ZigBee Alliance basé sur la norme IEEE 802.15.4 qui définit les couches PHY et MAC, il se caractérise par sa faible porté et sa faible consommation d'énergie.[4] [5]

I.5.2. Historique

1998 : dès l'arrivée des technologies sans fil Wifi 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 : le ZigBee Alliance publie les premières spécifications officielles de la version ZigBee 1.0 qui sont désormais disponibles en libre téléchargement.[5][6]

I.5.3. L'alliance ZigBee

Une organisation mondiale en 2002 constitue 400 sociétés qui travaillent ensemble pour développer un standard global et ouvert pour les communications sans fils avec un cout réduit et une basse consommation de l'énergie. [5]



***Figure I. 5** Suspenseurs du ZigBee alliance*

I.5.4. La norme IEEE 802.15.4

Est un protocole de communication défini par IEEE destiné aux réseaux sans fil LP-WPAN, du fait de leur faible consommation, leur faible portée et du faible débit des dispositifs utilisant ce protocole. [5]

I.5.5. 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….etc.), Par conséquent, un nœud peut supporter plusieurs entités possède un objet d'application qui décrit la fonction de ce dernier. [4]

I.5.5.1. Les entités réseaux

La technologie ZigBee prévoit deux types d'entités :

1. **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).[7]

2. **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). [7]

A. 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 [8]

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 :

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

B. Les routeurs ZigBee (ZR)

Un routeur est un FFD, il est optionnel, son rôle principal 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.[4]

C. Les ZigBee End- Devices (ZED)

Ce sont tous les modules terminaux, ils peuvent être module, ils peuvent être un FFD ou un RFD, ils sont toujours localisés en périphérie du réseau, comme les capteurs, actionneurs… etc.

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. [7]

I.5.5.2. Topologies du réseau ZigBee

La norme IEEE 802.15.4 propose comme fonctionnement une topologie en étoile, point à point, maillée et en arborescence, Le réseau ZigBee est un réseau sans fil maillé Chaque nœud (module) doit s'identifier avant de rejoindre le réseau. [7]

A. Topologie étoile (star)

Dans la topologie étoile présentée par figure 1.6, les entités RFD sont connectées à un nœud FFD central appelé coordinateur d'accès. Les communications directes entre entités RFD sont impossibles. Notons que 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.[7]

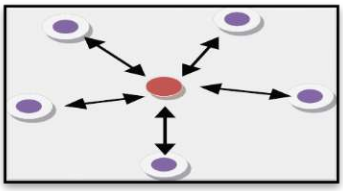


Figure I. 6 *Topologie en Etoile (Star)*

B. Topologie Point à Point

Dans la topologie point à point (peer-to-peer) présentée par la figure 1-7, 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.[7]

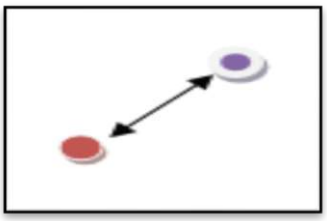


Figure I. 7 *Topologie Point à point*

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.[4]

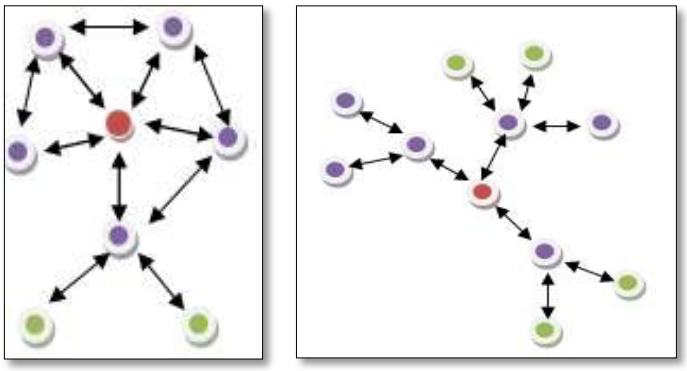


Figure I. 8 *Topologie en arbre ou maillé*

I.5.6. L'architecture ZigBee

I.5.6.1. La pile protocolaire

Comme tout réseau, la norme ZigBee est composé des différentes couches, similaire au sept couches du modèle OSI., mais ce modèle a été simplifié en quatre couches seulement pour simplifier la complexité du ce protocole .ces quatre couches sont :

- ✓ la couche Physique (PHY).
- ✓ la couche Liaison (LNK).
- ✓ la couche Réseau (NWK).
- ✓ la couche Application (APL).

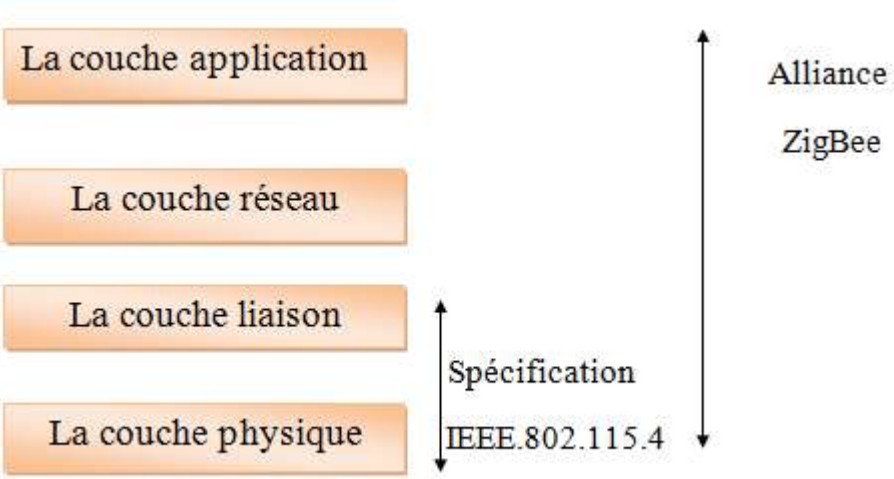


Figure I. 9 *Pile de protocoles Zig Bee*

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) sont 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 : [9]

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

1. La couche Physique (PHY) [9]

Cette couche supporte la gestion des fréquences d'émission et de réception ca veut Traduit les trames en bits qu'elle peut transmettre et recevoir par transmission radio, et supporte le débit des données envoyées ou reçues, le type de modulation et le codage. 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 :

- ✓ La sélection du canal d'émission (sélection de fréquence).
- ✓ La communication des canaux.
- ✓ L'évaluation de la qualité du canal…etc.

2. La couche liaison (LNK) [4]

Cette couche s'appuie sur les ressources de la couche physique 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'ordonnancement des données.
- ✓ L'accès au canal physique (medium).
- ✓ La délivrance de la trame d'acquittement (ACK).
- ✓ Gérer la sécurité.

3. La couche réseau (NWK) [9]

Les principales fonctions remplies par cette couche sont les suivantes :

- ✓ Création des connexions entre les nœuds du réseau.

- ✓ La construction et la maintenance de la topologie.
- ✓ Gestion de l'adressage et du routage.

Propose des services à la couche supérieure (applications).

4. La couche application (APL) [4]

Elle comporte les éléments logiciels, cette couche est constituée de plusieurs sous-couches, elle se compose des éléments suivants :

A. 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.

B. AF (Application Framework)

Est un environnement d'exécution pour les objets d'application (End points) pour envoyer et recevoir les données, les Objets d'application Sont définis par le fabricant du dispositif Zig Bee.

C. Périphérique Zig Bee (ZDO) (Zig Bee Dvice 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.5.7. Le routage

Deux types de routage existent au niveau de la couche réseau : Le routage direct, et le routage indirect.

A. Le routage 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. [4]

B. Le routage indirect

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**.[4]

Le protocole Zig Bee s'appuie sur le protocole de routage AODV (Ad hoc On Demand Vector) qui est un algorithme de routage suggéré par la Zig Bee Alliance pour les réseaux maillés. [4]

I.5.7.1. Principe du protocole AODV

AODV est un protocole de routage purement « à la demande » c'est-à- dire que les nœuds qui participent au routage ne cherchent pas à maintenir des informations sur la topologie du réseau ou sur les routes. Lorsqu'un nœud veut envoyer un message à un autre nœud et qu'il ne possède pas l'entrée correspondante dans sa table de routage, il lance le processus de recherche de chemin (Path Discovery) en diffusant une requête de recherche de route RREQ (Route Request). [10]

Cette requête est relayée par les routeurs voisins, et ainsi de suite, par inondation sur tout le réseau. Lorsque le nœud de destination reçoit la requête, il répond en envoyant un message de réponse RREP (Route Reply) mais à la différence du RREQ qui avait té envoyé par diffusion, la réponse est envoyée seulement au dernier routeur ayant relayé la diffusion et ainsi de suite, jusqu'au nœud qui avait initialement demandé la route. Pour retrouver le chemin inverse, chaque routeur rediffusant un message RREQ doit mémoriser par quel voisin ce message lui est parvenu.[10]

I.5.7.2. 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.[4]

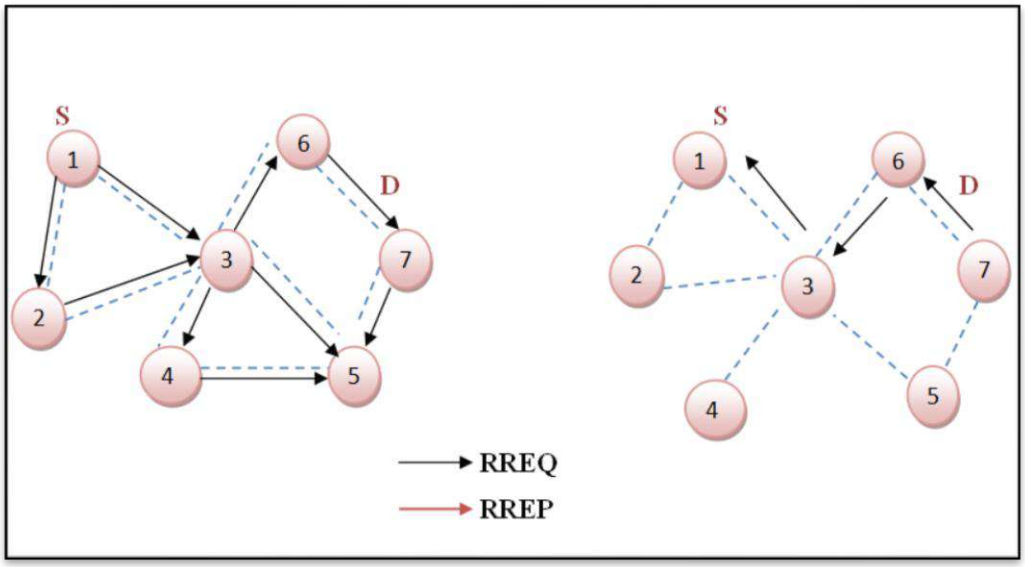


Figure I. 10 *Principe de routage AODV*

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

I.5.8 L'Adressage

Toute entité Zig Bee 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 Zig Bee 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 216 (65 536) nœuds disponibles dans un réseau Zig Bee. [4]

I.5.9. Méthode d'accès au medium

Lorsqu'un nœud Zig Bee 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.[11]

I.6. La trame Zig Bee

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 Zig Bee 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 Zig Bee, 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 Super Frame :** 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]

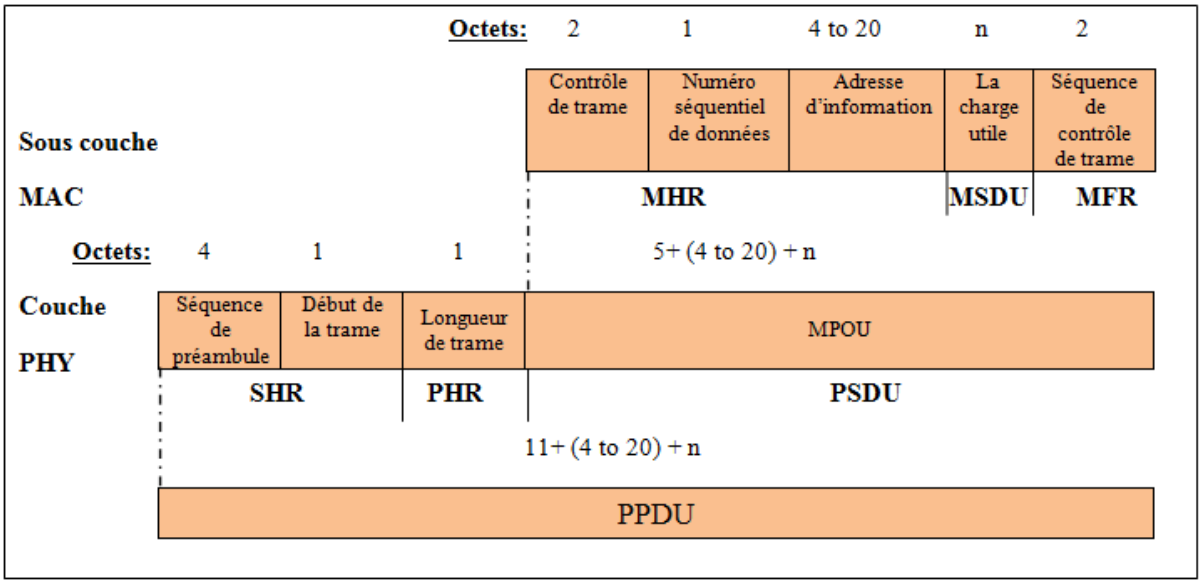


Figure I. 11 *La trame ZigBee*

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 **contrôle de trame :** indique type de trame MAC et spécifie le format du champ adresse.
  - Le champ **Numéro de Séquence:** assure l'ordre à la réception et permet l'acquittement des trames MAC.
  - Le champ **adresse d'information :** 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 Foote R)**
  - Le FCS (Frame Check Sequence) ou bien la séquence de contrôle de trame assure que la trame est transmise sans erreur.
  - CRC sur 16 bits.

I.7. Les module radios Zig Bee/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 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). [1]

Le tableau suivant illustre quelques familles des 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)

Figure I. 12 *Les différents modules ZigBee [4]*

I.8. La sécurité Zig Bee

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.[12]

- ✓ **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. La couche

MAC utilise un algorithme de cryptage avancé de type AES-128 (Advanced Encryptions Standard), qui protège la confidentialité, l'intégrité, et l'authenticité des trames MAC. [4]

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.[4]

I.9. Avantages et inconvénients du protocole ZigBee

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.[13]

I.10. Domaines d'application

On regroupe généralement les applications ZigBee dans six grandes catégories :

a. L'automatisation des immeubles

La sécurité, le contrôle d'accès, l'éclairage, le chauffage, ...etc. [7]

b. Le médical

Le suivi et la surveillance continue des patients, le monitoring des phases d'efforts lors d'activité physiques et sportives,…etc.[7]

c. 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….etc.[7]

d. 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 », ...etc. [7]

I.11. Conclusion

Dans ce premier chapitre nous avons donné une aperçue générale sure la norme ZigBee qui se distingue d'autre normes par sa faible consommation d'énergie et son faible coût de production, qui font de ce dernier un candidate idéale pour les applications du secteur industriel nécessitant des systèmes de mesures à base de capteurs, tel que les systèmes de télécommandes, des équipements de contrôle ou bien les équipements grand public comme le cas de la domotique.

Chapitre II: Sélection de la technologie

II.1. Introduction

Dans le chapitre précédent, on a vu des généralités sur le protocole de communication ZigBee, par la suite on va passer dans ce chapitre à la conception de notre nœud de capteur sans fil à base d'un circuit FPGA.

Pour ce faire on doit passer par l'étape de présentation des éléments de base qui construisant notre nœud qui sont les modules RF de type XBee et le circuit FPGA de la famille Xilinx précisément son processeur softcore le MicroBlaze.

II.2. Présentation des modules XBee

II.2.1. Définition

Les modules XBee sont des transmetteurs (a la fois émetteur et récepteur) très populaires fabriqués à l' origine par la société Maxstream devenue plus tard 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.

Ces modules sont caractérisés par une portée assez considérable 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 [4].

II.2.2. Types des modules XBee

A. Les modules XBee Série 1

Sont les modules du type le plus populaire, Ces modules prennent la pile 802.15.4 (Base ZigBee) et l'envelopper dans une commande série simple à employer, Ils permettent une communication très fiable et simple entre des microcontrôleurs, des ordinateurs, ou des périphériques à base d'une liaison série, ils également supportent une topologie point à point et point à multipoint.

- **Les modules XBee S1 PRO**

La version PRO a les mêmes caractéristiques que les modules XBee Série 1 sauf que la version PRO dispose d'une portée plus importante que celle qui précède.

B. Les modules XBee Série 2

Ce type de modules XBee Série 2 permet de créer des topologies plus complexes : maillé (mesh) et en arbre (cluster), plus important être configure comme un routeur ce qui est pas possible pour la série 1 qui peut être configure juste comme un End -Device ou bien un coordinateur. Néanmoins, il faut noter que les modules XBee Série 1 et Série 2 ne sont pas compatible entre eux.

II.2.3. La caractéristique technique des modules XBee

Le tableau suivant représente les caractéristiques principales des modules XBee

Spécification		Série 1	Série 2	S1pro
Performance	Portée intérieure	Jusqu'à 30m	Jusqu'à 40m	Jusqu'à 100m
	Portée extérieure	Jusqu'à 100m	Jusqu'à 120m	Jusqu'à 1500m
	Puissance de transmission RF	1mW	2mW	60 mW
	Vitesse de transmission RF	250 kb/s	250 kb/s	250 kb/s
Alimentation et consumation	Tension d'alimentation	2.8 VDC- 3.4 VDC	2.8 VDC- 3.4 VDC	2.8 VDC- 3.4 VDC
	Courant en émission	45 mA a 3.3V	40mA a 3.3V	45mA a 3.3V
	Courant en réception	50mA a 3.3V	40mA a 3.3V	55mA a 3.3V
	Courant de repos	<10µA	<1µA	<10µA
Autres caractéristiques générales	Fréquence	ISM 2.4GHz	ISM 2.4GHz	ISM 2.4GHz
	Température de fonctionnement	-40 à 85°C	-40 à 85°C	-40 à 85°C
	Antennes optionnelles	UFL, Chip, Wire	RPSMA, UFL, Chip, Wire(*)	UFL,Chip, Wire
Réseau	Topologie 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, maille.	Point à point, point à multi-point, peer to peer et mesh

Tableau II. 1 *Table de caractéristiques techniques et électriques du module XBee*

* Les différentes types d'antenne de module XBee

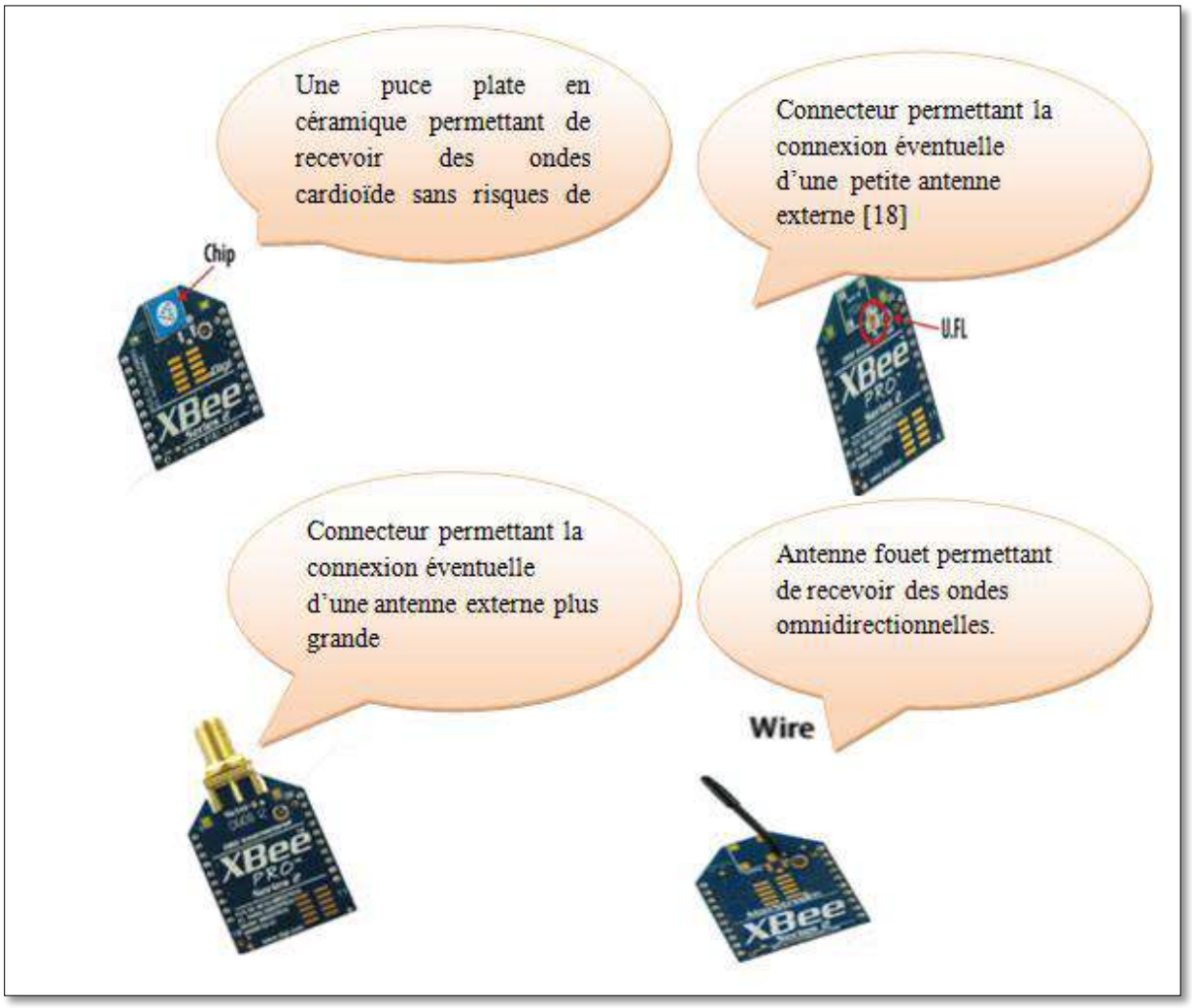


Figure II. 1 *Les différentes types d'antenne de module XBee*

II.3. Présentation du circuit FPGA

II.3.1. Définition

L'acronyme FPGA (Field Programmable Gate Array) désigne un circuit intègre logique composé d'un réseau de cellules programmables, inventés par la société Xilinx la famille que nous allons utiliser, sachant qu'il existe d'autre famille sur le marché comme Aletra, atmel …..etc. [15]

Un FPGA est un ensemble d'un réseau de blocs logiques élémentaires que l'utilisateur peut interconnecter pour réaliser les fonctions logiques de son choix, Sans avoir jamais besoin d'utiliser une maquette ou bien un fer a souder, il suffit développer des taches de traitement numériques par logiciel et de les compiler sous forme de fichier de

configuration ou de flux de bits (bit Stream) contenant des informations sur la manière dont les composants doivent être relies. Donc l'avantage de ces types de circuits est leur grande souplesse dans leur technologie permettant une réutilisation à volonté et en un temps très court (quelques millisecondes).[15]

II.3.2. Application des FPGA

Les FPGA sont utilisés dans de nombreuses applications, on en cite dans ce qui suit quelques unes

- Prototypage de nouveaux circuits.
- Fabrication de composants spéciaux en petite série.
- Adaptation aux besoins rencontrés lors de l'utilisation.
- Systèmes de commande à temps réel.
- DSP (Digital Signal Processor)
- Imagerie médicale.

II.3.3. Architecture des FPGA

Les circuits FPGA sont constitués d'une matrice de blocs logiques programmables entourés de blocs d'entrée sortie programmable. L'ensemble est relié par un réseau d'interconnexions programmable [17]

Les FPGA sont bien distincts des autres familles de circuits programmables tout en offrant le plus haut niveau d'intégration logique. Il existe actuellement plusieurs fabricants de circuits FPGA et plusieurs technologies et principes organisationnels. L'architecture, retenue par Xilnix, se présente sous forme de deux couches.

- Une couche appelée circuit configurable.
- Une couche réseau mémoire SRAM (Shadow Random Access Memory).

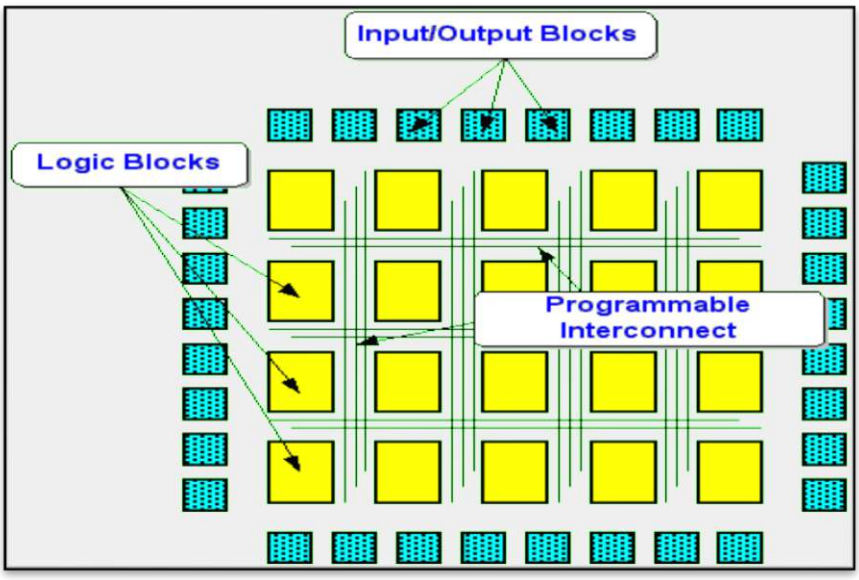


Figure II. 2 *Architecteur interne d'une carte FPGA de la famille Xilnix [18]*

La couche circuit configurable est constituée d'une matrice de blocs logiques configurables permettant de réaliser des fonctions combinatoires et des fonctions séquentielles. Tout autour de chaque bloc logiques configurable, nous trouvons un bloc d'entrées /sorties IOB dont le rôle est de gérer les entrées-sorties réalisant l'interface avec les modules extérieurs.

La configuration du circuit est mémorisée sur la couche réseau SRAM et stockée dans une ROM (Read Only Memory) externe. Un dispositif interne permet à chaque mise sous tension de charger la SRAM interne à partir de la ROM. Ainsi on conçoit aisément qu'un même circuit puisse être exploité successivement avec des ROM différentes puisque sa programmation interne n'est jamais définitive.[18]

II.3.4. Les types de blocs logiques dans les FPGA

Le FPGA prévoit quatre types de blocs logiques :

A. Les blocs à multiplexeurs

C'est un circuit logique qui permet de sélectionner une seule sortie parmi N entrée selon certain conditions.[19]

B. Les LUT (Look-Up Table)

Les Look-Up Table sont des blocs logiques de très petite taille et un cas particulier des cellules à multiplexeur, avec de 2 à 9 entrées et dont la technologie du point mémoire est une technologie SRAM. Une Look Up Table de N entrées est une mémoire qui peut implémenter n'importe quelle fonction booléenne de N variables. Les N entrées sont utilisées comme adresse d'une mémoire de 2^n bits qui code la fonction booléenne à réaliser. On peut donc réaliser 2^n fonctions différentes avec une LUT à N entrées. [19]

Comme Les Look-Up Table possèdent une bascule de sortie, les architectures à base de Look-Up Table sont beaucoup plus riches en bascules que les architectures à macro-cellules.[19]

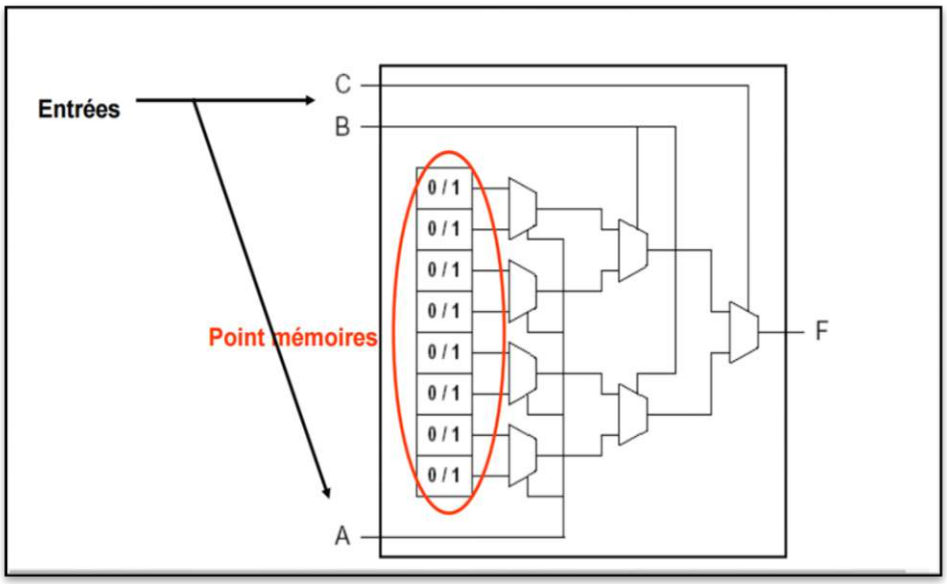


Figure II. 3 *Un schéma qui représente le fonctionnement d'un LUT*

C. Cellules symétriques

C'est des blocs de petite taille servent à réaliser des fonctions logiques simples(les opérations logique et arithmétiques) mais aussi il peut être exploité comme des ressources de connexion.[19]

D. Les macro-cellules

La macro-cellule est un circuit l'équivalent d'un bascule D ce dernier comporte uniquement une entrée de données dont La valeur de l'entrée est recopiée sur la sortie à

chaque front d'horloge, avec en plus un ensemble de signaux de contrôle pour la rendre la plus versatile possible.[19]

II.3.5. Les processeurs embarqués

Un cœur de processeur est la partie matérielle qui traite les données en fonction du décodage des instructions contenues en mémoire. Les cœurs de processeurs peuvent être : soit des macro-cellules spécialisées, dites processeur Hardcore (PowerPC et ARM), soit des modules synthétisables, dits processeur softcore (MicroBlaze, NIOS-II, etc.).

Ces Softcore sont configurables à travers plusieurs paramètres (profondeur du pipeline, taille du cache, présence ou non de multiplieurs, etc.). [18]

A. Les processeurs Hardcore [18][19]

Le cœur d'un processeur hard est décrit au niveau physique (layout sur silicium). Dans ce cas, l'optimisation est maximale en termes de vitesse et de surface utilisée (technologie fixe). Les performances du système sont parfaitement connues et ne varient pas d'un système à l'autre (surface, consommation, délais). Cependant, le cœur du processeur hard souffre d'une trop faible flexibilité ce qui le rend très spécifique à l'application pour laquelle il a été étudié.

Selon le constricteur il existe plusieurs types de processeur Hardcore, Le processeur PowerPC405 de Xilinx est le processeur intègre pour les cartes de cette famille qui a été développe a l'origine par la société Xilnix.

B. Les processeurs Softcore [19][21]

La capacité d'intégration des FPGA permet d'implémenter des processeurs Softcore, qui sont des processeurs décrits à l'aide d'un langage de description matériel (VHDL(ou bien Verilog) pouvant être synthétisable.

Ces processeurs reprennent exactement le fonctionnement et les performances des autres processeurs implémentés en hard, l'avantage ici réside dans leur capacité d'être paramétrée. En effet, un processeur Softcore s'adapte aux besoins de ses développeurs ainsi qu'aux contraintes matérielles (périphériques, performances, ressources, consommation, etc.).

Les performances d'un Softcore sont, généralement, inférieures à celles d'un processeur Hardcore. Parmi les produits existant en ce moment sur le marché on peut citer : Parmi les le MicroBlaze le processeur développé par Xilinx.

➢ Le MicroBlaze : [22] [18]

Le MicroBlaze est le cœur d'un processeur Softcore de 32 bits conçu par la société Xilinx pour être implémenté sur les cartes FPGA de ce fabricant.

Ce processeur qui est Basée sur l'architecture Harvard se caractérise par :

- Une architecture de type RISC c'est-à-dire que son jeu d'instruction est plutôt réduit.
- 32 registres généraux, ainsi que quelques registres particuliers supplémentaires.
- un bus instructions interne (ILMB), pour accéder aux blocks RAM inclus sur le FPGA.
- un bus donné interne (DLMB).
- un bus d'instructions externe (IOPB).
- un bus de données externe (DOPB).

De nombreux périphériques sont fournis avec le MicroBlaze, afin de constituer un microcontrôleur complet et personnalisable, Citons parmi eux :

- L'interface SPI (serial peripheral interface).
- Le contrôleur mémoire SDRAM.
- L'UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter) lite .

La figure ci-dessous montre l'architecture interne d'un MicroBlaze.

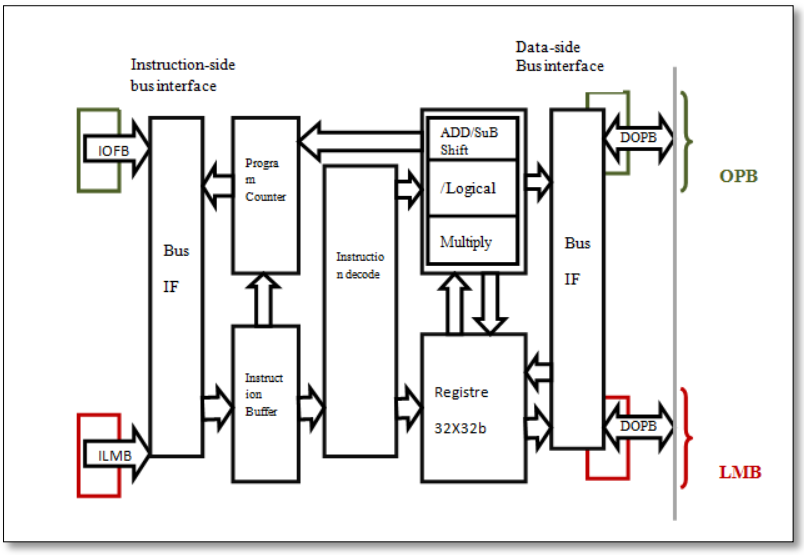


Figure II. 4 *L'architecture interne d'un MicroBlaze.*

Ce processeur de type Softcore a pour avantage de permettre aux concepteurs de systèmes complexes d'intégrer facilement de la flexibilité dans leurs systèmes.

Cette flexibilité est obtenue à l'aide des outils de programmation. Cependant, ce processeur flexible possède une puissance de calcul assez faible.

- **Outils de développement du MicroBlaze**

Afin de créer des applications embarquées, Xilnix a développé un outil de développement appelé EDK (Embedded Development Kit).
Cet environnement permet de développer une application complète à processeur embarqué et de l'intégrer à un FPGA., de plus EDK donne un accès à tous les réglages nécessaires pour cette application notant que l'EDK offre la programmation d'un ou plusieurs MicroBlaze et de leurs périphériques, Tout en tournons vers des applications logicielles écrites en langage C.

II.4. Le mode de transmission série

Pour une transmission donnée sur une voie de communication entre deux machines la communication peut s'effectuer de différentes manières ou La transmission
est caractérisée par :

- le sens des échanges.
- le mode de transmission: il s'agit du nombre de bits envoyés simultanément.
- la synchronisation: il s'agit de la synchronisation entre émetteur et récepteur.[]

Dans notre cas le module XBee peut émettre et recevoir 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 présentent une liaison UART.

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. Le port série permet la transmission des données entre 2 machines, le circuit périphérique qui gère cette fonction s'appelle un « UART ».On distingue deux modes de transmission série qui spécifie le type de synchronisation entre l'émetteur et le récepteur.[23]

II.4.1. La liaison série synchrone

Elle censé a 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.

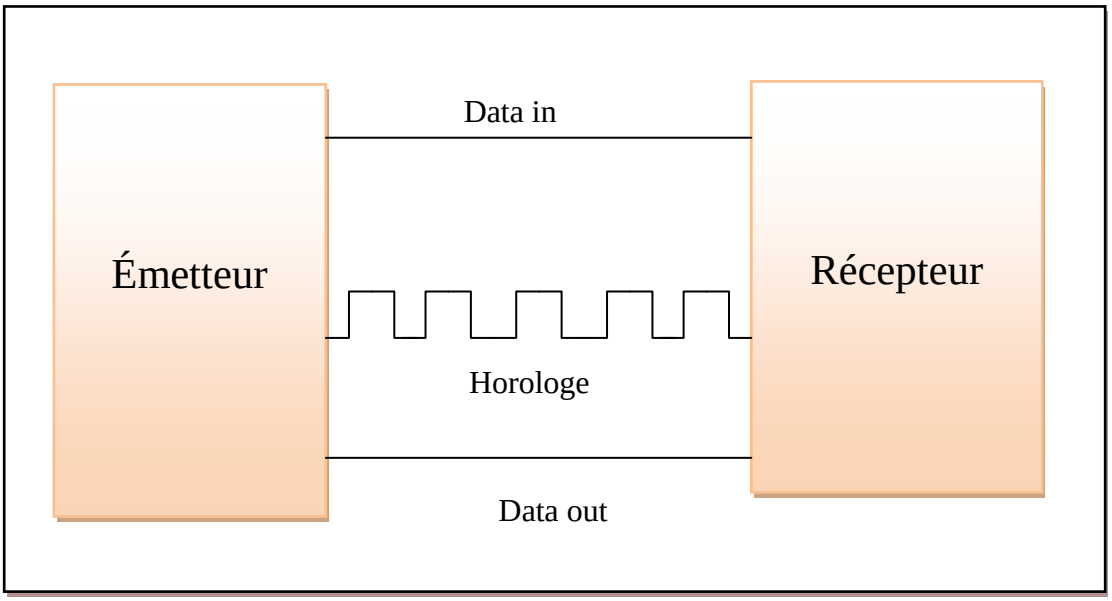


Figure II. 5 *Schéma de principe de fonctionnement la liaison série synchrone*

II.4.2. La liaison série asynchrone

Cette liaison est la plus utilisée, 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, comme la figure suivante l'indique.

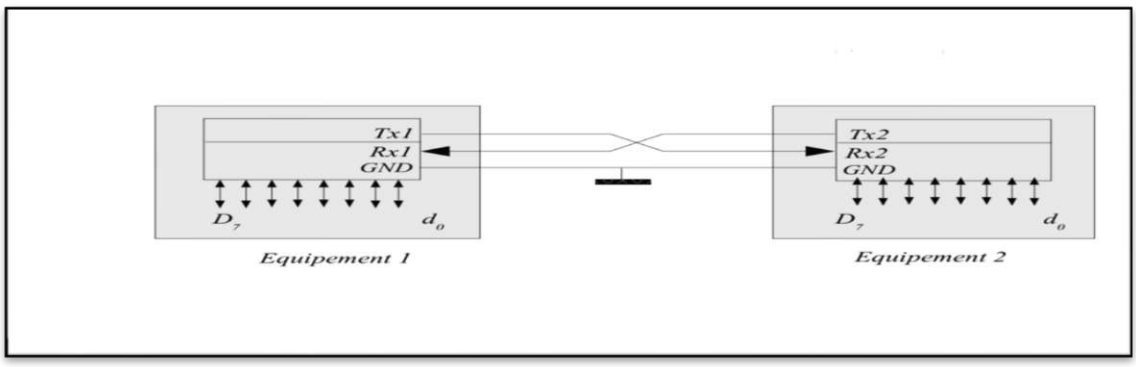


Figure II. 6 *Principe de fonctionnement de la liaison série asynchrone[24]*

II.4.3. La liaison UART

L'acronyme UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter) ou bien un émetteur récepteur asynchrone universel, désigne l'élément de base qui gère 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.

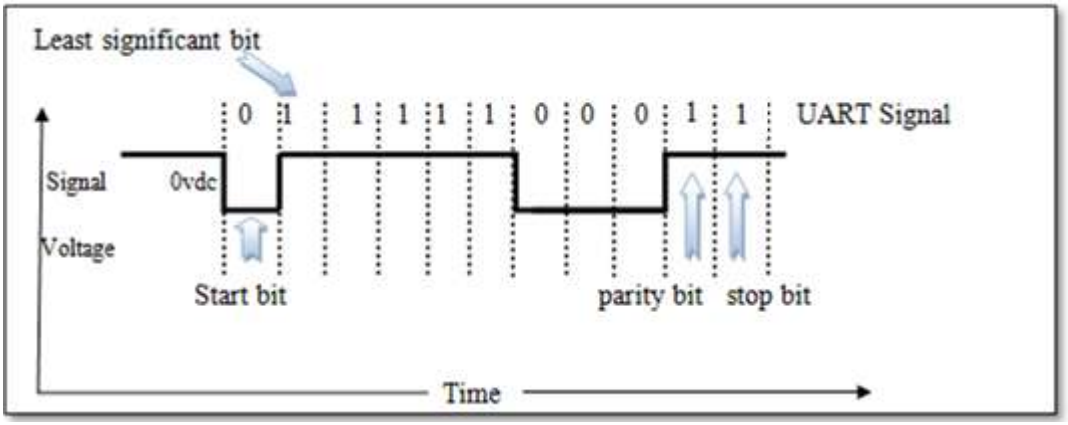


Figure II. 7 *Trame de données envoyée via un port série*

Chaque paquet est constitué d'un bit début 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 : [4]
- Au repos (IDLE) le niveau logique est à "1".
- la transmission commence par l'envoi d'un bit du début (niveau logique "0").
- on envoie des bits de données, commencent par le bit de poids faible, et on termine par le bit de poids fort.
- Envoi d'un bit de parité paire ou impaire.
- Envoi d'un ou deux bits de STOP (niveau "1") indiquant la fin d'émission du caractère.
- La ligne se retrouve alors en état de repos (niveau "1"), le cycle peut recommencer avec l'envoi d'un nouveau caractère.

II.5. l'interfaçage FPGA –XBee

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 MicroBlaze.

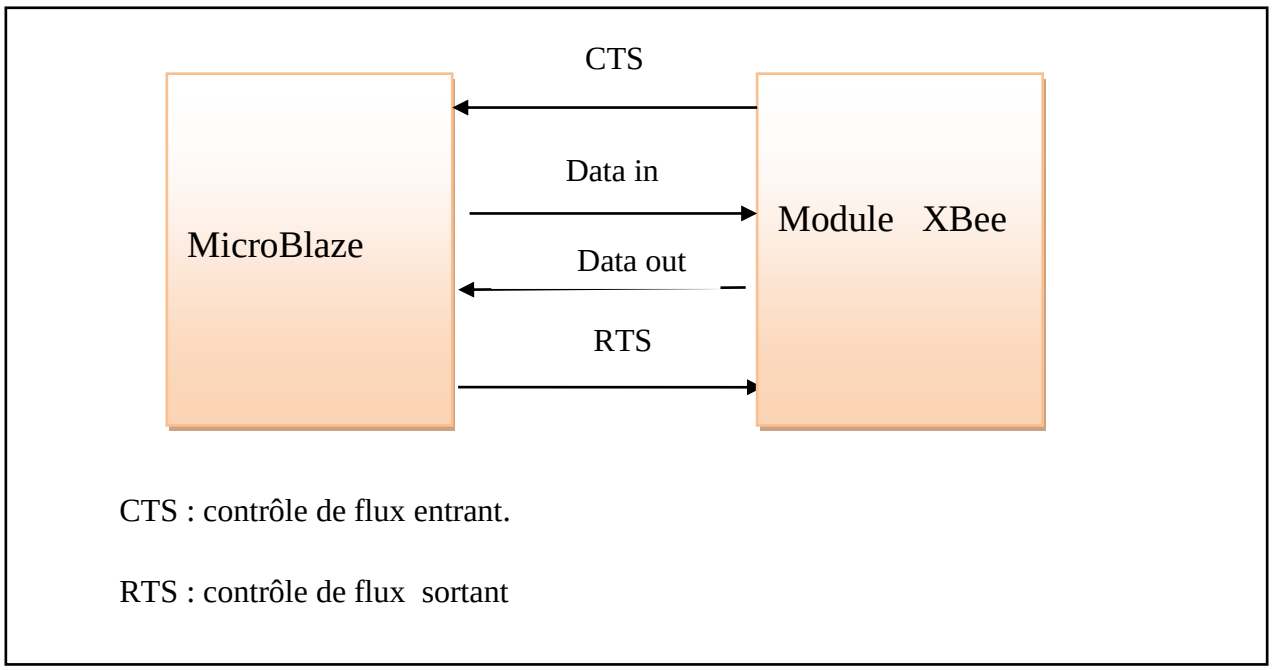


Figure II. 8 *Interfaçage du module XBee avec un MicroBlaze*

- **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 l'autre un pour l'émission (TX).

Dans certaines situations, la simple connexion de TX et RX ne suffise pas pour assurer la fiabilité de la délivrance des données. Dans ce cas, une solution pratique a été propose pour assure que rien ne soit perdu pendant la transmission qui est : le contrôle de flux.

- **Le contrôle de flux**

Les données sont stockées dans des tampons (buffers) limités en taille appartient modules XBee pendant l'opération d'émission et de réception, car les modules ne peuvent pas émettre et recevoir les donnes en même temps, par conséquent la gestion de ces derniers est une

nécessité pour éviter la perte des données, Ce qu'il s'agit d'une gestion de flux entrant et d'une gestion de flux sortant.

✓ **Flux entrant**

Le MicroBlaze envoi ses données vers le port DI (Data IN) du module XBee, ces données vont être mémorisées dans un 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.

✓ **Flux sortant**

Le MicroBlaze 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 de réception du microcontrôleur est plein, le signal RTS est mis à "1"
- Quand le buffer DO est plein, toute donnée envoyée par voie RF est perdue.
- Dès que le buffer est libre, le RTS repasse a "0" les données ressortent du XBee par pour signaler l'arrêt de l'envoi des données vers le MicroBlaze. Data OUT.

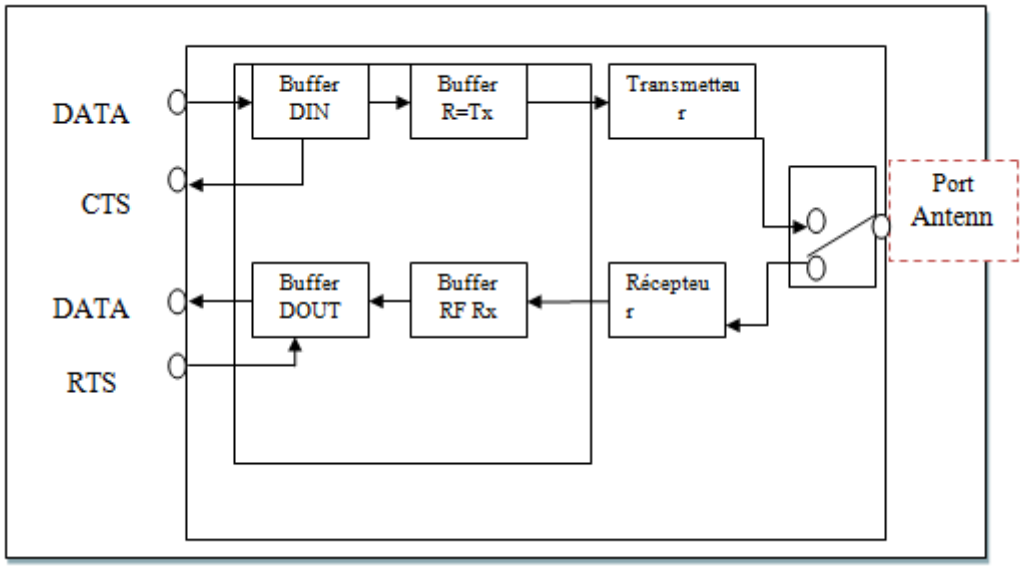


Figure II. 9 *Architecture interne du module XBee*

- **Les états de fonctionnement**

Il existe cinq états de fonctionnement : Le mode IDLE (attente) : correspond à l'état de repos.

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

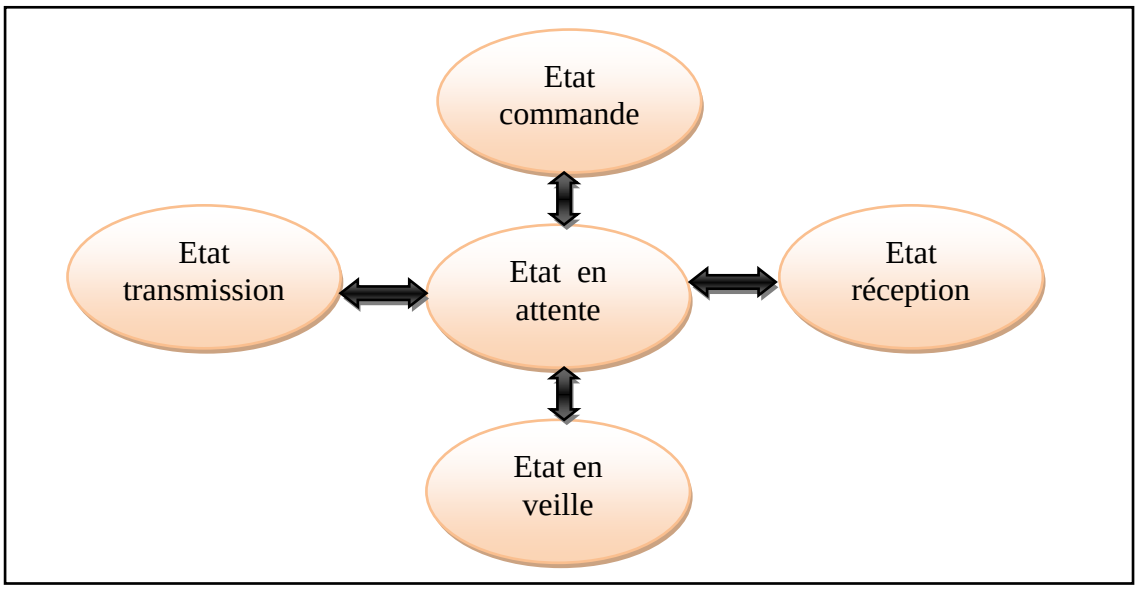


Figure II. 10 *Les états de fonctionnement du module XBee*

II.6. Les modes de fonctionnement des modules XBee

Les modules XBee peuvent fonctionnées sous deux modes :

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

A. 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 Configuration en mode AT.

B. Le mode API

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

II.7. Analyse des trames

II.7.1. 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, la structure d'une trame API est montré

Dans la figure suivante :

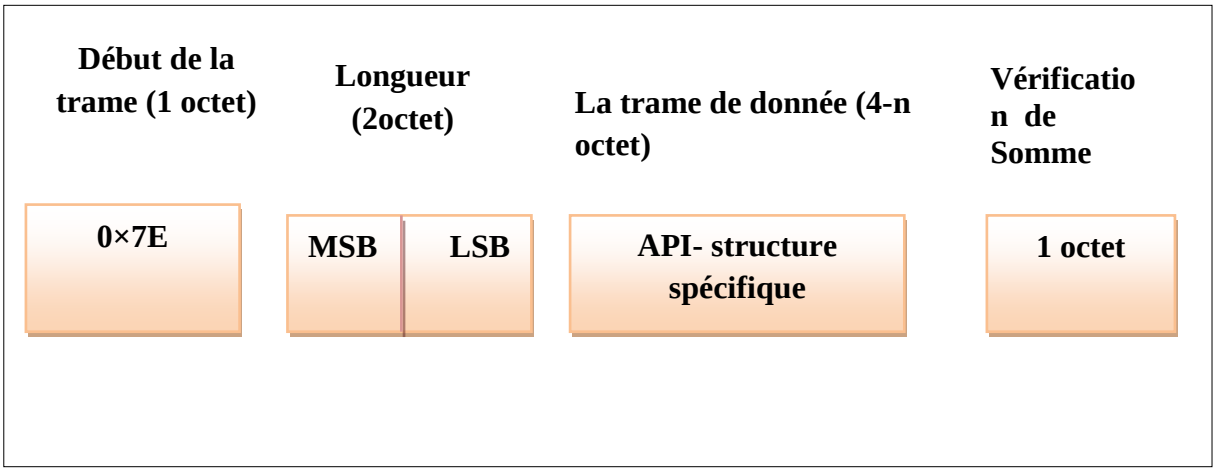


Figure II. 11 *Structure de la trame API*

La trame est constituée des champs suivants :

- **Début :** indique le début de la trame est toujours 0x7E.
- **Longueur :** Définit la longueur totale de la trame sans la vérification de somme
- **La trame de données :** Définit le type de la trame (mode API, commande AT).
- **Vérification de Somme** : Permet de vérifier et de contrôler la bonne réception de la trame.

A. Exemple d'une trame API

Soit la trame suivante :

7E 00 12 92 00 13 A2 00 40 C1 2A BF 69 CF 41 01 00 01 00 00 01 52

7E : début de la trame.

00 12 : La Langueur de la trame : nombre d'octets entre length et le chucksum.

00 13 A2 00 40 C1 2A BF 69 CF 41 01 00 01 00 00 01: des trames de données

52 : la somme de vérification.

Somme de vérification = 92– (13 + A2 + 40 + C1 + A2 + BF + 69+ CF + 41 +01+01+92)= 52

II.7.3. 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 jusqu'à 90 mètres.

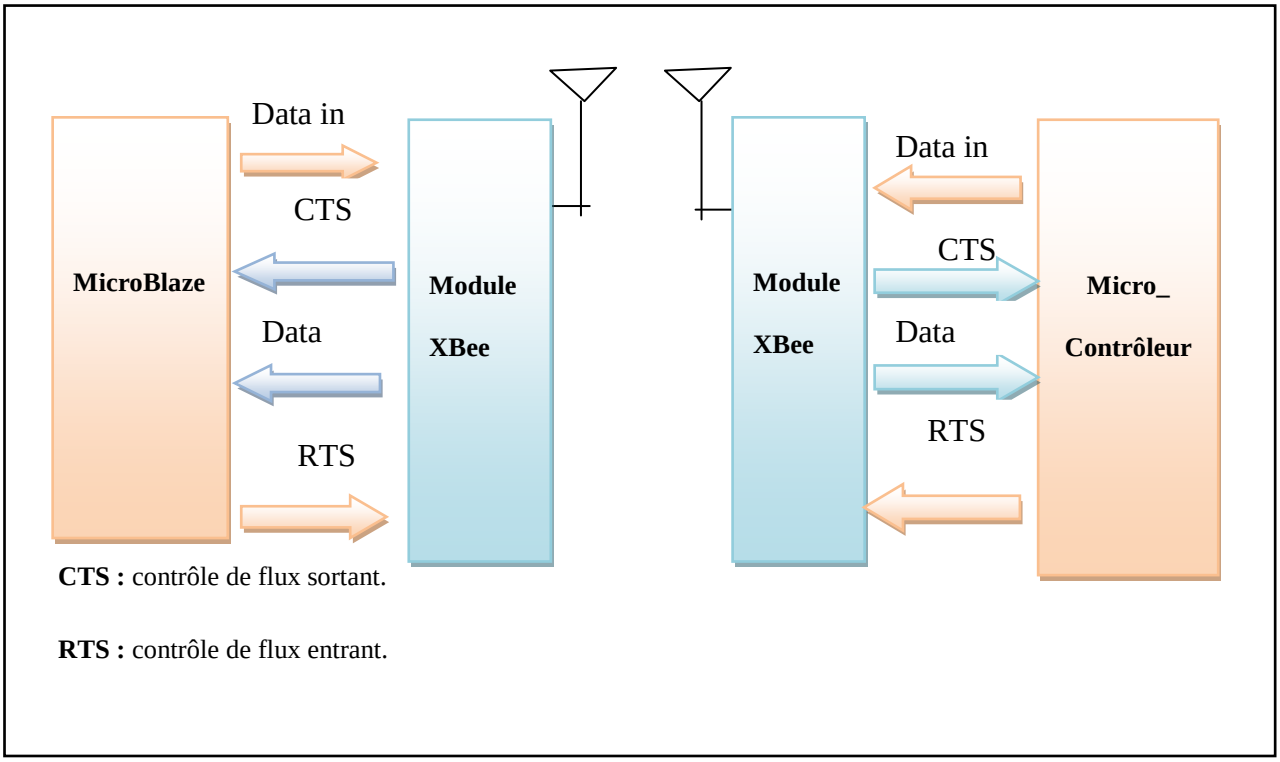


Figure II. 12 *Système de communication RF utilisant des modules XBee*

La création d'un réseau ZigBee avec les modules XBee se fait par la configuration de ces derniers, mais Avant de passer a l'étape de la configuration il est nécessaire de choisir un canal et un PAN ID qui doit respect les conditions suivants :

- 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 voisins
- Les valeurs possible de PAN ID 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

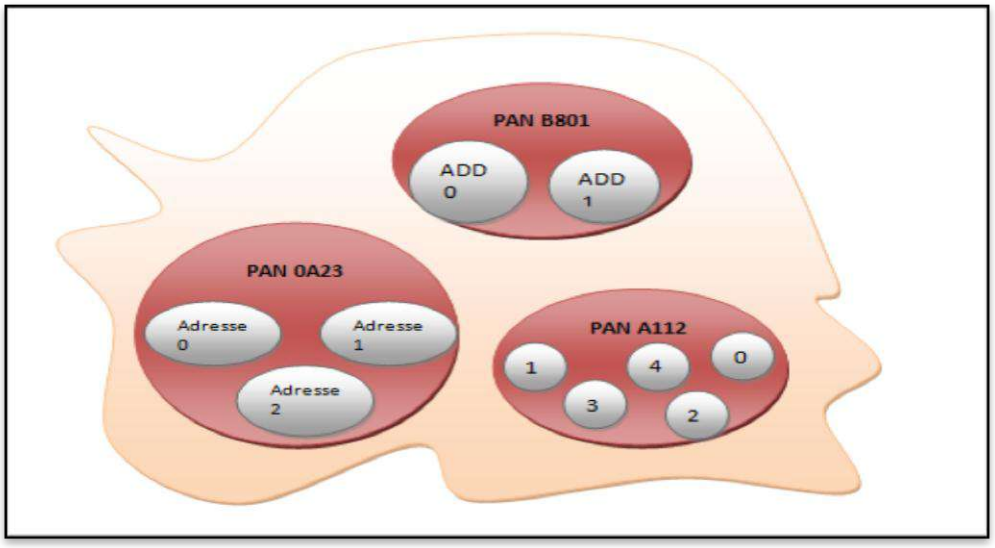


Figure II. 13 *Canal de communication RF [4]*

Les modules XBee peuvent fonctionner suivant 2 modes réseaux:

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 PAN.

II.8. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les différents composants tel que le module XBee et le Softcore MicroBlaze qui constituant les éléments de base de notre nœuds sans fil ainsi que les différents modes de fonctionnement possible pour le module XBee et leurs différents états de fonctionnement.

Nous avons également décrire le principe de fonctionnement de la communication RF, La prochaine étape dans cette étude consiste à l'implémentation pratique de notre nœud de capteur, et montrer par une application pratique l'intérêt et l'utilité de ce type de modules.

Chapitre III: Réalisation et mise en marche

III.1. Introduction

Ce dernier chapitre traite la partie du développement et la réalisation Software et Hardware du notre nœud de capteur, tout d'abord, nous allons décrire le principe de fonctionnement et la différente configuration, ensuite nous allons passer à l'étude pratique. Enfin nous allons expose le résultat des tests effectues.

III. 2. Principe de fonctionnement d'application

Afin de valider le fonctionnement de notre nœud, nous avons proposé deux scénarios. Dans le premier, figure III.1 Les données sortant du nœud à base de FPGA sont envoyé à une station de base (Coordinateur) à base d'Arduino Uno et un module Xbee pour la réception. La station de base est connecté avec un PC à travers une liaison série pour la visualisation des données reçu.

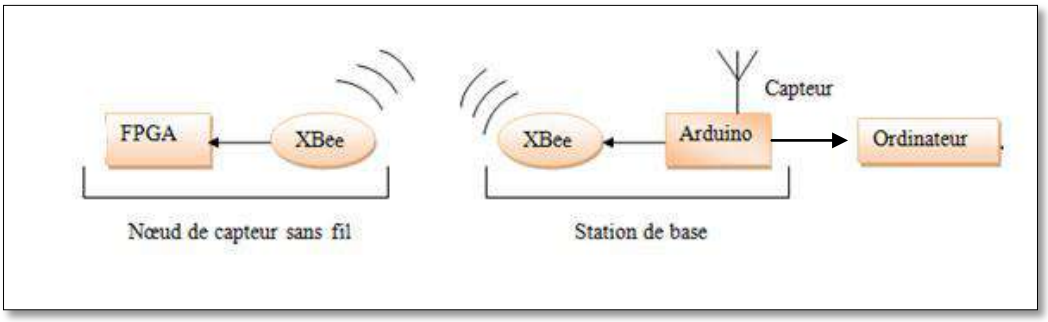


Figure III. 1 *Schéma de principe de fonctionnement de première Scénario.*

. Le deuxième scénario le nœud FPGA joue le rôle d'une station de base qui reçoit cette fois les données à partir d'un nœud de capteur sans fil (End-Device) constitué d'un Arduino Uno, un module XBee pour la transmission et un capteur

Le deuxième Scénario :

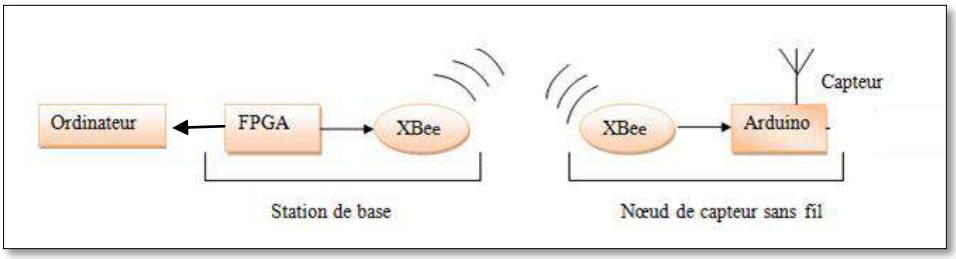


Figure III. 2*. Schéma de principe de fonctionnement de deuxième Scénario*

Dans ce scénario notre station de base est composée d'un Arduino d'un capteur et le module XBee, cette station transmettra des données vers le nœud terminal qui est composée d'un circuit FPGA et les modules XBee et d'un ordinateur pour visualiser les résultats de transmission.

III.3. La création de MicroBlaze

Le MicroBlaze est un processeur de type Softcore personnalisée qui peut être créé et développe a l'aide de kit de développement intégré EDK (Entergrated devolpment kit).

Le kit de développement intègré EDK est un environnement intègre pour la conception des systèmes embarques, ce kit préconfiguré comprend deux outils : le Xilinx palatforme studio XPS, et le software développement kit (SDK), ces deux kits vont collaborer pour générer un fichier ELF. [25]

Le XPS dispose un outil de construction de qui le base builder (BSB) « Base Builder (BSB) » (constructeur de base) est l'assistant utilisé pour créer une fondation pour le projet du Système intégré. Ce constructeur crée un nouveau projet à l'aide le fichier xmp (Xilinx microprocesseur Project), Qu'est un fichier de description supérieure toutes les informations, y compris l'emplacement de la Spécification Technique du Matériel du Microprocesseur (MHS) et les dossiers de la spécification du logiciel du microprocesseur (MSS) sont conservés dedans. Le fichier XMP contient également le code source C ainsi que les fichiers d'en-tête que le XPS doit compiler et aussi les fichiers que SDK doit compiler. . [25]

Le projet comprend également d'architecture de la famille FPGA et le type de carte qui doivent être ciblé. BSB nous permet de sélectionner les caractéristiques de carte disponible et permet de sélectionner des ressources de bord puis correspondre automatiquement à la broche de FPGA sur la carte. . [25]

Après l'ajout d'un bord et des périphériques internes tels que l'ajout de mémoire, de registres etc., BSB affiche une page de résumé du système. Après avoir vérifié le matériel maintenant il est temps de configuration du logiciel. XPS créent également un fichier de logiciel en même temps avec le fichier source de l'application définie par l'utilisateur. Il est définit par le fichier de la spécification du logiciel du microprocesseur (MSS) qui définit les éléments logiciels du pilote du système et des paramètres de personnalisation des bibliothèques pour la gestion de périphériques, tel que : les paramètres de la personnalisation du processeur, les appareils standards, les routines de gestionnaire d'interruption… etc.

L'utilisateur crée micro logiciel approprié pour une unité de module de capteur d'acquisition, y compris d'autres périphériques tels que le capteur et le transmetteur ZigBee. . [25]

Cette collection de fichiers, utilisé en conjonction avec les bibliothèques SDK installé et les pilotes personnalisés périphériques que vous fournissez. Il permet au SDK de compiler des applications définies par l'utilisateur. . [25]

Les routines logicielles compilés sont disponibles en fichier format Executable et Linkable (ELF). La (figure III.3) montre le flux de génération de fichier ELF. . [25]

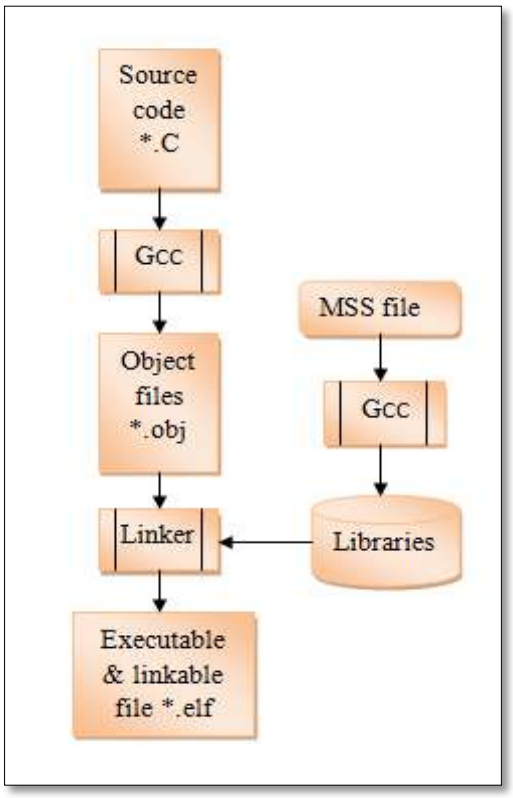


Figure III. 3.*Flux de génération de fichier ELF*. . [25]

III.4. La configuration des modules XBee

Tous d'abord il est obligatoire de configurer les modules XBee avant de les utiliser. Pour cela nous avons utilisé le logiciel X-CTU, qu'on peut le télécharger gratuitement et installer sur l'ordinateur, à cet effet une connexion entre le pc et le module est cruciale.

III.4.1 La communication avec l'ordinateur

Afin d'établir une communication entre le module Xbee et l'ordinateur nous avons utilisé un circuit FT232 de la firme FTDI, ce circuit n'est qu'un adaptateurRS232/USB qui permet la conversion des signaux RX/TX d'un microprocesseur vers le protocole USB.

La communication entre le module XBee et l'ordinateur se Passe par deux étapes :

A. XBee vers FT232 : Liaison série asynchrone.

B. FT232 vers l'ordinateur : Liaison USB.

- ✓ **Le circuit FT232:**

Ce circuit est un convertisseur du 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.

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

A. Communication à travers le « FT232R Breakout »

Le module FT232R Breakout est un circuit d'interfaçage de petite dimension de Sparkfun, qui assure la conversion USB/RS232, il comporte un circuit FT232R et il dispose d'un port USB.

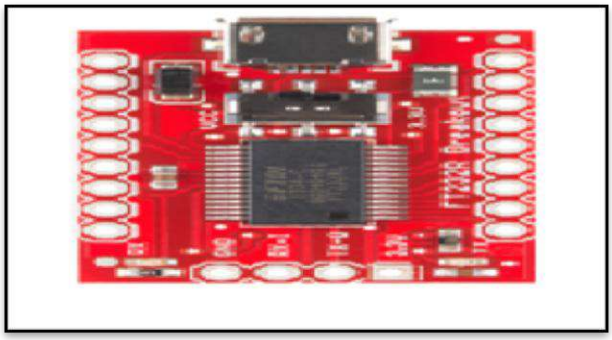


Figure III. 4*. Break out FT 232*

En assemblant ce module avec le module XBee, on peut établir une liaison directe avec le PC selon la figure suivante :

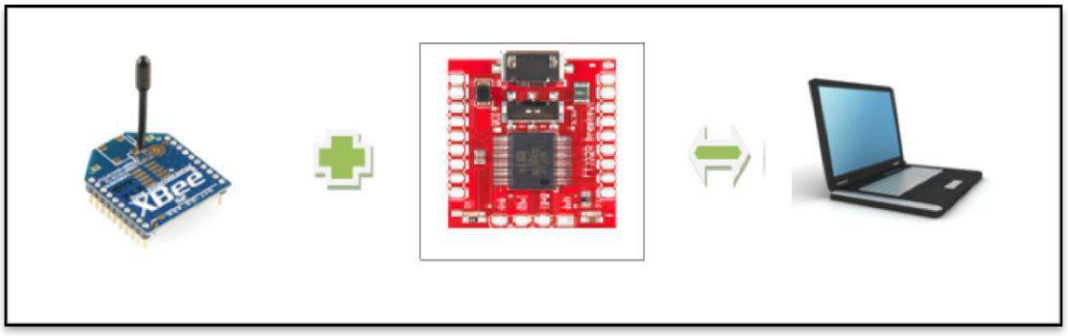


Figure III. 5.*Communication à travers le FT232R Break out*

B. Communication à travers Arduino

L'Arduino est une solution idéale pour relié le module XBee à l'ordinateur il dispose d'un circuit FT232RL, un port USB, et assure une tension de +3.3V nécessaire pour le module XBee.



Figure III. 6. *Communication à travers Arduino*

C. Communication avec l'USB Explorer

L'USB Explorer de Sparkfun est un convertisseur USB/RS232, 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 III.7*.Communication avec l'USB Explorer*

Dans le présent projet on a utilisé le module FT232R Breakout pour assurer la liaison XBee/PC.

➢ Le logiciel X-CTU :

Le 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.

Après installation du logiciel X-CTU, et connecter le module XBee à l'ordinateur, on lance le X-CTU, la fenêtre (figure III. 8) ci-dessus s'afficher par défaut :

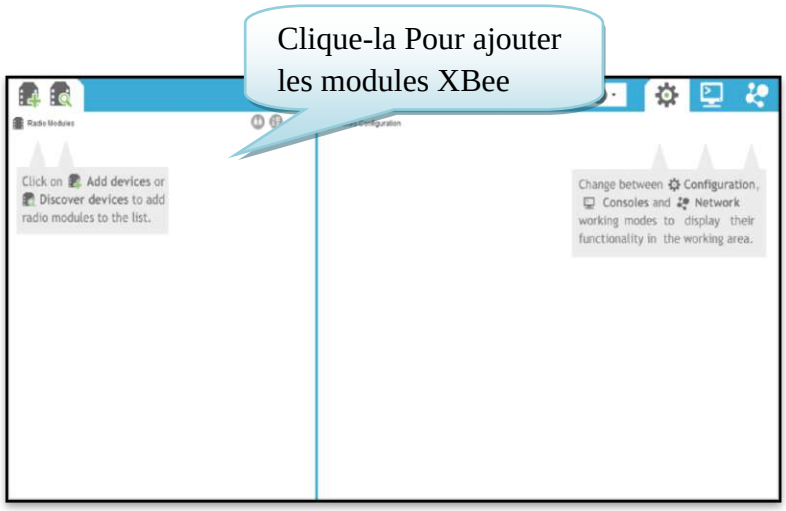


Figure III. 8*.Fenêtre du menu principal du logiciel X-CTU.*

On ajoutant le module XBee, une deuxième fenêtre s'affiche permettre de choisir le port COM la (figure III.9) suivante l'indique.

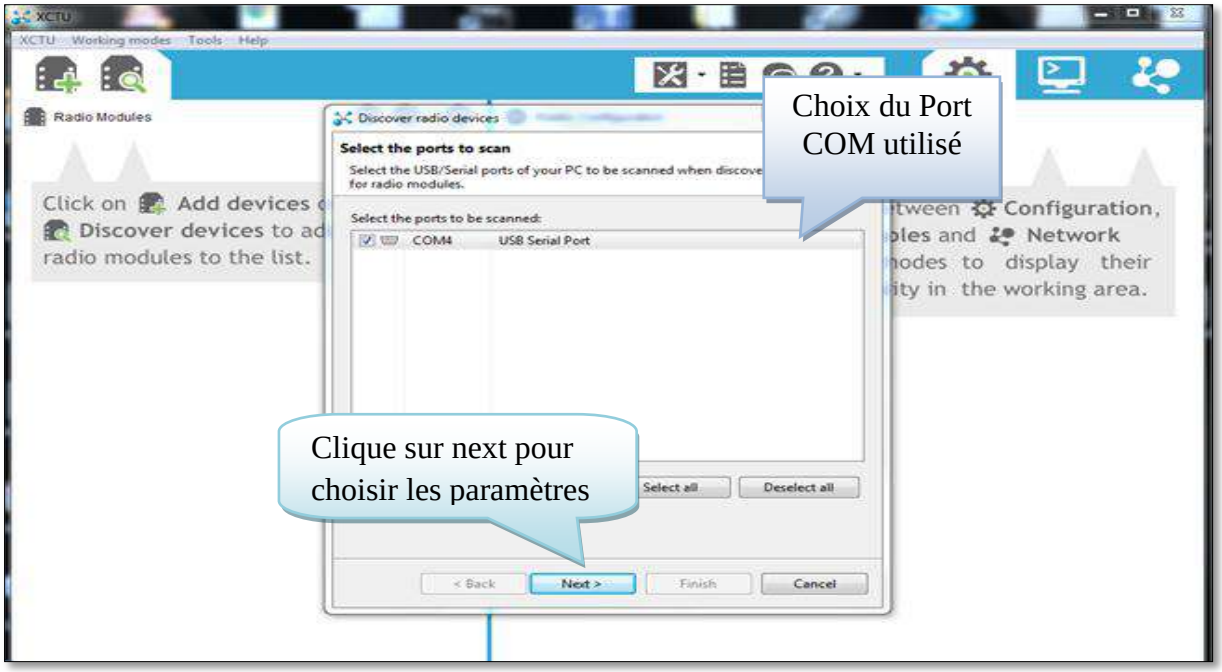


Figure III. 9. *Fenêtre de menu du choix du port*

Apres avoir sélectionné le port COM, on passera a l'étape de choix des paramètres de configuration tel que La vitesse de transmission, contrôle de flux… comme la fenêtre de (figure III.10).l'indique.

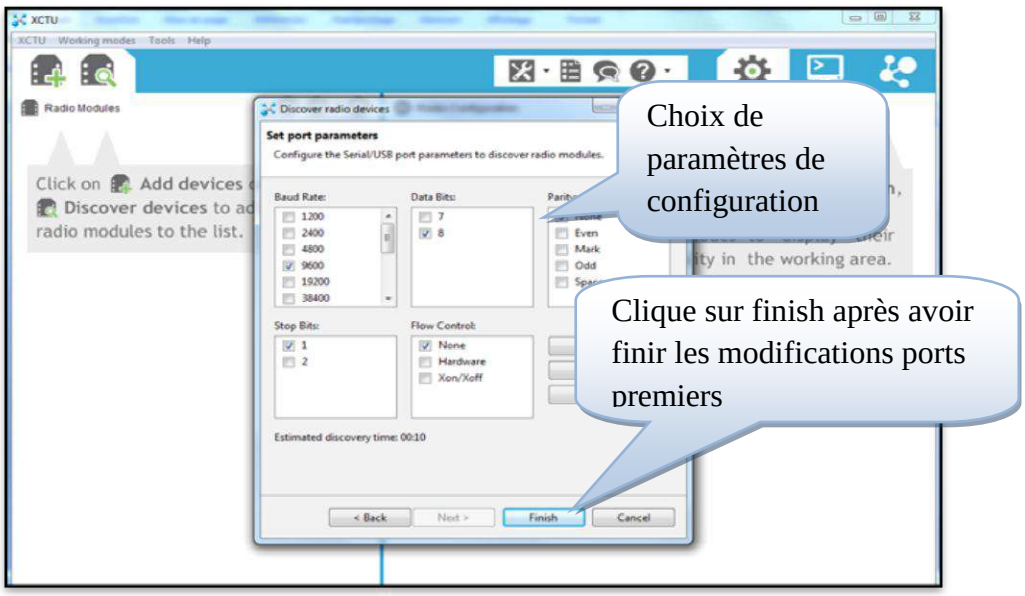


Figure III. 10. *Fenêtre de choix de paramètres*

Une fois qu'on termine l'étape de la sélection des paramètres, le logiciel va commencer la recherche du module sélectionnée. Comme la (figure III.11) suivante l'indique.

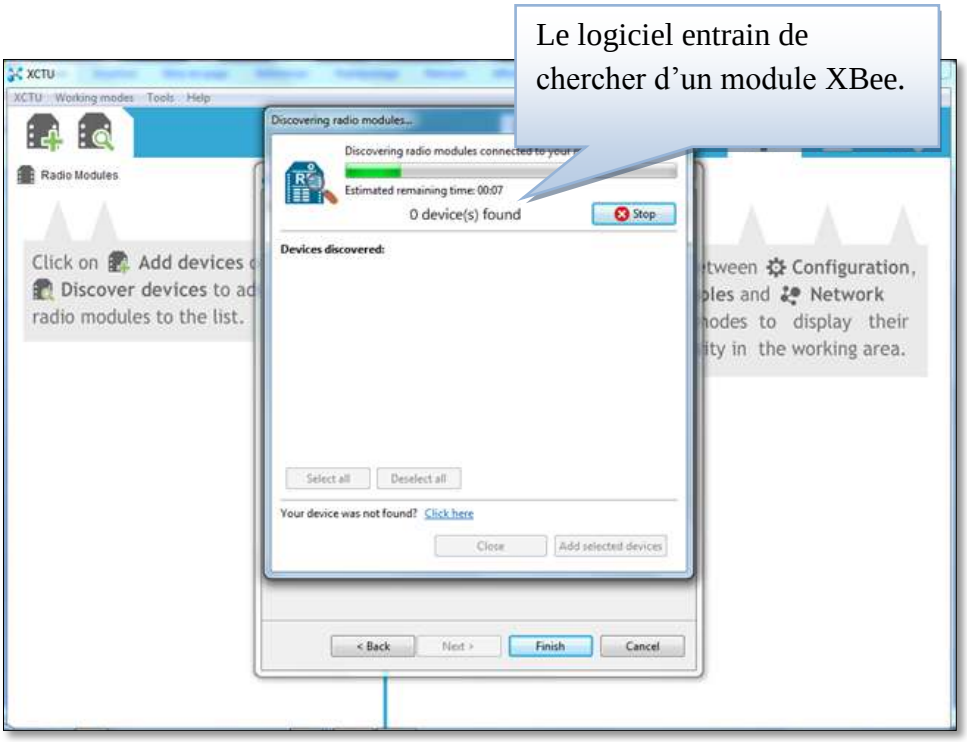


Figure III. 11. *Détection du module XBee*



Figure III. 12. *Fenêtre indiquant l'existence module XBee*

.une fois le module XBee est détecté (*Figure III.12*) on peut commencer la phase de configuration en cliquant sur le bouton Read (*Figure III.13*).

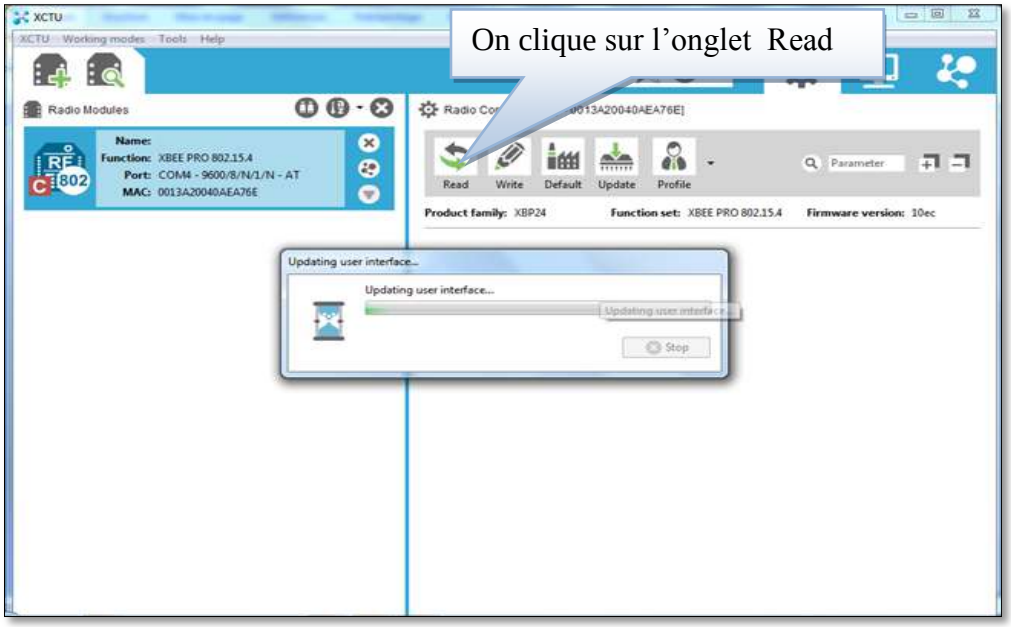


Figure III. 13 *Fenêtre menu principale des configurations*

La fenêtre suivante s'affiche comme (Figure III.14) indiquent les paramètres actuel du module XBee.

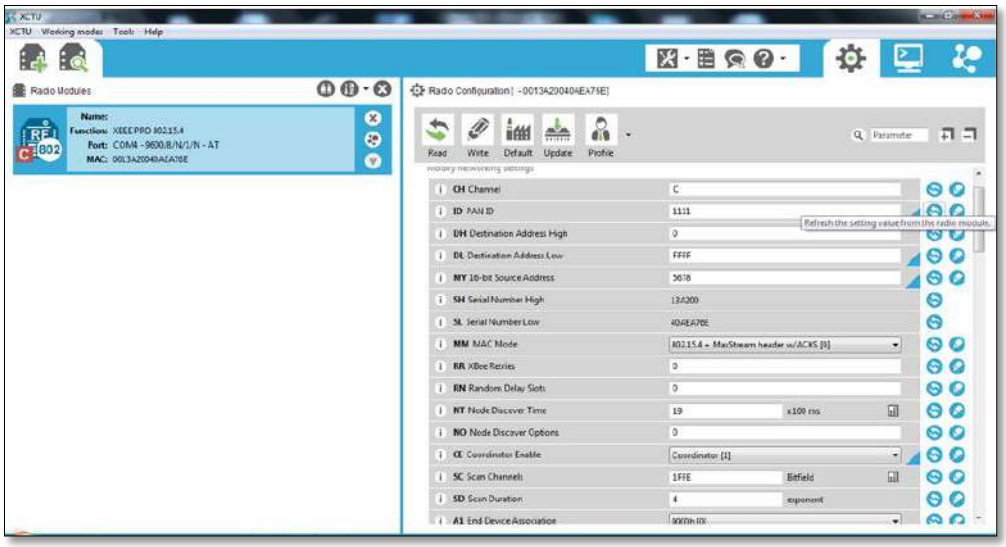


Figure III. 14 Fenêtre des configurations possible

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 le 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", la fenêtre figure III.15) suivante s'affiche par défaut

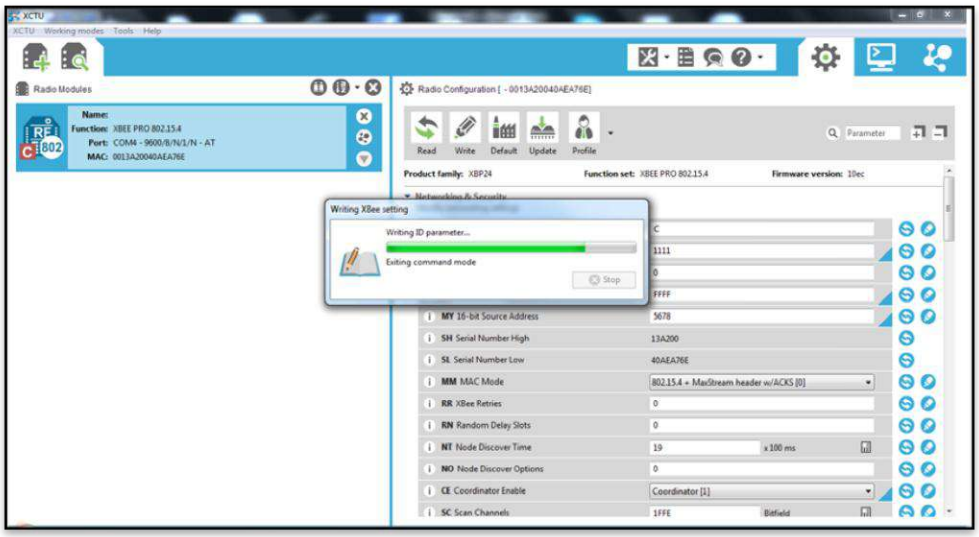


Figure III. 15 *Fenêtre de sauvegarde des configurations.*

III.5 étude technique

Une fois que tous les dispositifs associes sont présents à notre disposition, il nous reste qu'a les relies entre eux, à cet effet la connaissance de niveau de la tension d'alimentation est un point cruciale pour assurer la sécurité des éléments du dégât matérielle produite par la différence des niveaux de tension, le tableau suivant montre les niveaux de tension d'alimentation pour chaque dispositifs utilises :

Les dispositifs	La tension d'alimentation
Arduino Uno	5V
L'UART du MicroBlaze	6.6 V
Le port USB du PC	5 V
Le Xbee sheild pour Arduino	3.3 V
Le module XBee.	3.3V

Tableau III. 1.*Table des niveaux de tension des dispositifs associes*

Vue du tableau précédant, on constate que tous les dispositifs peuvent être reliés entre eux tout en sécurité, sauf le module XBee qui nécessite une tension de 3.3 V, du cote l'Arduino, ce problème est réglé garce a son sheild qui relie les deux entre eux tout en sécurité, cependant l'UART de l'FPGA fournie des signaux avec une tension presque double. Pour surmonte ce problème de dissemblance de niveau tension des signaux, nous avons proposé une solution simple à être mis en œuvre.

Cette solution n'est que d'interfacer le module XBee avec le block d'extension Pmode disponible sur la Platform FPGA, ce block fournée à ces sorties des tensions de 3.3 V.

III.6. Les tests et les essais

Avant de relier l'XBee au Microblaze il faut assurer le bon fonctionnement de l'UART

✓ Teste 1

Le test 1 est une vérification si l'UART de la carte FPGA fonctionne correctement en émission et en réception.

L'organigramme suivant décrire notre programme de test :

- **Organigramme de fonction main :**

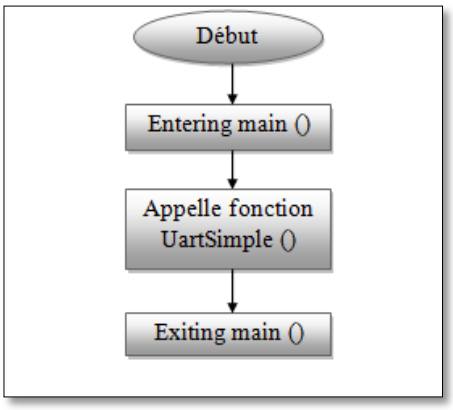


Figure III. 16 *Organigramme de fonction main.*

❖ **Organigramme de la fonction UartSimple :**

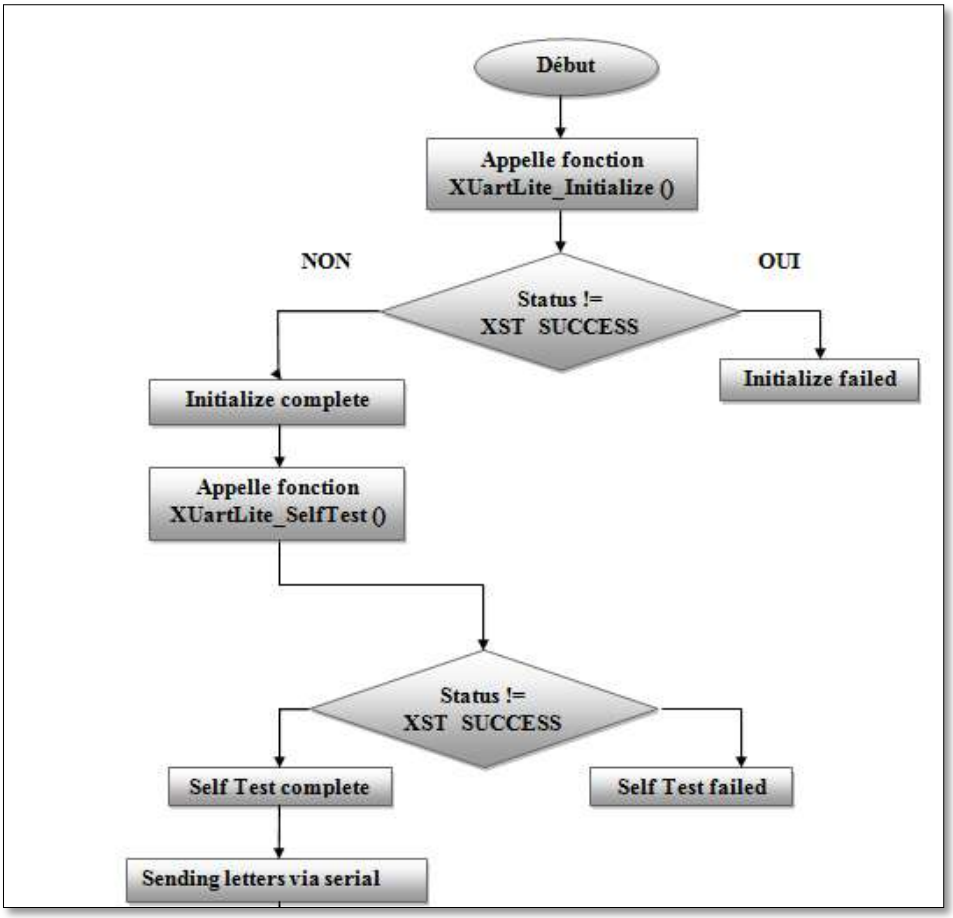


Figure III. 17 ***Organigramme de la fonction UartSimple***

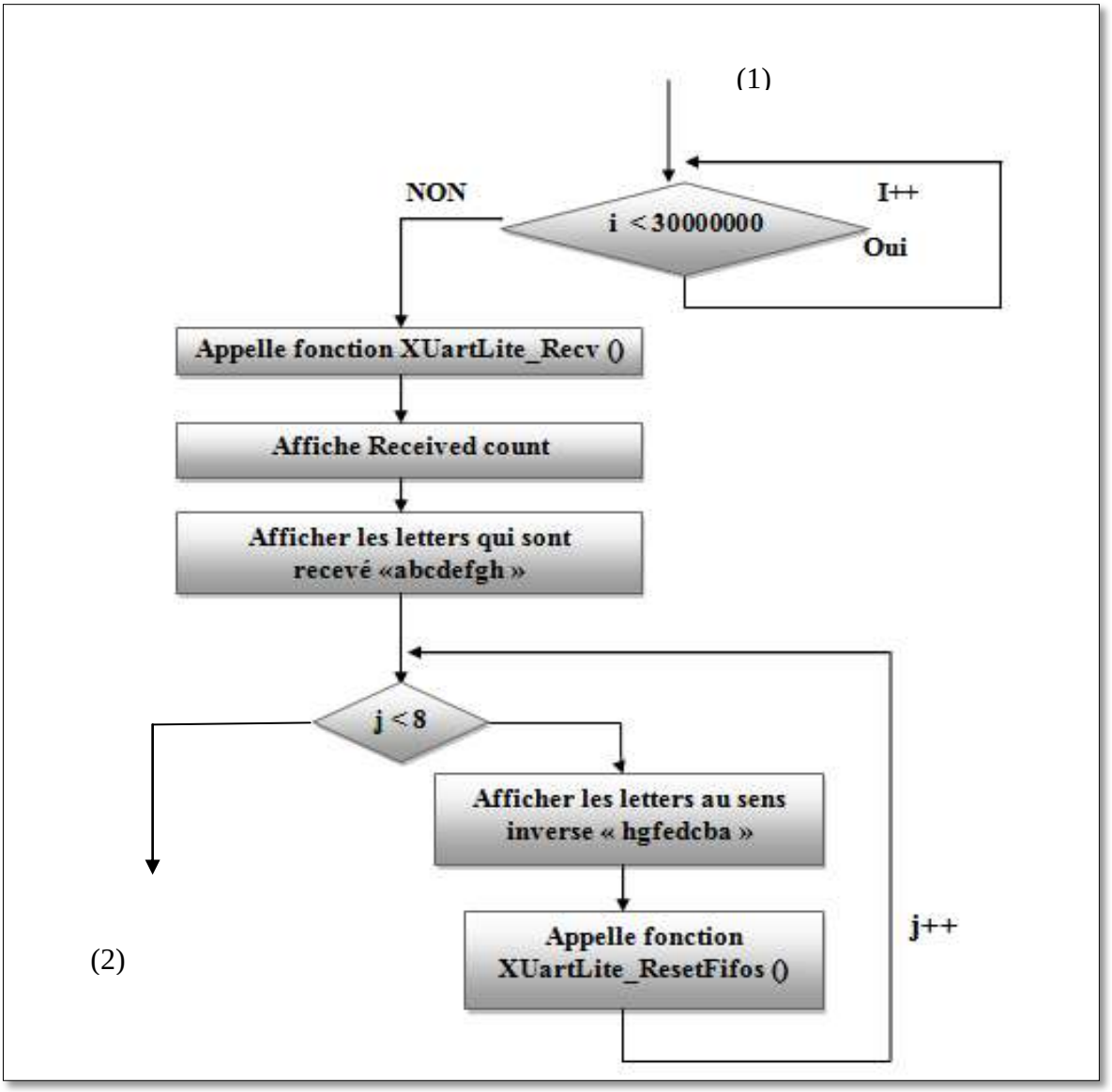


Figure III. 18 *Organigramme de la fonction UartSimple (suite)*

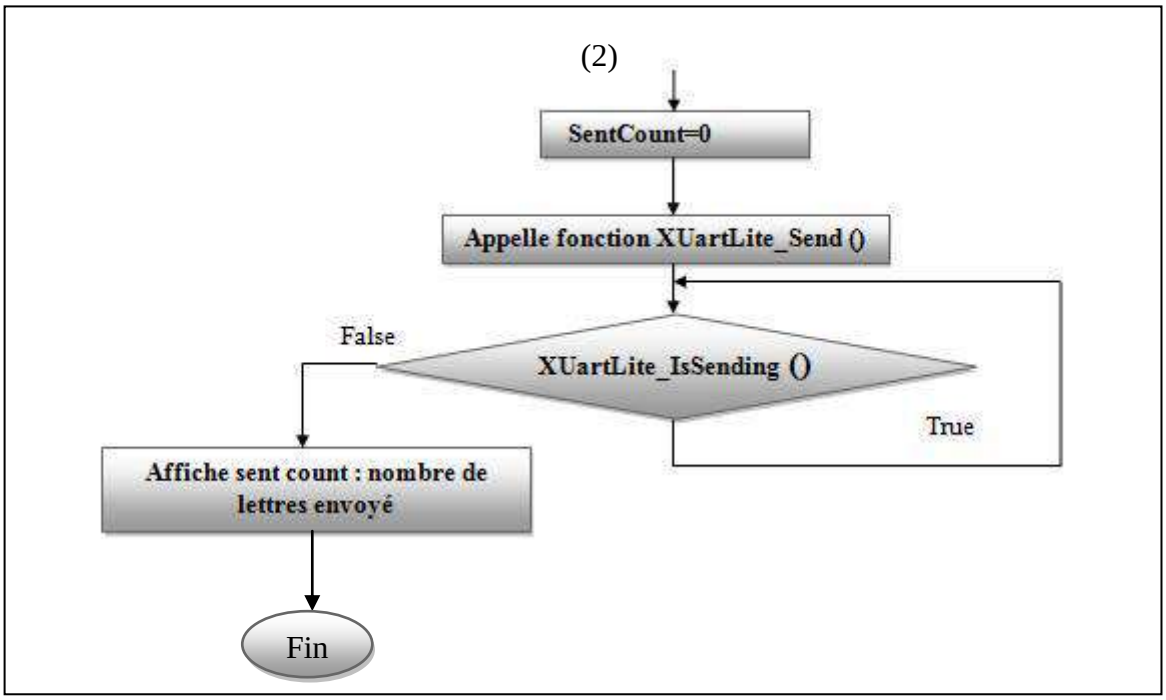


Figure III. 19 *Organigramme de la fonction UartSimple (suite)*

✓ description de l'organigramme :

Le programme d'application du Microblaze utilise plusieurs fonction prédéfini connu sous le nom de Driver. Chaque bloc lié au Microblaze, a ces propres fonctions. Dans notre cas seul le bloc UART est utilisé, les différentes fonctions de l'UART sont expliquées dans le tableau suivant :

Fonction	Indication
XStatus XUartLite_Initialize ()	C'est une fonction prédéfinie qui prend en paramètre le pointeur d'identificateur d'un Uart (*InstancePtr*) et l'identificateur d'une machine **(***DeviceId)* et qui va retourner XST_SUCCESS si tout va normal et XST_DEVICE_NOT_FOUND si il y a aucun machine a été détecte.
XStatus XUartLite_SelfTest ()	Une fonction prédéfinie permet de tester si il y une transmission et réception des données ou bien non en envoyant des trames de données du TX vers le RX elle retourne : EXIT_SUCCESS au cas de succès.

	EXIT_FAILURE au cas d'échec
unsigned int XUartLite_Recv	Cette fonction va tenter de recevoir un nombre spécifié d'octets de données à partir de l'UART et le stocker dans un buffer spécifiée. Cette fonction est conçue pour qu' elle soit interrogé ou interrompre.
XUartLite_ResetFifos ()	Comme il y a aucune méthode de bloquer l'UART et lui faire cesser de recevoir des données il est nécessaire de réinitialise les deux liste Fifo de la réception et de l'émission d'ou cette fonction réponds parfaitement a cette nécessite.

Tableau III. 2. *Table de description des fonctions prédéfinies employés*

✓ Résultat du teste.

Pour montrer qu'une communication RF a été établie entre le nœud à base d'FPGA et l'Arduino, nous avons visualisé les résultats sur le pc, le résultat de test est donné sur la figure suivante:

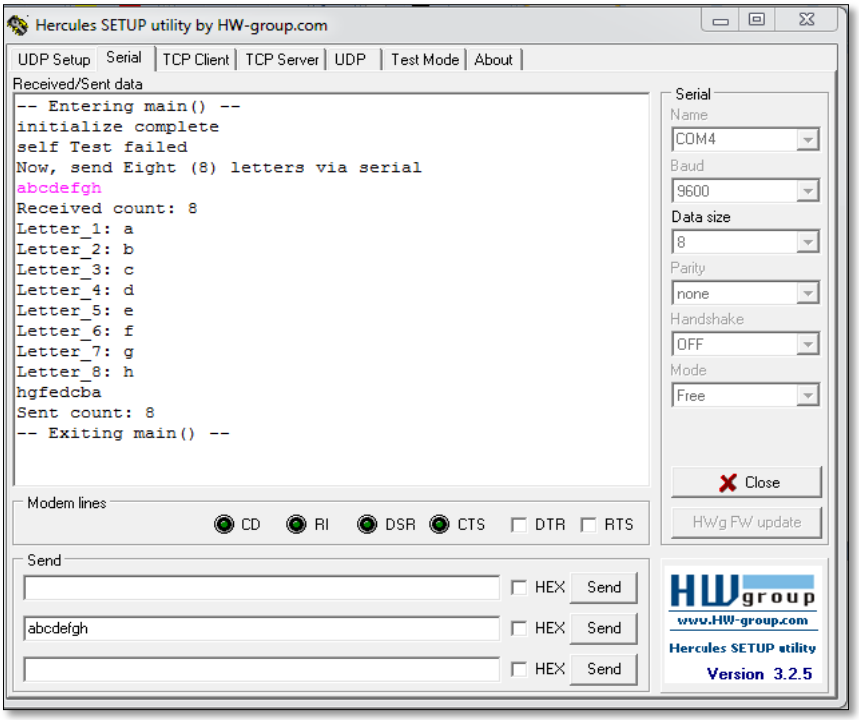


Figure III. 20 *Fenêtre résultat de test 1*

✓ Teste 2

Apres avoir testé le fonctionnement de l'UART, l'étape suivante consiste à relie l'FPGA au module XBee et teste la transmission vers un Arduino selon l'architecture proposé au début de ce chapitre (Figure III.1)

❖ Description de la partie d'émetteur

Dans cette partie nous avons utilisés :

- Le module RF : XBee PRO S1
- Circuit FPGA SPARTAN 3A –DSP 1800A
- Un pc ordinateur.

❖ Description de la partie de récepteur :

Dans cette partie nous avons utilisés

- Un module Arduino Uno.
- Shield d'un XBee pour Arduino.
- Le module RF: XBee PRO S1.

- Un pc ordinateur.

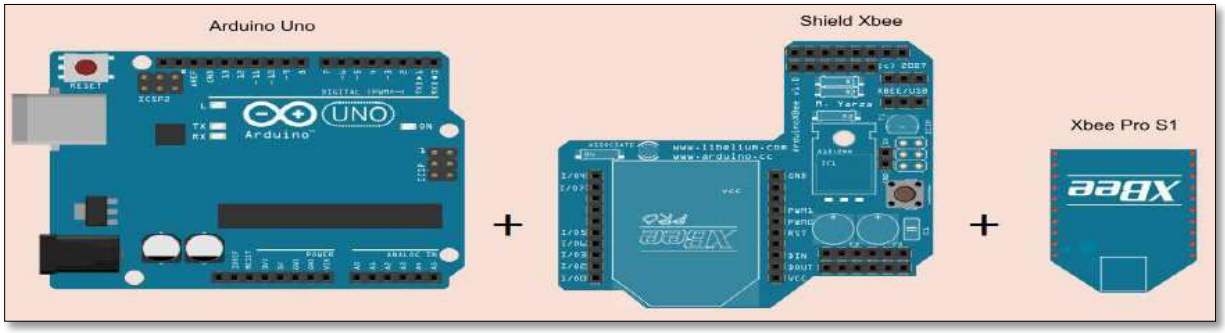


Figure III. 21 *Partie récepteur.*

- **Arduino Uno**

Arduino est une plateforme de prototypage d'objets interactifs à usage créatif constituée d'une carte électronique et d'un environnement de programmation.

Il existe plusieurs types de cartes Arduino, La carte Arduino Uno est une des versions populaires des cartes Arduino.

Le modèle UNO de la société ARDUINO est une carte électronique dont le cœur est un microcontrôleur ATMEL de référence ATMega328.

La figure suivante montre une carte Arduino UNO avec ses différents composants :

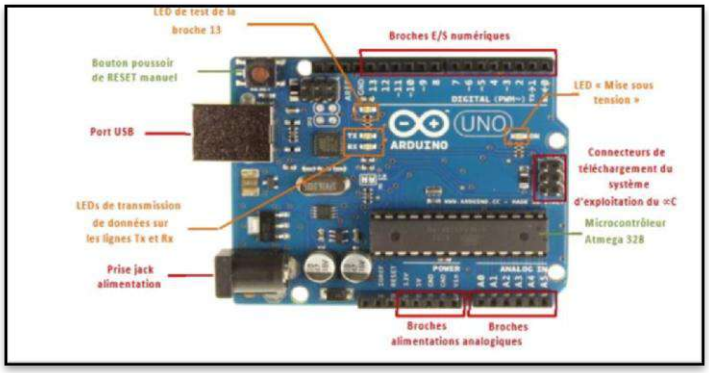


Figure III. 22 *Différents éléments constitutive de la carte Arduino Uno*

- **Sheild XBee d'Arduino**

Shields sont des panneaux qui peuvent être branchés sur le dessus de la platine Arduino étendre ses capacités. Les différents boucliers suivent la même philosophie que la boîte à outils d'origine: ils sont faciles à monter, et pas cher à produire, permet une carte Arduino de se communiquer avec d'autres dispositifs via les modules XBee.

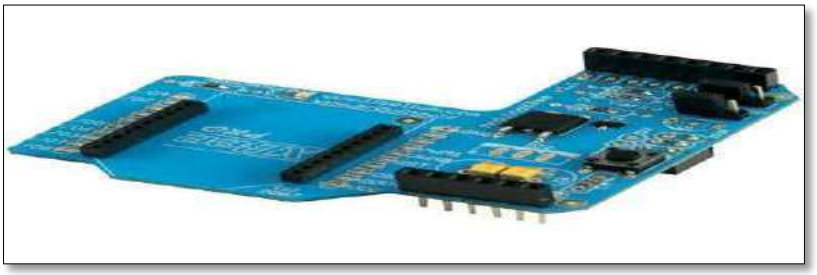


Figure III. 23 *Sheild de module XBee pour Arduino*

L'organigramme suivant décrire notre programme de ce teste :

❖ Organigramme de fonction main

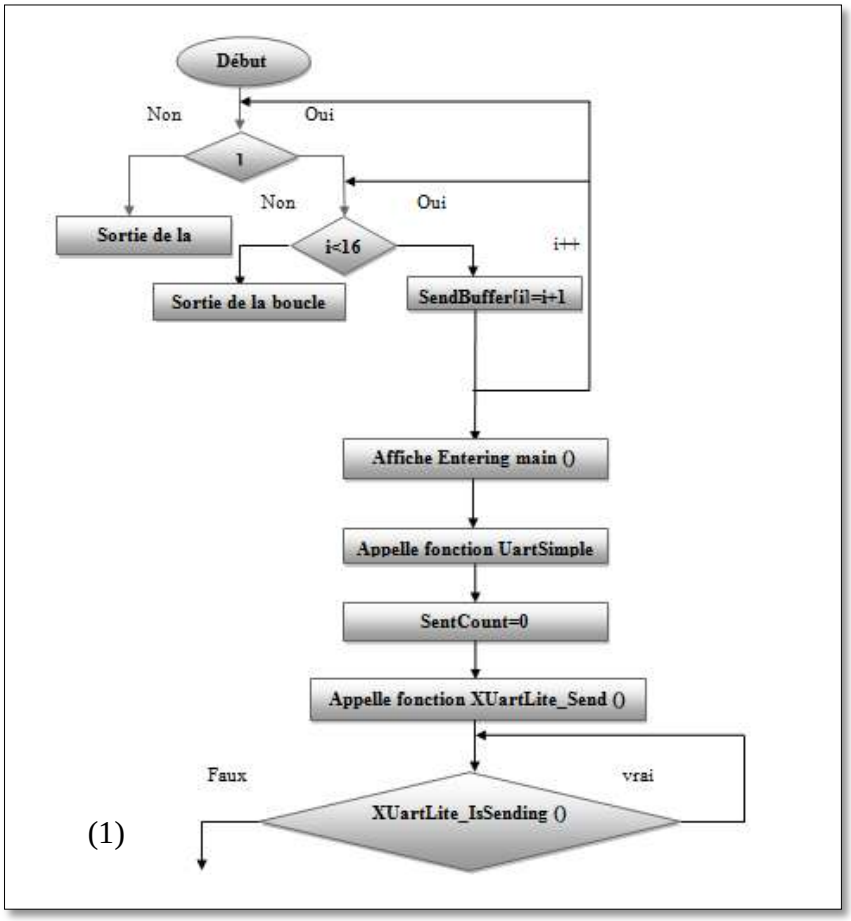


Figure III. 24 *Organigramme de fonction main*

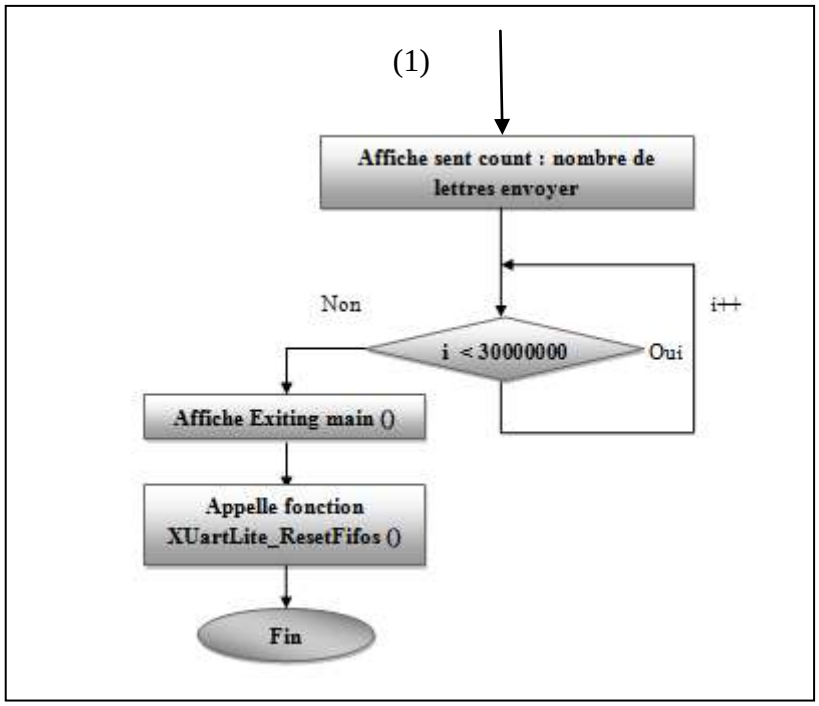


Figure III. 25 *Organigramme de fonction main(suit)*

❖ Organigramme de la fonction UartSimple :

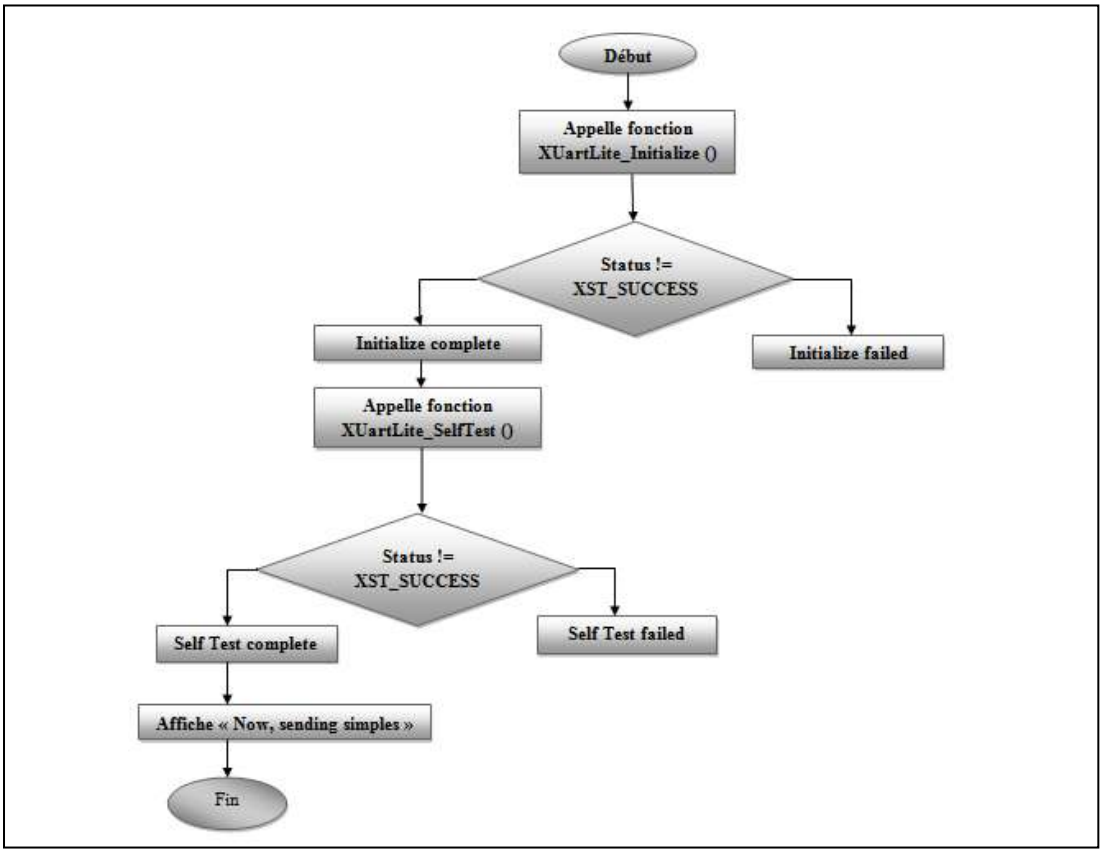


Figure III. 26 *Organigramme de la fonction UartSimple.*

Résultat du test :

Pour montrer qu'une communication RF a été établie entre le nœud à base d'FPGA et l'Arduino, nous avons visualisé les résultats sur le pc, le résultat de test est donné sur la figure suivante:

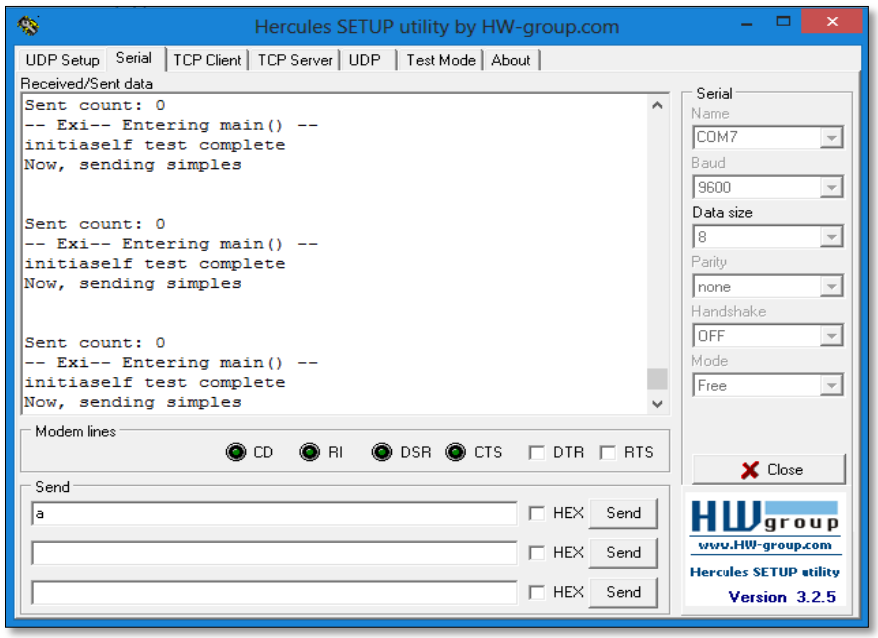


Figure III. 27 *Fenêtre de résultat de test2*

✓ Test 3

Apres le succès d'émission des données de sens FPGA vers le Arduino, nous allons essai maintenant l'émission vers le sens l'envers.

❖ **Description de la partie d'émetteur :**

Dans cette partie nous avons utilisés

- Un module Arduino Uno.
- Shield d'un XBee pour Arduino.
- Le module RF: XBee PRO S1
- Capteur de temperature.

  L'ensemble sont relies entre eux comme la figure III montre



Figure III. 28 *Fenêtre de résultat de test2*

✓ **Le capteur de température LM35DZ :**

Est un capteur à circuit intégré de type analogique de faible dimension, a été fabrique par la société National Semi-conducteurs corporation, permettant la mesure de la température extérieur, et offre une portée fonctionnelle comprise entre 2 °C et 150 °C.

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).

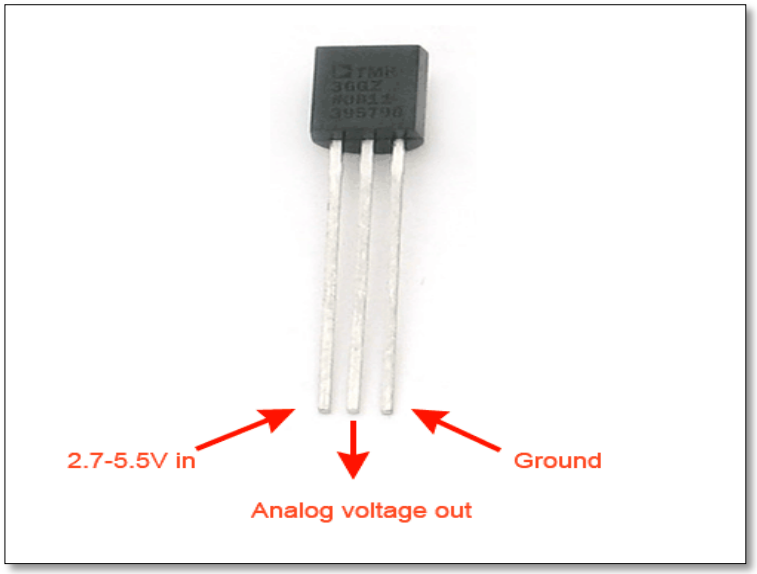


Figure III. 29 *Capteur LM35DZ.*

✓ Principe :

Le LM35DZ capte la température sous forme d'une grandeur physique, puis 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.

L'organigramme suivant décrire notre programme de partie émission :

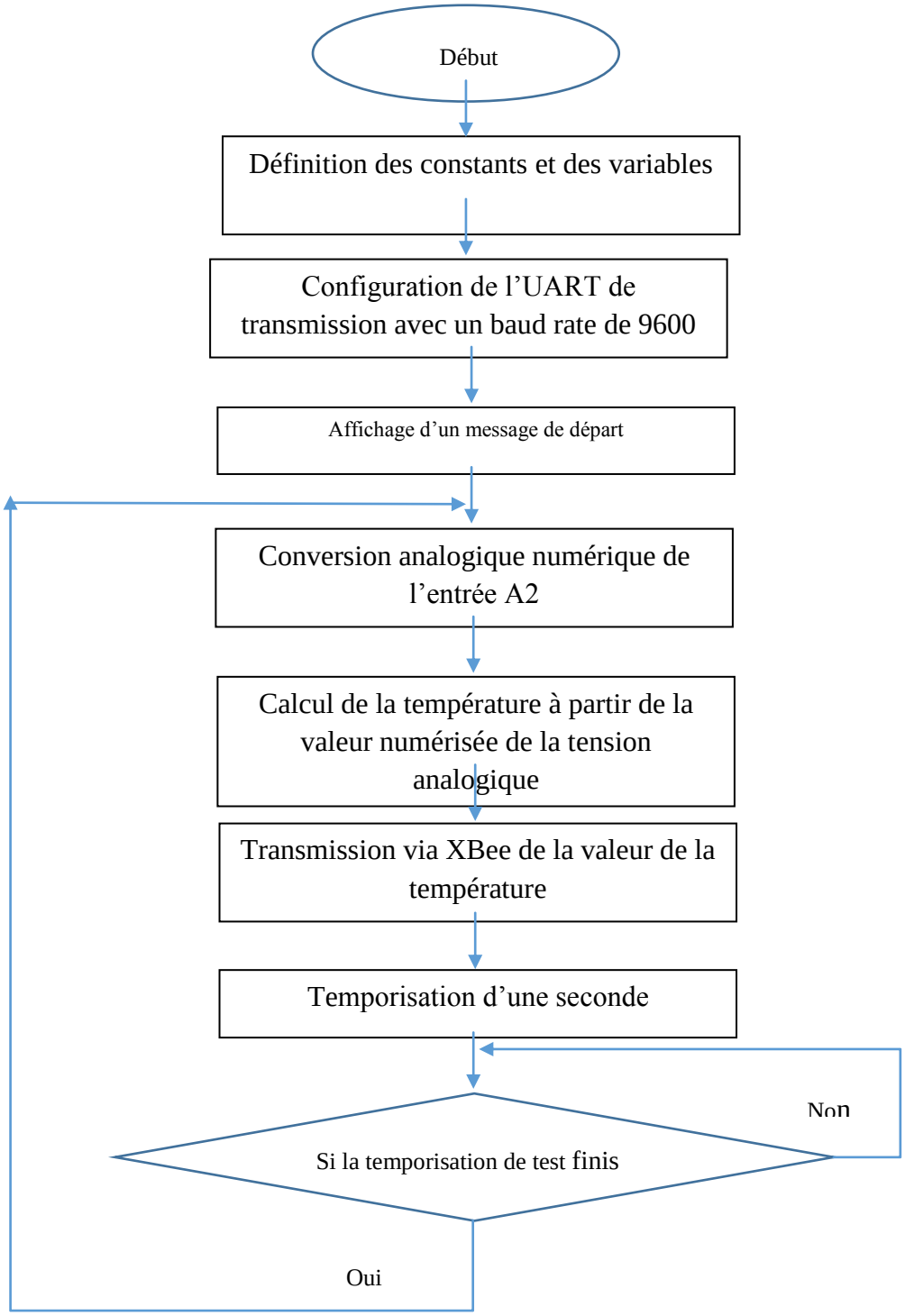


Figure III. 30 *Organigramme de la patrie émission*

❖ **Description de la partie d'récepteur**

Dans cette partie nous avons utilisés :

- Le module RF : XBee PRO S1
- Un pc ordinateur
- Circuit FPGA SPARTAN 3A –DSP 1800A

  Dans cette partie, Le module XBee reçoit la valeur numérique venante de l'XBee émetteur, cette donnée est transférée vers le circuit FPGA, puis on applique une formule (III.1) qui va faire la conversion en température qui sera visualisé sur l'écran de PC

  T : température.
  V : valeur capte et mesuré par le capteur.

$$T := \left[\frac{v*5}{10.23}\right] \qquad \text{(III.1)}$$

Organigramme de partie réception:

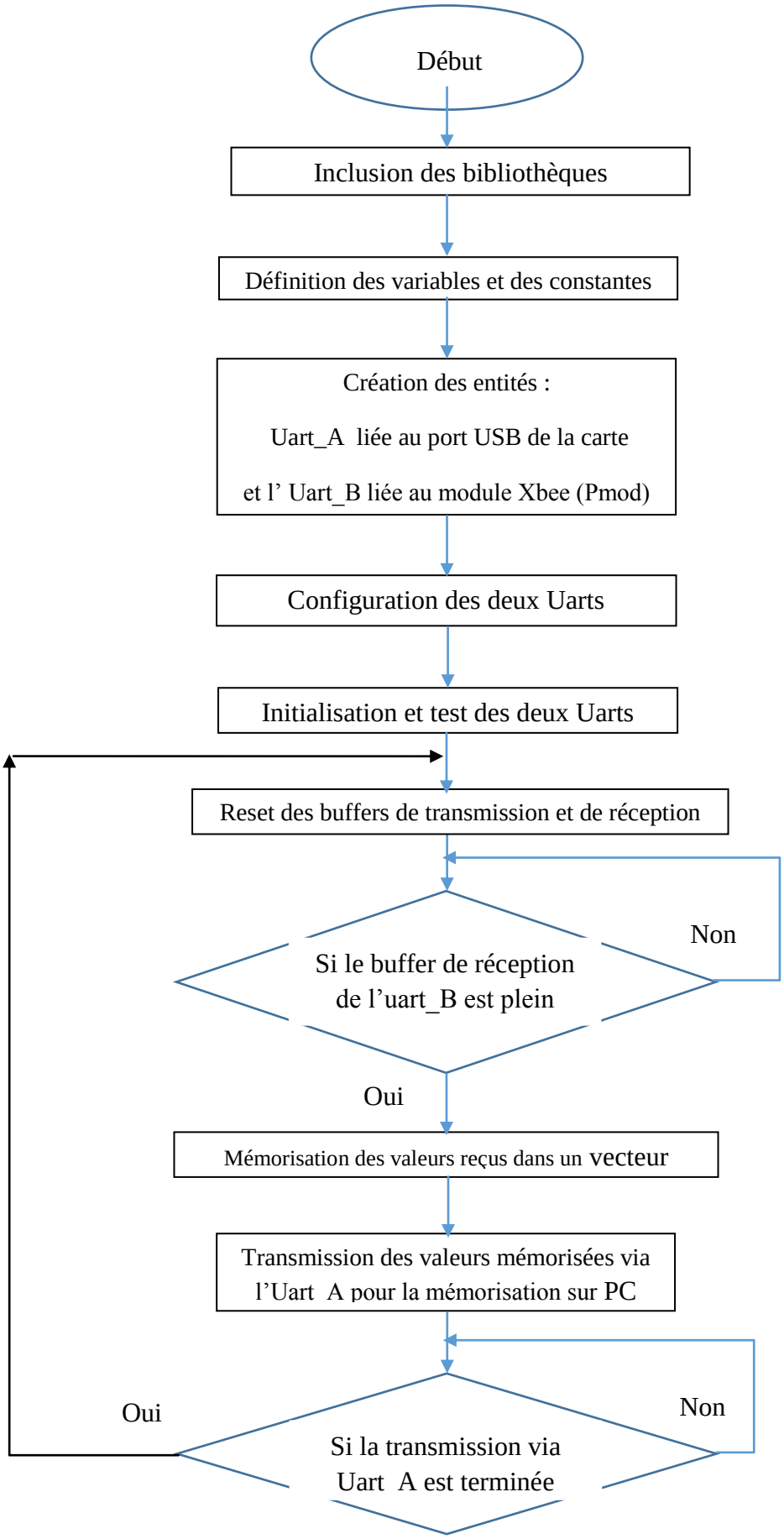


Figure III. 31*Organigramme de la partie réception*

Résultat de test 3 :

Pour montrer qu'une communication RF a été établie entre le nœud de capteur a base d'un Arduino et le nœud end –device a base d'un circuit FPGA, nous avons visualisé les résultats sur le pc, la figure III présente les résultats satisfaisantes

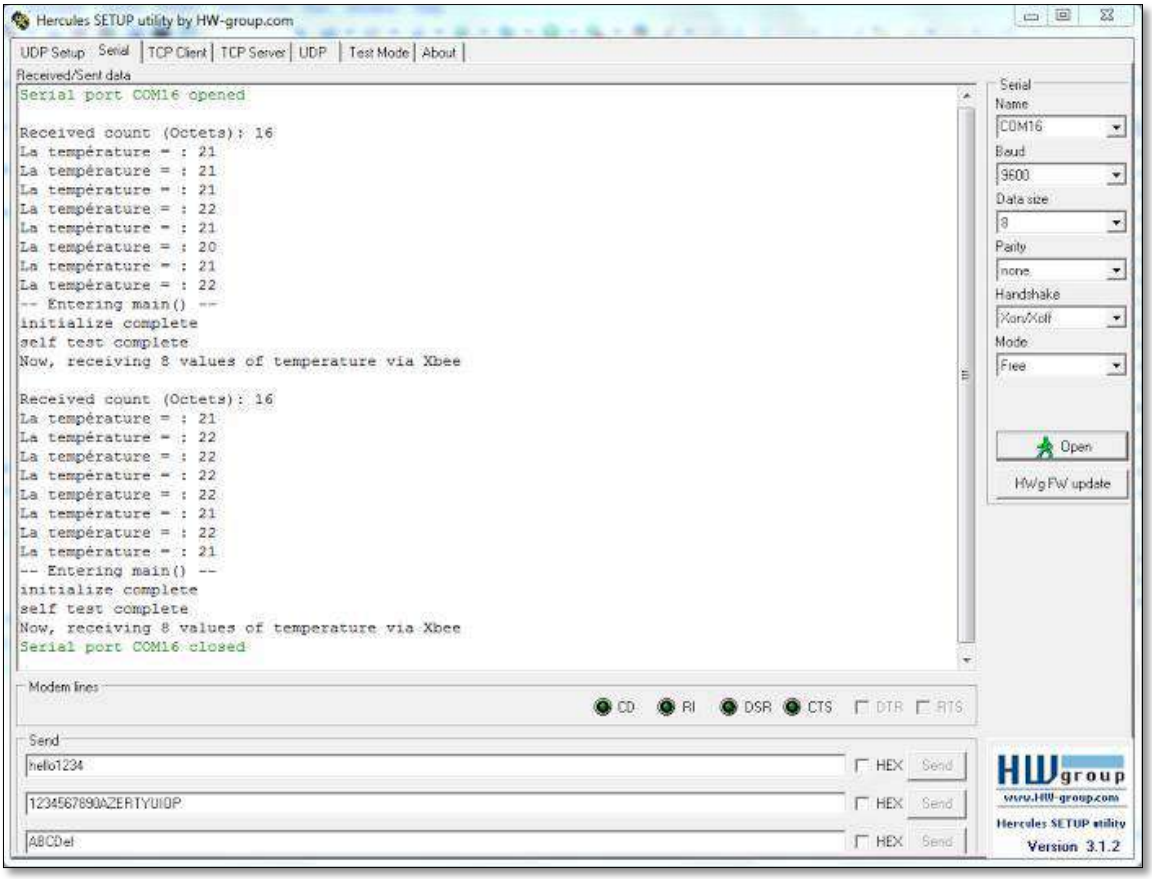


Figure III. 32 *Fenêtre de résultat de test 3*

III.7. Conclusion

Dans ce dernier chapitre nous avons décrit et exposé notre test et résultat satisfaisantes ainsi que les configurations nécessaires de module XBee a l'aide de logiciel X-CTU et la création de MicroBlaze a l'aide d'EDK.

Conclusion générale

Conclusion générale

Le ZigBee est une technologie qui gagne en popularité garce à son faible cout, sa faible consommation d'énergie, et sa facilité à mettre en place grâce à des modules comme le XBee.

Ce projet nous a permis d'étudier et détailler le protocole de communication ZigBee et son implémentation à base d'un processeur softcore, en utilisant des modules de communication XBee.

La réalisation de ce projet rassembler des domaines différents, ce qu'est nous a offre l'opportunité pour nous d'une part, d'acquérir des nouvelles connaissances comme: l'implémentation sur des Platform FPGA, l'utilisation des softcore et la manipulation des différents logiciel tel que l'XPS, le EDK et l'outil de configuration X-CTU.D'autre part, d'assimiler les différents aspects de notre formation durant les deux années.

Les Annexes

Annexe A

- **Datasheet du module XBee:**

- **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

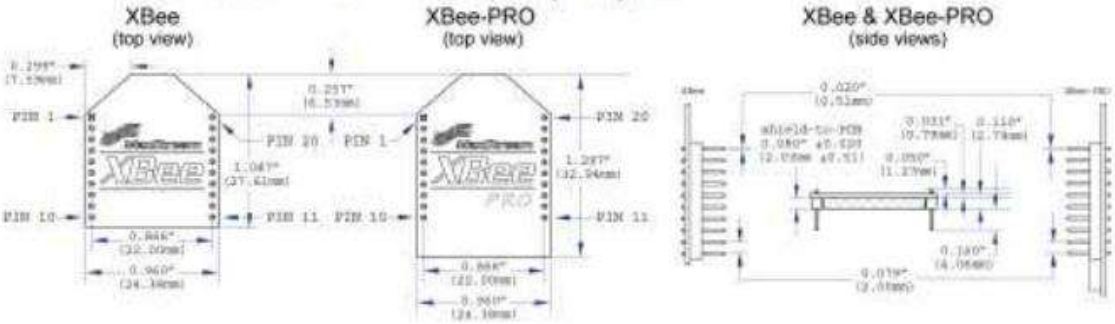
FCC Approval (USA) Refer to Appendix A [p64] for FCC Requirements.
Systems that contain XBee®/XBee-PRO® RF Modules inherit Digi Certifications.

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.

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.

- Brochage module XBee :

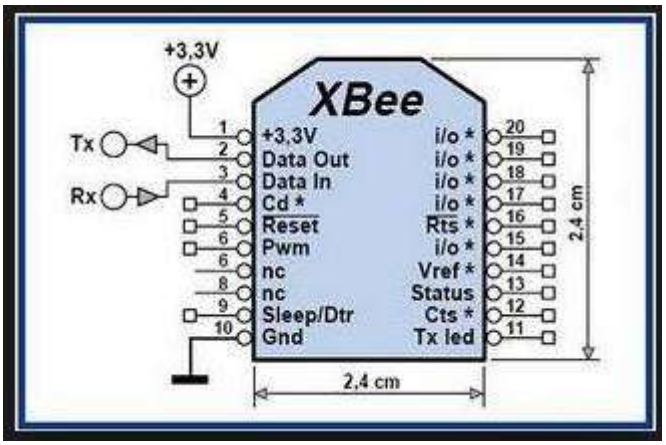


Table 1-02. Pin Assignments for the XBee and XBee-PRO Modules
(Low-asserted signals are distinguished with a horizontal line above signal name.)

Pin #	Name	Direction	Description
1	VCC	-	Power supply
2	DOUT	Output	UART Data Out
3	DIN / $\overline{\text{CONFIG}}$	Input	UART Data In
4	DIO8*	Output	Digital Output 8
5	$\overline{\text{RESET}}$	Input	Module Reset (reset pulse must be at least 200 ns)
6	PWM0 / RSSI	Output	PWM Output 0 / RX Signal Strength Indicator
7	PWM1	Output	PWM Output 1
8	[reserved]	-	Do not connect
9	$\overline{\text{DTR}}$ / SLEEP_RQ / DI8	Input	Pin Sleep Control Line or Digital Input 8
10	GND	-	Ground
11	AD4 / DIO4	Either	Analog Input 4 or Digital I/O 4
12	$\overline{\text{CTS}}$ / DIO7	Either	Clear-to-Send Flow Control or Digital I/O 7
13	ON / $\overline{\text{SLEEP}}$	Output	Module Status Indicator
14	VREF	Input	Voltage Reference for A/D Inputs
15	Associate / AD5 / DIO5	Either	Associated Indicator, Analog Input 5 or Digital I/O 5
16	$\overline{\text{RTS}}$ / AD6 / DIO6	Either	Request-to-Send Flow Control, Analog Input 6 or Digital I/O 6
17	AD3 / DIO3	Either	Analog Input 3 or Digital I/O 3
18	AD2 / DIO2	Either	Analog Input 2 or Digital I/O 2
19	AD1 / DIO1	Either	Analog Input 1 or Digital I/O 1
20	AD0 / DIO0	Either	Analog Input 0 or Digital I/O 0

- Datasheet de la carte FPGA SPARTAN 3A –DSP 1800A :



System Specifics

The components of the board utilized for this design are shown in Figure 1.

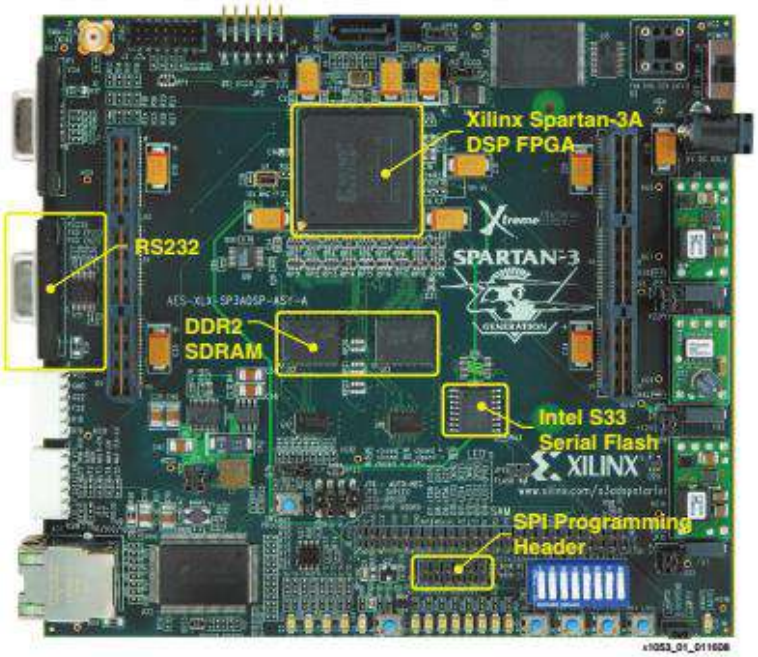


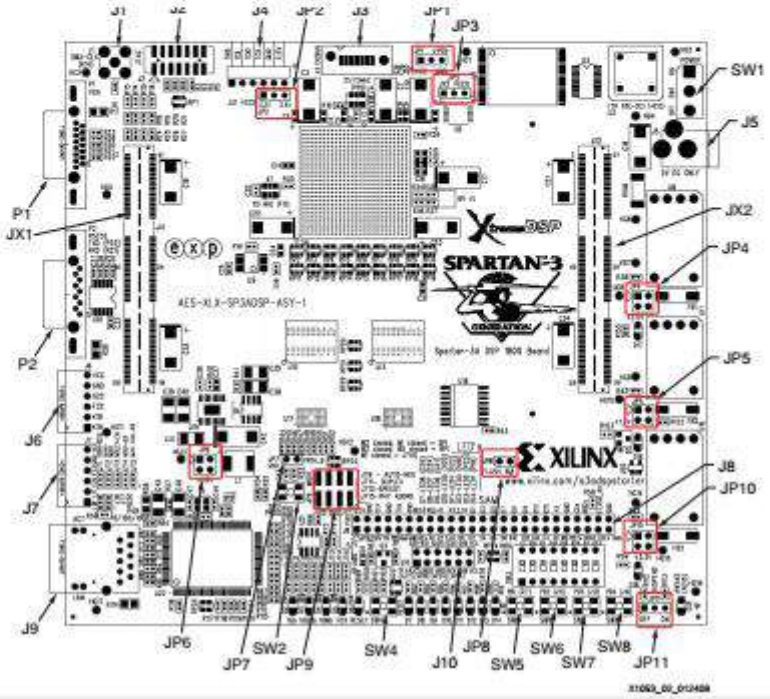
Figure 1: **Board Used for this Design**

Experiment Setup

Jumper settings

The jumper locations are shown in Figure 2.

1. Install JP9 jumper on M1 only to start in BSCAN mode. Another jumper will later be added to M2 for SPI mode.
2. JP1, JP2, and JP3 jumpers can be installed in either position.
3. JP4, JP5, JP6, and JP10 need to two jumpers each in the 1:3, 2:4 positions
4. Install a jumper on JP11 in the OFF position
5. JP8 must NOT have a jumper as this is the write enable for the serial flash
6. All other jumpers NOT installed



XILINX®

Chapter 1

Hardware Platform

Introduction

This reference system targets the Spartan-3A DSP 1800A development board. The system is created to run the HelloWorld software application described in Chapter 2, "HelloWorld Software Application.", the BlueCat Linux image described in Chapter 3, "LynuxWorks BlueCat Linux.", and the FlashRWE software application described in Chapter 4, "FlashRWE Software Application". The system uses the MicroBlaze processor with cache turned on for both the instruction cache and the data cache. As shown in Figure 1-1, the system includes various IP cores used in embedded systems.

See Table 1-1 for the address map of the system.

Block Diagram

The block diagram for the system is shown in Figure 1-1.

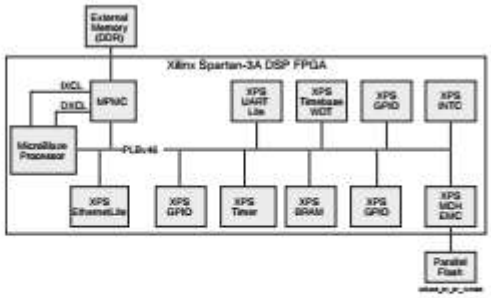


Figure 1-1: **Block Diagram**

Functional Description

A high-level block diagram of the Spartan-3A DSP Starter Platform is shown in Figure 1. Subsequent sections provide details of the board design.

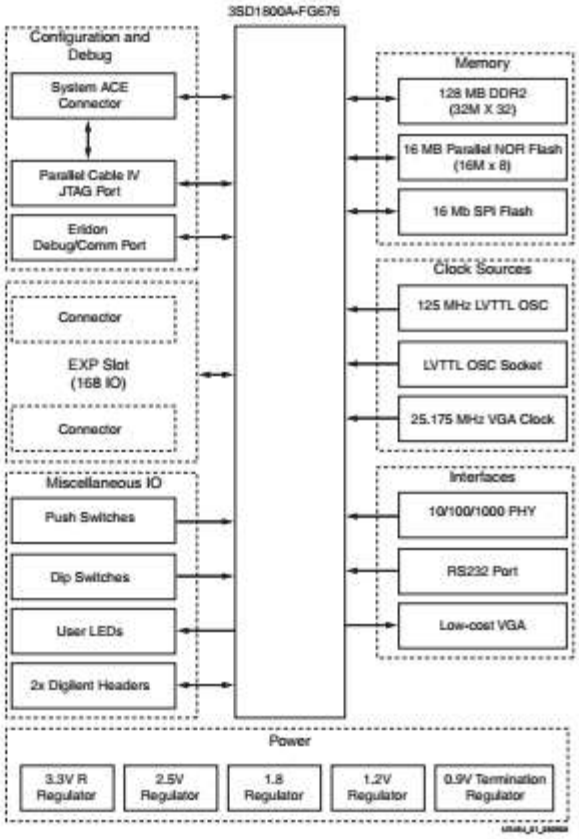
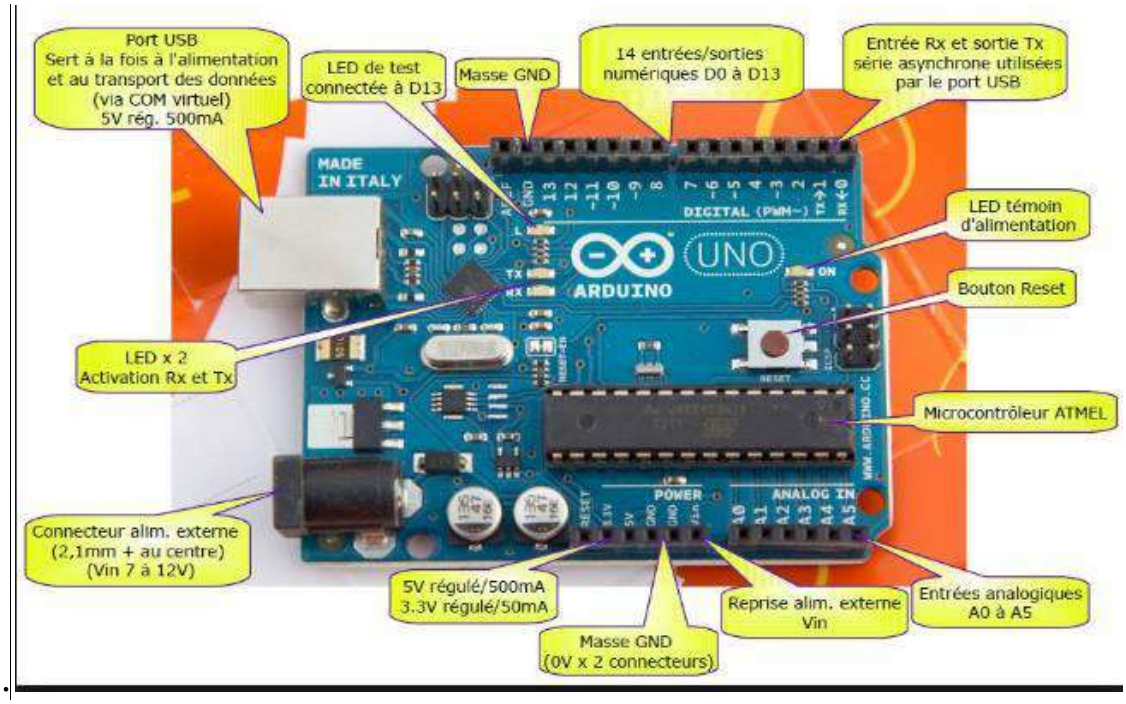
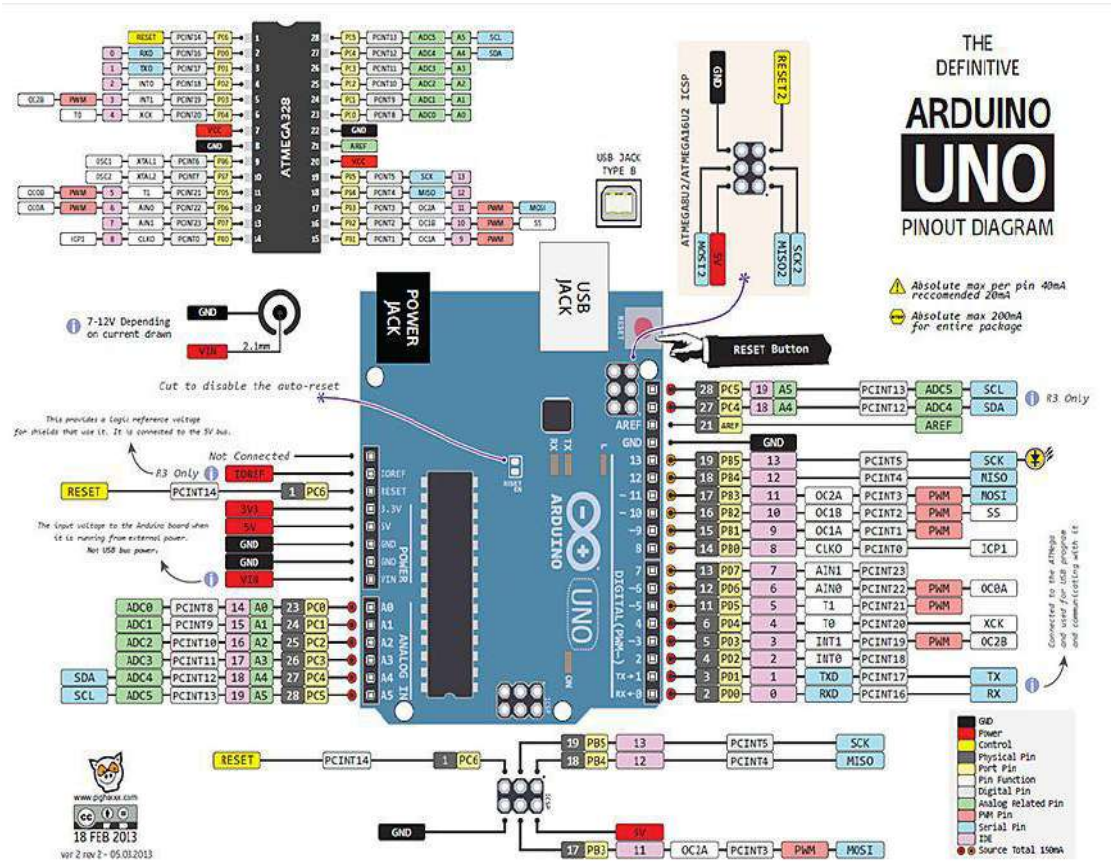


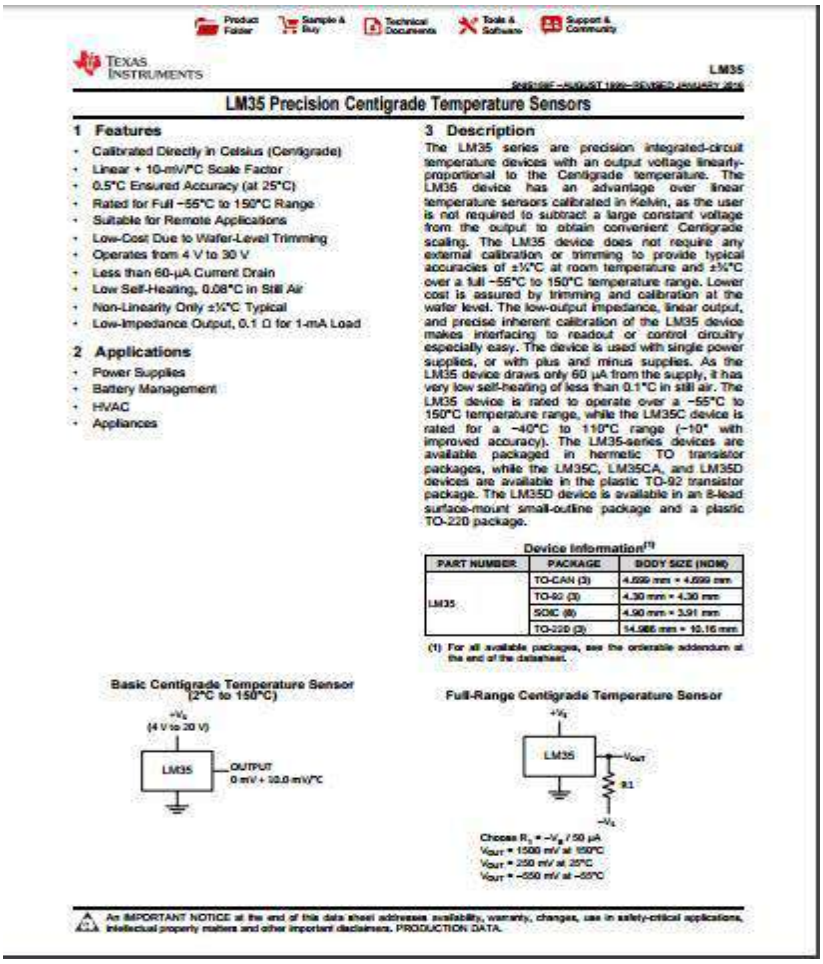
Figure 1: **Spartan-3A DSP Starter Platform Block Diagram**

- Brochage d'Arduino Uno





- Brochage de circuit FT232 :



Product Folder | Sample & Buy | Technical Documents | Tools & Software | Support & Community

TEXAS INSTRUMENTS

LM35

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 R1 = −V_S / 50 µA
V_OUT = 1500 mV at 150°C
V_OUT = 250 mV at 25°C
V_OUT = −550 mV at −55°C

An IMPORTANT NOTICE at the end of this data sheet addresses availability, warranty, changes, use in safety-critical applications, intellectual property matters and other important disclaimers. PRODUCTION DATA.

- Brochage de LM35 :

Annexe B

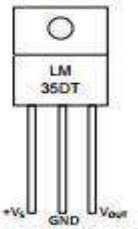
5 Pin Configuration and Functions

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



Case is connected to negative pin (GND)

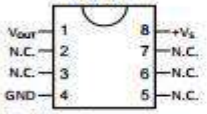
NEB Package
3-Pin TO-220
(Top View)



Tab is connected to the negative pin (GND).

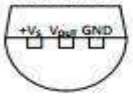
NOTE: The LM35DT pinout is different than the discontinued LM35DP

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	SOB		
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

Copyright © 1999–2016, Texas Instruments Incorporated

ANNEXE B :

• La liste des composants :

- 2 modules XBee Série 1.
- 1 Arduino Uno.
- carte FPGA Spartan 3A –DSP 1800A
- Capteur LM35DZ.
- Câbles USB.
- Sheild XBee d'Arduino
- LEDs.

Figure d'image d'application finale :



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] **Les réseaux sans fil** (Wireless Networks).PDF

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

[4] DILMI Ahlem et DAHAL Hamza, (2014/2015). **Étude et implémentation d'une plateforme de communication ZigBee a base d'un microcontrôleur ATmega mémoire**

[5]Marya Essamlali exposé sur **ZigBee** document disponible sur : https://prezi.com/qjm6faim12ns/zigbee/

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

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

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

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

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

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

[12] Des charles Stephane et Waïa Bernard. (2006). ***ZIGBEE Protocole pour WPANS***. Disponible sur : http: // wapiti.telecomlille1.eu /commun /ens /peda / options /ST /RIO / pub/exposes/exposesrio2006/.htm

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

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

[15] Michel Hubin (2015). **Introduction au microprocesseur et circuits assimilés cinquième partie (5/5):les composants FPGA** récupère sur : http://michel.hubin.pagesperso-orange.fr/physique/microp/chap_mp1.htm

[16] GUELLAL Amar, **Les circuits FPGA : description et applications**(2012) Disponible sur : www.cder.dz/vlib/bulletin/pdf/bulletin_024_05.pdf

[17] **Les FPGA: Introduction .** (2013). récupère sur : http://proxacutor.free.fr/

[18] hamzi iman, **Contribution à la sécurité des communications d'un réseau WSN appliqué dans un système de contrôle du trafic routier**. (2014/2015).

[19] Eric Peronnin , le 4 octobre 2012 ,**Composants logiques reconfigurables** récupère sur : http://www.geii.eu/fichiers/geii/cours/composants_programmables.pdf

[20] **processeur Hardcore.** (2015) . Récupère sur : https://fr.wikiversity.org/wiki/hard CORE/PROCESSOR

[21]**Softcore processeur**.(2014) disponible sur : https://fr.wikiversity.org/wiki/SOFTCORE /PROCESSOR.

[22] **MicroBlaze.** (2015). disponible sur : https://fr.wikiversity.org/wiki/MicroBlaze.

[23] **La Liaison série asynchrone. (**2013). Récupère sur : https://bvdp.free fr/msp430 /asynch _serial.pdf.

[24] **Transmission de données -Les modes de transmission. (2016).** Disponible sur :https://.commentcamarche.net

[25] Seema M. Borawake Prof. P. G. Chilveri. (2014**). Implementation of Wireless Sensor Network using Microblaze and Picoblaze Processors.**