

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université 8Mai 1945 – Guelma
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département d'Electronique et Télécommunications



716

**Mémoire de Fin d'Etude
Pour l'obtention du Diplôme de Master Académique**

Domaine : Sciences et Techniques

Filière : Télécommunications

Spécialité : Systèmes de Télécommunications

Commande d'un feu de carrefour avec pic et zigbee

Présenté par : **SERIDI AHMED**

Sous la direction de Dr : **TABAA M.TAHAR**

JUIN 2011



Remerciement

Nous tenons d'abord à remercier Dieu Tout puissant qui nous à donné la force et la compétence pour arriver à ce résultat.

Nous tenons ensuite à remercier Monsieur TABAA M.TAHAR notre encadreur et professeur à l'Université de Guelma pour ses précieux conseils, recommandations et critiques qui nous ont permis à élaborer ce mémoire.

Nous remercions aussi l'ensemble de nos enseignants qui nous avons donné la base scientifique qui a contribué à finaliser ce projet.

Enfin, nous tenons à exprimer notre profonde considération aux membres du jury pour avoir bien voulu examiner et juger ce modeste travail.



TABLE DES MATIERES

✓ Introduction générale :

Introduction générale.....	7
----------------------------	---

✓ Chapitre 01 :

Les réseaux sans fils et la qualité de service

INTRODUCTION.....	11
1. Classification des technologies réseaux.....	12
2. Les Différentes catégories des réseaux sans fils.....	13
2.1. Réseaux personnels sans fils (WPAN).....	14
2.1.1. Bluetooth.....	14
2.1.2. HomeRF.....	17
2.1.3. Zig Bee.....	17
2.1.4. Infrarouges.....	18
2.2. Réseaux locaux sans fils (MLAN).....	18
2.2.1. WIFI (IEEE 802.11).....	18
2.2.2. hiperLAN2.....	19
2.2.3. DECT.....	19
2.3. Réseaux Métropolitains sans fils (WMAN).....	19
2.3.1. La Boucle Locale Radio.....	20
2.4. Réseaux Etendus sans fils (WWAN).....	21

2.4.1 Le GSM.....	21
2.4.2. Le GPRS.....	22
2.4.3. L'UMTS.....	24
2.4.4. Wi MAX.....	25
3. La Qualité de Service dans les réseaux.....	26
3.1 Présentation générale.....	26
3.1.1 Qu'est ce que la Qualité de Service ?.....	26
3.1.2 QoS vs. Surdimensionnement.....	27
3.2 Notions fondamentales et principes de QoS.....	28
3.2.1 La prédictibilité du trafic.....	28
3.2.2 Le contrôle d'admission.....	29
3.2.3 Les degrés de Qualité de Service.....	29
3.3 Quelques exemples de protocoles à QoS.....	30
3.3.1 Asynchronous Transfer Mode (ATM).....	30
3.3.2 IntServ.....	32
3.3.2.1 Profils de QoS au niveau utilisateur.....	32
3.3.2.2 Le protocole de signalisation RSVP.....	33
3.3.2.3 Conclusion : bénéfices et difficultés lies à IntServ.....	34
3.3.3 DiffServ.....	34
3.4 Conclusion.....	35

✓ **CHAPITRE 2 :**

SYSTEME ZIGBEE

1. INTRODUCTION.....	38
2. HISTORIQUE.....	38
3. Zigbee par rapport à d'autres protocoles sans fil.....	39
4. PRESENTATION DE IEEE 802.15.4 / ZIGBEE.....	40
4.1 Généralités	40
4.2 Adressage.....	41
4.3 Valeurs typiques.....	41
5. Présentation de la pile protocolaire ZigBee.....	42
5.1 Quelques notions fondamentales.....	42
5.1.1 Le découpage en différentes couches.....	42
5.1.2 Le principe de l'encapsulation.....	43
5.1.3 Protocole d'échange entre deux couches voisines.....	44
5.1.4 Représentation de la pile protocolaire ZigBee.....	45
5.1.5 Les interfaces de communication entre couches.....	46
5.2. La couche Physique.....	49
5.2.1. Bandes de fréquences et canaux.....	49
5.2.2. Modulations, étalement de spectre.....	49
5.2.3 Portée, puissance d'émission et sensibilité du récepteur...	49
5.2.4 Le paquet de niveau physique.....	50
5.2.5 Services rendus.....	51
5.3 La couche Liaison.....	51

6. Couche MAC.....	51
7. Les failles identifiées dans la méthode d'accès.....	53
8. LA PROPOSITION PROTOCOLAIRE.....	54
8. 1 Problématique de la cohabitation de plusieurs étoiles sur un medium commun.....	55
8. 2 Etude du protocole mis en œuvre.....	56
8.2.1. Mécanisme de demande de réservation du Médium.....	56
8.2.2. Allocations au préalable : arrivées déterministes dans le réseau.....	56
8.2.3. Une politique d'accès déterministe par défaut.....	57
Conclusion.....	57
✓ CHAPITRE 3 : <i>Etude sur la carte PICDEM™ Z</i>	
1. INTRODUCTION.....	60
2 .Le kit de démonstration PICDEM Z.....	61
3. cartes DAUGHTER sans fil.....	66
4. Les protocoles utilisés par la carte PICDEM Z.....	67
4.1. Pile de protocole Résidentiel Microchip ZigBee200.....	67
4.2. Protocole Microchip MiWi™.....	67

4.3. Protocole Microchip MiWi P2P.....	68
5. PICDEM Z MRF24J40MA 2, 4 GHz RF Board.....	68
6. Le PICDEM™ Z MRF24J40 2.4 GHz (la carte DAUGHTER).....	70
7. Analyseur De Réseau de ZENA™.....	73
7.1. INSTALLATION LOGICIEL ANALYSEUR ZENA™.....	74
7.2 .OUTIL DE CONFIGURATION de la pile de microchip.....	75
7.3. Analyse du trafic réseau.....	78
8 Programmation d'un feu de carrefour.....	77
8.1 Présentation.....	77
8.2 Étude du schéma structurel.....	78
8.2.1 Le câblage.....	79
8.2.2 Flowcode.....	79
8.3 MPLAB IDE.....	81
8.4 Programmes de test.....	82
8.5 Allumage successifs des feux.....	85
8.6 Jour / nuit.....	86
8.7 Les piétons.....	87
Conclusion.....	88
Conclusion générale.....	89
Bibliographie générale.....	91

Introduction générale

Introduction générale

Le carrefour est un lieu stratégique : croisement de routes, d'acteurs et de modes de transport, lieu de choix d'itinéraires, terrain sensible pour les conflits de trafic. Lorsqu'il est équipé de feux tricolores, le carrefour devient aussi un moyen de régulation du trafic.

Les feux de circulation routière constituent un dispositif permettant la régulation du trafic routier entre les usagers de la route, les véhicules et les piétons.

Un carrefour à feux tricolores est commandé par un contrôleur de feux, appareil électronique de contrôle/commande.

Les feux sont généralement déclinés à partir de deux couleurs de base : le rouge pour fermer, le vert (ou encore le bleu plus rarement) pour ouvrir. L'orange (ou parfois le jaune) est également utilisé et sert à signaler le passage du feu vert au feu rouge. Ces couleurs ont l'avantage d'être très différentes, sauf pour la plupart des daltoniens.

Les feux contribuent à limiter la vitesse et à diminuer le risque d'accident. L'apparition des leds a fortement diminué leur consommation d'électricité. Mais le démarrage brutal au feu vert serait également source de pollution automobile plus importante. Il triplerait les émissions de CO₂ aux carrefours urbains lorsque la circulation est peu fluide.

Le projet « Carrefour avec pic et zigbee » développe des fonctions de gestion des carrefours à feux dans les domaines de la surveillance, de la régulation et du diagnostic.

A ce titre, la technologie IEEE 802.15.4/ZigBee, qui a été utilisée et améliorée dans le cadre des travaux de la thèse, présente des caractéristiques intéressantes de notre point de vue, notamment au niveau de la gestion de l'énergie et de la couche MAC. En effet, cette technologie WPAN est optimisée pour les « petits transferts de données » et correspond tout à fait aux attentes, sous l'angle énergétique, d'une application robotique de réseau de capteurs.

Chapitre I

Les réseaux sans fils

INTRODUCTION

Dans ce premier chapitre, nous dressons un état de l'art des différentes techniques de transmission réseau, en nous focalisant particulièrement sur les technologies sans fil et les méthodes liées à la Qualité de Service (QoS).

Nous verrons alors comment une Qualité de Service peut être avantageusement mise en œuvre à ce niveau.

Un réseau sans fils (en anglais Wireless network) est, comme son nom l'indique, un réseau dans lequel au moins deux terminaux peuvent communiquer sans liaison filaire. Grâce aux réseaux sans fils, un utilisateur a la possibilité 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".

Les réseaux sans fils sont basés sur une liaison utilisant des ondes radioélectriques (radio et infrarouges) au lieu de placer des câbles habituels. Il existe plusieurs technologies se distinguant d'une part par la fréquence d'émission utilisée ainsi que le débit et la portée des transmissions.

Les réseaux sans fils permettent de relier très facilement des équipements distants d'une dizaine de mètres à quelques kilomètres. De plus l'installation de tels réseaux ne demande pas de lourds aménagements des infrastructures existantes comme c'est le cas avec les réseaux filaires (creusement de tranchées pour acheminer les câbles, équipements des bâtiments en câblage, goulottes et connecteurs), ce qui a valu un développement rapide de ce type de technologies.

En contrepartie se pose le problème de la réglementation relative aux transmissions radioélectriques. En effet, les transmissions radioélectriques servent pour un grand nombre d'applications (militaires, scientifiques, amateurs, ...), mais sont sensibles aux interférences, c'est la raison pour laquelle une réglementation est nécessaire dans chaque pays afin de définir les plages de fréquence et les puissances auxquelles il est possible d'émettre pour chaque catégorie d'utilisation.

De plus les ondes hertziennes sont difficiles à confiner dans une surface géographique restreinte, il est donc facile pour un pirate d'écouter le réseau si les informations circulent en clair (c'est le cas par défaut). Il est donc nécessaire de mettre en place les dispositions nécessaires de telle manière à assurer une confidentialité des données circulant sur les réseaux sans fils.

1 Classification des technologies réseaux

Les technologies réseaux sont fréquemment classées en quatre catégories.

Cette classification tient essentiellement compte de la portée des dites technologies :

- les réseaux personnels (PAN3) : ils concernent l'entourage immédiat d'une personne (quelques mètres).
- les réseaux locaux (LAN3) : ils concernent un environnement de vie plus étendu que les réseaux personnels comme une maison, une entreprise ou un campus (quelques dizaines de mètres à quelques Kilomètres).
- les réseaux métropolitains (MAN3) : ils visent à couvrir une région étendue comme une ville (plusieurs kilomètres).
- les réseaux étendus (WAN3) : ils visent à couvrir une zone très vaste comme un pays, une région du globe ou toute la planète.

Les réseaux sans fil (en anglais Wireless Networks) n'échappent pas à cette classification : on parle souvent de WPAN3 (par exemple la technologie Bluetooth), WLAN3 (par exemple Wifi), WMAN3 (par exemple WiMAX) ou WWAN3 (par exemple les réseaux satellites), comme l'illustre la figure 1.1.

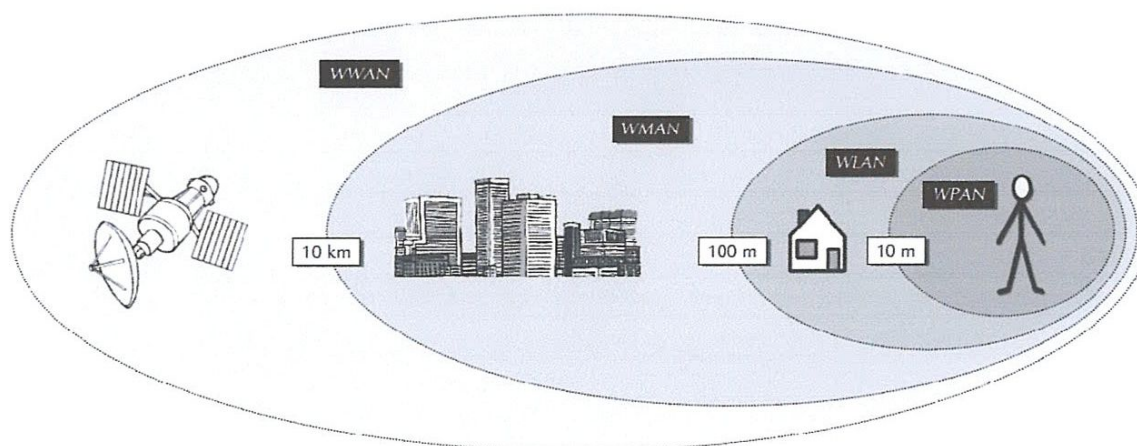


Fig. 1.1 – Différents types de réseaux sans fil et portées typiques

Bien que la portée constitue le critère de classement le plus répandu, il peut être intéressant de classer les technologies réseaux selon d'autres paramètres comme le débit proposé, l'énergie nécessaire au fonctionnement, le coût de mise en œuvre et d'entretien, la simplicité d'utilisation ou bien encore la fiabilité.

Des compromis différents sont faits entre ces caractéristiques ; ils donnent lieu à une multitude de techniques – certaines complémentaires, d'autres concurrentes.

Ce grand nombre de produits disponibles permet dès lors de proposer une (voire plusieurs) solution(s) à une problématique donnée.

Concernant plus particulièrement les technologies de réseaux sans fil, et de par le caractère embarqué des équipements visés, un autre classement, fondé sur la consommation énergétique, serait aussi très pertinent.

Nous allons à présent proposer un état de l'art non exhaustif des principales technologies de communication réseaux sans fil que l'on peut rencontrer sur le marché.

2 Les Différentes catégories des réseaux sans fils

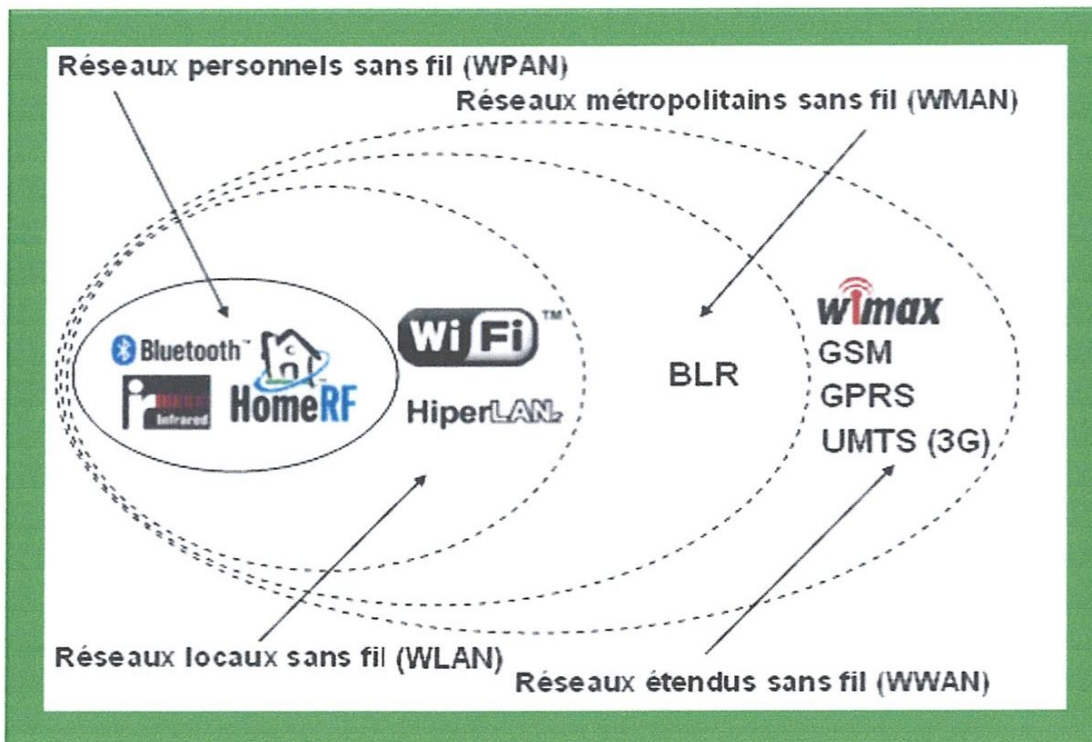


Figure 1.2: Les catégories de réseaux sans fils

2.1. Réseaux personnels sans fils (WPAN)

Le *réseau personnel sans fils* (appelé également *réseau individuel sans fils* ou *réseau domestique sans fils* et noté **WPAN** pour *Wireless Personal Area Network*) concerne les réseaux sans fils d'une faible portée : de l'ordre de quelques dizaines de mètres. Ce type de réseau sert généralement à relier des périphériques (imprimante, téléphone portable, appareils domestiques, ...) ou un assistant personnel (PDA) à un ordinateur sans liaison filaire ou bien à permettre la liaison sans fils entre deux machines très peu distantes. Il existe plusieurs technologies utilisées pour les WPAN :

2.1.1. Bluetooth :

Le Bluetooth est, avec l'infrarouge, l'une des principales technologies sans fil développées pour réaliser des WPAN, c'est-à-dire, comme nous l'avons vu, pour permettre les échanges entre périphériques situés à proximité les uns des autres. Cette technologie est mise en avant par le Bluetooth Spécial Interest Group (SIG) qui a publié la première version de la spécification Bluetooth en 1999

La technologie Bluetooth utilise les ondes radios dans la bande de fréquence de 2,4 GHz, ce qui permet en particulier de traverser certains obstacles d'épaisseur modeste. On peut ainsi transférer des données au travers de murs, de poches ou de porte-documents, ce dont l'infrarouge est incapable. Il est important de noter que c'est la même bande de fréquences que celle utilisée par les normes Wifi 802.11b et 802.11g, ce qui peut poser des problèmes d'interférences entre les deux technologies. Le Wifi est d'ailleurs davantage gêné par la proximité d'un réseau Bluetooth que l'inverse. L'IEEE a lancé un nouveau groupe de travail, le 802.15, pour standardiser les WPAN. Ce groupe travaille essentiellement sur la technologie Bluetooth et l'un de ses objectifs est d'améliorer la cohabitation et l'interopérabilité entre les réseaux Wifi et les réseaux Bluetooth.

Comme le Wifi, le Bluetooth connaît un succès considérable: il existe des souris Bluetooth, des écrans Bluetooth, des PDA Bluetooth, etc. La conjuration d'un équipement Bluetooth est en général tout à fait triviale car le standard définit un mécanisme de détection automatique des services Bluetooth situés à proximité. Cette technologie est sans doute mieux adaptée aux WPAN que le Wifi, pour

lesquels la configuration n'est pas toujours évidente. En outre, la consommation électrique, la taille et le prix des adaptateurs Bluetooth sont bien plus faibles que pour le Wifi.

En revanche, le Bluetooth n'est pas réellement conçu pour réaliser de véritables réseaux sans fil, en particulier car le débit était jusqu'à récemment limité à 1 Mb/s et la portée restreinte à 10 à 20 mètres. Il existe maintenant trois catégories de produits Bluetooth, classés en fonction de leur puissance donc de leur portée : le type III permet d'atteindre une portée semblable au Wifi.

Le Bluetooth et le Wifi sont donc plutôt complémentaires que concurrents:

Le Bluetooth sur le marché des WPAN et le Wifi pour les WLAN. [01].

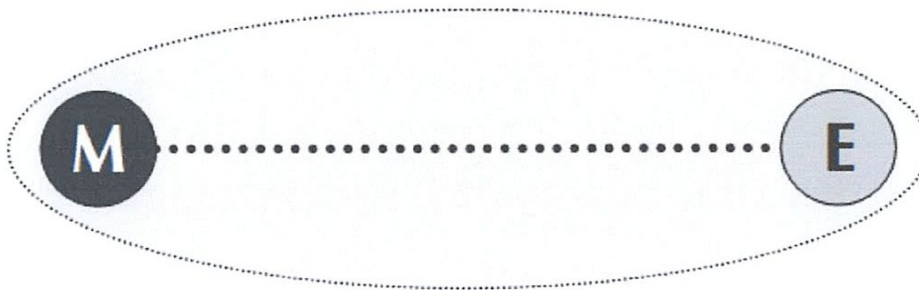


Fig. 1.3 – Topologie point a point de Bluetooth

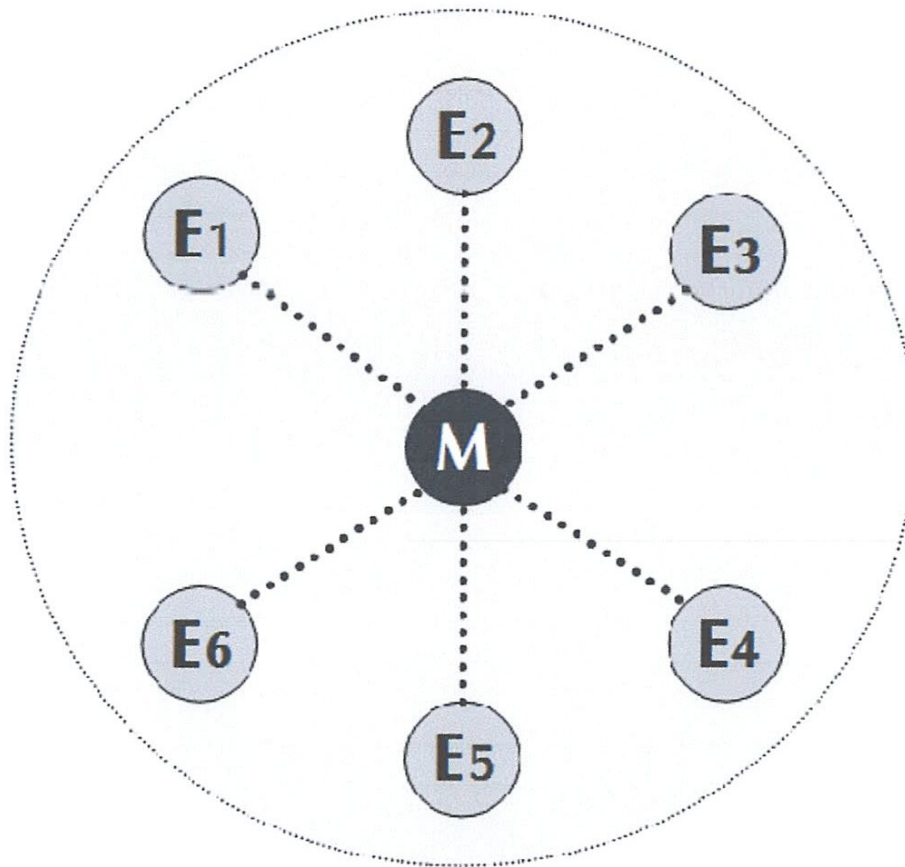


Fig. 1.4 – Topologie Piconet de Bluetooth

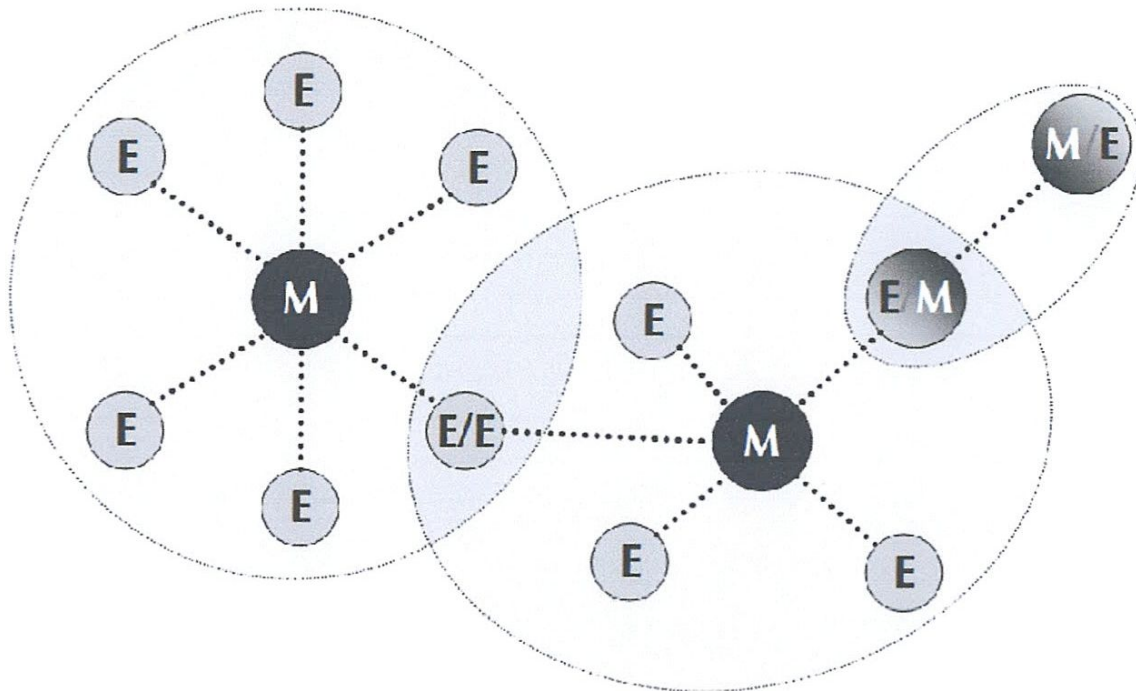


Fig. 1.5 – Topologie Scatternet de Bluetooth

2.1.2. HomeRF :

(*Home Radio Fréquence*), lancée en 1998 par le HomeRF Working Group (formé notamment par les constructeurs Compaq, HP, Intel, Siemens, Motorola et Microsoft) propose un débit théorique de 10 Mbps avec une portée d'environ 50 à 100 mètres sans amplificateur. La norme HomeRF soutenue notamment par Intel, a été abandonnée en Janvier 2003, notamment car les fondateurs de processeurs misent désormais sur les technologies Wifi embarquée (via la technologie Centrions, embarquant au sein d'un même composant un microprocesseur et un adaptateur Wifi). [02].

2.1.3. Zig Bee :

(Aussi connue sous le nom IEEE 802.15.4) permet d'obtenir des liaisons sans fil à très bas prix et avec une très faible consommation d'énergie, ce qui la rend particulièrement adaptée pour être directement intégré dans de petits appareils électroniques (appareils électroménagers, hifi, jouets, ...). [03].

2.1.4. Infrarouges :

Permettent de créer des liaisons sans fils de quelques mètres avec des débits pouvant monter à quelques mégabits par seconde. Cette technologie est largement utilisée pour la domotique (télécommandes) mais souffre toutefois des perturbations dues aux interférences lumineuses. L'association **irDA** (infrared data association) formée en 1995 regroupe plus de 150 membres.

2.2. Réseaux locaux sans fils (MLAN)

Le *réseau local sans fils* (noté **WLAN** pour *Wireless Local Area Network*) est un réseau permettant de couvrir l'équivalent d'un réseau local d'entreprise, soit une portée d'environ une centaine de mètres. Il permet de relier entre-deux les terminaux présents dans la zone de couverture. Il existe plusieurs technologies concurrentes :

2.2.1. WIFI (IEEE 802.11) :

L'enjeu des réseaux sans fil est de fournir les mêmes services aux utilisateurs que les réseaux fixes, avec la mobilité en plus. Il existe plusieurs architectures de réseaux selon la couverture désirée : les LAN (Local Area Network) sans fil pour un rayon d'action de quelques centaines de mètres, mais si la couverture nécessaire est plus large, les réseaux de mobiles (GSM, UMTS, ...) sont à considérer. [04].

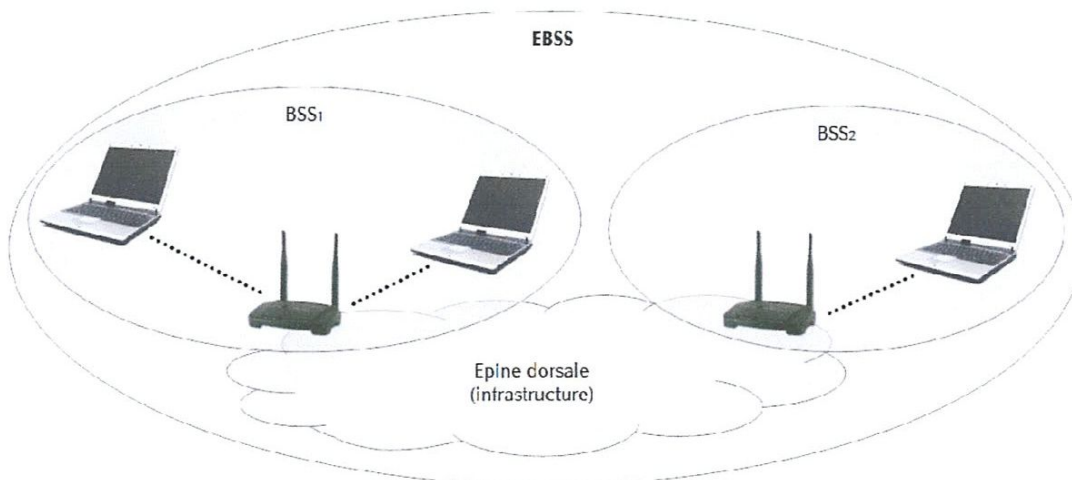


Fig. 1.6 – Topologie Infrastructure de 802.11

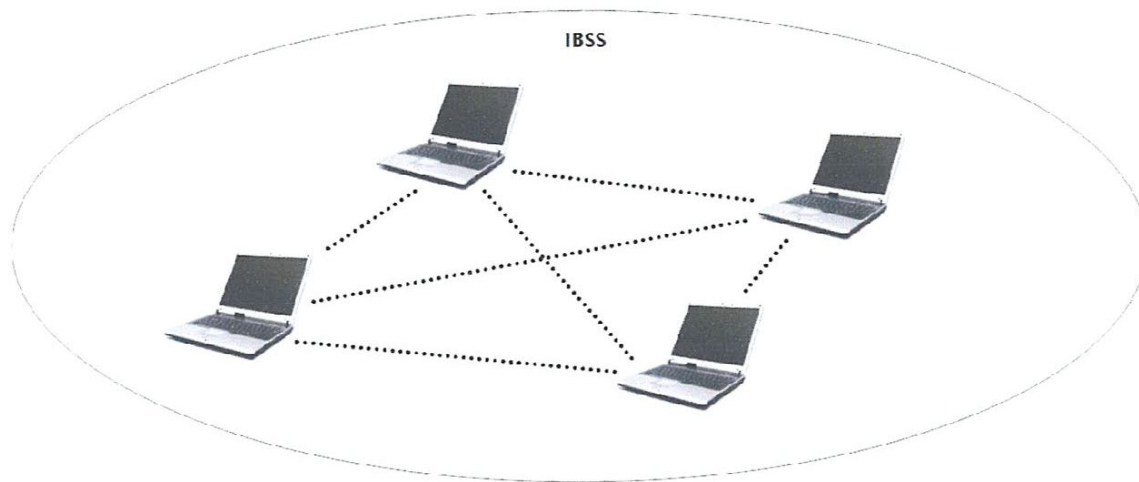


Fig. 1.7 – Topologie Ad-hoc de 802.11

2.2.2. hiperLAN2 :

(*High Performance Radio LAN 2.0*), norme européenne élaborée par l'ETSI (*Européen Télécommunications Standards Institute*), permet d'obtenir un débit théorique de 54 Mbps sur une zone d'une centaine de mètres dans la gamme de fréquence comprise entre 5 150 et 5 300 MHz. [05]

2.2.3. DECT :

(*Digital Enhanced Cordless Télécommunication*), norme des téléphones sans fils domestiques. Alcatel et Ascom développent pour les environnements industriels, telles les centrales nucléaires, une solution basée sur cette norme qui limite les interférences. Les points d'accès résistent à la poussière et à l'eau.

Ils peuvent surveiller les systèmes de sécurité 24/24h et se connecter directement au réseau téléphonique pour avertir le responsable en cas de problème.

2.3. Réseaux Métropolitains sans fils (WMAN)

Le *réseau métropolitain sans fils* (WMAN pour *Wireless Metropolitan Area Network*) est connu sous le nom de **Boucle Locale Radio (BLR)**. Les WMAN sont

basés sur la norme *IEEE 802.16*. La boucle locale radio offre un débit utile de 1 à 10 Mbit/s pour une portée de 4 à 10 kilomètres, ce qui destine principalement cette technologie aux opérateurs de télécommunication. [06].

2.3.1. La Boucle Locale Radio :

La boucle locale radio (BLR) ou Wireless Local (WLL) est en plein déploiement en France et on commence à en parler de plus en plus pour la connexion Internet permanente à haut débit, mais comment ça marche ?

En télécommunications, la boucle locale est le lien qui fait la liaison entre l'opérateur et l'abonné.

La boucle locale radio est donc un moyen de relier l'abonné à un opérateur de télécommunication sans utiliser les traditionnels fils de cuivre mais en employant un faisceau hertzien.

La BLR est une technologie de connexion sans fil bidirectionnelle (la liaison se fait dans les deux sens simultanément) utilisant les ondes radio comme mode de transmission. Le récepteur devant être fixe, la BLR ne pourra pas être utilisée pour les mobiles comme l'actuelle norme GSM.

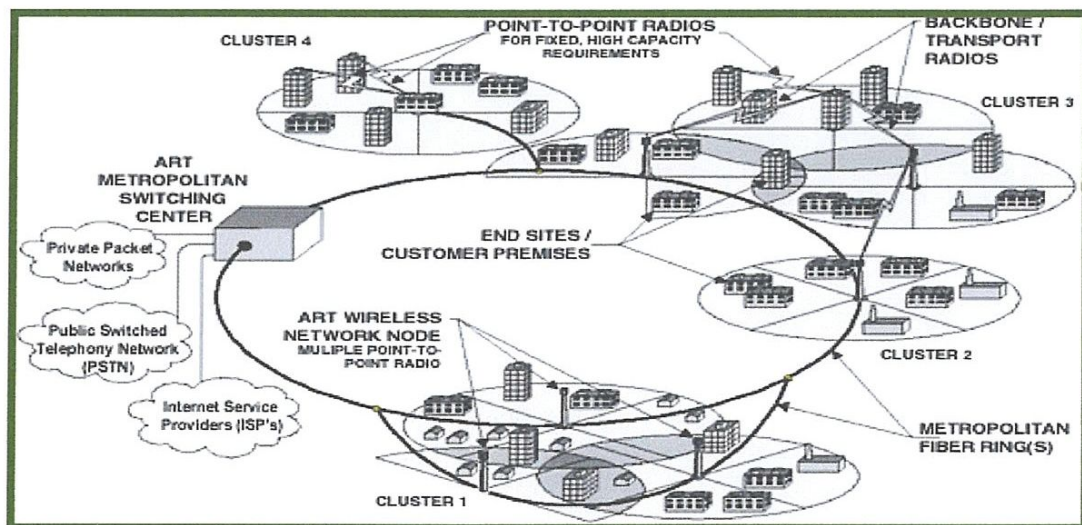


Figure 1.8 Architecture de La Boucle Locale Radio

2.4. Réseaux Etendus sans fils (WWAN)

Le *réseau étendu sans fils* (**WWAN** pour *Wireless Wide Area Network*) est également connu sous le nom de *réseau cellulaire mobile*. Il s'agit des réseaux sans fils les plus répandus puisque tous les téléphones mobiles sont connectés à un réseau étendu sans fils. Les principales technologies sont les suivantes :

- ✦ **GSM** (*Global System for Mobile Communication* ou en français *Groupe Spécial Mobile*)
- ✦ **GPRS** (*General Packet Radio Service*)
- ✦ **UMTS** (*Universal Mobile Telecommunication System*)
- ✦ **WIMAX** (*World Interoperability for Microwave Access*) [07].

2.4.1 Le GSM :

Le GSM (Global System Mobile) correspond avant toutes choses à un réseau téléphonique mobile, au départ il n'est pas très adapté à la transmission de données, on obtient des débits (9600 bits/s) extrêmement faibles. Ces dernières années, sont apparues plusieurs technologies hertziennes avec des performances nettement plus acceptables.

Ce système est basé sur un système de cellules dont la taille varie entre 100m et 30 km. Le GSM constitue un standard européen de téléphonie mobile. C'est d'ailleurs cette normalisation à grande échelle qui donne aux utilisateurs la possibilité de téléphoner à l'étranger via leur téléphone portable.

Le GSM se décompose en 3 niveaux. Tout d'abord le niveau radio qui correspond à la couche physique du modèle OSI, c'est à ce niveau qu'on retrouve les cellules. Ces cellules sont constituées de stations de base, qui correspondent à des émetteurs – récepteurs. [08]

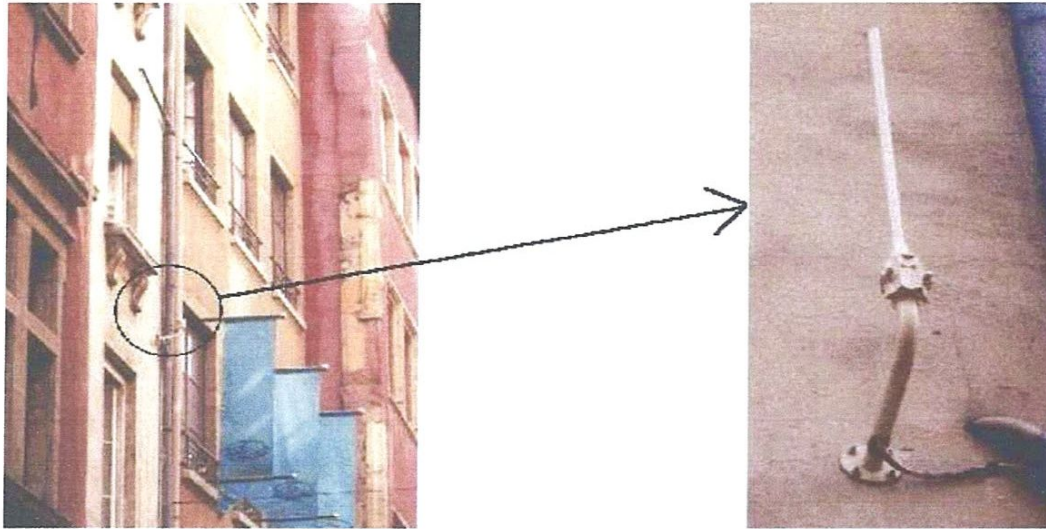


Figure 1.9 Station de base

Ce sont elles qui gèrent la transmission radio. On retrouve également à ce niveau les contrôleurs de station, ce sont eux qui effectuent la liaison entre les stations de base et les équipements du niveau supérieur, le niveau réseau. Ce dernier comprend principalement les centres de commutation, chargés de relier les différents réseaux de télécommunication. Ce centre gère l'établissement de communication entre un utilisateur de portable et son interlocuteur. Le niveau supérieur est dit d'exploitation, ici se trouveront des équipements propres à chaque opérateur, qui correspondront aux divers services disponibles aux abonnés.

2.4.2. Le GPRS :

Le GPRS (General Packet Radio Service) qui est un service de transmission des données par voie hertzienne permet d'obtenir un débit théorique de 170 kbps contre 9,6 kbps pour le GSM. On arrive à une telle amélioration des performances grâce à l'utilisation d'une transmission en mode paquet contrairement au GSM qui possède une transmission par circuit. En mode circuit, la transmission de données a lieu sur un canal radio dédié durant la totalité du transfert. Avec GPRS, le canal radio est réquisitionné temporairement pendant un échange de paquets, méthode similaire à celle que l'on retrouve dans le protocole IP. [09].

Grâce à cette modification, les utilisateurs auront un accès Internet (ou intranet) permanent, dès lors, les opérateurs ne facturent plus le temps passé connecté, mais la quantité de données envoyées.

Cette technologie s'intègre aisément aux couches supérieures du réseau GSM. En effet, cette extension, ne nécessite pas de grandes modifications, il faut rajouter 2 services au sein d'une cellule, l'un qui traite les paquets et gère les données (le SGSN = Service GPRS Support Node) et l'autre (GGSN = Gateway GPRS Support Node) permet une liaison effective aux réseaux IP externes (Internet ou intranet). Une mise à jour logicielle au niveau des stations de base est réalisée pour permettre une transmission réelle par paquet.

Toutes ces améliorations contribuent à la dénomination de réseau GSM de 2ème génération.

Ainsi, Il est possible d'utiliser le GPRS pour accéder à Internet sur son ordinateur portable, bien que le débit reste relativement faible. En pratique, on arrive aux alentours de 30 à 56 kbps. Cet accès est réalisé directement par connexion du téléphone mobile à un ordinateur, via USB ou en utilisant le Bluetooth, on peut également utiliser un modem GPRS. [10].

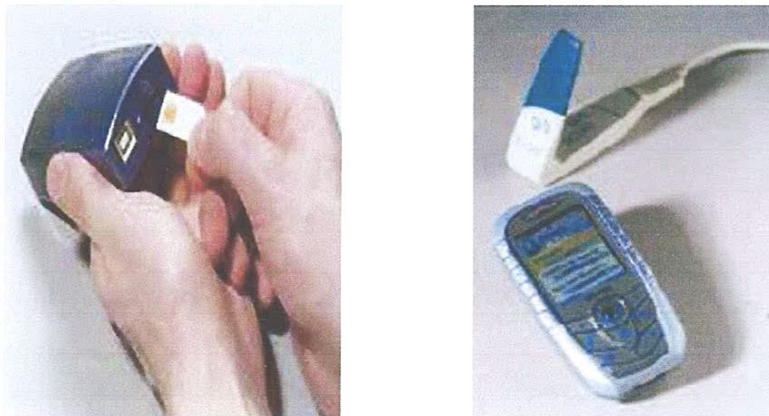


Figure 1.10 *Moyen de connexion en GPRS*

2.4.3. L'UMTS :

Une 3ème génération de téléphonie mobile connaît un développement important ces derniers temps, il s'agit de l'UMTS (=Universel Mobil Télécommunications System), norme définie par l'ETSI (= Institut Européen de Normalisation des Télécommunication) en 1998. Après le succès du GSM, de nombreux pays se sont associés à ce projet 3G (notamment le Japon et les Etats Unis), ce qui le porte au rang de norme mondiale.

Il s'agit d'une énorme avancée par rapport au système GPRS et encore plus grande par rapport au GSM. Il permettrait en effet une amélioration de la qualité des communications téléphoniques, ainsi que de meilleures performances sur les transferts de données. Les débits s'échelonnent effectivement entre 384 kbps et 2Mbps (contre seulement 9,6 pour GSM, et 56 kbps pour le GPRS). Ces caractéristiques s'expliquent par une utilisation plus efficace du spectre de fréquence, par ailleurs cette bande de fréquence n'est pas la même que dans les précédentes générations (de 1920 à 1980 MHz, et de 2110 à 2170 MHz, le GSM utilisait les 2 bandes 900MHz et 1800MHz). Cette modification au cœur du système radio, est l'une des raisons qui font de l'UMTS un pari coûteux. Le gouvernement a décidé d'attribuer des licences payantes pour pouvoir utiliser l'UMTS car le spectre disponible est restreint et les opérateurs doivent disposer d'environ 15 MHz chacun.

De plus cette 3ème génération utilisera de nouveaux protocoles dans les transmissions, et reposera sur une interface radio terrestre différente : l'UTRA (UMTS Terrestrial Radio Access). Elle sera chargée de gérer différents services liés à la transmission, notamment la possibilité d'utiliser les 2 modes de transmission, par paquet ou par circuit. Les équipements au niveau des cellules devront être modifiés afin de pouvoir utiliser cette nouvelle interface radio. Enfin, les terminaux seront modifiés de manière à utiliser le mode GSM classique, ou le mode UMTS. Cette technologie bénéficiera par ailleurs d'une sécurité accrue par rapport aux autres générations, elle utilisera notamment le protocole IP v6, et héritera donc de ses propriétés en terme de sécurité. [10]

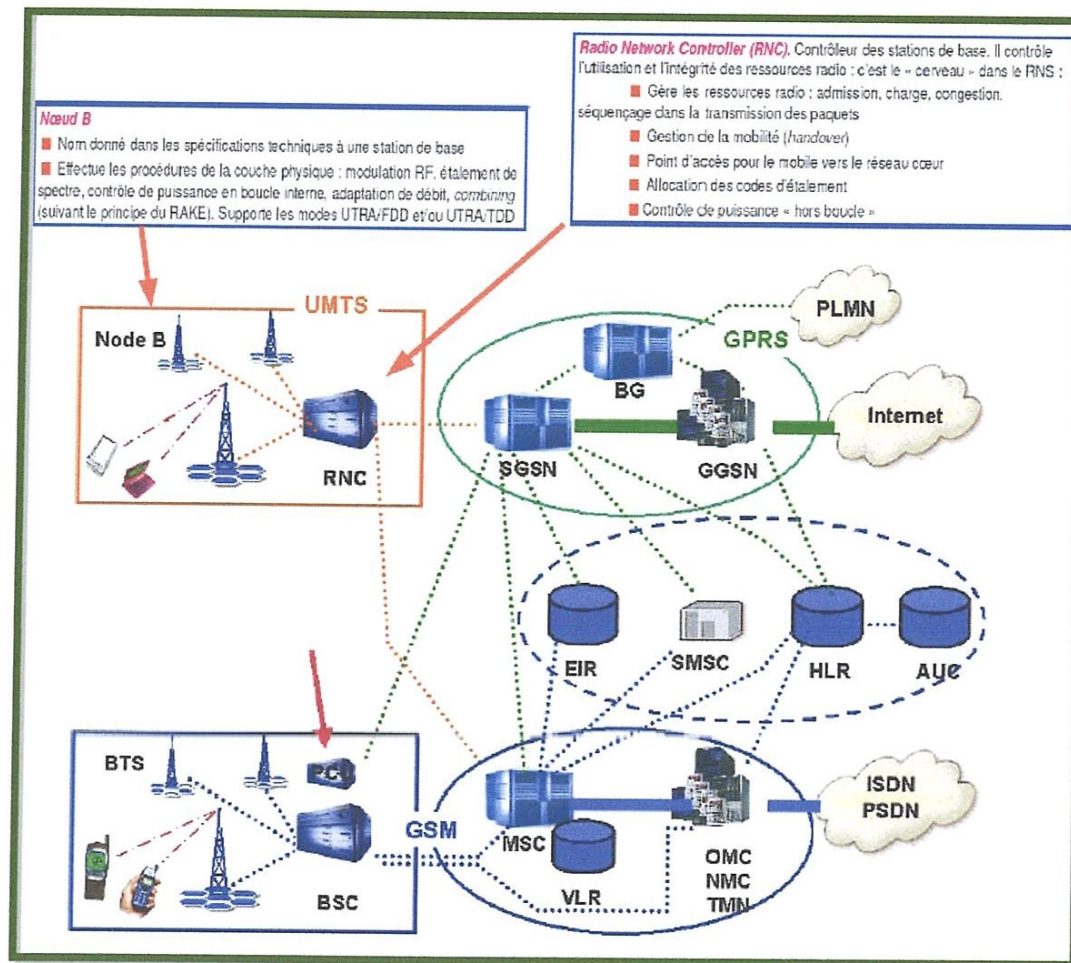


Figure 1.11 Architecture (GSM, GPRS, UMTS)

2.4.4. Wi MAX :

Wigman (Worldwide Interoperability for Microwave Access) est issu d'une initiative lancée en 2001 par l'Alliance Wi MAX. Son objectif était de promouvoir le standard 802.16 de l'IEEE en se proposant de vérifier la conformité et l'interopérabilité des équipements. Comme nous allons le voir, de nombreuses possibilités ont été proposées pour réaliser la communication.

Wi MAX se présente en deux versions, une version fixe, qui a été finalisée sous le nom de Wi MAX IEEE 802.16-2004 et la version mobile IEEE 802.16e-2005.

L'utilisation de Wi MAX est très semblable à celle d'un modem ADSL, si ce n'est qu'au lieu d'un câble téléphonique on utilise la voie hertzienne. C'est pourquoi l'on

parle de WDSL (Wireless DSL) pour décrire la solution Wi MAX fixe. En ce qui concerne la version mobile, son utilisation est identique celle d'un ADSL mobile. L'avantage évident de Wi MAX mobile est qu'on l'a toujours sur soi. Avec un équipement muni d'une connexion Wi MAX, il est possible de se connecter de partout, tout le temps, y compris en situation de mobilité. [05].

La figure (1.12) illustre la position de Wi MAX dans le contexte de réseaux sans fil.

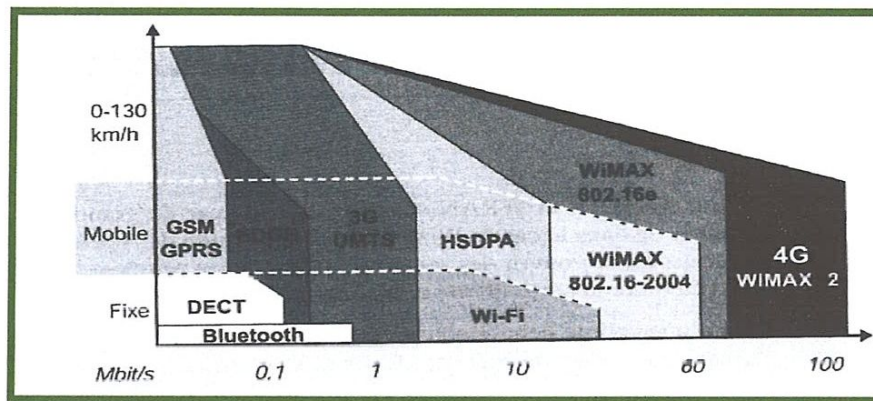


Figure 1.12 place de WIMAX dans les technologies hertziennes

3 La Qualité de Service dans les réseaux

Après avoir proposé un état de l'art des différentes technologies sans fil présentes sur le marché ou à l'étude, nous allons maintenant introduire le principe de Qualité de Service (QoS) et l'illustrer, à l'instar de l'existant.

Nous constaterons à cette occasion que les travaux les plus récents liés à la Qualité de Service concernent majoritairement la couche 3 du modèle OSI (niveau réseau), même si nombre de travaux antérieurs concernaient la QoS au niveau accès au médium, notamment dans le domaine des Réseaux Locaux Industriels (RLI) [LEPA 91]. Nous reviendrons également sur l'intérêt de traiter la QoS dans les couches les plus basses. [10].

3.1 Présentation générale

3.1.1 Qu'est ce que la Qualité de Service ?

En réseau, la notion de Qualité de Service regroupe toutes les méthodes permettant de garantir la disponibilité du réseau pour ses utilisateurs. La notion de QoS repose sur l'hypothèse suivante : le réseau possède des ressources finies et une pénurie de ses ressources est fortement possible dans des conditions d'utilisation raisonnables.

Le réseau étant utilisé simultanément par de nombreux utilisateurs dont les comportements individuels sont indépendants, ce risque de pénurie existe et il est tout à fait probable : cette pénurie serait provoquée par une demande d'utilisation massive et simultanée de la ressource partagée et aurait pour conséquence la congestion du réseau.

Elle peut alors se traduire par un blocage des données et un effondrement partiel ou total des performances du réseau (augmentation de la latence de transmission, baisse du débit offert, pertes de paquets, etc.).

Des lors, les bénéfices engendrés par une gestion fine de la QoS profitent aussi bien aux utilisateurs (meilleure disponibilité du réseau) qu'aux opérateurs (possibilité de facturer l'utilisateur en conséquence¹⁰!).

De ce fait, la Qualité de Service est un domaine de recherche et d'application vaste et prometteur car il vise à fiabiliser considérablement le réseau, d'éviter la pénurie des ressources et la dégradation de ses performances globales. [04].

3.1.2 QoS vs. Surdimensionnement

Nous pouvons opposer au concept de Qualité de Service la notion de surdimensionnement. Le surdimensionnement consiste à déployer un réseau dont la capacité est largement supérieure aux besoins réels, le risque de pénurie évoqué plus haut est donc minimisé mais toujours probable.

Le surdimensionnement va très souvent de pair avec l'utilisation de protocoles basés sur le Best-Effort¹¹, c'est-à-dire des protocoles ne proposant ni priorités ni garanties mais dont les performances sont acceptables dans la plupart des cas.

La mise en œuvre simple et le coût faible d'un réseau surdimensionné sont deux critères qui favorisent souvent l'utilisation de réseaux très haut débit au détriment d'un réseau à QoS, surtout dans des cas où le médium « ne coûte pas cher » comme dans le cas d'un réseau local filaire.

Par exemple, le coût d'installation d'un réseau Ethernet Gigabit peut être très inférieur au coût d'équipements de contrôle de QoS. En revanche, dans d'autres cas où le médium peut avoir un coût d'utilisation plus élevé, l'acronyme QoS est très souvent utilisé pour désigner la notion de Qualité de Service.

¹⁰La notion de tarification est fondamentale lorsque le réseau public se voit doté de fonctionnalités de QoS : si l'on considère qu'en cas de pénurie, comme nous le verrons plus loin, certains trafics sont prioritaires devant d'autres, il est nécessaire de discipliner les utilisateurs, voire de les forcer à se discipliner en leur imposant un coût financier proportionnel à leur priorité sur le réseau.

En revanche, dans le cas d'un réseau privé ou industriel, la QoS est administrée localement dans l'intérêt global, sans nécessité de surcoût.

¹¹ à traduire par faire au mieux. de protocoles à QoS est rentable. Notons que la notion de « coût d'utilisation » n'est pas forcément d'ordre financier ; le médium peut

être une ressource rare (réseaux sans fil hertziens, réseaux aquatiques acoustiques réseau à économie d'énergie) qu'il est important d'économiser.

Le réel inconvénient d'un réseau à QoS est qu'il nécessite une administration pointue pour être efficace.

De plus, sur un réseau flexible comme un réseau paquets¹², la mise en œuvre de la Qualité de Service affaiblit cette flexibilité et soulève des problématiques que l'on rencontre généralement sur un réseau commuté.

3.2 Notions fondamentales et principes de QoS

La mise en œuvre de la Qualité de Service sur un réseau implique certaines conditions. Celles-ci sont détaillées ci-après.

3.2.1 La prédictibilité du trafic

La mise en œuvre d'un réseau à Qualité de Service repose sur la prédictibilité du trafic. Pour pouvoir assurer une qualité constante quelque soit la charge, l'administrateur doit être en mesure de pouvoir d'écrire précisément la physionomie de chaque trafic transporté par le réseau.

Il est donc nécessaire d'évaluer les ressources demandées par les utilisateurs. On considère généralement qu'il n'est pas nécessaire pour l'application de savoir comment l'information est acheminée de bout en bout par le réseau ; cependant, l'utilisateur final est sensible à certaines propriétés qui ont un impact direct sur sa satisfaction vis-à-vis du réseau.

On considère généralement que son ressenti peut se résumer par quatre paramètres qui sont :

1. la latence, c'est-à-dire le délai instantané qui impacte la transmission de bout en bout,
2. la gigue, c'est-à-dire la différence de latence entre les paquets (certains vont très vite, d'autres plus lentement),
3. le débit, c'est-à-dire le volume d'information transporté par unité de temps,
4. la perte de paquets, c'est-à-dire le taux de paquets qui n'arrivent pas à leur destination.

Suivant le type d'application visée, les quatre paramètres n'ont pas la même importance. Par exemple, dans le cadre d'un transfert de fichier, la latence et la gigue ont peu d'impact sur l'utilisateur, l'essentiel étant que le fichier soit transféré rapidement et sans erreur.

Dans le cadre d'une communication téléphonique (transport multimédia interactif), le débit importe peu, tant qu'il suffit à transporter les données vocales numérisées ; cependant les paramètres temporels (latence, gigue) et le taux de paquets perdus ne

doivent pas dépasser un certain seuil pour le confort des participants à la conversation téléphonique.

On peut alors définir deux paramètres pour évaluer les besoins d'une application communicante :

1. L'élasticité, c'est-à-dire la faculté d'une application réseau à s'adapter [06] à un changement brusque de qualité de connexion (typiquement, une application de transfert de fichier ou une application de streaming vidéo avec adaptation automatique du CODEC selon le débit de la ligne est fortement élastique),

2. L'interactivité, c'est-à-dire le niveau d'interaction ou de réactivité nécessaire pour un bon fonctionnement de l'application entre les deux points communicants (typiquement, les applications de type temps réel sont fortement interactives).

Une fois la physionomie du trafic clairement identifiée, des zones de tolérance peuvent être clairement énoncées et le trafic ne doit pas en sortir. Si c'est le cas, les paquets non conformes peuvent être refusés ou retardés par un reconditionnement (écrêtage du débit au niveau réseau ou transport).

Eventuellement, dans des cas bien précis, le contenu peut être altéré (par exemple par une décompression à la volée de données multimédia).

3.2.2 Le contrôle d'admission

Un réseau à Qualité de Service ne peut pas s'engager à transporter tous les flux qui se présentent à lui ; la mise en application d'un protocole à QoS va obligatoirement de pair avec la mise en place d'un système de contrôle d'admission, c'est-à-dire un système qui agit en entrée du réseau et dont le rôle est d'accepter ou de refuser la prise en charge d'un nouveau trafic par le réseau.

Un réseau à QoS connaît ses limites et refusera la prise en charge d'une nouvelle demande qui ne pourra pas être satisfaite dans les conditions demandées¹³.

3.2.3 Les degrés de Qualité de Service

Les trois principaux degrés de Qualité de Service (trois niveaux de services), du plus fiable au plus lâche, sont les suivants :

1. Le service garanti, ou premium.

Il vise à émuler une liaison spécialisée : malgré un multiplexage des paquets sur le medium, le lien propose les mêmes garanties que s'il était basé sur une ligne indépendante.

Des pertes de paquets ou une certaine gigue peuvent néanmoins être acceptées en fonction du contrat négocié.

Au niveau technologies, le service garanti se retrouve avec le GS (Guaranteed Service) de IntServ, le EF (Expedited Forwarding) de DiffServ et le CBR (Constant Bit Rate) de l'ATM que nous détaillerons plus loin,

2. Le service « mieux que Best-Effort ».

3. Le service Best-Effort. Le protocole IP de base en est un exemple, ou encore UBR de l'ATM (Unspecified Bit Rate).

En pratique, l'application de la QoS sur le réseau se concrétise par deux types d'actions :

1. La différenciation de services. Dans le cadre de la différenciation de services, certains trafics sont traités prioritairement par rapport à d'autres : on parle de traitement préférentiel d'un paquet de données.

La différenciation de services est réalisée d'une part grâce à un marquage des paquets (tagging) pour identifier leur niveau de priorité (ce marquage peut être réalisé au moment de l'admission dans le réseau) et d'autre part grâce à un ordonnancement (scheduling) au niveau du prétraitement et de l'émission sur le réseau : dans les routeurs, les paquets de données ne seront pas traités selon le principe du « premier arrive, premier servi » (FIFO, First In, First Out) mais selon leur priorité.

La différenciation de services ne permet pas d'apporter de garantie absolue ; la seule garantie est relative aux autres trafics (plus prioritaire, moins prioritaire, ou même priorité).

2. La réservation de ressources. Dans le cadre de la réservation de ressources, il est possible de garantir l'acheminement des informations sur le réseau car une partie de ses ressources matérielles sera bloquée et dédiée à l'acheminement de cette information.

Un réseau paquets avec réservation de ressources a une fiabilité proche de celle d'un réseau à commutation de circuits, le challenge étant de parvenir à une description physionomique du trafic la plus fidèle possible (proche possible de la réalité) pour ne réserver que les ressources nécessaires, et pas plus.

3.3 Quelques exemples de protocoles à QoS

Nous allons ici présenter plusieurs exemples de protocoles implémentant une Qualité de Service.

Nous allons le voir, les approches sont différentes mais les objectifs finaux sont les mêmes : permettre à l'utilisateur de disposer du réseau à tout instant, dans des conditions négociées au préalable et ce, quelque soit l'état de ce réseau à l'instant où les données devront être acheminées.

3.3.1 Asynchronous Transfer Mode (ATM)

ATM [PUJO 95], pour Asynchronous Transfer Mode, est une technologie Télécoms fonctionnant en mode connecté par commutation de cellules (Cells), établissant des circuits virtuels.

L'objectif d'ATM est de pouvoir faire cohabiter des applications très diverses au sein d'un même réseau d'opérateur, avec une prise en charge native de la Qualité de

Service : ATM est doté d'un protocole de signalisation qui négocie la QoS des l'établissement du circuit virtuel [09].

Nous n'aborderons pas ici l'aspect routage par commutation de cellules mais simplement l'aspect QoS qui est intrinsèquement lié à la mise en œuvre d'ATM. ATM propose une gestion du trafic par contrats, associée à des descripteurs de trafics et un mécanisme de contrôle d'accès et de priorité.

Comme nous l'avons vu plus haut, il est fondamental, dans un réseau à QoS, de savoir décrire le profil de chaque trafic écoule par le réseau (débit continu ou en rafale, etc.). Afin de pouvoir réaliser cette description, la norme ATM propose six descripteurs de trafic :

- PCR (Peak Cell Rate)
- MCR (Min Cell Rate)
- SCR (Sustainable Cell Rate)
- CTD (Cell Transfert Delay)
- CDV (Cell Delay Variation)
- CLR (Cell Loss Ratio)

L'utilisation (ou non) de ces descripteurs de trafic donne existence à cinq catégories de services théoriques normalisées :

- CBR (Constant Bit Rate) utilise PCR, CTD, CDV et CLR. Les circuits virtuels CBR sont conçus pour les liens à débit constant et à fortes contraintes temporelles,
- RT-VBR (Real Time-Variable Bit Rate) utilise PCR, SCR, CTD, CDV ET CLR. Comme CBR, les circuits virtuels RT-VBR sont utilisés pour les liens à fortes contraintes temporelles mais à débit variable,
- NRT-VBR (Non Real Time-Variable Bit Rate) utilise PCR, SCR et CLR. Dans le cadre de NRTVBR, les descripteurs de trafic qui concernent les délais ne sont pas pris en compte. Les circuits virtuels NRT-VBR sont utilisés pour les liens à débit variable sans contraintes temporelles,
- ABR (Available Bit Rate) utilise PCR et MCR. Les circuits virtuels ABR ne tiennent compte que de deux bornes minimales et maximales pour le débit. Ils permettent de ne garantir qu'un débit minimal et un débit maximal.
- UBR (Unspecified Bit Rate) n'utilise aucun descripteur de trafic. Les circuits virtuels UBR ne permettent aucune garantie. C'est le mode Best-Effort de l'ATM. Chaque service proposé par ATM est adapté à une utilisation particulière du réseau ; à chaque application communicante (transfert de fichiers, échange de données temps réel, multimédia, etc.) correspond un service adéquat.

Quant aux deux derniers services (ABR et UBR), ils permettent d'utiliser les reliquats de bande passante inutilisés par les services à fortes contraintes. Ainsi, la partie de bande passante inutilisée qui avait été réservée par multiplexage statistique peut être revendue, ce qui est très intéressant et pour l'opérateur (revente de bande passante), et pour le client (accès au réseau sans garantie mais à moindre frais).

Lorsqu'un nouveau trafic entre dans le réseau ATM, il doit être accompagné de ses descripteurs de trafic et de son besoin en QoS (c'est-à-dire le niveau de QoS désiré par le client).

Le nouveau trafic est alors soumis au CAC (Call Admission Control) qui prend la décision d'accepter le nouveau trafic dans le réseau, ou de le refuser, en fonction de la charge. Si le CAC est favorable, le trafic est découpé en cellules qui sont marquées (tagging) et injectées dans le réseau. A chaque passage dans un routeur du réseau, la conformité du trafic est vérifiée.

Si le trafic n'est pas conforme à sa description, le surplus de cellules est détruit, entraînant une perte de données qui sera détectée par les couches supérieures¹⁴. [02].

3.3.2 IntServ

IntServ [WROC 97] est un protocole de gestion de QoS pour un réseau de « petite taille ». Son nom est l'abréviation d'INTEgrated SERVices et il est défini par les RFC 1633 et 2205-2216.

L'objectif d'IntServ est d'éviter les problèmes de congestion dans les routeurs sur un réseau hétérogène non isochrone de bout en bout (comme Internet, par exemple). Pour cela, IntServ réserve une partie des ressources des routeurs du réseau en fixant des bornes sur les délais et les débits. Il spécifie un protocole de signalisation RSVP, pour Ressource Réservection setup Protocol, qui va être chargé de la communication entre routeurs à QoS.

A la différence d'ATM qui fonctionne par l'émulation de circuits virtuels, un réseau comme Internet considère les paquets de manière indépendante (principe de la commutation de paquets). IntServ doit donc reconstituer un « flot » pour permettre le traitement de la Qualité de Service sur un ensemble de paquets qui seront identifiés comme faisant partie d'un même groupe qui doivent être traités de manière homogène d'un point de vue QoS. [11].

3.3.2.1 Profils de QoS au niveau utilisateur

Au niveau utilisateur, IntServ définit trois types de profils :

1. le service classique en Best-Effort,
2. un service de charge contrôlée (Controlled Load) ou le réseau se comporte comme un réseau Best-Effort peu chargé : trafic interactif possible, débit moyen et rafale possible si l'utilisateur l'a demandé,
3. un service garanti (Guaranteed Load) ou l'utilisateur possède une « vraie » garantie sur le débit, le délai et la jauge.

De la même manière que pour tous les autres protocoles à QoS, un flot de données réclamant une QoS devra être accepté par un système de contrôle d'admission et devra par la suite être conforme à la physionomie décrite.

3.3.2.2 Le protocole de signalisation RSVP

Le protocole RSVP est le protocole de signalisation spécifique par IntServ. Il permet aux routeurs de communiquer entre eux et d'établir la réservation de ressources de bout en bout, selon le contrat signé avec l'utilisateur. Les deux messages principaux de RSVP sont PATH et RESV.

Le premier (PATH) est envoyé par un nœud désirant envoyer des données sur le réseau. Le message contient le descripteur de Qualité de Service désirée. Chaque routeur du réseau recevant un message PATH retient l'adresse du routeur l'ayant déjà relayé. Lorsque le message PATH est reçu par le destinataire final, celui-ci répond en renvoyant un message RESV qui suit exactement même chemin, mais dans l'autre sens.

Une fois le message RESV acheminé jusqu'à sa destination, le chemin est établi avec les réservations nécessaires.

La Figure 1.13 illustre le principe.

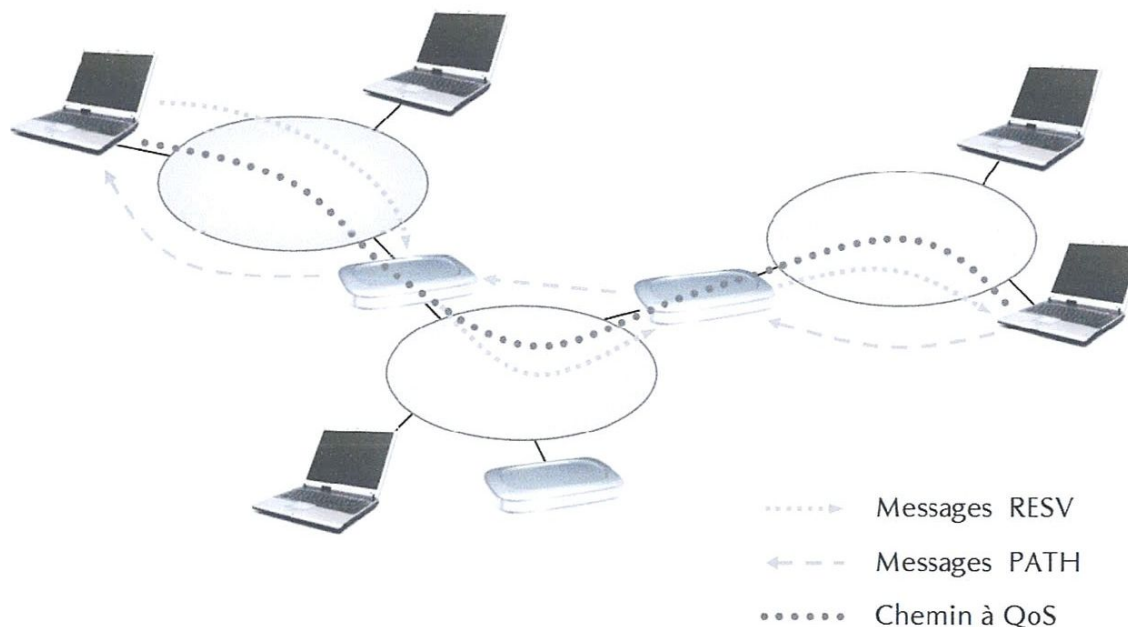


Fig. 1.13 Illustration du protocole RSVP

Une fois le chemin établi, l'émetteur doit maintenir la réservation en reproduisant ce mécanisme à intervalles réguliers (réémission des messages PATH et RESV). Un changement de réservation (plus de débit, etc.) peut être effectué de la même manière. Si l'un des routeurs sur le chemin ne reçoit plus les messages au bout d'un certain temps, la réservation expire et les ressources sont libérées.

Le protocole prévoit cependant que les réservations accumulées doivent être rendues par les demandeurs via les messages PATH_TEAR et RESV_TEAR. Ces deux messages sont utilisés de la même manière que PATH et RESV.

3.3.2.3 Conclusion : bénéfices et difficultés liées à IntServ

L'utilisation d'IntServ et RSVP sur un réseau présente plusieurs avantages :

- IntServ permet la réservation de ressources dans les routeurs sans grandes modifications. Son intégration dans un réseau existant est relativement simple et son principe de traitement par flots s'adapte à tout réseau de type paquets.
- RSVP s'intègre parfaitement dans une architecture de réseau multicast, comme par exemple la diffusion de flux multimédia, ou les principes de QoS sont très appréciés. Cependant, IntServ présente aussi certains inconvénients :
- Le choix du traitement par flot est très consommateur de ressources : les tables de descripteurs de flots consomment beaucoup de mémoire, même pour un flot qui peut être très court : sur Internet, une requête HTTPv1.0 tient en quelques dizaines d'octets. Il sera plus long d'établir la QoS que de traiter la demande elle-même.

De plus, si la taille du réseau et/ou le nombre de flots est grand, la quantité de mémoire nécessaire aux tables de descripteurs de flots devient trop importante. De ce fait, IntServ n'est pas adapté aux grands réseaux comme Internet,

- De part la création du chemin de réservation, IntServ n'est pas adapté à un réseau mobile sans fil et revient à utiliser le réseau paquets comme un réseau à commutation de circuits. Une partie de la souplesse est perdue,
- Enfin, les messages RSVP étant transportés par le même protocole que les données utiles (signalisation et données transportées par le même réseau), ils risquent d'être perdus au même titre que les données en cas de congestion réseau ; la gestion de la QoS sera alors inefficace et les performances globales du réseau s'écrouleront. Idéalement, les messages de signalisation devraient être différenciés à un niveau plus bas (Nécessite de la mise en œuvre d'une QoS au niveau Liaison, comme nous le verrons à la fin de ce chapitre).

3.3.3 DiffServ

L'approche DiffServ [11](pour DIFFerentiated SERVices) est souvent comparée à celle de IntServ pour sa capacité à être déployée sur de « grands réseaux » ; alors que IntServ, de par le traitement par flots, ne peut s'appliquer que sur des réseaux de « petite taille », DiffServ réduit au maximum la taille des tables en considérant des agrégations de flots. Ainsi, les flots ne sont pas traités individuellement mais par agrégats, ce qui allège considérablement la charge des routeurs du réseau.

De plus, le contrôle d'admission n'est plus assuré individuellement par chaque routeur traverse, mais par les routeurs de bordures, rendant DiffServ beaucoup plus adapté aux grands réseaux, et notamment aux réseaux d'opérateurs¹⁵.

Le niveau de QoS d'un flot est indique dans un champ de l'en-tête de ses paquets. Lorsqu'un routeur de bordure décide d'admettre un nouveau trafic dans le réseau, il fixe la valeur du champ DSCP (Differentiated Services CodePoint) dans l'en-tête IP :

- le code 0 signifie que le paquet doit être traite en Best-Effort, après tous les autres (niveau le moins prioritaire),
- un code autre que 0 aura une autre signification ; cette correspondance est fixée par l'opérateur lui-même, selon les contrats qu'il propose à ses clients. [12].

Lorsqu'un routeur du cœur du réseau (routeur « core ») devra traiter ce paquet, il devra inspecter le champ DSCP et traiter le paquet en conséquence. Ainsi, DiffServ présente l'avantage de ne pas nécessiter de signalisation puisque le décodage du champ DSCP se fait via des tables inscrites dans la mémoire du routeur.

Le contrôle de congestion se fait directement par les routeurs de bordure, selon le principe de la capacité finie et connue du réseau.

Dans le cœur du réseau, il n'y a pas de réservation de ressources, seule la différenciation de traitement des paquets suffit a appliquer une qualité de service pour la traversée du paquet dans le réseau.

Cependant, afin de palier les pertes sur le medium, le réseau cœur, par exemple un réseau ATM, nécessite d'être légèrement surdimensionné. [12].

3.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons pu constater qu'il existe un large choix en matière de technologies WLAN/WPAN. Les normes et les produits sont nombreux.

Certains présentent des fonctionnalités originales et intéressantes, d'autres proposent des services comparables et équivalents, mais tous permettent de rendre très abordable une technologie électronique de pointe (très hautes fréquences micro-électronique complexe) par le grand public.

Le réseau sans fil présente une véritable alternative, par sa souplesse et ses performances, dans le cadre de réseaux ne nécessitant pas de bandes passantes trop élevées. Jusqu'à une période récente la signalisation utilisée ne permet que des débits assez faibles de 1 ou 2 Mbits/s. Au cours de ces dernières années, les besoins en débits importants n'ont cessé d'augmenter.

De nouvelles notions telles que la mobilité et le multimédia sont devenues importants voire indispensables dans notre vie professionnelle.

CHAPITRE II

Systeme zigbee

1 INTRODUCTION

Peu de technologies de réseaux sans fil locaux ou personnels proposent de réelles garanties sur le plan temporel. Les applications industrielles sont assez exigeantes sur ce plan et, aujourd'hui, remplacer un système filaire de type bus de terrain par une technologie sans fil donne généralement des résultats peu satisfaisants en terme de performances équivalentes.

Dans le cadre de nos travaux sur le transport d'informations à fortes contraintes temporelles, nous avons été amené à étudier les fonctionnalités de Qualité de Service (QoS) de plusieurs technologies de réseaux sans fil et, force est de constater que, même quand les fonctionnalités ont été prévues (802.11PCF, 802.11e, 802.15.4GTS), ces technologies ne proposent généralement pas de service totalement garanti.

Nous avons donc proposé une solution de type déterministe pour permettre à un réseau sans fil l'acheminement d'informations à très fortes contraintes temporelles.

Dans une première partie, nous présentons les caractéristiques principales du réseau personnel sans Fil IEEE 802.15.4 / ZigBee sur lequel sont basés nos travaux puis les failles que nous proposons de Comblen en introduisant une nouvelle méthode d'accès au médium permettant des accès totalement déterministes, méthode d'accès qui sera présentée dans une seconde partie.

2 HISTORIQUE

1998 : Dès l'arrivée des technologies sans fil Wifi et Bluetooth, les premières ébauches de réseaux de type ZigBee firent leur apparition dans le cadre d'applications où les technologies précédentes n'étaient pas utilisables.

En particulier, de nombreuses recherches ont été menées sur des réseaux s'organisant automatiquement et composés de petites radios. La technologie Bluetooth a beaucoup inspiré le protocole ZigBee.

Mai 2003 : Le standard IEEE 802.15.4 est annoncé (souvent associé à tort au protocole ZigBee).

Été 2003 : Philips semi-conducteurs décide d'abandonner le regroupement autour de ZigBee au sein de la ZigBee Alliance.

C'est un coup dur pour le projet qui ne bénéficie plus du soutien de ce grand groupe.

Octobre 2004 : La ZigBee Alliance annonce que le nombre d'inscriptions a doublé pour arriver à plus d'une centaine d'entreprises dans 22 pays.

14 Décembre 2004 : Ratification des premières spécifications de ZigBee.

13 Juin 2005 : La ZigBee Alliance publie les premières spécifications officielles de la version ZigBee 1.0 qui sont désormais disponibles en libre téléchargement. [13].

Implémentations

La technologie ZigBee prévoit deux types d'entités :

1. les entités complètes, ou FFD3,
2. les entités réduites, ou RFD3.

Les FFD implémentent la totalité de la spécification ZigBee alors que les RFD sont des entités allégées dans un objectif de moindre consommation énergétique et de moindre utilisation mémoire pour le microcontrôleur.

Les entités RFD sont nécessairement des nœuds terminaux du réseau ; un tel nœud ne saura pas router un paquet sur le réseau.

Typiquement, un capteur embarqué sera RFD et alimenté sur batteries, alors qu'une unité centrale de traitement, alimentée par une source non contrainte énergétiquement « main powered », sera FFD avec une fonction de coordination du réseau, comme nous verrons dans le paragraphe suivant.

3 Zigbee par rapport à d'autres protocoles sans fil [13]

Protocol	Zigbee	Bluetooth	Wi-Fi
IEEE	802.15.4	802.15.1	802.11a/b/g/n/n-draft
Besoins mémoire	4-32 Kb	250 Kb +	1 Mb +
Autonomie avec pile	Années	Jours	Heures
Nombre de nœuds	65 000+	7	32
Vitesse de transfert	250 Kb/s	1 Mb/s	11-54-108-320 Mb/s
Portée	100 m	10-100 m	300 m

Tab 2.1 Zigbee par rapport à d'autres protocoles sans fil

4 PRESENTATION DE IEEE 802.15.4 / ZIGBEE

4.1 Généralités

ZigBee est un LP-WPAN (Low Power-Wireless Personal Area Network) : c'est un réseau son fil à courte portée et à faible consommation énergétique. Il est caractérisé par une portée maximum de quelques centaines de mètres et un débit faible (250kbit/s max).

La norme a été conçue pour interconnecter des unités embarquées contraintes énergétiquement comme des capteurs, à des unités de contrôle ou de commande. La spécification ZigBee propose une pile protocolaire propriétaire et légère. Elle s'appuie sur la norme IEEE 802.15.4 pour les couches *physique* et *liaison* et propose ses propres couches supérieures (réseau, etc.).

La différence entre ZigBee et la plupart des autres WPAN se situe au niveau de l'utilisation du médium ; ZigBee est optimisé pour une faible utilisation du médium partagé par tous, par exemple 0,1% du temps. Typiquement, un module émetteur récepteur ZigBee occupera le médium pendant quelques millisecondes en émission, attendra éventuellement une réponse ou un acquittement, puis se mettra en veille pendant une longue période avant l'émission suivante (on parle de *somnolence*), qui aura lieu à un instant prédéterminé.

Cette nécessité introduit des problématiques de recherche intéressantes, notamment au niveau des couches *liaison* (temporisation et stockage des messages, accès original au médium) et *réseau* (routage avec respect de contraintes énergétiques).

ZigBee prévoit deux types d'entités réseau : les FFD (*Full Function Device*) implémentent la totalité de la spécification alors que les RFD (*Reduced Function Device*) sont des entités allégées dans un objectif de moindre consommation énergétique et de moindre utilisation mémoire pour le microcontrôleur. Les entités RFD sont nécessairement des nœuds terminaux du réseau car la pile réduite n'implémente pas le mécanisme de routage.

Typiquement, un capteur embarqué sera RFD et alimenté sur batteries, alors qu'une unité centrale de traitement, alimentée par une source non contrainte énergétiquement (*main powered*), sera FFD avec la fonction de routage.

La norme IEEE 802.15.4 prévoit deux topologies : étoile (*star* – tous les nœuds communiquent avec un nœud central appelé *coordinateur*) ou point à point (*peer to peer* – tous les nœuds à portée radio peuvent communiquer ensemble sans hiérarchie).

Le réseau formé est appelé PAN. Au dessus de 802.15.4, la couche réseau de ZigBee permet la création de réseaux maillés (*mesh*) grâce à un routage automatique : c'est la topologie maillée, ou *mesh topology*. Ces topologies sont représentées sur la Fig 2.1

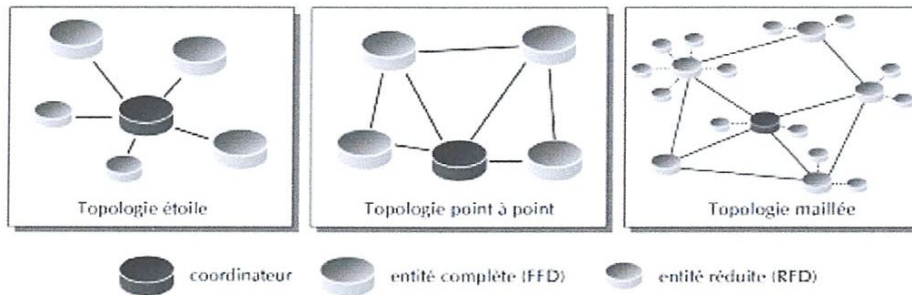


Fig2.1 Topologies de réseau proposé par IEEE 802.15.4 et ZigBee

Conformément à IEEE 802.15.4, ZigBee peut travailler sur trois bandes de fréquences :

868MHz (Europe), 915MHz (Amérique du nord) et 2,4GHz (Mondial). La norme prévoit deux couches physiques différentes (PHY), une pour le 868/915MHz (PHY868/915) et une seconde pour le 2,4GHz (PHY2450) mettant en œuvre une modulation à spectre étalé [13].

4.2 Adressage

Toute entité 802.15.4 possède une adresse unique appelée adresse MAC3. A la différence de 802.3, une adresse MAC 802.15.4 a une longueur de 64 bits, soit 8 octets, contre 6 dans 802.3 ou 802.11.

Dans 802.15.4, cette adresse est également appelée adresse étendue. Elle peut être utilisée dans les dialogues au sein du PAN, mais une seconde adresse appelée adresse courte, sur 16 bits, sera préférée dans la plupart des cas compte tenu des débits de transmission, relativement faibles.

L'adresse courte est attribuée par le coordonateur du PAN au moment de l'association au réseau. La norme 802.15.4 ne prévoit pas de règle pour le choix de ces adresses, cette tâche est laissée au libre arbitre des couches supérieures. Nous verrons plus loin que dans la spécification de sa couche réseau, ZigBee propose un algorithme de distribution d'adresses automatique et décentralisé.

Notons d'ores et déjà que ZigBee propose l'utilisation d'un adressage commun pour les couches 2 et 3, mais, à la différence d'autres protocoles comme IPv6, c'est la couche 3 qui impose son adresse à la couche 2.

4.3 Valeurs typiques

Pour conclure cette partie sur les généralités des deux normes, voici en résumé les valeurs typiques caractérisant IEEE 802.15.4 et ZigBee :

- Débit : 250 Kbits/s sur le medium physique pour PHY2450,
- Puissance d'émission typique : entre 0 et 3 dBm,
- Portée radio : quelques centaines de mètre en espace libre,
- Consommation énergétique du composant d'émission / réception (hors traitement CPU) :
 - _ 3 μ A en hibernation (hibernate mode),
 - _ 40 μ A en somnolence (doze mode),
 - _ 1 mA au repos (idle mode),
 - _ 30 mA en émission,
 - _ 40 mA en réception.
- Taille de la pile protocolaire (code + mémoire) :
 - _ Inferieure a 20 ko pour une entité réduite (RFD).
 - _ entre 40 à 60 ko pour une pile complète (FFD).
- Nombre d entités connectables au réseau :
 - _ 256 dans une étoile (28),
 - _ 65536 dans un PAN maille (216),
 - _ 18446744073709551616 adresses MAC disponibles (264)
- Accès au medium : pur CSMA/CA3 (sans RTS/CTS3) ou organise (mode balise avec slots dédiés),
- Détection / correction d'erreurs : FCS3 16 bits dans la trame MAC.

5 Présentation de la pile protocolaire ZigBee

5.1 Quelques notions fondamentales

Comme la plupart des technologies réseaux, l'ensemble des protocoles décrits par la norme ZigBee est représentable sous la forme d'une pile protocolaire découpée en plusieurs couches.

Ce découpage permet de séparer clairement les différentes taches ; l'identification des spécialités des différents acteurs et des différents métiers de la conception réseau est ainsi rendue plus claire.

5.1.1 Le découpage en différentes couches

La pile proposée par l'IEEE et la ZigBee Alliance suit les recommandations de l'ISO en terme de séparation des rôles attribués aux différentes couches.

Comme cela a été dit précédemment, cette pile reprend les couches 1 et 2 normalisées dans la norme 802.15.4 et ajoute ses propres couches supérieures.

La couche 1 (couche physique) décrit les caractéristiques de l'interface radio (fréquences, largeur de bande, modulation, débit binaire, etc.) ;

La couche 2 (couche liaison) décrit les caractéristiques de la sous-couche MAC (gestion des accès au medium) et la sous-couche SSCS3 (formation de trame, convergence des données) ;

La couche 3 (couche réseau) décrit le processus de routage des données sur le réseau ; enfin, la couche la plus haute (couche application) décrit le système élaboré

de profils, à l'instar de Bluetooth ou IrDA (comme vu dans le chapitre 1), qui permet la normalisation du niveau application directement dans la pile protocolaire, au même titre que les couches basses.

Une description plus précise du rôle et des caractéristiques de chaque couche est faite dans les sections suivantes.

5.1.2 Le principe de l'encapsulation

Rappelons tout d'abord le principe générique de l'encapsulation : lorsque deux entités d'une même couche s'échangent des messages, les données sont de fait véhiculées par les couches inférieures.

Les couches les plus hautes auront généralement une bonne connaissance de la raison de la communication, mais une piètre idée de ce qui se passe réellement sur le médium (le chemin emprunté par l'information, etc.).

À l'opposé, les couches les plus basses auront une connaissance très précise sur la manière dont les données sont gérées et transportées, mais très peu d'informations sur le contenu réel et ce qu'elles représentent. Cependant, c'est le système dans son ensemble qui va permettre de transmettre des informations de manière fiable sur un réseau étendu et hétérogène.

Le rôle d'un réseau est bel et bien de transmettre des données ; les données que reçoit une couche N par la couche N+1 sont appelées les données de service. On parlera d'une unité de données de service, ou SDU₃, pour désigner un ensemble de données passées par la couche supérieure.

Lorsqu'une couche veut transmettre un message, elle le transmet à la couche immédiatement inférieure en y ajoutant des informations que son homologue, l'entité de même couche à l'autre bout du réseau, saura comprendre pour traiter les données reçues.

Ces informations ajoutées précéderont les données à transmettre – on parlera alors d'en-tête, ou header, HR – ou bien les succéder – on parlera alors de post-ambule.

L'ensemble passe à la couche inférieure (en-tête, données de service, post-ambule) formera l'unité de données du protocole, ou PDU₃. La couche inférieure traitera le PDU de la couche supérieure comme son SDU.

Généralement, on ajoute la première lettre du nom de niveau pour désigner un HR, un PDU ou un SDU. Par exemple, un PDU de niveau MAC sera désigné par MPDU (MacPDU) et un SDU de niveau Physique sera désigné par PSDU (PhySDU).

Notons qu'un MPDU est équivalent au PSDU, puisque les niveaux PHY et MAC sont mitoyens dans une pile protocolaire classique comme celle de ZigBee.

Le principe générique de l'encapsulation est illustré par la figure 2.4. Un exemple appliqué à 802.15.4 sera illustré plus loin dans ce chapitre par la figure 2.2 [14]

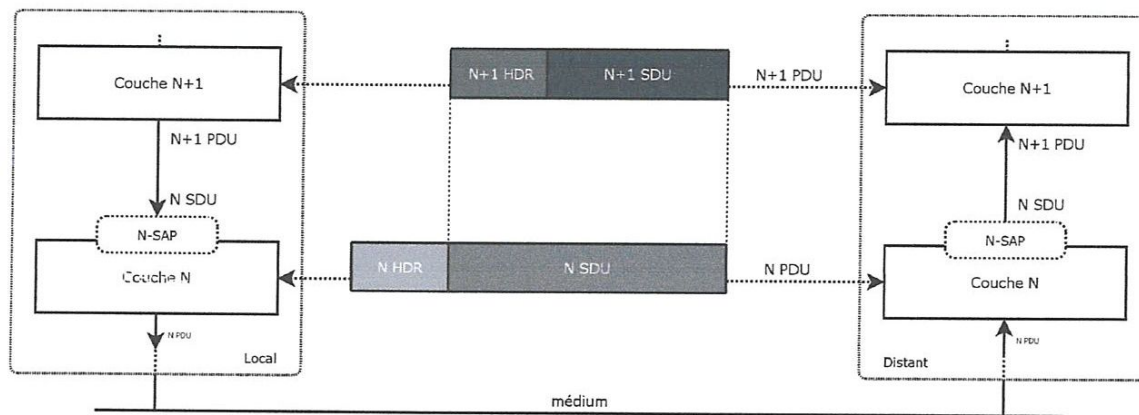


Fig 2.2 – Le principe générique de l'encapsulation

5.1.3 Protocole d'échange entre deux couches voisines

Les échanges de messages entre deux couches mitoyennes se font selon le principe classique du service de niveau n , service assuré par la n ème couche de la pile. Pour accéder à ce service, la couche immédiatement supérieure ($n + 1$) peut accéder au Point d'Accès de Service (SAP) de niveau n .

Pour être accessible, un SAP propose un jeu de primitives propre à ses capacités (par exemple : scanner le médium radio 2,4GHz, créer une connexion au réseau, envoyer des données, etc.). Selon ses besoins, la couche supérieure appelle les primitives qu'elle souhaite dans l'ordre imposé par son protocole.

Pour s'échanger des messages, deux couches mitoyennes disposent de quatre types de primitives :

1. Requête : demande effectuée par le service local de niveau $n + 1$ au SAP de niveau n .
2. Indication : la demande qui vient d'être faite par le request est acheminée jusqu'au nœud destinataire par le réseau ; le SAP distant de niveau n le transmet à la couche $n + 1$.
3. Réponse : la couche distante de niveau $n + 1$ répond en envoyant un message à son entité paire.
Pour être acheminé par le réseau, le message est passé au SAP de niveau n .

A l'instar des autres piles protocolaires comme 802.11 [15], chaque couche de la pile protocolaire ZigBee compte deux entités, chacune ayant sa propre interface :

- Une entité dédiée aux transferts de données. Cette entité est sollicitée lorsque la couche supérieure veut envoyer ou recevoir des données sur le réseau.

Les primitives présentes sur cette interface sont généralement peu nombreuses (envoyer des données, recevoir des données) et elles se retrouvent à chaque niveau de la pile, pour chaque couche.

- Une entité dédiée à la gestion de la couche. Cette entité sert à commander toutes les tâches propres à la couche.

Elle dispose généralement d'un jeu de primitives plus étoffé que l'interface dédiée aux transferts de données.

Chaque couche ayant un rôle bien précis, chaque niveau dispose d'un jeu qui lui est propre. Voici quelques exemples de primitives :

_ Pour le niveau Physique :

- changer de canal radio,
- passer en émission,
- détecter l'énergie sur le médium.

_ Pour le niveau Liaison :

- rechercher un coordinateur,
- se synchroniser sur une autre entité,
- notifier que l'on quitte le réseau,
- demander de la bande passante à un coordinateur (plus de droit à la parole).

_ Pour le niveau Réseau :

- diffuser les routes connues,
- demander une route. [15]

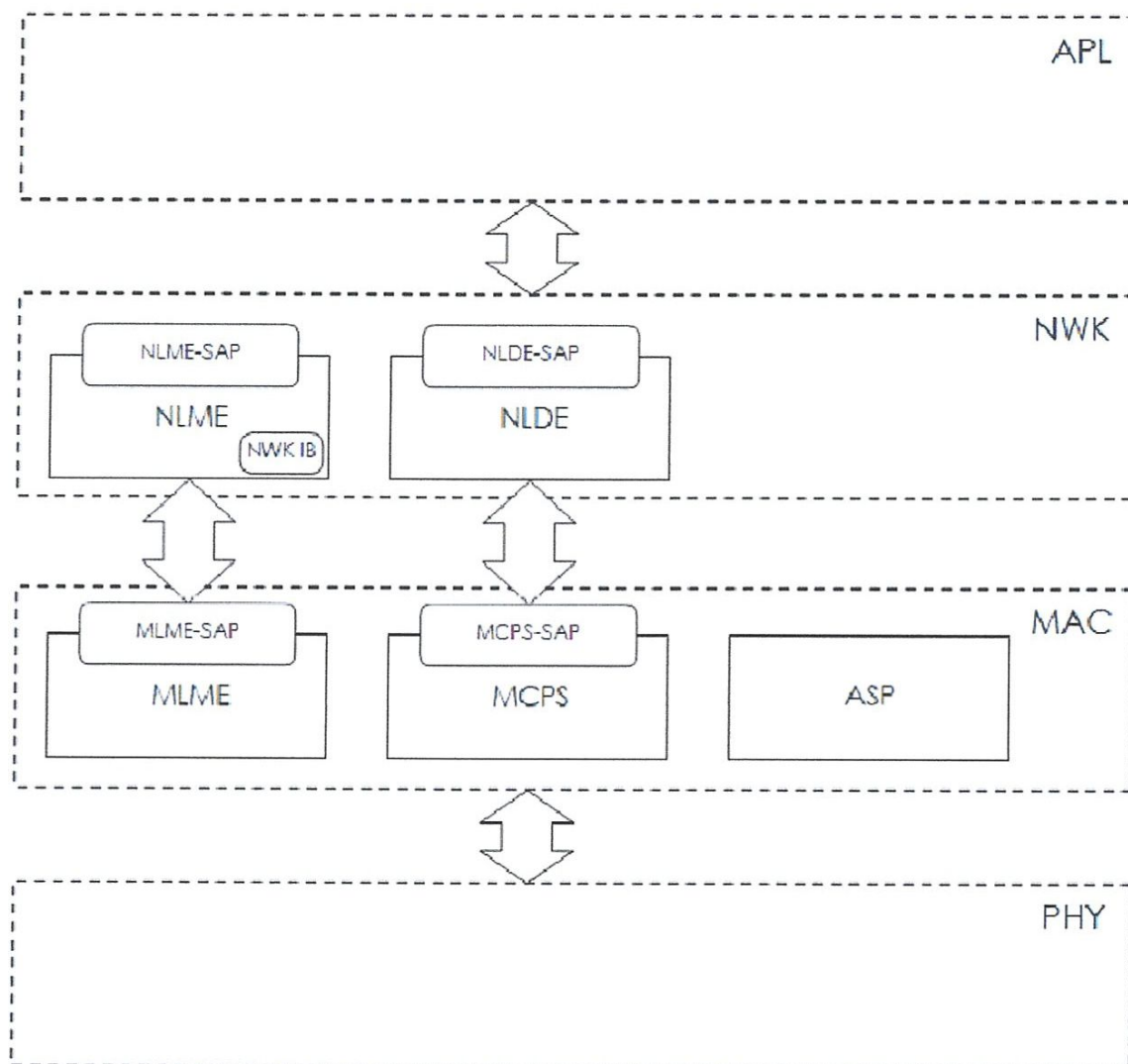


Fig 2.5– Principe d’interfaçage entre couches et SAP pour ZigBee

Notons que les constructeurs ajoutent parfois des entités et/ou des interfaces propres à leur produits, qu’ils soient matériels ou logiciels. C’est le cas du constructeur Freescale qui ajoute une interface ASP3 au niveau MAC de sa solution ZigBee [14].

Cette interface permet de piloter les fonctions d’économie d’énergie du jeu de composants d’émission/réception.

Bien entendu, la partie logicielle gérant le composant (driver) devra utiliser cette interface pour optimiser la solution réseau en termes de consommation énergétique.

5.2 La couche Physique

5.2.1 Bandes de fréquences et canaux

Conformément à IEEE 802.15.4, ZigBee peut travailler sur trois bandes de fréquences différentes :

868 MHz pour la région Europe, 915 MHz pour l'Amérique du nord, et 2,4 GHz pour une couverture mondiale.

La norme prévoit deux couches physiques différentes (PHY), une pour le 868/915MHz (PHY868/915) et une seconde pour le 2,4 GHz (PHY2450).

5.2.2 Modulations, étalement de spectre

Comme beaucoup d'autres technologies WLAN/WPAN, 802.15.4 met en œuvre une modulation à spectre étale.

Une modulation utilisant l'étalement de spectre permet d'améliorer l'immunité aux interférences et aux multi-trajets, en sacrifiant quelque peu les performances en termes de débit.

De plus, grâce au codage réalisé par la séquence pseudo-aléatoire, aussi appelée PN-codes3 qui permet de réaliser l'étalement [16], la confidentialité des échanges est améliorée.

Cependant, cette technique ne garantit pas les propriétés de confidentialité et d'authentification ; une partie de la couche liaison effectuera cette tâche.

La couche PHY868/915 est relativement simple et basique : les symboles sont binaires, grâce à l'emploi d'une modulation BPSK3 et un débit peu élevé (20 Kbits/s pour le 868 MHz, 40 Kbits/s pour le 915 MHz).

En revanche, la couche PHY2450 propose une modulation plus complexe, O-QPSK3, qui permet un débit plus intéressant. [16]

5.2.3 Portée, puissance d'émission et sensibilité du récepteur

IEEE 802.15.4 prévoit une portée classique de quelques dizaines à quelques centaines de mètres suivant l'environnement considéré.

La puissance maximale émise par un module 802.15.4 ou ZigBee n'est pas définie par la norme ; celle-ci est laissée d'une part à l'appréciation de l'autorité de régulation de la zone où est effectuée la transmission, et d'autre part au constructeur pour des questions évidentes d'autonomie énergétique du système dans lequel il est implanté.

Néanmoins, la puissance typique recommandée est de 1 mW (soit 0 dBm) et la sensibilité du récepteur doit être meilleure que -85 dBm (à 2,4 GHz, pour un taux d'erreur paquet meilleur que 1%).

En pratique, un nœud ZigBee a une portée de quelques dizaines de mètres, jusqu'à une centaine de mètres en extérieur et sans obstacle. Notons que de part la robustesse de la couche physique, les portées d'un transceiver 802.15.4 sont comparables à celle d'un transceiver 802.11, mais avec une puissance d'émission plus faible : à rapport signal sur bruit (SNR) égal, 802.15.4 dispose d'un taux d'erreur bit (BER) meilleur que les autres technologies sans fil proposées par l'IEEE.

Notons que comme pour toutes les technologies de réseau sans fil, la portée effective d'un transceiver 802.15.4 est très liée à sa puissance d'émission.

Certains modules sont dotés d'un étage amplificateur en sortie HF et/ou d'un amplificateur à faible bruit en entrée, ce qui permet d'étendre considérablement la Portée radio.

À titre d'exemple, les modules XBeePRO fabriqués par la société Max Stream sont vendus pour une portée de 1,6 km en ligne de vue.

Notons que l'étendue d'un réseau ZigBee peut être largement supérieure à la portée effective de deux modules grâce à la topologie maillée (multi-sauts), comme nous le verrons plus loin dans ce chapitre.

Enfin, comme c'est le cas dans tous les réseaux hertziens, la portée est largement conditionnée par la présence d'obstacles ou par la pollution du spectre radiofréquence.

À ce titre, le coordinateur du réseau peut décider d'effectuer un changement de canal à titre exceptionnel si le taux d'erreur sur le réseau est trop important.

5.2.4 Le paquet de niveau physique

La norme prévoit un paquet² de niveau physique représenté sur la figure 2.9. Ce paquet comprend un en-tête de synchronisation, un en-tête PHY et les données PHY.

L'en-tête de synchronisation comprend 6 octets : un préambule d'une longueur de 5 octets qui permet au récepteur de parfaire sa synchronisation et un fanion de START sur 1 octet.

Ce fanion rompt l'alternance des bits transmis lors du préambule, indiquant ainsi l'imminence de la transmission de données.

Après l'en-tête de synchronisation vient l'en-tête PHY dont le rôle est de spécifier la longueur du paquet.

Les données suivent cet en-tête, 127 octets maximum par paquet, soit une durée de transmission maximum de 4,256 ms par paquet sur la couche PHY2450 (250 Kbits/s).

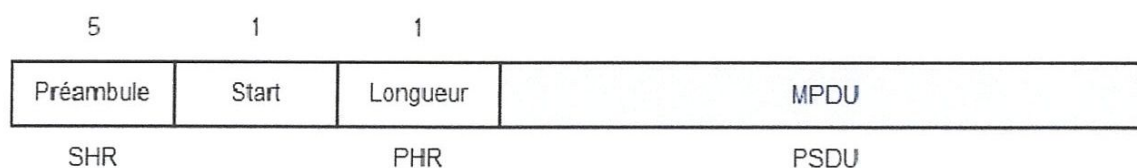


Fig2. 6– Structure du paquet de niveau physique

5.2.5 Services rendus

La couche PHY de 802.15.4 rend deux services :

- un service de données PHY (PHY data service), qui permet l'émission et la réception de PPDU3 sur le medium radio,
- un service de gestion PHY (PHY management service), qui permet l'interfaçage entre le logiciel et l'entité de gestion de la couche physique. Les capacités de cette entité sont les suivantes (liste exhaustive) : activation/désactivation du transceiver, ED3, LQI3 sur les paquets reçus, sélection du canal, CCA3 pour le CSMA/CA de la sous-couche MAC.

5.3 La couche Liaison

De façon très similaire au modèle défini par le groupe 802 de l'IEEE, le niveau liaison de 802.15.4 (Niveau 2 OSI) comprend une sous-couche d'accès au medium (MAC) et une sous-couche de convergence(SSCS).

6 Couche MAC

La couche MAC gère les accès au médium radio, permettant de résoudre notamment les problèmes d'accès concurrents au médium. 802.15.4 propose deux modes pour l'accès au médium : un mode non coordonné (totalement CSMA/CA) et un mode coordonné (*beacon mode*), disponible uniquement dans une topologie étoile, avec laquelle le coordinateur envoie périodiquement des trames balises (*beacon*) pour synchroniser les nœuds du réseau.

Tout membre du réseau qui entend cette balise peut ainsi se synchroniser et se servir de ce coordinateur comme relais.

Ce mode permet les meilleures performances sur le plan énergétique car une fois l'information transmise au relais, le nœud transmetteur peut *somnoler* ; de même, les messages étant stockés dans la mémoire du relais, le nœud destinataire peut choisir

l'instant où il va demander le rapatriement des données pour maximiser sa propre durée de somnolence.

L'espace temporel entre deux trames balises est appelé *super frame*.

La super frame comprennent une portion active (les nœuds peuvent émettre et recevoir) et une portion inactive (les nœuds sont en *somnolence*).

La portion active est divisée en 16 slots temporels de durées égales ; le beacon occupe toujours le slot 0 et permet la synchronisation de tous les nœuds à portée radio.

Typiquement, les nœuds du réseau se réveillent juste avant le slot 0 et se mettent à l'écoute.

A la réception du beacon, ils prennent connaissance de la structure de la super frame qui débute et des éventuelles données en attente.

Si ils n'ont ni de données à émettre, ni à recevoir, ils peuvent *somnoler* jusqu'au beacon suivant ; sinon, ils se mettent en veille dès que la transaction (émission et/ou réception) est finalisée.

La Fig.2.7 représente la structure d'une super frame IEEE 802.15.4.

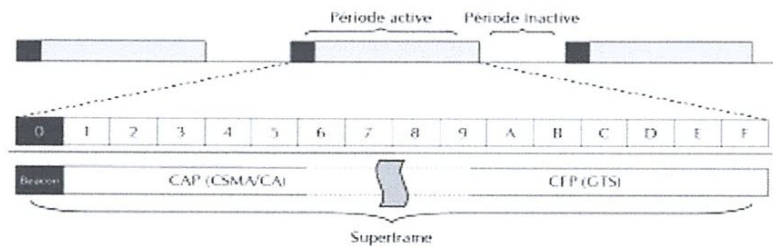


Fig.2. Structure d'une superframe IEEE 802.15.4

2.7 structure d une super frame IEEE 802.15.4

Le mode coordonné de 802.15.4, propose deux méthodes d'accès au sein de la super frame : la première méthode d'accès est de type avec contention.

Dans ce mode, les accès au médium se font de façon « classique », en best-effort, selon le protocole CSMA/CA.

Ce mode d'accès au médium est toujours possible et une partie de la super frame doit être systématiquement dédiée à ce mode.

Cette partie de la super frame est appelée CAP, pour *Contention Access Period*. La seconde méthode d'accès, optionnelle, est dite sans contention où les accès au médium sont maîtrisés par le coordinateur.

Ce mode peut être utilisé par les nœuds qui en font la demande, et, si la capacité du réseau le permet, le coordinateur pourra allouer un ou plusieurs slots à un nœud en particulier.

On parle ici de slots temporels dédiés, ou GTS, pour *Guaranteed Time Slots*. Les GTS, optionnels, occupent les derniers slots de la super trame.

On appelle cette partie de la super trame la période d'accès sans contention ou CFP, pour *Contention Free Period*.

Ce mode sans contention rend possible une réservation de bande passante et peut offrir certaines garanties temporelles.

Le début de la super trame, via la CAP, reste toujours en accès libre par CSMA/CA pour permettre l'accès aux transports ne nécessitant pas ou peu de garantie.

Notons que les demandes de GTS ainsi que les demandes d'association au réseau ne peuvent se faire que dans la CAP.

Il est donc primordial de limiter la taille de la CFP. [17].

7 Les failles identifiées dans la méthode d'accès

802.15.4, par le mécanisme des GTS, permet à quelques nœuds privilégiés d'être épargnés par le phénomène des collisions.

Nous proposons de renforcer ce mécanisme par la mise en œuvre d'une méthode d'accès au médium totalement déterministe, comme cela peut être requis pour un réseau de capteurs dans un environnement industriel à fortes contraintes temporelles.

En effet, comme nous venons de le voir, l'obtention d'une réservation du médium est conditionnée par deux points :

- Le réseau ne doit pas être saturé. Sa capacité n'est pas infinie mais la norme ne fournit aucune possibilité au coordinateur d'une étoile de « réserver à priori » une part de la bande passante à certains nœuds que l'on pourrait qualifier de « critiques ».

Les premiers demandant sont les premiers servis, ce qui n'est pas une politique de répartition acceptable en termes de Qualité de Service Erreur ! Source du renvoi introuvable.

- L'appel de la primitive de demande de réservation (*GTS.request*) génère une trame qui est envoyée au coordinateur en utilisant le protocole CSMA/CA.

Ce protocole fonctionnant en best-effort, il ne permet pas d'avoir la certitude que la demande parviendra jusqu'au coordinateur car les collisions sont toujours probables. Par extension, le mécanisme d'association au réseau, qui fonctionne sur le même principe, ne permet pas de présenter de garantie sur le rattachement d'un nœud au réseau.

Dans le cadre d'une application industrielle, il serait utile de pouvoir garantir un débit et un délai de transmission pour certains nœuds qualifiés de critiques. Ainsi, d'autres faiblesses apparaissent :

· Un nœud, s'il arrive à s'associer au réseau et à obtenir les garanties qu'il désire dans le temps imparti, ne peut cependant pas conserver son acquisition tant qu'il le souhaite.

En effet, dans l'état actuel de la norme, une suite de GTS est attribuée pour un maximum de 14 super trames, et ne peut pas être maintenue sans recommencer entièrement le processus de requête (nouvelle génération d'une GTS.request en best effort, etc.).

Il n'est donc pas possible d'assurer la continuité du service garanti.

· Si il est possible d'affecter plusieurs GTS à un même nœud dans la même super trame, il n'est en revanche pas prévu de pouvoir affecter un GTS toutes les deux super trames, voir encore moins (conservation d'un accès déterministe moins fréquent).

· Si plusieurs étoiles cohabitent dans la même zone de portée radio et sur le même canal, il y a risque de collisions même pour des trafics utilisant des GTS car la norme ne prévoit pas de mécanisme de communication entre deux coordinateurs qui décident, chacun de leur côté, d'attribuer des GTS à leurs nœuds.

Ainsi, selon nous et à la lumière de ce qui vient d'être évoqué, le mécanisme de réservation du médium pourrait être amélioré.

Les principes de base doivent être conservés et rendus plus extensibles : la distribution et la répartition des GTS doivent gagner en souplesse, le mécanisme doit pouvoir être plus dynamique.

De plus, les coordinateurs qui cohabitent dans la même zone de portée et le même canal doivent pouvoir s'échanger des informations sur la répartition des GTS afin de limiter les collisions dans la CFP. [BOUY 97]

8 LA PROPOSITION PROTOCOLAIRE

Dans la section précédente, nous avons souligné que le mécanisme de réservation du médium proposé par l'IEEE est intéressant, mais pourrait être amélioré.

Pour ce faire, nous proposons une nouvelle méthode d'accès totalement déterministe en introduisant les fonctionnalités suivantes :

· Dans 802.15.4, seuls les nœuds terminaux peuvent demander un GTS pour eux-mêmes.

Dans notre proposition, un coordinateur peut attribuer un GTS à n'importe quel correspondant, même si celui-ci n'est pas encore associé à ce coordinateur.

Nous appellerons par la suite ce GTS attribué au préalable PDS, pour *Previously Dedicated Slot*.

Il permettra de réaliser des associations au réseau *déterministes*.

· Dans 802.15.4, aucun mécanisme de synchronisation entre coordinateurs n'est prévu pour assurer que deux GTS ne soient pas attribués au même instant par deux coordinateurs différents qui cohabitent dans la même zone de portée radio et sur le même canal. Dans notre proposition, nous proposons un mécanisme pour empêcher ces *collisions de GTS* [7].

· Dans 802.15.4, les GTS sont placés dans la CFP en fin de super trame. Dans notre proposition, il n'y a plus de délimitation pour la CFP, elle est répartie, diffuse, dans la Super trame : les GTS peuvent être disposés sur n'importe quel slot de la super trame.

· Dans 802.15.4, les GTS alloués sont présents dans chaque super trame. Dans notre proposition, chaque GTS peut être présent, au choix, dans toutes les super trames, dans une super trame sur deux, une sur quatre ou une sur huit, etc.

On parlera de plusieurs niveaux de réservation notés n , avec par exemple, $n = 0, 1, 2$ ou 3.

Un niveau de réservation $n = 0$ réservera un slot dans chaque super trame (fréquence la plus élevée), jusqu'à un niveau $n = 3$ toutes les huit super trames (fréquence la plus faible).

· Dans 802.15.4, les GTS sont attribués pour un nombre limité de super trames, la prolongation du bail ne pouvant se faire que par une reprise complète du processus de requête.

De plus, cette demande étant effectuée via un protocole non déterministe, la continuité du service déterministe ne peut être garantie.

Dans notre proposition, les GTS sont alloués sans limite temporelle, jusqu'à la réception d'une demande de relâchement venant du nœud concerné ou d'une notification de relâchement venant du coordinateur (*timeout* sur inactivité, par exemple). [18]

8. 1 Problématique de la cohabitation de plusieurs étoiles sur un medium commun

Si plusieurs coordinateurs d'un même réseau cohabitent dans la même zone et sur le même canal, les décisions d'attribution de GTS doivent être prises collégalement. Il est donc impossible de considérer un réseau à plusieurs étoiles comme une simple agrégation d'étoiles gérées individuellement.

Dans notre proposition, nous proposons de centraliser les demandes de GTS sur un unique nœud : le *super coordinateur*.

Il sera également chargé de répartir les beacons des autres coordinateurs du réseau pour éviter les *collisions de beacons*, ce qui règle du même coup le problème du coordinateur caché.

Le super coordinateur distribue un GTS dédié aux beacons à chaque coordinateur comme l'illustre la Fig.2.8.

Nous appellerons ces GTS dédiés aux beacons GBS, pour *Guaranteed Beacons Slots*.

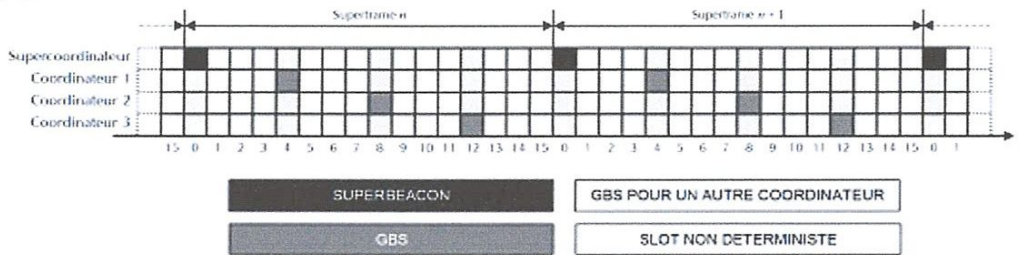


Fig.3. Répartition des beacons de chaque coordinateur dans la supertrame

2.8 Répartition des beacons de chaque coordinateur dans la super trame.

8. 2 Etude du protocole mis en œuvre

✦ 8.2.1. Mécanisme de demande de réservation du médium :

Pour pouvoir accorder un GTS à l'un de ses nœuds, un coordinateur doit d'abord envoyer une requête au super coordinateur et obtenir une réponse positive. Seul le super coordinateur a une vision exhaustive de la répartition du médium pour les $2nMAX$ super trames à venir.

Compte tenu de nos objectifs en termes de déterminisme pour l'accès au médium, la requête de demande de réservation envoyée par un coordinateur au super coordinateur doit être également émise sur le médium de manière déterministe (toute la chaîne doit être déterministe pour que le résultat soit déterministe !).

Pour se faire, les dialogues entre super coordinateur et coordinateurs prennent place dans les GBS, les coordinateurs étant à portée du super coordinateur.

Dans notre proposition, les messages *GTS.requests* seront inclus dans le champ *payload* (charge utile) de la trame beacon.

Les réponses du super coordinateur sont placées de même, dans le superbeacon suivant.

8.2.2. Allocations au préalable : arrivées déterministes dans le réseau

Nos objectifs en termes d'accès déterministe au médium impliquent que toutes les opérations réalisées sur le réseau soient déterministes.

Dans cet objectif, et comme nous l'avons évoqué plus haut, notre proposition prévoit une possibilité de *réservation de slots au préalable*.

Cette fonctionnalité est indispensable pour garantir les propriétés déterministes de notre réseau dans chacune des phases de son fonctionnement ; elle est possible car le réseau considéré est « petit » et il est possible de connaître toutes les entités potentielles qui le composent.

Grâce à cette fonctionnalité, le super coordinateur peut réserver quelques slots pour les nœuds critiques.

Cette réservation se concrétise par l'attribution d'un GTS à un nœud avant son arrivée dans le réseau, par exemple avec un niveau n_{MAX} de manière à minimiser la bande passante perdue avant son arrivée.

A titre d'exemple, pour un intervalle inter-beacon de 122,88 ms, une réservation au préalable avec un niveau $n=3$ permet de pratiquer l'arrivée déterministe d'un certain nœud toutes les 983,04ms (soit environ toutes les secondes) pour 1/128ième (0,78%) de bande passante perdue.

8.2.3. Une politique d'accès déterministe par défaut

Dans 802.15.4, la présence éventuelle d'une CFP dans la super trame est indiquée dans la trame balise.

Si la balise ne le précise pas, les nœuds peuvent utiliser l'intégralité de la super trame en mode avec contention.

Dans notre proposition, un slot qui n'est pas annoncé comme GTS ne doit pas être considéré comme librement utilisable car il peut être réservé dans une autre étoile. De ce fait, il est nécessaire que le coordinateur informe explicitement ses nœuds des slots librement utilisables dans le cadre d'un accès avec contention (CAP). [19]

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons pu constater qu'il existe un large choix en matière de technologies WLAN/WPAN.

Les normes et les produits sont nombreux ; certains présentent des fonctionnalités originales et intéressantes, d'autres proposent des services comparables et équivalents, mais tous permettent de rendre très abordable une technologie électronique de pointe (très hautes fréquences, micro-électronique complexe) par le grand public.

L'étude sur les protocoles de Qualité de Service de niveau réseau, très répandus dans le monde IP, nous a permis de conclure sur la réelle nécessité de penser la QoS au niveau 2 lorsque l'on envisage de déployer un protocole à QoS de niveau 3 et supérieurs.

En effet, bien que le medium de transmission ne soit pas parfait et que, par conséquent, on constate toujours des erreurs au niveau de la couche physique ($BER \neq 0$), il est absolument nécessaire de limiter les pertes d'informations dans les niveaux supérieurs lorsque les bits, au niveau physique, sont transmis correctement, a fortiori lorsque le medium présente une faible fiabilité comme en sans fil.

Nous avons vu qu'il existe de nombreuses techniques d'accès au medium mais que peu proposent des fonctionnalités pour éviter totalement le phénomène des collisions, première source de pertes de données au dessus du niveau physique.

Si certaines méthodes comme le TDMA Dynamique d'HiperLAN/2, le PCF de 802.11 ou le HCF de 802.11e permettent de garantir un accès régulier au medium sans collision, aucune de ces technologies ne propose une méthode permettant un accès totalement déterministe au medium, avec des garanties sur le plan temporel. Dans le chapitre suivant, nous présenterons la technologie IEEE802.15.4 qui propose des fonctionnalités intéressantes sur ce point.

Même si la gestion de la QoS dans 802.15.4 n'est pas parfaite, les produits compatibles sont disponibles et permettent une reprogrammation partielle ou totale de la couche MAC, laissant entrevoir des possibilités de prototypage intéressantes.

CHAPITRE III

Etude sur la carte PICDEM™ Z

1 INTRODUCTION

Dans ce chapitre on va présenter la carte PICDEM Z.

Le kit de démonstration de PICDEM Z (numéro de la pièce Dm163027-5) contient les parties suivantes :

- . Deux Cartes mères de PICDEM™ Z.
- . Deux Panneaux De Gigahertz Rf de MRF24J40MA PICDEM Z 2.4.
- . Analyseur De Réseau de ZENA™.
- . Câble USB.

Ces parties peuvent être commandées séparément.

Le tableau ci-dessous présenté les différents numéros de PICDEM Z.

Description	Part Number
PICDEM™ Z Motherboard	AC163027-1
MRF24J40MA PICDEM Z 2.4 GHz RF Board	AC163028
ZENA™ Network Analyzer	DM183023

Tableaux 3.1 PICDEM™ Z nombres d'élément.

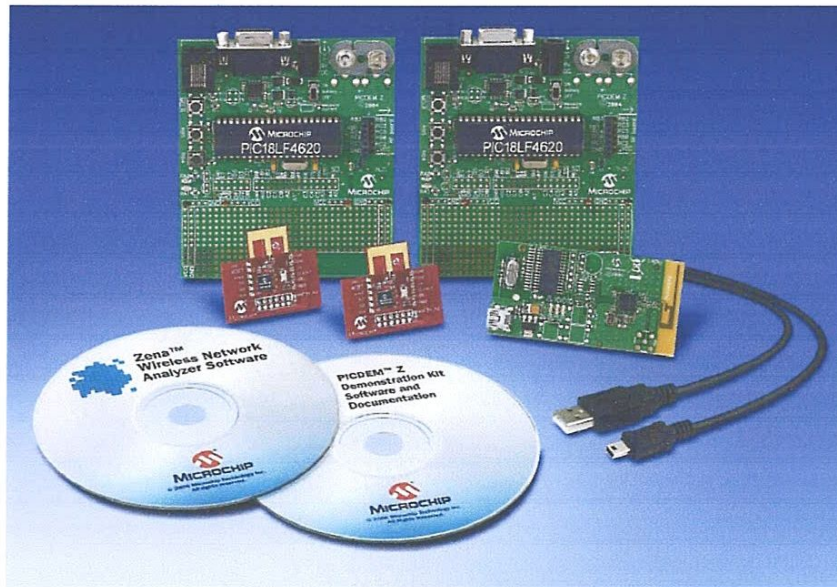


Figure 3.1 : LA CARTE PICDEM™ Z DEMONSTRATION-KIT.

2 Le kit de démonstration PICDEM Z :

Le kit de démonstration de PICDEM Z permet à des lotisseurs d'évaluer et se développer avec Microchip wireless solutions.

Le kit fournit deux cartes mères et deux 2.4 gigahertz Cartes- daughter de MRF24J40MA qui peuvent être employées pour former un réseau simple de radio de deux nœuds.

Plus de nœuds peuvent être ajoutés en achetant les kits additionnels de démonstration de PICDEM Z ou les différents composants (voir le tableau 1-1).

La carte mère est actionnée par une alimentation d'énergie externe par l'intermédiaire du connecteur de puissance coaxial de 2.5 millimètres (J1) ou portable par l'intermédiaire d'une batterie 9V (B1).

Note : L'adaptateur du mur 9V et la batterie 9V ne sont pas inclus dans le kit. Un adaptateur du mur 9V peut être commandé de microchip direct sous le numéro de la pièce AC162039.

Le kit vient avec l'analyseur de réseau de ZENA™ qui montre graphiquement le trafic sans fil de réseau après les spécifications d'IEEE 802.15.4™ de la bande de 2.4 gigahertz.

L'analyseur de réseau de ZENA_soutient des protocoles d'IEEE 802.15.4, de ZigBee™ et de MiWi™.

Le logiciel peut analyser le trafic complet de réseau et graphiquement montrer les paquets décodés.

Il peut également montrer une représentation graphique de la topologie de réseau et des messages pendant qu'ils traversent le réseau.

Cette information peut alors être sauvée et/ou exportée pour davantage d'analyse.

Se référer au guide de l'utilisateur (DS51606) pour plus d'information sur l'opération de l'analyseur de réseau de ZENA. [20].

Le schéma de la carte mère PICDEM Z est présenté sous-dessous.

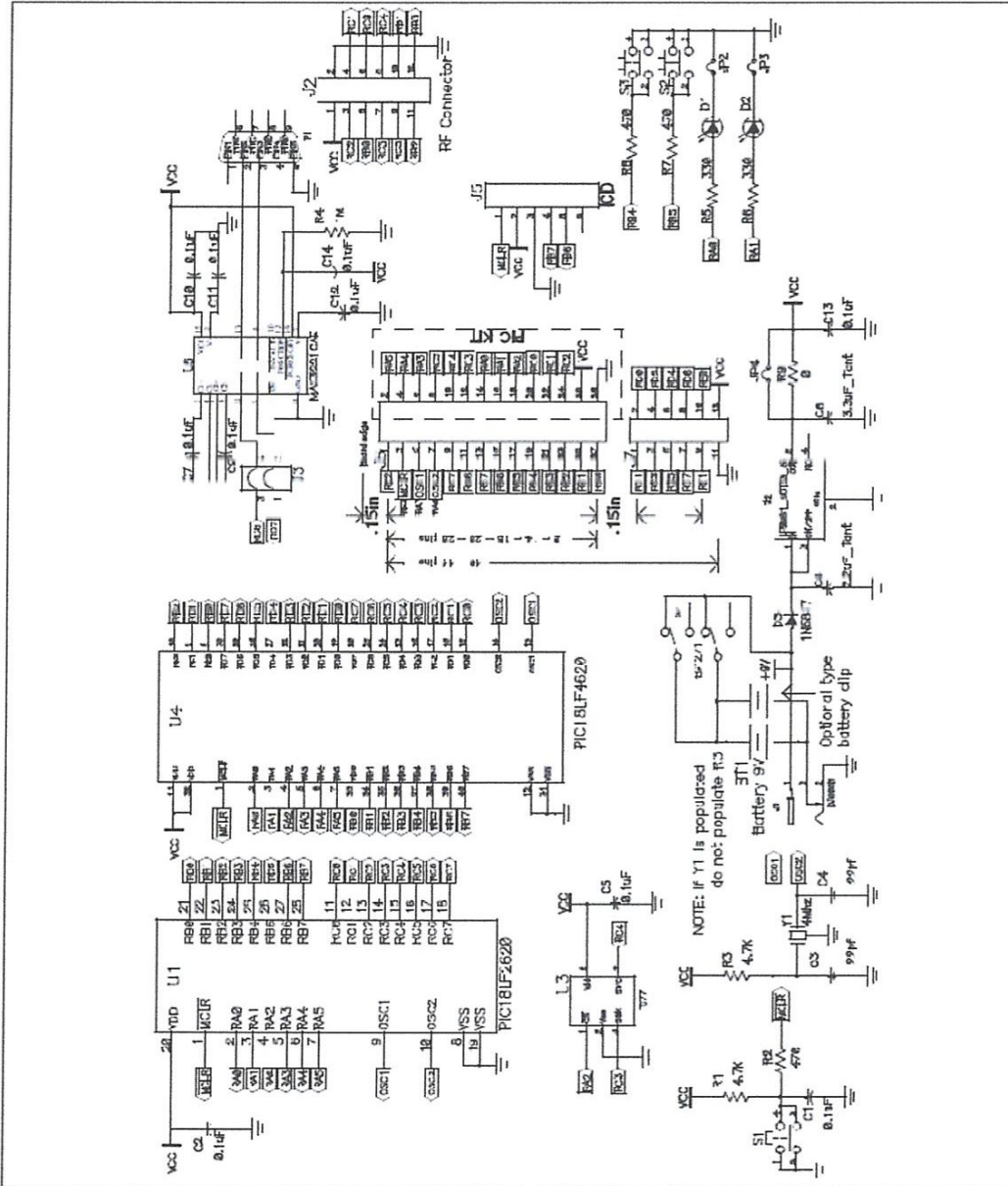


Figure 3.2 La carte mère PICDEM™ Z.

La figure suivant représente la carte mère du PICDEM Z :

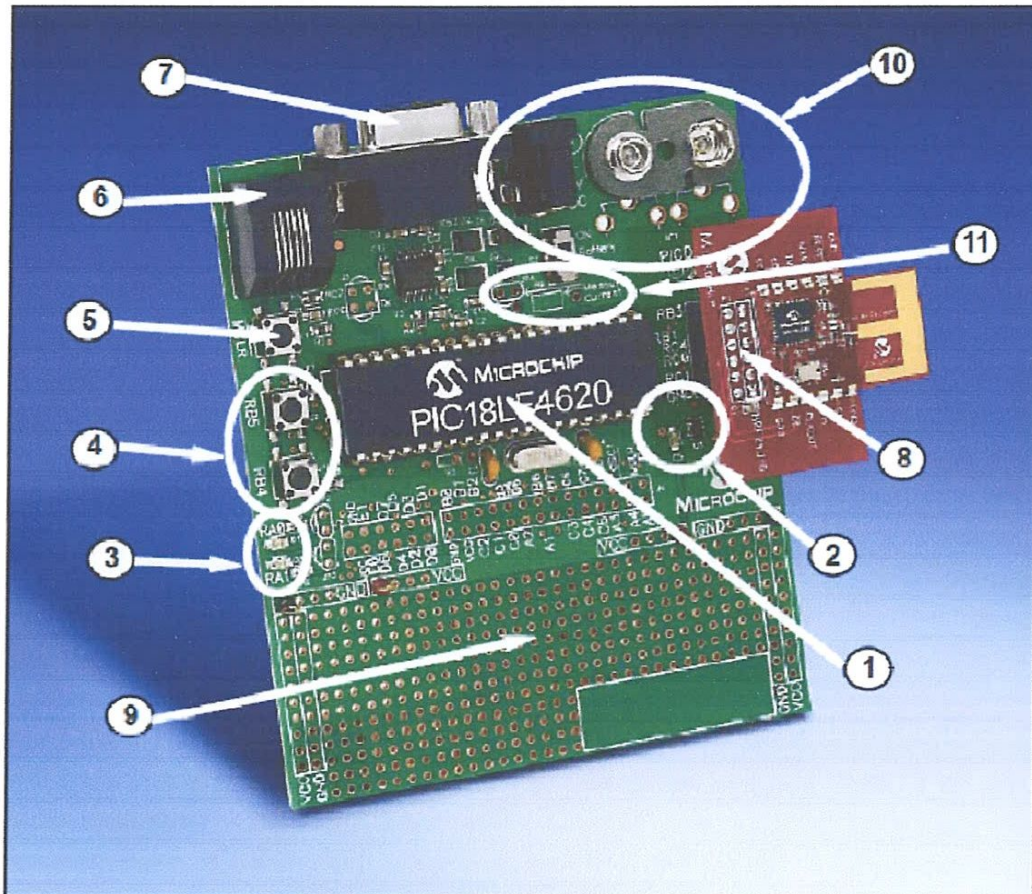


Figure 3.3 : Carte mère de PICDEM™ Z

Le PICDEM Z carte mère comporte de nombreuses fonctionnalités pour permettre l'évaluation et le développement de solutions sans fil.

Figure 1-2 montre la carte mère avec un MRF24J40MA Module Daughter Board branché en trouvez ci-dessous une description des composants du carte PICDEMZ :

1. Microcontrôleur 28 et 40 broches DIP Sockets: Les prises de permettre l'utilisation d'une variété de 28 et PIC 40-pin package DIP ® microcontrôleurs.

La prise 40 broches (U4) contient un microcontrôleur PIC18LF4620 cadencé par un cristal 4 MHz (Y1). L' prise à 28 broches est inhabitée et est situé sous le boîtier DIP

40 broches. Pour utiliser le connecteur à 28 broches, retirez soigneusement le microcontrôleur DIP 40 broches.

2. Capteur de température: La carte mère contient les Microchip TC77 capteur thermique avec interface SPI.

Le TC77 part le bus SPI avec la carte fille sans fil brancher sur le connecteur J2.

3. LED: D1 et D2 sont entraînés par le microcontrôleur ports RA0 et RA1, respectivement.

4. Commutateurs de bouton poussoir: S2 et S3 sont connectés aux ports microcontrôleur et RB5 RB4, respectivement. Il n'ya pas de pull-up externe résistances sur la carte mère.

Par conséquent, le pull-up internes sur PORTB fonction doit être activée.

5. MCLR Commutateur de bouton poussoir: connecté à la broche MCLR du microcontrôleur.

6. ICSP™ Jack: La 6-pin prise RJ-11 est utilisée pour connecter un programmeur microcontrôleur comme le débogueur MPLAB ICD 2 en circuit ou MPLAB REAL ICE™ en circuit émulateur.

7. RS-232 Connecteur: Permet la carte mère pour se connecter à un port série du PC pour la commande interactive ou de débogage.

Le microcontrôleur USART interfaces au connecteur RS-232 via un levier de vitesses au niveau RS-232 (U5).

8. Sans fil carte fille de connecteurs: connecteur J2 est un connecteur 12 broches qui alimente alimentation 3,3 V, 4-fils SPI, reset, suite et les connexions d'interruption au microcontrôleur.

Le brochage est illustré à la figure 1-3. Le connecteur 12-pin est un P Samtec / N LST-106-07-FD.

9. Prototypage Espace: maquette fournis aux circuits supplémentaires pour le développement.

Connexions à +3,3 V, le sol et le microcontrôleur signaux E / S sont fournis.

10. Puissance: La carte mère est alimentée par une alimentation externe via le connecteur de 2,5 mm d'alimentation coaxial (J1) ou portable via une pile 9V (B1).

Le régulateur de tension à bord (U2) est un LP2981, un micro puissance 100 mA régulateur ultra faible chute de tension dans un paquet Sot-23.

La tension d'entrée maximale pour le LP2981 est 16V. La carte mère est protégée de la connexion d'alimentation accidentelle inverse par la diode D3.

Lorsque vous utilisez une batterie de 9V, S7 interrupteurs sous tension et hors tension.

Lorsque la mise sous tension via une alimentation externe, J1 débrancher la batterie du circuit et le circuit d'alimentation en continu (interrupteur S7 seuls les commutateurs de la pile ou de désactiver, pas la source d'alimentation externe).

11. Mesure courante: Jumper JP4 peut être utilisé pour mesurer la consommation de courant par tous les circuits sur la carte mère après le régulateur de tension (U2).

Pour mesurer le courant, couper le PCB de trace sur la face inférieure et insérer un ampèremètre.

Vous pouvez également installer une résistance de faible valeur en R9 position et de mesurer la tension aux bornes de déterminer le courant. [20]

jumper	But
J3	Pour connecter ou déconnecter le RS-232 U5 de décalage de niveau du microcontrôleur USART. Les broches sont reliées par des traces de BPC.
JP2	Pour activer ou désactiver LED D1. Les broches sont reliées par des traces de BPC.
JP3	Pour activer ou désactiver LED D2. Les broches sont reliées par des traces de BPC.
JP4	Pour mesurer la consommation de courant par tous les circuits depuis le régulateur de tension U2.

Tableau 3.2 : jumpers.

Brochage de Connecteur J2 :

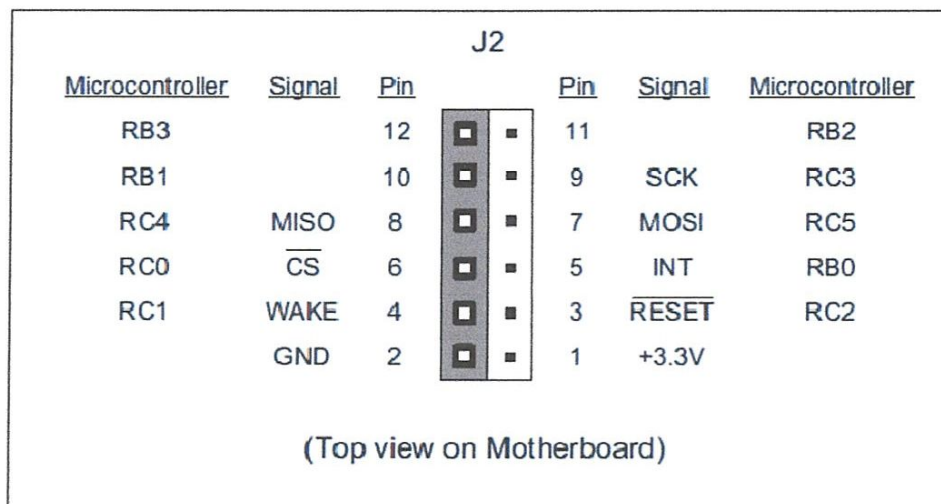


Figure 3.4 : Brochage de Connecteur J2

3 cartes DAUGHTER sans fil :

La carte mère PICDEM Z est conçue pour s'interfacer avec une variété de cartes daughter sans fil via le connecteur J2.

Connecteur J2 est un connecteur 12 broches qui fournit 3.3V, 4-fils SPI, reset, suite et les connexions d'interruption au microcontrôleur. Le brochage est illustré à la figure 3.4.

Le connecteur 12-pin est un P Samtec / N LST-106-07-FD.

4 Les protocoles utilisés par la carte PICDEM Z

- Pile de protocole Résidentiel Microchip ZigBee-2006.
- Protocole Microchip MiWi™.
- Protocole Microchip MiWi P2P.

4.1 Pile de protocole Résidentiel Microchip ZigBee-2006 :

Le protocole ZigBee est un protocole de réseau sans fil spécialement conçu pour les données à faible débit, et faible coût des capteurs sans fil et de réseaux de contrôle. Il est basé sur la norme IEEE 802.15.4 globale garantissant l'interopérabilité et la fiabilité des communications.

Protocole ZigBee soutient étoiles, bus et treillis topologies de réseau sans fil ce qui en fait bien adapté pour les applications à courte portée et faible puissance.

Le Microchip ZigBee-2006 du protocole est certifié pour fonctionner sur le PIC18 et PIC24 familles de microcontrôleurs PIC de Microchip et le MRF24J40 2,4 GHz émetteur-récepteur RF. [2]

4.2 Protocole Microchip MiWi™ :

Le Protocole MiWi du réseau sans fil est un protocole simple, conçu pour les données à faible débit, courte distance, les réseaux à faible coût.

Il s'agit d'une couche d'application sur le dessus de la norme IEEE 802.15.4 couches MAC et PHY.

Le protocole MiWi fournit une alternative facile à utiliser pour la communication sans fil. En particulier, il vise les petites applications qui ont des tailles de réseau est relativement petit avec quelques sauts entre les nœuds.

Le protocole MiWi fonctionne sur une variété de microcontrôleurs PIC de Microchip dans le PIC18, PIC24 et PIC32 et les familles MRF24J40 2,4 GHz émetteur-récepteur RF.

4.3 Protocole Microchip MiWi P2P :

Le protocole Peer to-Peer MiWi- (P2P) est une couche d'application sur le dessus de la norme IEEE 802.15.4 couches MAC et PHY qui prend en charge peer-to-peer et en étoile.

Il n'a pas de mécanisme de routage, de sorte que la couverture des communications sans fil est définie par la portée radio.

AN1204 Note d'application », Microchip MiWi P2P sans fil Protocole" décrit le protocole P2P MiWi. Il détaille les fonctionnalités prises en charge et comment les mettre en œuvre. [2]

5 PICDEM Z MRF24J40MA 2,4 GHz RF Board :

Le MRF24J40MA PICDEM Z 2.4GHz RF board (AC163028) est indiqué dans les caractéristiques Figure B-1 est le module émetteur-récepteur MRF24J40MA.

Le MRF24J40MA est entièrement FCC, IC et ETSI module certifié.

Il est conçu pour se brancher sur la carte mère PICDEM Z, ou à n'importe quelle application, en utilisant un connecteur 12 broches.

Le connecteur à 12 broches est disponible à partir Samtec P / N LST-106-07-FD.

Les caractéristiques de la PICDEM Z MRF24J40 RF 2,4 GHz Board comprennent:

- ◆ MRF24J40MA Transceiver Module (U1): Un IEEE 802.15.4 module émetteur-récepteur compatible.
- ◆ Connecteur de DAUGHTER board (P1): le connecteur P1 est un connecteur 12 broches utilisé pour se connecter à la carte mère PICDEM Z ou toute autre application avec un connecteur de raccordement.

Il a alimentation 3,3 V, 4-fils SPI, reset, et suite à l'interruption des connexions MRF24J40MA. Le brochage est illustré à la figure 5-2.

Le connecteur 12-pin est un P Samtec / N LST-106-07-F-D.

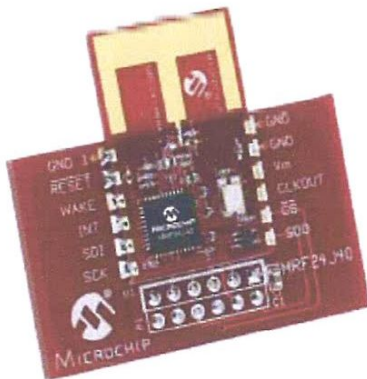


FIGURE 3.5: MRF24J40MA PICDEM™ Z 2.4 GHz RF BOARD

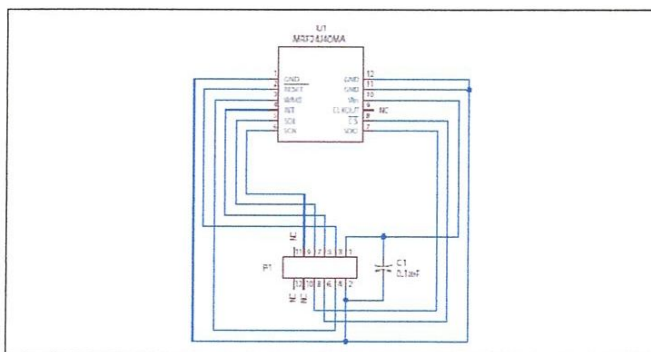


FIGURE 3.6: schéma de la carte MRF24J40MA PICDEM™ Z GHz RF

6 Le PICDEM™ Z MRF24J40 2.4 GHz (la carte DAUGHTER) :

Le PICDEM Z MRF24J40 2,4 GHz (la carte DAUGHTER) (AC163027-4) est indiquée dans la Figure 6-1.

Il dispose de l'émetteur-récepteur MRF24J40 IC, tous les circuits passive, l'antenne PCB, et en option l'empreinte connecteur SMA.

Il est conçu pour se brancher sur la carte mère PICDEM Z, ou à n'importe quelle application, en utilisant un connecteur à 12 broches ou Explorer 16 Conseil du développement en utilisant le connecteur de bord de côté.

Le PICDEM Z MRF24J40 2,4 GHz carte fille est une bonne plateforme pour évaluer inversé antenne de type F PCB.

Le connecteur SMA option peut être rempli pour évaluer les options antenne externe ou de se connecter à l'équipement d'essai pour la mesure.

Les caractéristiques de la PICDEM Z MRF24J40 2,4 GHz carte DAUGHTER comprennent:

- ✦ MRF24J40 récepteur IC (U1): Un émetteur-récepteur IC IEEE 802.15.4 conforme dans un boîtier QFN à 40 broches.
- ✦ Connecteur de carte DAUGHTER (J2): le connecteur J2 est un connecteur 12 broches utilisé pour se connecter à la carte mère PICDEM Z ou toute autre application avec un connecteur de raccordement.

Il a alimentation 3,3 V, 4-fils SPI, reset, et suite à l'interruption des Connexions MRF24J40.

Le brochage est illustré à la figure C-2. Le connecteur 12-pin est un P Samtec / N LST-106-07-FD.

- ◆ PCB Edge Connector (J3): Connecteur J3 est un connecteur à 30 broches utilisé pour communiquer à la Commission de développement Explorer 16. Il alimente 3,3 V, 4-fils SPI, reset, et suite à l'interruption des connexions MRF24J40. Le brochage est indiqué dans Figure 3.7.
- ◆ PCB Antenne: Une antenne inversé F-type PCB.
- ◆ En option Connecteur SMA (P5): L'empreinte SMA peut être remplie avec un connecteur SMA pour le raccordement à une antenne extérieure ou l'équipement d'essai.

L' antenne PCB est connectée par défaut. Pour activer le connecteur SMA et de désactiver l'antenne PCB, enlevé C38 condensateur et le déplacer vers la position C8. [20]

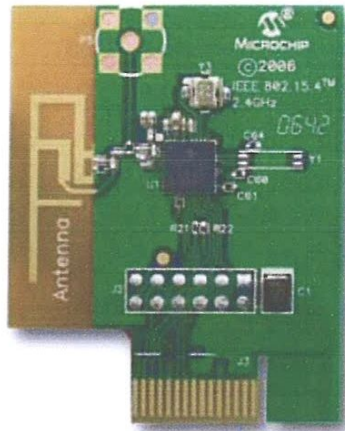


FIGURE 3.7: PICDEM™ Z MRF24J40 2.4 GHZ DAUGHTER CARD

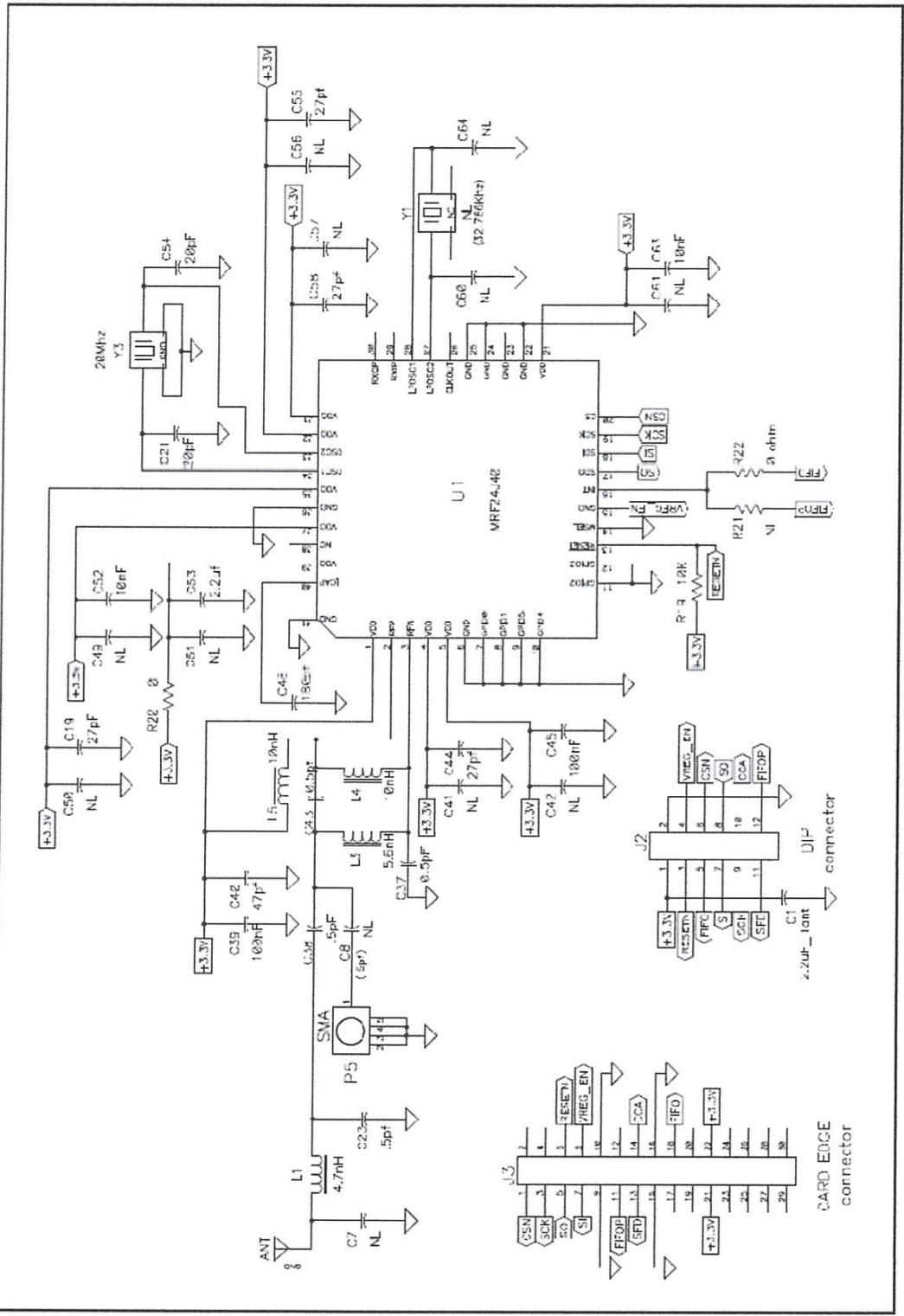


Figure 3.8 PICDEM Z MRF24J40 2.4 GHz Daughter Card

7 Analyseur De Réseau de ZENA™ :

L'analyseur ZENA propose trois principaux instruments de développement IEEE 802.15.4 solutions rapidement et efficacement avec les piles Microchip gratuit pour le protocole ZigBee™ et le protocole MiWi™.

L'analyseur ZENA permet aux développeurs de modifier rapidement et d'adapter les piles pour répondre aux exigences d'application.

L'analyseur ZENA est aussi un analyseur de paquets IEEE 802.15.4, qui soutiennent actuellement la bande de fréquence 2.4 GHz.

L'analyseur est capable de ZENA protocole ZigBee décodage v1.0 et les paquets du protocole MiWi.

L'analyseur ZENA fournit également un soutien analyse de réseau.

L'analyseur ZENA attire la topologie du réseau du réseau car elle est formée et permet aux utilisateurs de regarder les transactions par paquets tels qu'ils se présentent, d'enregistrer les transactions de paquets et de jouer ces paquets à des vitesses variables.

Ces outils, combinés, forment un puissant outil de développement sans fil IEEE 802.15.4 pour le protocole.

L'analyseur de réseau sans fil ZENA kit contient les éléments

Suivants:

- ◆ ZENA Analyseur de réseau sans fil.
- ◆ Câble USB mini-B.
- ◆ ZENA L'analyseur de réseau sans fil CD-ROM.

L'analyseur de réseau sans fil ZENA utilise un câble USB mini-B pour se connecter au PC.

L'analyseur ZENA est alimenté par le bus USB.

Une trace de BPC antenne reçoit les paquets sur le canal et envoie l'information via un port USB à l'ordinateur PC en utilisant le standard de classe HID. [21]

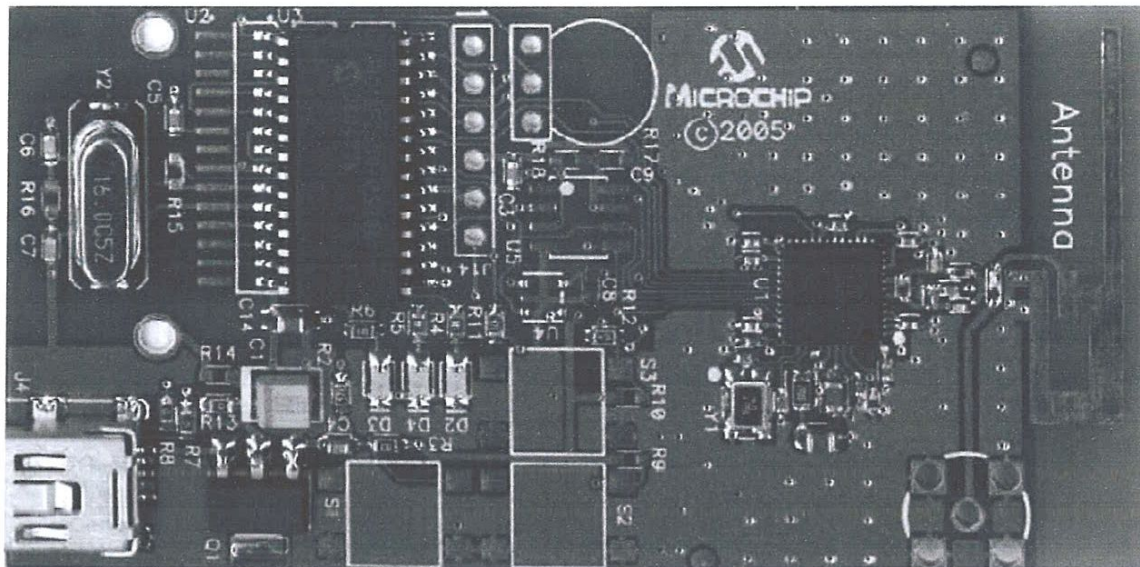


FIGURE 3.9™ ZENA SANS FIL analyseur de réseau

7.1 INSTALLATION LOGICIEL ANALYSEUR ZENA™ :

Depuis le logiciel de l'analyseur ZENA peut être utilisé indépendamment du matériel, il est disponibles à partir de sources multiples, y compris l'analyseur de réseau sans fil ZENA CD-ROM, l'installation pour les fichiers source de AN965, "Microchip Stack pour le Protocole ZigBee™", et l'installation pour les fichiers source de AN1066, "MiWi™ Wireless Networking Stack Protocole".

La version livrée avec les notes d'application est une version de démonstration, qui fournit une configuration de pile et la capacité de lecture des paquets, mais ne permet pas la surveillance du Réseau en temps réel avec le matériel de réseau sans fil ZENA Analyzer.

La version complète est livrée avec la carte réseau sans fil ZENA Analyzer. Si vous installez le logiciel à partir du réseau sans fil ZENA Analyzer CD-ROM, insérez le CD-ROM dans le lecteur de CD-ROM.

Si le programme d'installation ne démarre pas automatiquement, accédez au répertoire du CD-ROM et exécuter le programme ZENAvn.nn.exe, est le numéro de version du logiciel de l'analyseur ZENA.

Suivez les instructions à l'écran pour installer le logiciel. [21]

Si vous avez installé le code source de l'un des Microchip appuyé protocoles IEEE 802.15.4, la version démo du logiciel de l'analyseur ZENA est installée

automatiquement dans le répertoire racine du code source de l'application.

La version de démonstration du logiciel permet d'accéder à la configuration de la pile et fonctions de lecture de message, mais il ne communiquera pas avec le matériel de réseau sans fil ZENA Analyzer.

Le réseau sans fil ZENA accord de licence Analyzer est présenté.

Lire l'accord, puis cliquez sur J'accepte pour continuer.

Le ZENA Wireless Network Analyzer fichier Lisez-moi contient des informations importantes

sur la version la plus récente de l'analyseur de réseau sans fil ZENA, tels que les nouveaux caractéristiques et les problèmes connus.

Une fois le logiciel ZENA est installé, utilisez l'élément du menu Démarrer pour lancer le logiciel.

L'écran d'introduction apparaît comme suit.



FIGURE 3.10 Zena™ logiciel fenêtre principal de l'analyseur

7.2 OUTIL DE CONFIGURATION de la pile de microchip :

Microchip fournit une pile librement disponible dans le cadre de la note d'application, AN965, "Microchip Stack pour le Protocole ZigBee™".

Après avoir examiné la note d'application et étudié les projets de démonstration, vous serez prêt à commencer votre propre application du protocole ZigBee.

L'analyseur ZENA va grandement vous aider à configurer la pile Microchip en générant automatiquement une partie du code source de votre application du

protocole ZigBee.

Assurez-vous de me référer à AN965, "pile Microchip pour le Protocole ZigBee™» pour plus de détails sur chaque option de configuration du protocole ZigBee.

Sélectionnez ZigBee™ Outils> Configuration de la pile principale Zena™ fenêtre configuration de la pile.

La configuration de la pile Zena™ - ZigBee™ Protocole fenêtre s'affiche.

Utilisation de la boîte de dialogue à onglets, vous pouvez sélectionner toutes les options requises pour votre application du protocole ZigBee.

Le logiciel ZENA automatiquement activer et de désactiver certaines options en fonction des sélections que vous avez fait.

7.3 Analyse du trafic réseau :

Le ZENA Wireless Network Analyzer peut fournir beaucoup d'informations sur dispositif et le fonctionnement du réseau.

La fenêtre de renifleur de paquets peut être utilisé pour s'assurer que les messages apparaissent sur l'air comme prévu, et que les messages ont un format correct. La fenêtre des MNT peuvent être utilisés pour s'assurer que le réseau est formé de la manière correcte.

L'analyseur ZENA peut montrer comment les messages se propagent à travers le réseau.

Dans les exemples ci-dessus, nous voyons à l'aide de la fenêtre NCD que le message est acheminé le long d'application l'arborescence du réseau, tandis que l'accusé de réception est acheminé plus directement. Utilisation de la fenêtre de renifleur de paquets, nous pouvons déterminer si le message a été envoyé avec routage supprimé, ou si l'acheminement a été demandé, mais un nœud dans le chemin d'accès n'a pas eu la capacité de routage.

L'analyseur ZENA peut également fournir un aperçu des obstacles physiques qui affectent le système.

Dans l'exemple précédent, nous pouvons voir que les obstacles physiques sont probablement prévenir deux nœuds de parler directement.

Avec un réseau de plus grande échelle, l'analyseur ZENA peut aussi aider à déterminer si la disposition d'équipements doit être optimisée pour le trafic du système de réseau requise.

Si l'analyseur ZENA indique qu'une grande partie du trafic est acheminé par un seul dispositif, ce dispositif peut être obtenir surchargé.

Un autre agencement de dispositifs pourrait générer un trafic réseau plus équilibré.
[21]

8 Programmation d'un feu de carrefour :

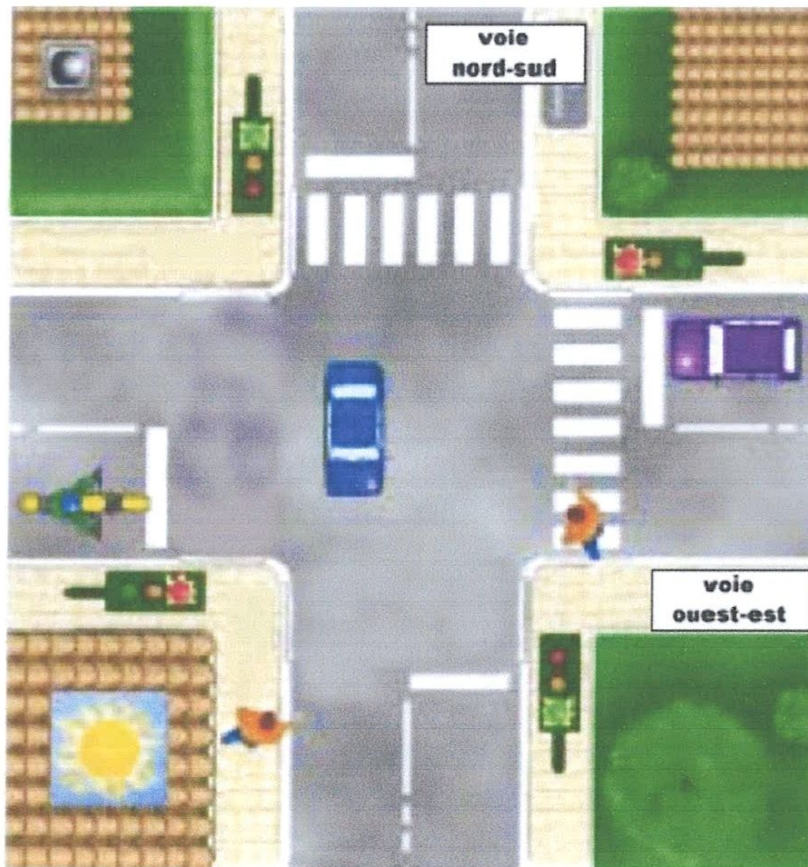


Fig 3.11 un carrefour a deux voies.

8.1 Présentation

La carte comporte un carrefour où deux voies (nord-sud et est-ouest) se croisent. Des feux tricolores assurent la bonne circulation dans le carrefour. Deux passages

piétons avec un bouton d'appel chacun permettant la traversée des voies. De nuit, les feux passent en orange clignotant; une LDR permet la détection jour/nuit.

Un microcontrôleur PIC16F84A gère le fonctionnement de l'ensemble. Il dispose de deux ports d'entrées / sorties, le port A (RA0 à RA4) et le port B (RB0 à RB7).

La programmation se fera avec le logiciel Flowcode v3 qui permet une programmation en langage graphique proche de l'algorithme. Une documentation du logiciel est disponible sur le site STI2.

Schéma structurel de la carte

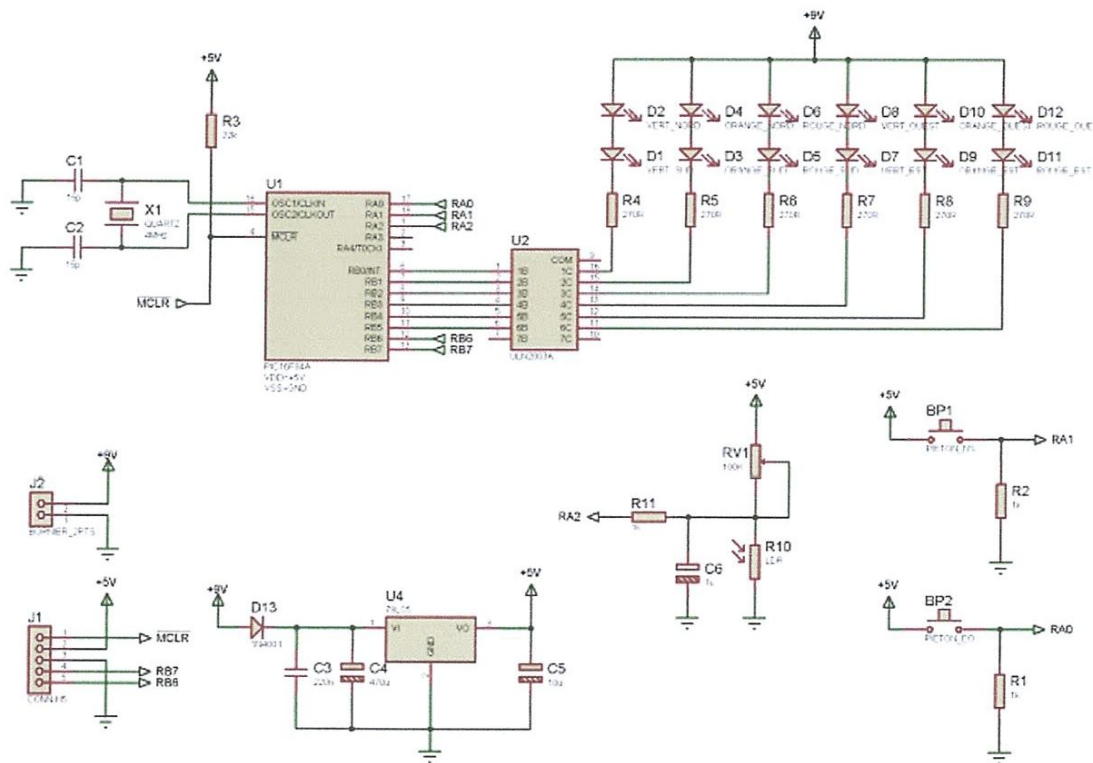


Fig 3.12 Schéma structurel de la carte

8.2 Étude du schéma structurel :

1. En utilisant la documentation du circuit ULN2003 donnée en annexe, déterminer le niveau logique en sortie du microcontrôleur PIC permettant d'allumer une led.
2. Donner l'état de RA1 lorsque BP1 est au repos. Même question si on appuie sur BP1.

8.2.1 Le câblage :

Un câble USB permet de relier le PC au programmeur MPLAB ICD2. On relie ensuite ce programmeur au connecteur RJ12 de la carte adaptateur ICD2-ICSP.

Cette petite carte doit enfin être reliée à la carte « feux de carrefour » par une petite nappe 5 points. L'alimentation de l'ensemble se fait par la carte « feux de carrefour », en 0/+9V.

ATTENTION AU SENS DE L'ALIMENTATION.

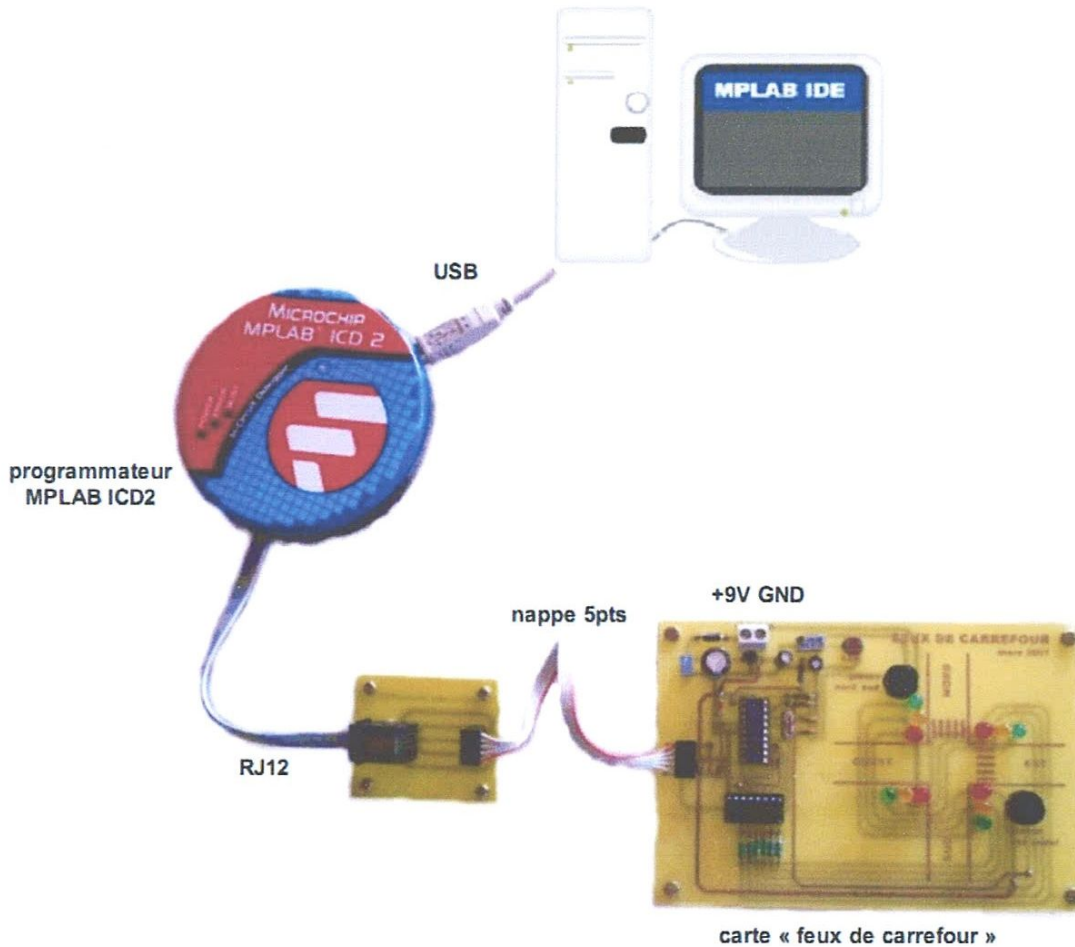


Fig 3.13 câblage d'un feu de carrefour.

8.2.2 Flowcode :

Le logiciel Flowcode va vous permettre d'écrire vos programmes sous forme d'algorithme, de les compiler puis assembler, c'est-à-dire de créer un fichier .hex compréhensible par le microcontrôleur.



Flowcode V3.

Le lancement du logiciel se fait par l'icône.

Au démarrage, choisir Créer un nouvel organigramme Flowcode puis le microcontrôleur 16F84a.

L'écran ci-dessous apparaît :

L'écran ci-dessous apparaît :

bouton permettant de compiler, d'assembler le programme

éléments disponibles à faire glisser dans la fenêtre « algorithme »

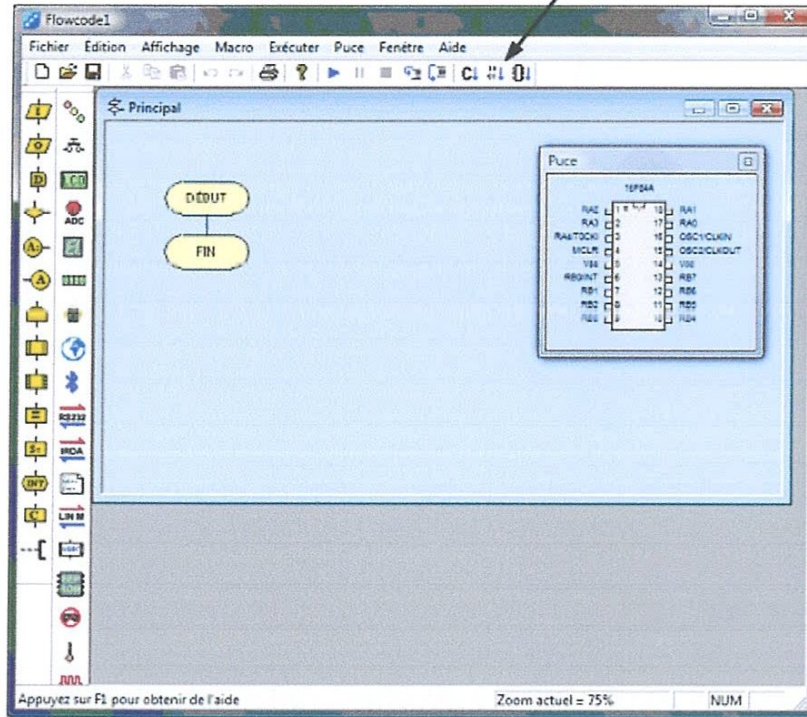


Fig 3.14 logiciel Flowcode.

Configuration de Flowcode pour la carte «feux de carrefour »

– vitesse d'horloge : vous devez fixer la vitesse de l'horloge du PIC à 4MHz (valeur du quartz sur la carte) : allez dans le menu PUCE puis :

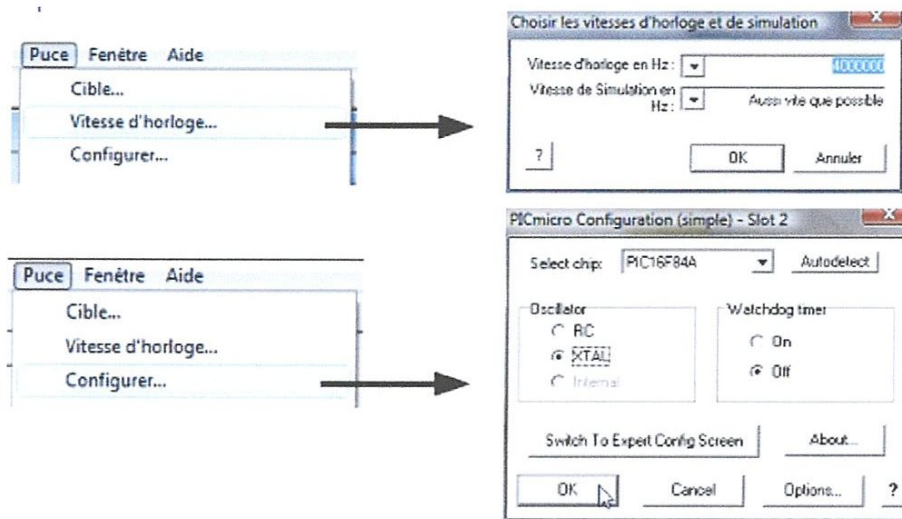


Fig 3.15 configuration de Flowcode.

8.3 MPLAB IDE :

Le logiciel MPLAB va vous permettre de télécharger votre fichier .hex fourni par Flowcode dans le microcontrôleur PIC de votre maquette.



Le lancement du logiciel se fait par l'icône

Lancer le MPLAB IDE. Dans le menu Programmer, sélectionner notre Programmeur, le MPLAB ICD 2.

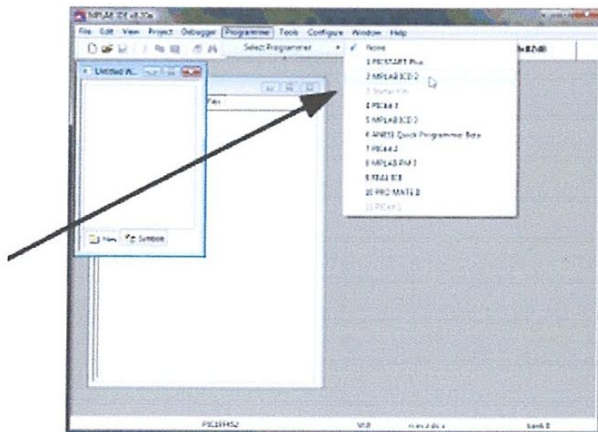


Fig 3.16 Le lancement de MPLAB IDE

Lancer la connexion du programmeur au PC :

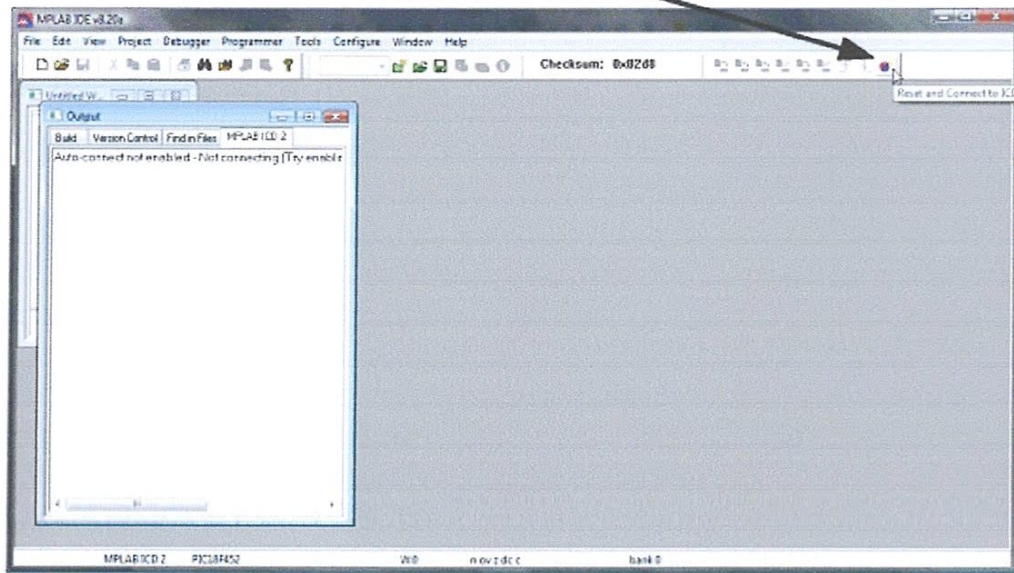
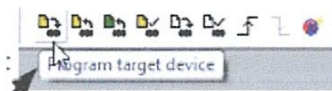


Fig 3.17 lancement de la connexion.

Les icônes suivantes doivent apparaître :



Pour envoyer un fichier .hex vers la maquette, cliquer sur File puis Import. Sélectionner votre fichier .hex. Enfin, cliquer sur l'icône Program target device pour programmer votre microcontrôleur.

8.4 Programmes de test :

Dans cette partie vous allez écrire ou modifier des petits programmes qui permettent de tester votre carte.

3. On donne ci-dessous l'algorithme et le programme test_feux_verts.fcf.

Ce programme permet le test des feux« verts » de chaque voie en allumant la voie nord_sud puis est_ouest. Écrire, compiler et envoyer ce programme sur votre maquette.

Début

Répéter

Allumer vert_nord et vert_sud

Attendre 1s

Allumer vert_ouest et vert_est

Attendre 1s

À l'infini

Fin

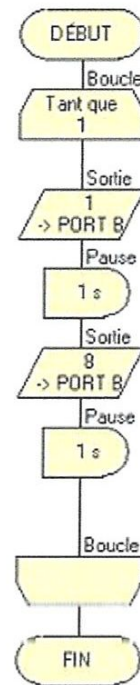


Fig 3.18 Programme de test.

4. Modifier le programme afin de faire le test des feux « orange ».

5. Modifier le programme afin de faire le test des feux « rouge ».

Pour lire l'état d'une entrée d'un port, on doit masquer les entrées non utilisées.

Pour cela sous Flowcode on place un bloc Entrée et on coche le ou les bits qu'on souhaite utiliser sur le port.

Ex: dans la fenêtre ci-contre on définit une variable

BP1 qui prendra la valeur du bit 1 du port A.

BP1 = 0 si RA1 = 0

BP1 = 2 si RA1 = 1

Remarque : pour créer la variable BP1, cliquer sur

Variables puis Ajouter Variable, entrer le nom de la variable puis Ok.



Fig 3.19 Création de BP1.

6. On donne ci-dessous le programme `test_bp1.fcf`. Ce programme permet le test du bouton poussoir BP1

(`nord_sud`) en allumant les quatre feux verts si BP1 est activé. Écrire, compiler et envoyer ce programme sur votre maquette. Valider le bon fonctionnement. Modifier le programme pour tester BP2.

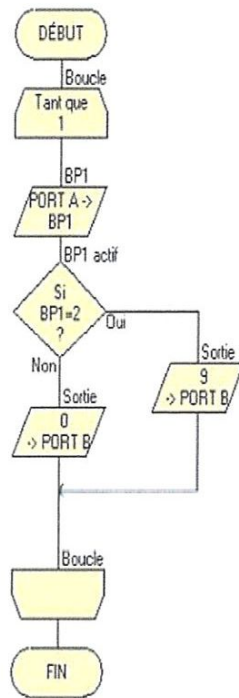


Fig 3.20 programme pour tester BP2

Début
 Répéter
 Lire BP1
 Si BP1 actif
 Allumer feux verts
 Sinon
 Éteindre feux
 Fin si
 À l'infini
 Fin

8.5 Allumage successifs des feux :

7. On donne ci-dessous l'algorithme de fonctionnement des feux du carrefour. Écrire le programme feux.fcf correspondant. Faire valider le bon fonctionnement par le professeur.

Début

Répéter

Allumer feu vert_nord, vert_sud, rouge_ouest, rouge_est

Attendre 1s

Allumer feu orange_nord, orange_sud, rouge_ouest, rouge_est

Attendre 1s

Allumer feu rouge_nord, rouge_sud, rouge_ouest, rouge_est

Attendre 1s

Allumer feu rouge_nord, rouge_sud, vert_ouest, vert_est

Attendre 1s

Allumer feu rouge_nord, rouge_sud, orange_ouest, orange_est

Attendre 1s

Allumer feu rouge_nord, rouge_sud, rouge_ouest, rouge_est

Attendre 1s

À l'infini

Fin

8.6 Jour / nuit :

8. Lorsqu'il fait nuit (mettre le doigt sur la LDR), les quatre feux doivent passer en orange clignotant (allumés 0,5s puis éteint 0,5s). Le fonctionnement du programme précédent reste valable quand il fait jour. On donne ci-dessous l'algorithme, modifier le programme précédent. Faire valider le bon fonctionnement par le professeur.

Début

Répéter

Lire LDR

Si LDR = 0 // jour

Alors

Allumer feu vert_nord, vert_sud, rouge_ouest, rouge_est

Attendre 1s

Allumer feu orange_nord, orange_sud, rouge_ouest, rouge_est

Attendre 1s

Allumer feu rouge_nord, rouge_sud, rouge_ouest, rouge_est

Attendre 1s

Allumer feu rouge_nord, rouge_sud, vert_ouest, vert_est

Attendre 1s

Allumer feu rouge_nord, rouge_sud, orange_ouest, orange_est

Attendre 1s

Allumer feu rouge_nord, rouge_sud, rouge_ouest, rouge_est

Attendre 1s

Sinon // nuit

Allumer les feux oranges

Attendre 0,5s

Éteindre les feux

Attendre 0,5s

Fin si

À l'infini

Fin

8.7 Les piétons :

9. Lorsqu'un piéton demande à traverser, vous devez placer la voie correspondante au rouge. Modifier le programme précédent. Faire valider le bon fonctionnement par le professeur.

Conclusion :

Le guide de l'utilisateur PICDEM Z donne des instructions pour commencer un menu de configuration via une connexion série (hyperterminal).

Le Z PICDEM a une zone de prototypage qui ne doit pas être utilisé pour la construction du circuit.

Si vous souhaitez établir une interface de capteurs supplémentaires, alors vous devez construire un circuit et le connecter au J6-tête.

L'application du projet précise que le même matériel peut s'interfacer avec un Smart Device, soit par USB ou série.

En outre, les composants doivent être abordables, consomment peu d'énergie et être adapté pour le développement.

Pour simplifier cet élément du projet, le kit de développement Microchip PICDEM Z a été employé.

La pile Microchip pour ZigBee protocole prévoit un système modulaire, facile à utiliser et nécessite un microcontrôleur (environ 32 Ko de mémoire programme, FFD), aux côtés d'un émetteur-récepteur compatible 2,4 GHz et d'une antenne.

Les applications peuvent être facilement transférées d'un émetteur-récepteur RF à l'autre.

Conclusion générale

Conclusion générale :

Le carrefour est un lieu stratégique : croisement de routes, d'acteurs et de modes de transport, lieu de choix d'itinéraires, terrain sensible pour les conflits de trafic.

Lorsqu'il est équipé de feux tricolores, le carrefour devient aussi un moyen de régulation du trafic.

Le projet «feu de Carrefour avec zigbee » développe des fonctions de gestion des carrefours à feux dans les domaines de la surveillance, de la régulation et du diagnostic.

Il aborde les différents aspects que sont la fluidité, la sécurité, l'environnement. Il dispose d'un laboratoire connecté à un carrefour instrumenté pour développer, tester et évaluer ses outils en vraie grandeur.

Les feux de carrefours et les systèmes de transport intelligents n'en sont qu'à leurs balbutiements. A terme, ce domaine révolutionnera notre vie quotidienne.

En effet, le faible coût de ces technologies de communications devrait provoquer une révolution économique.

Sa configuration est simple : une route (route secondaire) débouche sur un axe routier plus important et donc prioritaire (route principale).

Pour gérer ce carrefour ont été installé trois feux tricolores : le premier se trouve sur la route secondaire, les deux autres sur la route principale de part et d'autre de la route secondaire.

Ces deux derniers sont toujours dans le même état.

Ces feux sont capables de détecter les voitures à leur voisinage (on suppose qu'ils ne détectent que les voitures en attente dans la voie qu'ils gèrent) et de mémoriser leur nombre ce qui fait d'eux des feux intelligents capables de gérer au mieux le trafic.

Nous concluons en qualifiant ZigBee vis à vis de nos besoins de communication dans Le contexte d'un carrefour intelligent.

Bibliographie générale

[01] LAN-MAN Standards Committee of the IEEE Computer Society – 802.15.1 IEEE Standard for Information technology, Part 15.1: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Wireless Personal Area Networks (WPANS) – IEEE STD 802.15.1-2002 (2002).

[02] J. Lansford – HomeRF: Bringing Wireless Connectivity Home – Intel HomeRF technology Tutorial (Avril 1999).

[03] E. Callaway, P. Gorday, L. Hester, J.A. Gutierrez, M. Naeve, B.Heile et V. Bahl– Home Networking with IEEE 802.15.4: a developing standard for low-rate wireless personal area networks – IEEE Communications Magazine vol. 40, no. 8, pp 70-77 (Aout 2002).

[04] P. Muhlethaler – 802.11 et les réseaux sans fil – Eyrolles (2002).

[05] Project Broadband Radio Access Networks – Broadband Radio Access Networks (BRAN): HiperLAN Type 2 System Overview – ETSI Technical report ETSI TR 101 683 V1.1.1 (Fevrier 2000).

[06] Communauté d'agglomération Pau Pyrénées – Pau Broadband Country (large bande pour tous) – Dossier de présentation (Février 2002).

[07] G. Pujolle – Les reseaux – Eyrolles (1995).

[08] IEEE Computer Society and IEEE Microwave Theory and Techniques Society– 802.16 IEEE Standard for Local and metropolitan area networks – part 16 : Air

[09] ETSI Project Broadband Radio Access Networks – Broadband Radio Access Networks (BRAN): HiperMAN Physical (PHY) Layer – ETSI Technical Specification ETSI TS 102177 V1.3.1 (Fevrier 2006).

[10] ETSI Project Broadband Radio Access Networks – Broadband Radio Access Networks (BRAN): HiperMAN Data Link Control (DLC) Layer – ETSI Technical Specification ETSI TS 102 178 V1.3.2 (Mars 2006).

[11] J. Wroclawski – The Use of RSVP with IETF Integrated Services – RFC 2210, IETF Network Working Group (Septembre 1997).

[12] K. Nichols, S. Blake, F. Baker et D. Black – An Architecture for Differentiated Service– RFC 2475, IETF Network Working Group (Decembre 1998).

[13] : <http://fr.wikipedia.org/wiki/ZigBee>.

[14] Freescale Semiconductor – 802.15.4 MAC/PHY Software User's Guide (2004).

[15] LAN-MAN Standards Committee of the IEEE Computer Society – 802.11 IEEE Standard for Information technology, Specific Requirements – Part 11 : Wireless LAN Medium AccessControl (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications – IEEE standard 802-11 (1999).

[16] C. Guilleminot, L. Andrieux et J.J.Mercier – A contribution to a virtual prototyping for a spread spectrum telecommunication system using VHDL-AMS – BMAS'05, San Jose, Californie, USA (Septembre 2005).

[17] ZigBee Alliance – ZigBee Specification – ZigBee Document 053474r06, version 1.0 (2005).

[18] A. van den Bossche, T. Val et E. Campo – Une methode d'accès totalement deterministe pour un reseau personnel sans fil – 8ieme congres de l'Ecole Doctorale Systemes de Toulouse (EDSYS'07), Albi, France (Mai 2007).

[19] E. Bouyer et E. Horlait – Bandwidth Management and Reservation over Shared Media – Segundo Seminario Franco-Brasileiro em Sistemas Informaticos Distribuirdos (SFBSID'97) Fortaleza, Brazil (1997).

[20]: "PICDEM™ Z Demo Kit User's Guide" (DS51524) <http://www.microchip.com>.

[21]: ZENA™ WIRELESS NETWORK ANALYZER USER'S GUIDE
<http://www.microchip.com>.

Glossaire:

- ✦ QoS : la Qualité de Service.
- ✦ WPAN : Réseaux personnels sans fils.
- ✦ HomeRF : *Home Radio Fréquence*.
- ✦ IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- ✦ irDA : infrared data association.
- ✦ WLAN: Wireless Local Area Network.
- ✦ WiFi : Wireless Fidelity.
- ✦ hiperLAN2: High Performance Radio LAN 2.0.
- ✦ DECT : Digital Enhanced Cordless Télécommunication.
- ✦ WMAN: Wireless Metropolitan Area Network.
- ✦ BLR : boucle locale radio.
- ✦ WLL : Wireless Local Loop.
- ✦ WWAN: pour *Wireless Wide Area Network*.

- ✦ GSM: *Global System for Mobile*.
- ✦ GPRS: *General Packet Radio Service*.
- ✦ UMTS : *Universal Mobile Télécommunication System*.

- ✦ WIMAX: *World Interoperability for Microwave Access*.
- ✦ SGSN : Service GPRS Support Node.
- ✦ GGSN: Gateway GPRS Support Node.
- ✦ ETSI : Institut Européen de Normalisation des Télécommunication.
- ✦ WiMax: *Worldwide Interoperability for Microwave Access*.
- ✦ ATM : Asynchrones Transfer Mode.
- ✦ PCR: Peak Cell Rate.
- ✦ MCR:Min Cell Rate.
- ✦ SCR: Sustainable Cell Rate.
- ✦ CTD: Cell Transfert Delay.
- ✦ CDV: Cell Delay Variation.
- ✦ CLR: Cell Loss Ratio.
- ✦ CBR : Constant Bit Rate.
- ✦ RT-VBR: Real Time-Variable Bit Rate.
- ✦ NRT-VBR: Non Real Time-Variable Bit Rate.
- ✦ ABR : Available Bit Rate.
- ✦ UBR: Unspecified Bit Rate.
- ✦ IntServ : INTegrated SERVICES.
- ✦ RSVP : protocole de signalisation.
- ✦ DiffServ : DIFFerentiated SERVICES.
- ✦ DSCP : Differentiated Services CodePoint.
- ✦ FFD : Full Function Device.
- ✦ RFD : Reduced Function.
- ✦ SAP : Points d'Accès de Service.
- ✦ GTS : Guaranteed Time Slots.
- ✦ PDS: Previously Dedicated Slot.
- ✦ TDMA: Time division multiple access.
- ✦ CSMA/CA : Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance.

◆ SSCS: Solid-State Circuits Society.

Table des figures:

1.1 Différents types de réseaux sans fil et portées typiques.....	12
1.2 Les catégories de réseaux sans fils.....	13
1.3 Topologie point a point de Bluetooth.....	15
1.4 Topologie Piconet de Bluetooth.....	16
1.5 Topologie Scatternet de Bluetooth.....	17
1.6 Topologie Infrastructure de 802.11.....	18
1.7 Topologie Ad-hoc de 802.11.....	19
1.8 Architecture de La Boucle Locale Radio.....	20
1.9 Station de base.....	22
1.10 Moyen de connexion en GPRS.....	23
1.11 Architecture (GSM, GPRS, UMTS).....	25
1.12 Place de WIMAX dans les technologies hertziennes.....	26
1.13 Illustration du protocole RSVP.....	33
2.1 Topologies de réseau proposé par IEEE 802.15.4 et ZigBee.....	40
2.2 Le principe générique de l'encapsulation.....	43

2.3 Communication respectant le protocole normalisé.....	44
2.4 La pile protocolaire 802.15.4 / ZigBee.....	45
2.5 Principe d'interfaçage entre couches et SAP pour ZigBee.....	47
2.6 Structure du paquet de niveau physique.....	50
2.7 représente la structure d'une super trame IEEE 802.15.4.....	51
2.8 Répartition des bracons de chaque coordinateur dans la super trame.....	55
3.1 LA CARTE PICDEM™ Z DEMONSTRATION-KIT.....	60
3.2 La carte mère PICDEM™ Z.....	62
3.3 Carte mère de PICDEM™ Z.....	63
3.4 : Brochage de Connecteur J2	66
3.5: MRF24J40MA PICDEM™ Z 2.4 GHz RF BOARD.....	69
3.6: schéma de la carte MRF24J40MA PICDEM™ Z GHz RF.....	69
3.7: PICDEM™ Z MRF24J40 2.4 GHZ DAUGHTER CARD.....	71
3.8 PICDEM Z MRF24J40 2.4 GHz Daughter Card.....	72
3.9 ™ ZENA SANS FIL analyseur de réseau.....	74
3.10 Zena ™logiciel fenêtre principal de l'analyseur.....	75
3.11 Un carrefour a deux voies.....	77
3.12 Schéma structurel de la carte.....	78
3.13 Câblage d'un feu de carrefour.....	79
3.14 Logiciel Flowcode.....	80
3.15 Configuration de Flowcode.....	81
3.16 Le lancement de MPLAB IDE.....	81
3.17 Lancement de la connection.....	82
3.18 Programme de test.....	83
3.19 Création deBP1.....	84

3.20 Programme pour tester BP2.....	85
-------------------------------------	----

Liste des tableaux :

Tab 2.1 Zigbee par rapport à d'autres protocoles sans fil.....	38
Tab 3.1 PICDEM™ Z nombres d'élément.....	60
Tab 3.2 jumpers.....	66