

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



جامعة بجاية  
Tasdawit n'Bgayet  
Université de Béjaïa

Université A. MIRA – BEJAIA

Faculté de Technologie

Département de Génie électrique



**Mémoire de fin de cycle**

En vue de l'obtention du diplôme de

**MASTER**

En GENIE ELECTRIQUE

**Option : Télécommunication**

Par GUISSI Yasmine

*Thème*

**Etude de la technique de gestion  
d'un réseau sans fil basé sur le  
standard 802.16**

**Encadreurs :** Mr A. KHIREDDINE

Melle H. HAMADI

**Président :** Mr ALLICHE

**Examineur :** Mr BERRAH

**Promotion 2012/2013**

*A mes très chers parents qui pendant toute leurs vie ont fait en sorte que je réussisse et que je sois heureuse, je ne peux trouver les mots justes et sincères pour vous exprimer mon affection, et ma reconnaissance*

*A mes grands-parents qui représentent pour moi bien plus qu'ils ne peuvent imaginer, vous avez toujours été présent pour moi, toujours soutenu, je vous adore*

*A mon frère qui malgré nos chamailleries à une place énorme dans mon cœur qu'il ne quittera jamais*

*A mon mari, à qui je dédierai le restant de ma vie, l'homme qui fait de moi une meilleure personne, qui a cru et qui croit toujours en moi,*

*A ma petite sœur de cœur Amel, ma moitié, qui malgré à des kilomètres de moi, ne quitte jamais mon esprit,*

*Et à toute ma famille, et mes amis, ceux et celles qui ont toujours étaient là.*

---

## REMERCIEMENTS

*Arrivée au terme de ce travail, il m'est tout naturel de remercier en premier lieu, mes encadreurs Mr KHIREDDINE et Melle HAMADI, pour leurs disponibilité, leurs conseils, leurs patience et leurs encouragements.*

*Je remercie les membres du jury qui m'ont fait l'honneur d'être présents, de s'être penché sur mon travail et de l'avoir examiné.*

*Je tiens à remercier Melissa, une amie très chère à mes yeux qui a toujours été présente, qui a été patiente et qui m'a encouragé durant toute cette période.*

*Je remercie aussi mon oncle Nabil pour toute l'aide qu'il m'a apporté, le temps qu'il m'a consacré*

*Et merci à tous ceux et celles qui ont contribué de près ou de loin, à l'élaboration de ce modeste travail.*

# SOMMAIRE

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

INTRODUCTION GENERALE.....1

## CHAPITRE I : PROPAGATION DANS UN ENVIRONNEMENT RADIO MOBILE

|         |  |    |
|---------|--|----|
| I.1     | Introduction .....                         | 3  |
| I.2     | Les ondes électromagnétiques :.....        | 3  |
| I.3     | Mécanismes de propagation .....            | 5  |
| I.3.1   | Propagation des ondes radio :.....         | 5  |
| I.3.2   | Propagation en espace libre :.....         | 5  |
| I.3.3   | Propagation par multi trajets:.....        | 7  |
| I.3.3.1 | La réflexion :.....                        | 8  |
| I.3.3.2 | La diffraction :.....                      | 9  |
| I.3.3.3 | La diffusion :.....                        | 9  |
| I.4     | Le canal radio mobile :.....               | 9  |
| I.4.1   | Modélisation du canal radio mobile :.....  | 10 |
| I.4.2   | Conséquences des trajets multiples :.....  | 10 |
| I.4.2.1 | Evanouissement “fading“ de Rayleigh :..... | 10 |
| I.4.2.2 | Effet doppler :.....                       | 11 |
| I.4.3   | Paramètres du canal radio mobile :.....    | 11 |

|         |                                      |    |
|---------|--------------------------------------|----|
| I.4.3.1 | Affaiblissements de parcours : ..... | 11 |
| I.4.3.2 | Modèles de prédiction : .....        | 12 |
| I.5     | Conclusion.....                      | 17 |

## **CHAPITRE II : LES RESEAUX SANS FILS**

|          |  |    |
|----------|--|----|
| II.1     | Introduction .....   | 20 |
| II.2     | Les réseaux sans fil .....   | 20 |
| II.2.1   | Réseaux personnels sans fil (WPAN : Wireless Personnel Area Network).....                | 21 |
| II.2.1.1 | Le Bluetooth.....  | 21 |
| II.2.1.2 | Home RF .....  | 21 |
| II.2.1.3 | Le réseau Zigbee .....   | 21 |
| II.2.1.4 | L'infrarouge .....   | 22 |
| II.2.2   | Réseaux locaux sans fil (WLAN : Wireless Local Area Network).....                        | 22 |
| II.2.2.1 | Le Wi-Fi (Wireless Fidelity).....  | 22 |
| II.2.2.2 | L'HiperLAN (High Performance Radio LAN).....   | 22 |
| II.2.3   | Réseaux étendus sans fil (WWAN : Wireless Wide Area Network) .....                       | 23 |
| II.2.3.1 | GSM (Global System for Mobile communication).....  | 23 |
| II.2.3.2 | GPRS (General Packet Radio Services) et EDGE (Enhanced Data rate for GSM Evolution)..... | 24 |
| II.2.3.3 | UMTS (Universal Mobil Telecommunication System).....                                     | 25 |
| II.2.4   | Réseau Métropolitain (WMAN: Wireless Metropolitan Area Network).....                     | 26 |
| II.3     | Topologie des réseaux sans fil .....   | 26 |
| II.3.1   | Réseaux AD-HOC (point à point).....  | 26 |
| II.3.2   | Point à multipoint .....   | 26 |
| II.4     | Les normes .....   | 27 |
| II.5     | Le modèle OSI .....  | 30 |
| II.6     | Conclusion.....  | 32 |

## **CHAPITRE III :ÉTUDE DE LA TECHNOLOGIE WiMAX**

|             |   |    |
|-------------|---|----|
| III.        | Introduction .....                              | 36 |
| III.1       | L'historique du WiMAX .....                     | 36 |
| III.1.1     | Naissance du WiMAX .....                        | 36 |
| III.1.2     | L'évolution des standards .....                 | 36 |
| III.2       | L'architecture du réseau WiMAX .....            | 38 |
| III.2.1.1   | Le sous-système radio ASN .....                 | 41 |
| III.2.1.1.1 | Les équipements de l'ASN.....                   | 42 |
| III.2.1.1.2 | Les profils de l'ASN.....                       | 43 |
| III.2.1.1.3 | Bilan de liaison.....                           | 44 |
| III.2.1.2   | Connectivité Service Network (CSN) .....        | 44 |
| III.3       | Architecture en couche de la norme 802.16 ..... | 45 |
| III.3.1     | La couche MAC .....                             | 46 |
| III.3.1.1   | La sous-couche SSCS .....                       | 46 |
| III.3.1.2   | La sous-couche CPS .....                        | 46 |
| III.3.1.3   | La sous-couche PS .....                         | 46 |
| III.3.2     | Interconnexion couche MAC/couche physique ..... | 47 |
| III.3.2.1   | FDD .....                                       | 47 |
| III.3.2.2   | TDD .....                                       | 48 |
| III.3.3     | La couche physique.....                         | 49 |
| III.3.3.1   | Techniques de multiplexage .....                | 49 |
| III.3.3.1.1 | OFDM .....                                      | 49 |
| III.3.3.1.2 | OFDMA.....                                      | 51 |
| III.3.3.2   | MIMO .....                                      | 53 |

|             |  |    |
|-------------|--|----|
| III.3.3.3   | Modulation adaptative .....                                      | 54 |
| III.4       | Architecture en couche de la norme 802.16e ou WIMAX MOBILE ..... | 55 |
| III.4.1     | La couche physique.....  | 55 |
| III.4.1.1   | Technique d'accès multiple SOFDMA .....                          | 56 |
| III.4.2     | La couche MAC .....  | 56 |
| III.4.2.1   | Gestion de la qualité de service .....                           | 56 |
| III.4.2.2   | La sécurité.....   | 56 |
| III.4.2.3   | Gestion de la mobilité.....                                      | 58 |
| III.4.2.3.1 | Contrôle de puissance.....                                       | 58 |
| III.4.2.3.2 | Handover .....   | 58 |
| III.5       | Applications des réseaux WIMAX .....                             | 60 |
| III.5.1     | La desserte .....  | 60 |
| III.5.2     | La collecte .....  | 60 |
| III.5.3     | Connecter les endroits inaccessibles .....                       | 60 |
| III.5.4     | Autres applications : .....                                      | 61 |
| III.5.4.1   | voIP.....  | 61 |
| III.5.4.2   | VPLS .....   | 61 |
| III.6       | Conclusion .....   | 61 |

## CHAPITRE IV : SIMULATION D'UN RESEAU WiMAX MOBILE AVEC OPNET

|          |  |    |
|----------|--|----|
| IV.1     | Introduction .....                     | 64 |
| IV.2     | Présentation du logiciel OPNET .....   | 64 |
| IV.3     | La simulation.....                     | 68 |
| IV.3.1   | Les paramètres du système .....        | 68 |
| IV.3.2   | Le réseau .....                        | 69 |
| IV.3.3   | Traduction des résultats .....         | 70 |
| IV.3.3.1 | Cas du Handover .....                  | 72 |
| IV.3.3.2 | Cas de transmission sans Handover..... | 73 |
| IV.4     | Conclusion.....                        | 74 |

|                                 |           |
|---------------------------------|-----------|
| <b>CONCLUSION GENERALE.....</b> | <b>75</b> |
|---------------------------------|-----------|

**Glossaire**

**Annexe**

**Références Bibliographique**







# Liste des abréviations

**AAA:** Authentication, Authorization, and Accounting

**ADSL:** Asymmetric Digital Subscriber Line

**AES:** Advanced Encryption Standard

**ATM:** Asynchronous Transfert Mode

**ASN:** Access Service Network

**ASN-GW:** Access Service Network Gateway

**ASP:** Application service provider

**CBC-MAC:** Cipher block chaining message authentication code

**CCM:** Counter with CBC-MAC

**CPS:** CommonPart Sublayer

**CSN:** Connectivity service network

**EDGE:** Enhanced data rate for GSM evolution

**EAP:** Extensible Authentication Protocol

**ETSI:** European Telecommunications Standards Institute

**FDD:** Frequency Division Duplexing

**FTP:** File Transfert Protocol

**FUSC:** Full Usage of Subchannels

**GSM:** Global System for Mobile communication

**GMSK:** Gaussian Minimum Shift Keying

**GPRS:** General packet radio system

**Hiper LAN:** High Performance Radio LAN

**Home RF:** Home Radio Frequency

**HTTP:**HyperTexteTransfert Protocol

**IEEE:** Institute of Electrical and Electronics Engineers

**IFFT:** Inverse Fast Fourier Transform

**IP:** Internet Protocol

**MAC:** Media Access Control

**MIMO:** Multiple-Input Multiple-Output

**NAP:** Network Access Provider

**NSP:** Network Service Provider

**OFDM:** Orthogonal Frequency Division Multiplexing

# Liste des abréviations

**OFDMA:** Orthogonal Frequency Division Multiple Access

**OSI:** Open Systems Interconnection

**PMP :** Point à Multi Points

**PS :** PrivacySublayer

**PUSC:** Partial Usage of Subchannels

**QoS:** Quality of service

**QPSK:** Quadrature Phase-Shift Keying

**SC:** Single Carrier

**SISO:** Single Input Single Output

**SMTP:** Simple Mail Transfert Protocol

**SSCS:** Service SpecificConvergence Sublayer

**TCP:** Transmission Control Protocol

**TDCDMA:** Time Division Code Division Multiple Access

**TDD:** Time Division Duplexing

**UMTS:** Universal mobile telecommunication system

**USIM:** Universal Subscriber Identity Module

**VoIP:** Voice over IP

**VPLS:** Virtual private LAN service

**VPN:** Virtual private network

**WCDMA:** Wideband Code Division Multiple Access Evaluation

**Wi-Fi:** Wireless Fidelity

**WiMax:** Worldwide Interoperability for Microwave Access

**WLAN:** Wireless Local Area Network

**WMAN:** Wireless Metropolitan Area Network

**WPAN:** Wireless Personnel Area Network

**WWAN:** Wireless Wide Area Network

# Liste des figures

|   |    |
|---|----|
| <b>Figure I-1</b> : « Onde électromagnétique » .....                                  | 3  |
| <b>Figure I-2</b> : « Spectre des ondes électromagnétique » .....                     | 4  |
| <b>Figure I-3</b> : « Propagation en espace libre » .....                             | 5  |
| <b>Figure I-4</b> : « Représentation des zones de Fresnel » .....                     | 6  |
| <b>Figure I-5</b> : « Mécanismes de propagation » .....                               | 8  |
| <b>Figure I-6</b> : « Modèle de Bertoni-Walfish » .....                               | 15 |
| <b>Figure I-7</b> : « Géométrie du modèle IKEGAMI » .....                             | 17 |
| <b>Figure II-1</b> : « Principe du Handover » .....                                   | 20 |
| <b>Figure II-2</b> : « Topologie point à point et point à multipoints » .....         | 27 |
| <b>Figure II-3</b> : « Les différentes normes de l'IEEE des réseaux sans fils » ..... | 28 |
| <b>Figure II-4</b> : « Différences de couches OSI et TCP/IP » .....                   | 32 |
| <b>Figure III-1</b> : « Les différentes structures du WiMax » .....                   | 39 |
| <b>Figure III-2</b> : « Modèle de référence du réseau WiMax » .....                   | 40 |
| <b>Figure III-3</b> : « Schéma bloc de l'ASN » .....                                  | 42 |
| <b>Figure III-4</b> : « Profils de l'ASN » .....                                      | 44 |
| <b>Figure III-5</b> : « Les couches protocolaires du 802.16 » .....                   | 45 |
| <b>Figure III-6</b> : « Principe du FDD » .....                                       | 48 |
| <b>Figure III-7</b> : « Principe du TDD » .....                                       | 48 |
| <b>Figure III-8</b> : « La modulation OFDM » .....                                    | 50 |
| <b>Figure III-9</b> : « La modulation OFDMA » .....                                   | 52 |
| <b>Figure III-10</b> : « Principe du MIMO » .....                                     | 54 |
| <b>Figure III-11</b> : « Couche physique adaptative » .....                           | 55 |
| <b>Figure IV-1</b> : « Project Editor » .....   | 65 |
| <b>Figure IV-2</b> : « Network Project Editor » .....                                 | 65 |
| <b>Figure IV-3</b> : « Node Model Editor » .....                                      | 66 |
| <b>Figure IV-4</b> : « Process Model Editor » .....                                   | 67 |
| <b>Figure IV-5</b> : « Topologie du réseau » .....                                    | 69 |
| <b>Figure IV-6</b> : « Trafic reçu par la MS » .....                                  | 70 |
| <b>Figure IV-7</b> : « Trafic reçu par les BS » .....                                 | 71 |
| <b>Figure IV-8</b> : « Paramètres du Handover » .....                                 | 72 |
| <b>Figure IV-9</b> : « Durée du Handover » .....                                      | 73 |

# Liste des tableaux

|  |    |
|--|----|
| <b>Tableau II-1</b> :« Les caractéristiques du GSM » .....                   | 24 |
| <b>Tableau II-2</b> :« Les caractéristiques de l'UMTS» .....                 | 25 |
| <b>Tableau II-3</b> :« Les dérivées du WiFi et leurs caractéristiques» ..... | 30 |
| <b>Tableau II-4</b> :« Les 7 couches du modèle OSI » .....                   | 31 |
| <b>Tableau II-5</b> :« différences de couches OSI et TCP/IP » .....          | 31 |
| <b>Tableau III-1</b> :« Les différentes normes 802.16 » .....                | 37 |
| <b>Tableau III-2</b> :« Classification de Qos » .....                        | 57 |
| <b>Tableau IV-1</b> : « Configuration du système » .....                     | 68 |

# Introduction générale

# Introduction générale

L'industrie des communications se dirige vers un transfert de données sans fil à grande vitesse et plusieurs technologies concurrentes font leur apparition pour remplacer les anciens. Le réseau local sans fil traditionnel (WLAN) a acquis une place solide sur le marché et est certainement le leader pour les réseaux sans fil à courte distance. Toutefois, la couverture et la mobilité sont adéquates pour une utilisation en intérieur uniquement. Le WiMAX mobile est prévu pour être indépendant ou d'étendre l'accès mobile quand un utilisateur quitte la zone de couverture WiFi hotspot.

Ce projet présente un nouvel amendement le 802.16 généralement connu sous le nom WiMAX. Sous deux versions, le WiMax révolutionne les réseaux sans fil avec la version fixe 802.16-2004, mais celle qui fait plus parler d'elle est la norme 802.16e-2005, ou le WiMAX Mobile, qui présente la nouvelle fonctionnalité la plus importante, le soutien transferts, ce qui peut être considéré comme une condition de base pour un système de communication mobile. Le WiMAX mobile introduit l'OFDMA évolutive, ce qui est un schéma de multiplexage qui permet d'ajuster la bande passante en fonction des conditions physiques du canal utilisé à un certain moment. Cela rend possible le déploiement souple de différents milieux avec caractéristiques de propagation différentes

Dans cette logique, le rapport sera divisé en quatre parties.

Dans le premier chapitre on traite la propagation des ondes, point important dans les réseaux sans fil car ils exploitent les multi trajets comme avantage cause de couverture réseau faisant face aux conditions de l'environnement qui ne permettent pas un déploiement LOS (Line of sight : en vue direct).

Le deuxième chapitre résumera les différents réseaux sans fil existants, leurs caractéristiques, avantages et inconvénients ainsi il nous permettra de voir la différence entre chacun.

Le troisième chapitre sera consacré à une présentation générale puis détaillée du WIMAX en explorant les spécificités des couches physiques et MAC ainsi que l'exploration de l'architecture du réseau WIMAX avant de passer aux applications qu'il permet d'offrir.

Le quatrième et dernier chapitre fera l'objet d'un exemple de simulation du mécanisme régi par le WiMax étant le Handover.



# Chapitre I

Propagation dans un environnement  
radio mobile

|         |  |    |
|---------|--|----|
| I.1     | Introduction .....                         | 3  |
| I.2     | Les ondes électromagnétiques :.....        | 3  |
| I.3     | Mécanismes de propagation .....            | 5  |
| I.3.1   | Propagation des ondes radio :.....         | 5  |
| I.3.2   | Propagation en espace libre :.....         | 5  |
| I.3.3   | Propagation par multi trajets: .....       | 7  |
| I.3.3.1 | La réflexion :.....                        | 8  |
| I.3.3.2 | La diffraction :.....                      | 9  |
| I.3.3.3 | La diffusion :.....                        | 9  |
| I.4     | Le canal radio mobile :.....               | 9  |
| I.4.1   | Modélisation du canal radio mobile :.....  | 10 |
| I.4.2   | Conséquences des trajets multiples :.....  | 10 |
| I.4.2.1 | Evanouissement “fading“ de Rayleigh :..... | 10 |
| I.4.2.2 | Effet doppler :.....                       | 11 |
| I.4.3   | Paramètres du canal radio mobile :.....    | 11 |
| I.4.3.1 | Affaiblissements de parcours :.....        | 11 |
| I.4.3.2 | Modèles de prédiction :.....               | 12 |
| I.5     | Conclusion.....                            | 17 |

## I.1 Introduction

Ce chapitre est consacré à l'ingénierie radio qui constitue l'un des aspects les plus importants lors du déploiement d'un réseau dans la mesure où elle est responsable du niveau de la qualité de service offerte aux abonnés.

La propagation de l'onde radio est caractérisée par les obstacles qu'elle rencontre et les sources de brouillage intervenant. Leurs impacts sur l'onde ne sont pas facilement maîtrisables, c'est pour cela que l'interface radio est la plus délicate dans les systèmes de radio communication, et la résolution de ces problèmes dans un environnement radio mobile nécessite une bonne connaissance des phénomènes de propagation (réflexion, diffraction ...).

## I.2 Les ondes électromagnétiques

Les communications sans fils sont à base d'onde radio. Une onde est le résultat de l'association des deux composantes : le champ électrique  $E$  et le champ magnétique  $B$ . Les deux champs sont perpendiculaires l'un à l'autre, avec amplitudes en rapport constant et variations en phase.

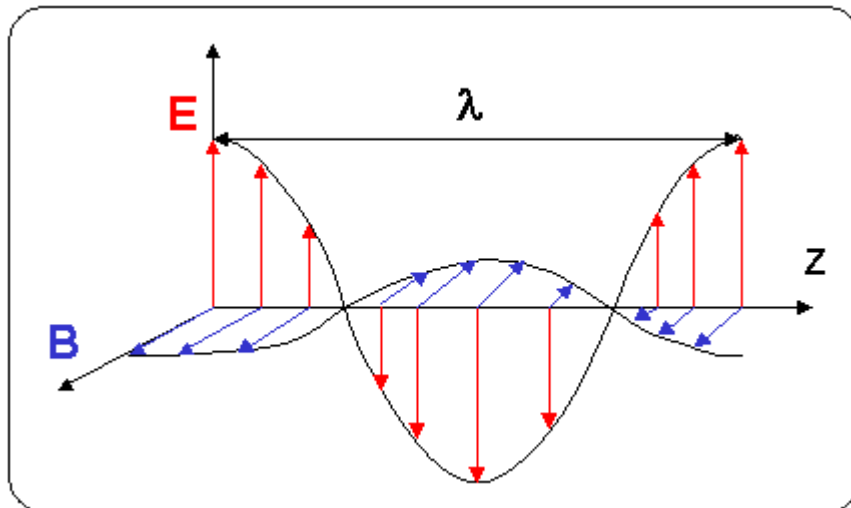


Figure I .1 Onde électromagnétique

Dans le vide, ces ondes se propagent à une vitesse égale à  $3.10^8 \text{ ms}^{-1}$  (vitesse de la lumière), cette vitesse dépend du milieu dans lequel l'onde se propage.

L'onde électromagnétique est caractérisée par les grandeurs physiques suivantes :

- La longueur d'onde ( $\lambda$ ) : Elle représente la distance entre deux sommets successifs d'une onde, s'exprimant en mètre (m).
- La période (T) : Elle indique le temps nécessaire pour que l'onde effectue un cycle. Se mesure en seconde (s).
- La fréquence (f) : Elle représente le nombre d'oscillations de l'onde par seconde. Se mesure en Hertz (Hz). Plus la fréquence est élevée, plus petite sera la longueur d'onde  $\lambda$ . Elles sont liées par la formule suivante :  $\lambda = c/f$
- Classification des ondes :  
Les ondes électromagnétiques sont classées comme suit :

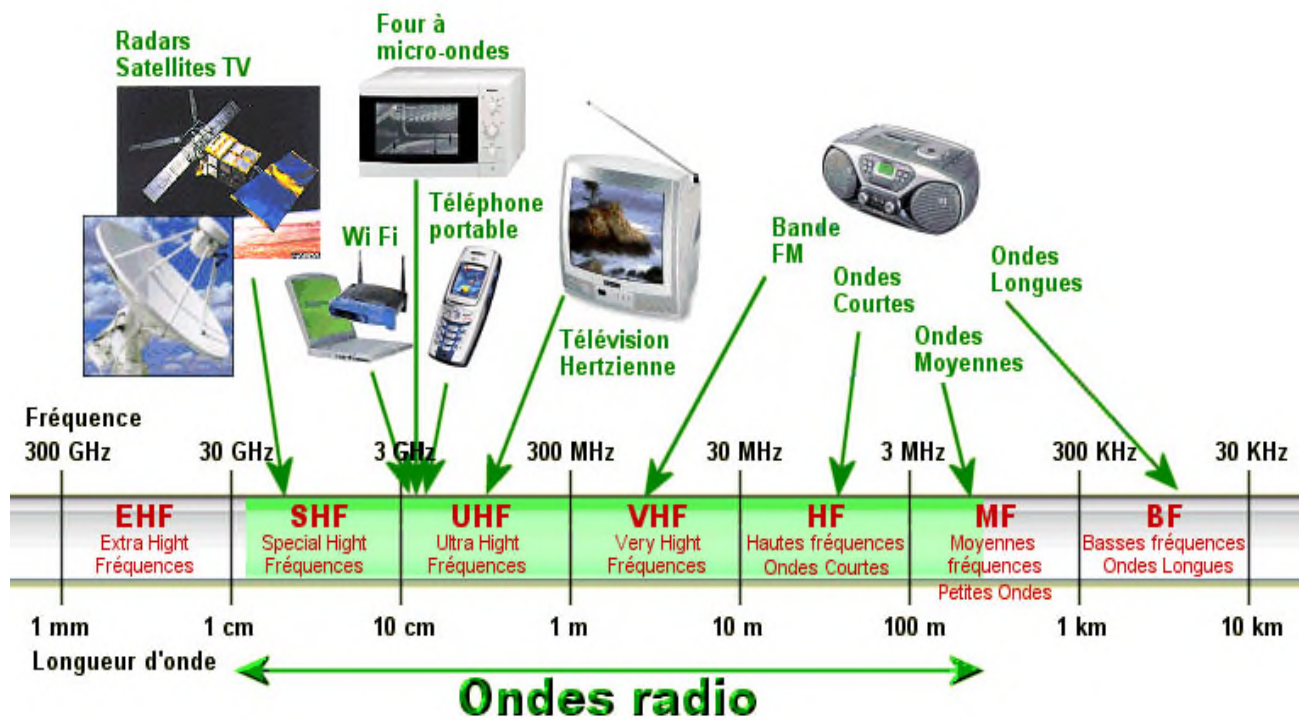


Figure I .2 Spectre des ondes électromagnétiques

### I.3 Mécanismes de propagation

#### I.3.1 Propagation des ondes radio :

La propagation est le déplacement des ondes électromagnétiques dans des milieux. On en distingue deux catégories :

- En espace libre (air, vide, verre ...)
- Guidée (lignes, guides d'ondes, câble, fibre optique...)

Dans ce projet nous nous intéresserons à la propagation sans un canal radio mobile, nous verrons donc ses caractéristiques, et les phénomènes de propagation qui résultent lors de la propagation.

#### I.3.2 Propagation en espace libre :

Se produit lorsqu'on a l'émetteur en visibilité direct (ou LOS : Line Of sight) du récepteur, il n'existe qu'un seul trajet, les ondes ne trouvent pas d'obstacles pour une quelconque réflexion.

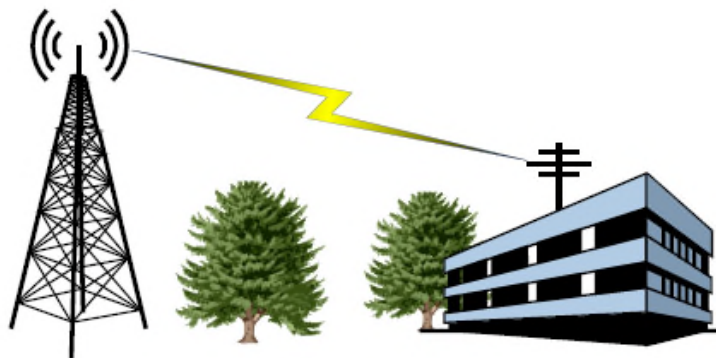


Figure I .3 propagation en espace libre

L'étude des ondes électromagnétiques entre un émetteur E et un récepteur R conduit à subdiviser l'espace de propagation en une famille d'ellipsoïdes de Fresnel, ayant comme foyer les points E et R.

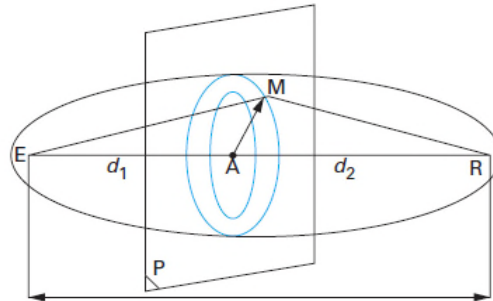


Figure I .4 représentation des zones de Fresnel

Tel qu'un point quelconque M d'un de ces ellipsoïdes satisfait la relation suivant [5] :

$$EM + RM = ER + n \frac{\lambda}{2} \quad (I-1)$$

Où

n : nombre entier caractérisant l'ellipsoïde considéré

$\lambda$ : longueur d'onde

Le rayon du  $n^{\text{ième}}$  ellipsoïde en un point du parcours situé à la distance  $d_2$  de R ( $d_1+d_2$ , sous réserve que les distances  $d_1$  et  $d_2$  soient grandes par rapport aux rayons des ellipsoïdes) est donné par la relation suivantes [5] [12] :

$$r_n = \sqrt{\frac{n \lambda d_1 d_2}{d_1 + d_2}} \quad (I-2)$$

Ce qui est schématisé comme suit

D'après l'équation de Friis (équation des télécommunications), la puissance reçue s'écrit comme suit [12] :

$$P_r = \frac{P_e G_e G_r \lambda^2}{(4 \pi d)^2} \quad (\text{watt}) \quad (\text{I -3})$$

Avec :

$P_e$  : puissance émise,

$G_e$  : gain à l'émission

$G_r$  : gain à la réception

$\lambda$  : longueur d'onde

$d$  : distance entre l'émetteur et le récepteur

$f$  : fréquence du signal

L'affaiblissement en espace libre est calculé ainsi [5] :

$$L = 32.4 + 20 \log f + 20 \log d \quad (\text{I -4})$$

Les pertes diverses  $L$  ( $L \geq 1$ ) sont généralement dues à l'atténuation de la ligne de transmission, des pertes de filtrages, des pertes d'antennes du système de communication.  $L=1$  indique une absence de pertes dans le matériel du système [4].

### I.3.3 Propagation par multi trajets :

Les ondes électromagnétiques empruntent d'autres trajets de propagation que celui en vue direct, ceux-là subissent différents effets permettant tout de même d'établir des liaisons entre l'émetteur et le récepteur, cette liaison est dite en visibilité indirect (NLOS : None Line Of Sight). Ces effets sont le résultat de l'interaction de l'onde avec des obstacles de différente nature (Bâtiments, eau, arbre, ...).

La transmission est le phénomène qui permet aux ondes de traverser un obstacle (mur, immeuble, ...).

L'onde lorsqu'elle rencontre un obstacle elle se divise, donc la moitié se transmet et l'autre subit l'un des effets cités plus haut.

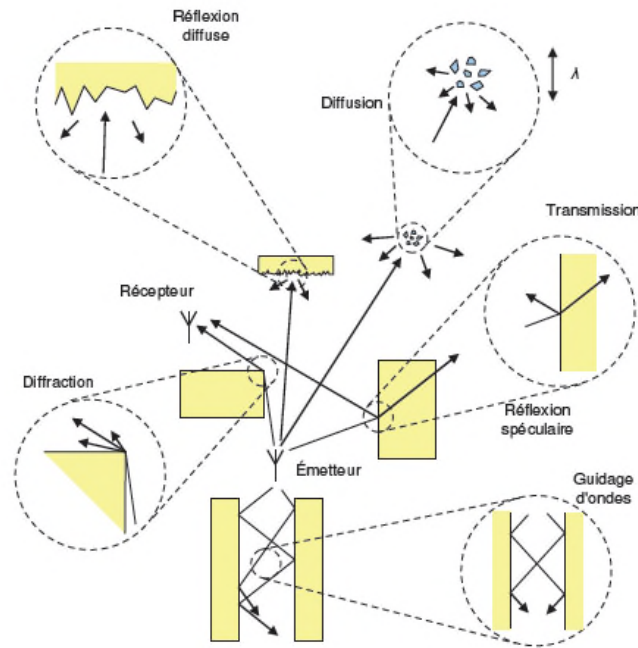


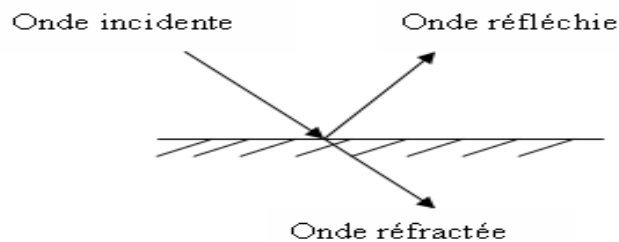
Figure I .5 Mécanismes de propagation.

Le récepteur reçoit les ondes par ces mécanismes qui se produisent en communication comme suit :

### I.3.3.1 La réflexion/réfraction :

Se produit lorsqu'une onde électromagnétique rencontre des surfaces lisses de très grandes dimensions par rapport à sa longueur d'onde ( $\lambda$ ) (surface de la terre, bâtiments et les murs) [16]

Si l'onde se propageant dans un milieu rencontre un deuxième milieu ayant de propriétés différentes ou bien milieu diélectrique parfait, elle est partiellement réfléchi et transmise sans absorption, ce phénomène est régi par les lois de Snell-descartes et Fresnel. Si le 2<sup>ème</sup> milieu est un conducteur parfait on dit que la réflexion est diffuse [2]





On peut noter un changement d'orientation des images à l'intérieur de l'aquarium en fonction de l'angle d'incidence du regard par rapport à la normale à la surface [8].

### **I.3.3.2 La diffraction (shadowing) :**

Se produit lorsqu'un obstacle épais et de grande dimension ou comparable à la longueur d'onde obstrue l'onde électromagnétique entre l'émetteur et le récepteur. Dans ce cas des ondes secondaires sont générées et se propagent derrière l'obstacle [3].

Le principe de diffraction est expliqué par le principe de Huggens qui énonce que tout point sur lequel une onde se diffracte peut être considéré comme une source d'ondes secondaires, ces ondes interfèrent pour donner une onde dans la direction de propagation [2].

On peut donner comme exemple le coucher du soleil, où une partie des rayons lumineux rase la surface terrestre et continue à fournir de la lumière alors que le soleil n'est plus visible [8].

### **I.3.3.3 La diffusion (scattering) :**

Elle se produit lorsque l'onde rencontre un obstacle dont l'épaisseur est de l'ordre de sa longueur d'onde comme par exemple les lampadaires et les feux de circulation. Dans ce cas l'énergie est dispersée dans toutes les directions [3].

Le signal résulte donc d'un ensemble de réflexions dues à des petites surfaces, il est ainsi retourné dans de multiples directions [16].

## **I.4 Le canal radio mobile :**

Un canal de transmission est constitué de tous les éléments se trouvant entre l'émetteur et le récepteur d'un système de transmission. En terme général c'est le milieu physique dans lequel la propagation a eu lieu. Dans le canal radio mobile, le milieu de propagation est l'air.

Une connaissance fine des mécanismes mis en jeu est indispensable à la conception d'une chaîne de communication et à l'estimation des performances optimales. La connaissance du canal de propagation est une étape indispensable pour le dimensionnement de systèmes de communication efficaces et fiables [6].

#### **I.4.1 Modélisation du canal radio mobile :**

La propagation des ondes radio dans les canaux mobile sans fils terrestres est un phénomène caractérisé par une multitude d'effets qui font varier la puissance [10]. La modélisation de la propagation est l'outil de résolution de ces effets. Les méthodes de modélisation sont variées.

#### **I.4.2 Conséquences des trajets multiples :**

Par définition l'onde radio est susceptible de se propager dans plusieurs directions suivant les phénomènes de propagation (réflexion, diffraction ...), un signal source peut être amené à atteindre une station ou un point d'accès en empruntant des trajets multiples. La différence de temps de propagation (appelé délai de propagation) entre deux signaux ayant emprunté des chemins différents peut provoquer des interférences au niveau du récepteur, les données reçues se chevauchent. Plus la vitesse de transmission augmente plus les interférences sont importantes.

Les trajets multiples font courir un risque particulier à la transmission, puisque le signal ne souffre plus seulement des aléas de la propagation sur son trajet mais est aux prises avec des interférences créées par sa propre transmission [9].

Les ondes partielles de la même onde mère et qui arrivent par différents chemins sont différemment retardées, déphasées, et affaiblies, ce qui génère trois problèmes :

- Evanouissement (fading)
- Décalage en fréquence (effet doppler)
- Distorsion de phase par étalement des retards (fading de Rayleigh)

##### **I.4.2.1 Evanouissement "fading" de Rayleigh :**

La variation de la puissance du signal, mesurée à la réception en fonction du temps ou de la distance qui sépare l'émetteur du récepteur est connu sous le nom d'évanouissement "fading" [3]. Deux sortes d'évanouissements sont distingués : "à long terme" et "à court terme".

Le premier se manifeste lorsque la distance entre l'émetteur et le récepteur est importante, il est causé par l'obstruction des ondes par les obstacles ou à la forme du terrain. Cet évanouissement est modélisé d'après des équations qui déterminent l'affaiblissement du parcours (path-loss) [10].

L'évanouissement à court terme se réfère à la variation de l'amplitude et de la phase du signal sur une courte période de temps. Cette variation rapide est due aux trajets multiples, générant des fluctuations, ces dernières sont caractérisées par la loi de Rayleigh pour un environnement urbain (NLOS), et par la loi de Rice pour un milieu rural (LOS) [11].

#### I.4.2.2 Effet doppler :

Le mouvement de l'émetteur ou du récepteur entraîne ce que l'on appelle l'effet doppler. Il correspond au décalage apparent de la fréquence d'un signal électromagnétique provoqué par la variation de son trajet de propagation. Comme le récepteur d'un mobile se déplaçant à une vitesse  $V$  et recevant un signal radio sous forme d'onde plane formant un angle  $\alpha$  avec la direction du mobile, le décalage doppler observé est [2] [12] :

$$V = f \frac{V}{c} \cos \alpha \quad (I-5)$$

Avec

$f$  : fréquence du signal,

$c$  : vitesse de propagation de l'onde.

#### I.4.3 Paramètres du canal radio mobile :

Les paramètres les plus significatifs caractérisant un canal sont l'affaiblissement du parcours, la réponse impulsionnelle ou la fonction de transfert. La caractérisation d'un canal est importante dans la réalisation adéquate d'un dimensionnement réseaux, ainsi que le système de communication (puissance émise/reçue, rayon de couverture ...).

##### I.4.3.1 Affaiblissements de parcours :

L'atténuation d'un signal est de la réduction de la puissance de celle-ci lors d'une transmission, elle est mesurée en [db], est égale à 10fois le logarithme en base 10 de la puissance  $P_2$  à la sortie du support de transmission divisée par la puissance  $P_1$  à l'entrée ainsi [7] :

$$L = 10 * \log \frac{P_2}{P_1} \quad (I-6)$$

Lorsque  $L > 0$  on parle d'amplification, et atténuation lorsque  $L < 0$ .

Dans le cas des réseaux sans fils il s'agit plus particulièrement d'atténuation, et L dépend fortement du matériau composant l'obstacle.

### **I.4.3.2 Modèles de prédiction :**

La prédiction de couverture constitue une fonction essentielle dans le processus d'ingénierie radio. Les paramètres qui caractérisent le canal comme l'affaiblissement du parcours seront grâce à la prédiction de couverture améliorés pour une meilleure qualité de transmission.

Les modèles de prédiction servent à prédire mathématiquement la propagation des fréquences (ondes) radioélectriques entre l'émetteur et le récepteur, ils donnent une idée proche de la réalité pour permettre à un récepteur d'un système de radiocommunication d'établir à l'avance si la projection de celui-ci desservira comme il faut la zone ciblée. Des études statistiques et mathématiques ont donné naissance à des modèles de simulation de la propagation des ondes radios entre émetteur et récepteur, grâce à eux, l'emplacement des antennes est bien étudié pour limiter l'atténuation.

Les modèles de propagation existants sont multiples et ils se différencient par plusieurs paramètres. Les modèles les plus connus seront classés selon les environnements de leur validité à savoir :

#### **1. Les modèles empiriques**

Leur principal avantage est que nous n'avons pas besoin d'une représentation précise de la zone à couvrir. On cite

- **Modèle d'Okumara-hata**

C'est le modèle le plus couramment utilisé. Il est apparu en 1980 et repose sur les mesures d'Okumara. Il tient compte de la fréquence, de la radiosité, de la distance entre l'émetteur et le récepteur et de la hauteur de la station de base et du mobile. Il prend en considération également la nature de l'environnement en qualifiant son degré d'urbanisation (urbain dense, urbain faible ou rural).

Les conditions de validité de ce modèle sont récapitulées ci-dessus :

Pour un environnement urbain, l'affaiblissement a pour expression [13] :

$$L_0 = 69.55 + 26.16 \log(f) - 13.82 \log(h_b) + (44.9 - 6.55 \log(h_b)) \log(d). \quad (\text{I -7})$$

$$a(h_m) = \begin{cases} (1.1 \log(f) - 0.7) h_m - (1.56 \log(f) - 0.8) & \text{moyenne ville.} \\ 8.29 [(1.5 h_m)] - 1.1 & \text{pour } f \leq 200 \text{ MHz, grande ville} \\ 3.2 [\log(11.75 h_m)] - 4.97 & \text{pour } f \geq 200 \text{ MHz, grande ville à forte densité} \end{cases} \quad (\text{I-8})$$

- **Modèle COST 231-HATA**

C'est le modèle empirique le plus utilisé, il sert de base à une grande variété de modèles plus affinés, il est basé sur les mesures faites par Okumura à Tokyo. Les pertes moyennes sont exprimées en fonction de :

- la hauteur de l'antenne d'émission (station de base)  $h_{sb}$  (en m) ;
- la hauteur de l'antenne de réception (le mobile)  $h_m$  (en m) ;
- la Distance D entre la station de base et le mobile
- la fréquence en MHz.

$$C_m = \begin{cases} 0 \text{ dB pour les villes de taille moyenne} \\ 3 \text{ dB pour les grandes villes} \end{cases} \quad (\text{I -9})$$

L'affaiblissement est donné par la formule suivante :

$$L_u = 46.3 + 33.9 \text{ Log}(f) - 13.82 \text{ Log}(h_{sb}) - a(h_m) + (44.9 - 6.55 \text{ Log}(h_{sb})) \text{ Log}(d) + C_m \quad (\text{I -10})$$

- **Modèle d'Elgi**

C'est un modèle empirique, il tient compte des irrégularités du terrain, le facteur du terrain pour 900 MHz a une valeur moyenne de 27.5 dB. La variation du champ dépend de la hauteur de l'antenne de la station de base et de la distance  $D$  entre l'émetteur et le récepteur.

L'affaiblissement moyen pour une hauteur de l'antenne mobile de 1.5m est donné par [4] :

$$L = 139.1 - 20 \log(h_b) + \log(d) \quad \text{(I-11)}$$

- $h_b$  : hauteur de l'antenne de la station de base,
- $d$  : distance entre l'antenne de la station de base et l'antenne de la station mobile.

C'est un modèle d'interprétation systématique des mesures effectuées dans la bande 90-1000MHz. L'inconvénient de ce modèle c'est qu'il tient compte de la diffraction qui est un phénomène important dans la propagation radio.

## 2. Les modèles semi-empiriques

Par opposition aux modèles empiriques, les modèles semi-empiriques s'appuient sur une caractérisation plus précise de la zone à couvrir. Ils font un compromis entre la complexité et la précision. En effet, ils font intervenir à la fois les aspects théoriques et des mesures. Ce qui donne des résultats plus précis que des modèles empiriques.

- **Modèle de BERTONI-WALFISCH**

Le modèle de BERTONI-WALFISCH prend en compte l'influence des immeubles sur une communication radio mobile. Il suppose que la propagation se fait principalement par diffraction au sommet des bâtiments se trouvant au voisinage du récepteur mobile. Il considère que l'affaiblissement de parcours est composé de trois parties [13] :

- L'affaiblissement entre deux antennes en espace libre.

- L'atténuation subite par le champ au sommet de l'immeuble, qui est due aux pertes de diffraction à travers une série de rangées d'immeubles.
- Les pertes de diffraction au sommet de l'immeuble voisin du mobile.

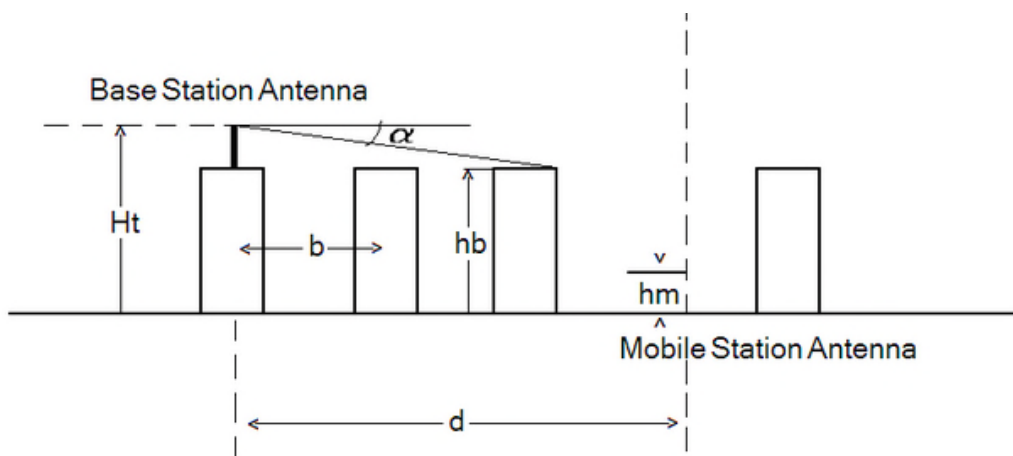
L'affaiblissement total est exprimé comme suit :

$$\text{Aff} = L + \text{Aff}_1 \quad (\text{I -12})$$

Avec :  $\text{Aff}_0$  : est l'affaiblissement en espace libre donné par la relation ( I -4)

$\text{Aff}_1$  : terme correctif qui prend en compte la courbure de la terre et l'environnement urbain.

$$\text{Aff}_1 = 5 \log \left[ \left( \frac{b}{2} \right) + (h_b + h_m)^2 \right] - 9 \log (b) - 20 \log \left\{ \tan^{-1} \left[ \frac{2(h_b - h_m/b)}{b} \right] \right\}. \quad (\text{I -13})$$



**Figure I.6 : modèle de BERTONI-WALFISH**

Où :

$H_t$  : Hauteur de l'antenne en (m).

$b$  : Espace entre le centre des bâtiments

$d$  : Distance entre la Station de base et le mobile

$h_b$  : Hauteur des bâtiments en (m)

$h_m$  : Hauteur de la station mobile en (m)

Ce modèle est applicable aux zones urbaines et suburbaines. Il suppose que les hauteurs des antennes des stations de bases sont assez élevées et entourées par des rangées

d'immeubles de même hauteur et régulièrement espacées d'une distance  $d$ . Autrement dit, il suppose que les rues sont perpendiculaires aux rayons incidents

- **Modèle de IKEGAMI-WALFISH :**

Ce modèle combinant les approches empiriques et déterministes pour calculer les pertes de propagation en milieu urbain. Il prend en compte aussi la perte de propagation en espace libre, la perte par diffraction, la perte entre les toits des bâtiments voisins et l'influence des routes où le mobile est situé. Les paramètres intervenant dans ce modèle sont les suivants :

- $f$  : Fréquence porteuse (MHz) :  $800 \leq f \leq 2000$ .
- $h_{TX}$  : Hauteur d'antenne (m) de la station de base par rapport au sol :  $4 \leq h_{TX} \leq 50$ .
- $h_{RX}$  : Hauteur d'antenne (m) de la station mobile par rapport au sol :  $1 \leq h_{RX} \leq 3$ .
- $h_{Roof}$  : Hauteur moyenne (m) des bâtiments :  $h_{Roof} \geq h_{RX}$ .
- $W$  : Largeur de la route (m) où le mobile est situé (elle est égale à  $b/2$  s'il n'y a pas d'indication).
- $b$  : Distance (Km) entre les centres de bâtiments (elle est comprise entre 20 et 50 s'il n'y a pas d'indication).
- $d$  : Distance (Km) entre le BS et le mobile :  $0.02 \leq d \leq 5$ .
- $\alpha$  : Angle (en degrés) qui fait le trajet avec l'axe de la route (elle est égale à 90 s'il n'y a pas d'indication).

$$\Delta h_{TX} = h_{TX} - h_{Roof} : \text{Hauteur de BS au-dessus des toits.}$$

$$\Delta h_{RX} = h_{Roof} - h_{RX} : \text{Hauteur de MS au-dessous des toits.}$$

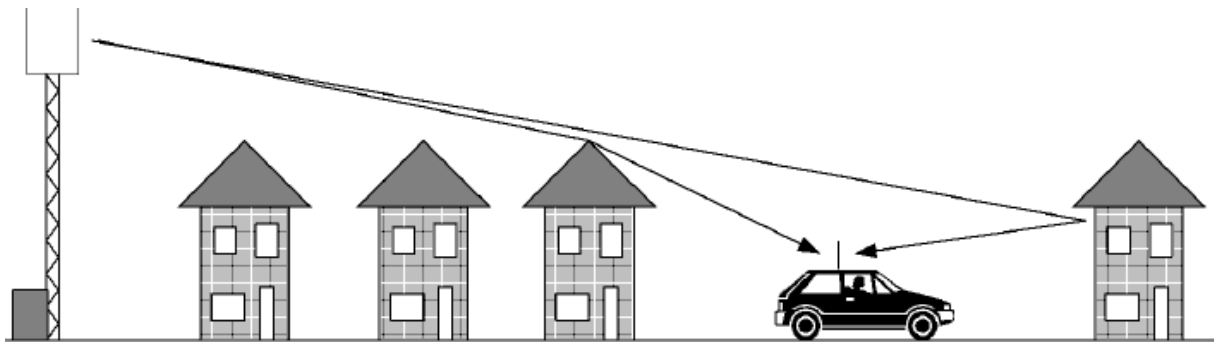
### 3. Les modèles déterministes

Les modèles déterministes donnent des résultats beaucoup plus précis mais requièrent une quantité importante d'information sur la zone où ils vont être appliqués. De plus, ils nécessitent un temps de calcul long. Ils sont généralement réservés à des lieux particuliers où les autres modèles ne peuvent pas être utilisés. Ils reposent sur des calculs d'optique géométrique (réflexion, diffraction, etc.). Cette méthode est appelée méthode de rayons.



- **Modèle d'IKEGAMI**

Il est basé sur la théorie de l'optique géométrique, où l'on considère la propagation de l'onde limitée en deux rayons. Il suppose par ailleurs, une structure idéale d'une ville avec une hauteur des bâtiments uniforme.



**Fig1.7 : Géométrie du modèle d'IKEGAMI**

## **I.5 Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons abordé différents modèles de prédiction de propagation dans un environnement radio mobile.

L'étude et la modélisation de la propagation dans un environnement radio mobile a permis de distinguer deux modes de propagation : propagation en espace libre et propagation à trajets multiples.

Cette distinction nous a permis de mettre en évidence que les ondes radio vont être généralement dépendantes de la structure de la scène géographique.

Par ailleurs, la caractérisation du canal radio mobile reste toujours le souci majeur des concepteurs de réseaux mobile. La modélisation est l'un des outils les plus utilisés qui existent actuellement pour la résolution de ce problème.

# Chapitre

## II

Les réseaux sans fils

|          |  |    |
|----------|--|----|
| II.1     | Introduction .....   | 20 |
| II.2     | Les réseaux sans fil .....   | 20 |
| II.2.1   | Réseaux personnels sans fil (WPAN : Wireless Personnel Area Network).....                | 21 |
| II.2.1.1 | Le Bluetooth .....   | 21 |
| II.2.1.2 | Home RF .....  | 21 |
| II.2.1.3 | Le réseau Zigbee .....   | 21 |
| II.2.1.4 | L'infrarouge .....   | 22 |
| II.2.2   | Réseaux locaux sans fil (WLAN : Wireless Local Area Network).....                        | 22 |
| II.2.2.1 | Le Wi-Fi (Wireless Fidelity) .....   | 22 |
| II.2.2.2 | L'HiperLAN (High Performance Radio LAN) .....  | 22 |
| II.2.3   | Réseaux étendus sans fil (WWAN : Wireless Wide Area Network) .....                       | 23 |
| II.2.3.1 | GSM (Global System for Mobile communication).....  | 23 |
| II.2.3.2 | GPRS (General Packet Radio Services) et EDGE (Enhanced Data rate for GSM Evolution)..... | 24 |
| II.2.3.3 | UMTS (Universal Mobil Telecommunication System).....                                     | 25 |
| II.2.4   | Réseau Métropolitain (WMAN: Wireless Metropolitan Area Network).....                     | 26 |
| II.3     | Topologie des réseaux sans fil .....   | 26 |
| II.3.1   | Réseaux AD-HOC (point à point).....  | 26 |
| II.3.2   | Point à multipoint .....   | 26 |
| II.4     | Les normes .....   | 27 |
| II.5     | Le modèle OSI .....  | 30 |
| II.6     | Conclusion.....  | 32 |

## II.1 Introduction

Les réseaux locaux sans fil sont en pleine expansion du fait de la flexibilité de leur interface. Le monde recherche davantage de mobilité et de nouveaux moyens de communication sans fils : Téléphonie sans fil, organisateurs sans fil, le tout sans fil.

Relativement récents, les réseaux sans fil sont de plus en plus performants notamment grâce aux avancées de l'électronique et du traitement du signal. Le monde Internet s'intéresse aussi à la mobilité.

Dans ce chapitre nous présenterons les différents réseaux sans fil existants et leurs caractéristiques.

## II.2 Les réseaux sans fil

Un réseau sans fil est un système de communication dans le quel au moins deux terminaux peuvent communiquer sans liaison filaire, mais par onde radio. Un utilisateur peut donc se déplacer tout en restant connecter, dans un périmètre plus ou moins étendu.

### - Handover

Pendant une communication, le terminal est en liaison radio avec une station de base bien déterminée. Il est indispensable d'assurer la continuité de services alors que l'utilisateur se déplace (passe d'une cellule à une autre). Il est donc nécessaire de changer la station de base avec laquelle le terminal est relié tout en maintenant la communication ; ce qui est effectué par des procédures automatiques de transfert intercellulaire : handover.

Si la mobilité d'un abonné s'étend sur plusieurs pays, des accords de roaming doivent être alors passés entre les différents opérateurs pour que les communications d'un abonné étranger soient traitées et aboutissent.

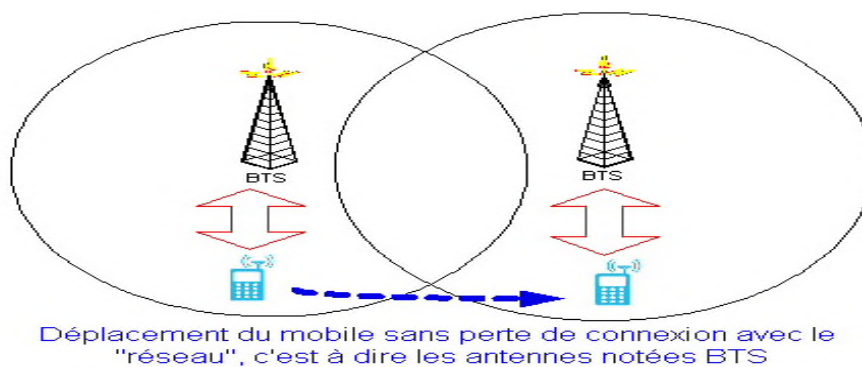


Figure. II.1: Principe du Handover

Il existe plusieurs technologies se distinguant d'une part par la fréquence d'émission utilisée, ainsi que par le débit et la portée de transmission.

## **II.2.1 Réseaux personnels sans fil (WPAN : Wireless Personnel Area Network)**

Concernent les réseaux sans fil d'une faible portée, c'est-à-dire de l'ordre de quelques dizaines de mètres. Ce type de réseaux sert principalement à relier des périphériques (imprimante, téléphone sans fil, assistant personnel...) entre eux ou avec un ordinateur sans réseaux filaire. Les débits aujourd'hui sont de l'ordre de quelques Mégabits/s jusqu'à dizaines de méga [15]

### **II.2.1.1 Le Bluetooth**

Une technologie sans fil lancée par Ericsson en 1994. Elle est de faible portée (entre 10 et 100 mètres) et faible consommation en énergie, permettant de faire communiquer entre eux des ordinateurs et assistants personnels ou des claviers... le Bluetooth semble cependant le mieux pressenti par ce type de liaison.

Son débit théorique est de 1Mbps, sa fréquence de travail même que celle du Wifi, soit 2.4Ghz [18].

### **II.2.1.2 Home RF**

Créée en 1998 par Compaq, HP, IBM, Intel et Microsoft (mais ces deux derniers ont fini par se retirer). Home RF est une technologie permettant de transporter indifféremment des données et de la voix. Cette norme fonctionne sur les fréquences de 2.4Ghz.

Elle offre un débit maximum théorique de 1.6 Mbps, sur une portée réelle de 30 à 50m [19].

### **II.2.1.3 Le réseau Zigbee**

Son objectif est de consommer peu d'énergie, mais à un débit faible. Les réseaux Zigbee sont employés dans de nombreuses applications comme les jeux électroniques utilisant la radio, des services depuis un terminal mobile, l'accès à des informations dans des centres commerciaux...etc.

Deux types de transfert sont privilégiés dans le Zigbee : La signalisation et la transmission de données basse vitesse [20].

#### **II.2.1.4 L'infrarouge**

Il crée des liaisons sans fil de quelques mètres avec des débits pouvant monter à quelques mégabits/s. Il est largement utilisé dans les applications domotiques (télécommandes), mais souffre toute fois de perturbations dues aux interférences lumineuses [8].

### **II.2.2 Réseaux locaux sans fil (WLAN : Wireless Local Area Network)**

La communication peut se faire directement entre deux terminaux mobiles ou en passant par une station de base qui joue le rôle de routeur.

Les WLAN peuvent constituer une extension ou une alternative aux réseaux locaux câblés [21].

#### **II.2.2.1 Le Wi-Fi (Wireless Fidelity)**

Le Wifi est un standard pour réseau informatique à très haut débit et à couverture large. Il permet d'échanger des données sans fil avec un débit de 11Mb/s jusqu'à 54Mb/s.

Sa portée dépend de la puissance des bornes, mais peut s'étendre de 30 à une centaine de mètres. Le Wifi exploite la fréquence 2.4 Ghz [8].

#### **II.2.2.2 L'HiperLAN (High Performance Radio LAN)**

Standard européen initié par l'ETSI (European Telecommunication Standards Institute) en 1998. Son but est de créer des environnements sans fil à haut débit et flexibles, permettant une communication de terminal à terminal (ad-hoc) en transitant par des terminaux intermédiaires. Sa puissance d'émission est d'environ 1W.

Il est composé de 2 normes sans fil à haut de débit : HiperLAN 1 et HiperLAN 2.

- **HiperLAN 1 :**

Déploiement sur des distances d'environ 50m par borne, sur une bande de fréquences entre 5,1 et 5,3 Ghz, avec interfaces conventionnelles pouvant être utilisées par les LAN sans fil.

- **HiperLAN 2 :**

Sur une distance par borne étendue à 200m, orienté réseau sans fil ATM (Asynchronous Transfer Mode : transfert simultané de données), sur une bande de fréquences comprises entre 5,4 et 5,7 Ghz. Communication possible sur différents débits (6, 9, 12, 18, 27, 36 et 54Mb/s) [22]. HiperLAN 2 peut aussi véhiculer la vidéo, paquets IP, voix numérisée des téléphones cellulaires.

### **II.2.3 Réseaux étendus sans fil (WWAN : Wireless Wide Area Network)**

Les WWAN sont destinés à transporter des données numériques sur des distances à l'échelle d'un pays, plus connu sous le nom de réseau cellulaire (le réseau est soit terrestre, infrastructures au sol, ou bien satellitaire). Ils ont une plus grande portée, tous les téléphones mobiles sont connectés à un de ces réseaux. Les principales technologies sont [15] : Le GSM (global system for mobile communication), GPRS (General packet radio system), EDGE (enhanced data rate for GSM evolution) et l'UMTS (universal mobile telecommunication system).

#### **II.2.3.1 GSM (Global System for Mobile communication)**

Standard européen de téléphonie cellulaire de seconde génération apparu 1992. Ses caractéristiques sont résumées dans ce tableau [23] :

|   |                    |
|---|--------------------|
| <b>Fréquence (Mhz)</b>                                | 936-960<br>890-915 |
| <b>Mode d'accès</b>                                   | TDMA/FDM           |
| <b>Duplexage</b>                                      | FDD                |
| <b>Modulation</b>                                     | GMSK 1 bit/symbole |
| <b>Codage de parole (Kbit/s)</b>                      | 13                 |
| <b>Débit binaire brut (Kbits/s)</b>                   | 270,833            |
| <b>Filtre</b>   | Gaussien BT=0,3    |
| <b>Largeur de canaux (Khz)</b>                        | 200                |
| <b>Nombre de canaux avec 8 utilisateurs par canal</b> | 124                |

**Tableau II.1 caractéristiques du GSM**

Les standard était prévu initialement pour des applications de transport de la parole, de transmission de données à bas débits (9600 bit/s) et de transfert de mini-messages (160 caractères) "short message service".

Avec l'accroissement du nombre d'utilisateurs, et le développement des services à hauts débit (Internet, vidéophonie...) qui, pour des raisons technologiques restent fixes, les normes actuelles de téléphonie mobile n'offrent pas des débits suffisant. Afin de remédier à cela, plusieurs évolutions de la norme européenne GSM sont envisagées : le GPRS ou bien l'EDGE GSM (2 G+).

### **II.2.3.2 GPRS (General Packet Radio Services) et EDGE (Enhanced Data rate for GSM Evolution)**

Tous deux sont des solutions pour atteindre des débits compatibles avec des applications à haut débit de type multimédia.

Le GPRS utilise la même modulation que la norme GSM, les mêmes bandes de fréquences, la même structure de rafale, les mêmes lois de saut de fréquence. Il permet des applications WAP et Internet, et fournit un accès en mode paquets à des réseaux de données à commutation de paquets de type X25 ou IP, avec des débits d'environ 115 Kbit/s [23].

L'EDGE GSM réutilise les caractéristiques d'occupation spectrale de la norme GSM avec des débits de 384 Kbit/s, ceci en combinant l'utilisation d'une modulation de type 8PSK (+ phase



shift keying) et l'utilisation de plusieurs time slot lors de la transmission au lieu d'un seul dans la norme GSM [23].

### II.2.3.3 UMTS (Universal Mobil Telecommunication System)

Désigne une norme cellulaire numérique de 3<sup>ème</sup> génération. C'est une évolution de la norme GSM, et contrairement au GPRS, il est impossible d'utiliser les mêmes fréquences que le GSM, donc elle nécessite l'attribution de nouvelles fréquences. L'UMTS permet de faire la téléphonie mobile classique (commutation de circuit), ainsi que du transport de données internet (commutation de paquets), avec un débit théorique maximum pour les données de 2Mbit/s [23].

|                                     |   |
|-------------------------------------|---|
| <b>Fréquence (Mhz)</b>              | 1920-1980<br>2110-2170<br><br>1850-1910<br>1930-1990            |
| <b>Mode d'accès</b>                 | WCDMA<br>(bande appariée)<br><br>TDCDMA<br>(bande non appariée) |
| <b>Duplexage</b>                    | FDD<br><br>TDD  |
| <b>Modulation</b>                   | QPSK<br>2 bit/symbole   |
| <b>Largeur de canaux (Mhz)</b>      | 5<br>10<br>20   |
| <b>Débit binaire brut (Kbits/s)</b> | 144<br>384<br>2084  |
| <b>Filtre</b>                       | Racine de cosinus surélevé                                      |

Tableau II.2 caractéristiques de l'UMTS

## **II.2.4 Réseau Métropolitain (WMAN : Wireless Metropolitan Area Network)**

Les réseaux WMAN sont déployés pour couvrir une zone plus importante que les réseaux WLAN, par exemple une ville entière. La norme la plus connue dans cette catégorie est le “WIMAX“. Le WIMAX est une solution pour des connexions sans fil à haut débit sur des zones de couvertures de plusieurs kilomètres à des débits de l’ordre de 70Mbit/s pour une distance de 50 kilomètres.

Dans le cas de notre étude, c’est cette norme qui nous intéresse, nous la verrons plus en détails par la suite.

## **II.3 Topologie des réseaux sans fil**

Une topologie caractérise la façon dont les différents équipements réseaux sont positionnés les uns par rapport aux autres. On en distingue deux sortes [17] : physique, relative au plan du réseau et logique, qui précise la façon dont les infos circulent au plus bas niveau.

Les interconnexions entre les nœuds du réseau s’effectuent en liaison point à point c'est-à-dire un avec un ou en multipoint soit n avec n.

### **II.3.1 Réseaux AD-HOC (point à point)**

Le mode AD HOC est le mode point à point utilisé lorsque des terminaux communiquent entre eux sans passer par un point d’accès unique.

Le point à point a été développé pour transférer des données sur des liens synchrone ou asynchrone entre deux points. Cette liaison permet le « full duplex » et garantit l’ordre d’arrivée des paquets [26].

Son avantage est que même si aucun nœud n’est dans le rayon d’un point d’accès central, ils peuvent toujours communiquer entre eux.

### **II.3.2 Point à multipoint**

Est une communication qui s’effectue d’un-à-plusieurs, fournissant plusieurs chemins à partir d’un emplacement unique à plusieurs endroits. Il est souvent utilisé pour l’internet sans fil et la téléphonie IP via radiofréquences. Exemple de son application est l’utilisation d’un point

d'accès qui fournit une connexion à plusieurs ordinateurs portatifs qui ne communiquent pas les uns avec les autres directement, mais doivent passer par un point d'accès.

Les liaisons multipoint permettent aux terminaux de partager la même ligne et les liaisons point à point offre une ligne de communication distincte pour chaque terminal [27].

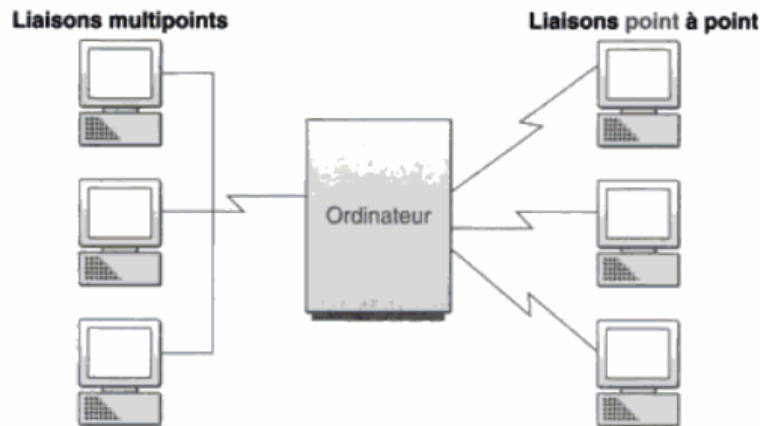


Figure II .2 topologie point à point et point à multipoint

#### II.4 Les normes

L'Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) est l'un des principaux instituts américains de standardisation des technologies de communication. L'IEEE est issu de la fusion, en 1963 de l'Institute Radio Engineers (IRE) et l'American Institute of Electrical Engineers (sAIEE). L'organisation a pour but de promouvoir la connaissance dans le domaine de l'ingénierie électrique. Elle assure la publication de ses propres normes et des autres textes rédigés par des membres de son organisation.

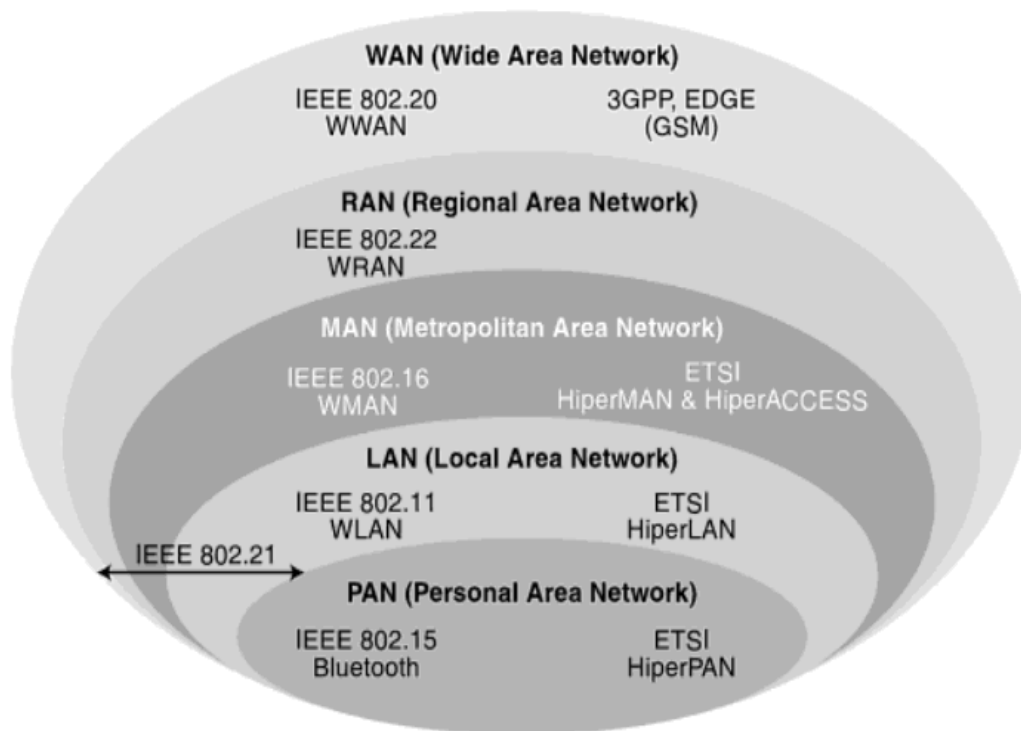


Figure II .3 différentes normes de l'IEEE des réseaux sans fil

Les principales normes des réseaux sans fils sont les suivants [25] :

- IEEE 802.15 : pour les petits réseaux personnels d'une dizaine de mètres de portée ; trois principaux sous-groupes normalisent des gammes de produits en parallèle :
- IEEE 802.15.1 : le plus connu, qui a pris en charge la norme Bluetooth jusqu'en 2005.
- IEEE 802.15.3 : qui définit la norme UWB (Ultra wide band)
- IEEE 802.15.4 : s'occupe de la norme Zigbee
- IEEE 802.11, ou Wifi : pour les réseaux WLAN
- IEEE 802.16 : pour les réseaux WIMAX atteignant plus de dix kilomètres de portée
- IEEE 802.22 : pour WRAN (Wireless Regional Area Network)

Du côté de la norme 802.11 ou Wifi, plusieurs propositions ont été évaluées, et ont permis fortement d'augmenter le débit de transmission, le tableau suivant résume les différentes dérivées du 802.11 [28] :

| Nom de la norme | Nom                                   | Description   |
|-----------------|---------------------------------------|---|
| 802.11a         | Wifi5                                 | La norme 802.11a (baptisé WiFi 5) permet d'obtenir un haut débit (54 Mbps théoriques, 30 Mbps réels). La norme 802.11a spécifie 8 canaux radio dans la bande de fréquence des 5 GHz.  |
| 802.11b         | Wifi                                  | La norme 802.11b est la norme la plus répandue actuellement. Elle propose un débit théorique de 11 Mbps (6 Mbps réels) avec une portée pouvant aller jusqu'à 300 mètres dans un environnement dégagé. La plage de fréquence utilisée est la bande des 2.4 GHz, avec 3 canaux radio disponibles.   |
| 802.11c         | Pontage 802.11 vers 802.1d            | La norme 802.11c n'a pas d'intérêt pour le grand public. Il s'agit uniquement d'une modification de la norme 802.1d afin de pouvoir établir un pont avec les trames 802.11 (niveau liaison de données).   |
| 802.11d         | Internationalisation                  | La norme 802.11d est un supplément à la norme 802.11 dont le but est de permettre une utilisation internationale des réseaux locaux 802.11. Elle consiste à permettre aux différents équipements d'échanger des informations sur les plages de fréquence et les puissances autorisées dans le pays d'origine du matériel.   |
| 802.11e         | Amélioration de la qualité de service | La norme 802.11e vise à donner des possibilités en matière de qualité de service au niveau de la couche liaison de données. Ainsi cette norme a pour but de définir les besoins des différents paquets en termes de bande passante et de délai de transmission de telle manière à permettre notamment une meilleure transmission de la voix et de la vidéo.   |
| 802.11f         | Itinérance (roaming)                  | La norme 802.11f est une recommandation à l'intention des vendeurs de point d'accès pour une meilleure interopérabilité des produits. Elle propose le protocole Inter-Access point roaming protocol permettant à un utilisateur itinérant de changer de point d'accès de façon transparente lors d'un déplacement, quelles que soient les marques des points d'accès présentes dans l'infrastructure réseau. Cette possibilité est appelée itinérance (ou roaming en anglais) |
| 802.11g         |                                       | La norme 802.11g offre un haut débit (54 Mbps théoriques, 30 Mbps réels) sur la bande de fréquence des 2.4 GHz. La norme 802.11g a une compatibilité ascendante avec la norme 802.11b, ce qui signifie que des matériels conformes à la norme 802.11g peuvent fonctionner en 802.11b  |
| 802.11h         |                                       | La norme 802.11h vise à rapprocher la norme 802.11 du standard Européen (HiperLAN 2, d'où le h de 802.11h) et être en conformité avec la réglementation européenne en matière de fréquence et d'économie d'énergie.   |

|                |  |  |
|----------------|--|--|
| <b>802.11i</b> |  | La norme 802.11i a pour but d'améliorer la sécurité des transmissions (gestion et distribution des clés, chiffrement et authentification). Cette norme s'appuie sur l'AES (Advanced Encryption Standard) et propose un chiffrement des communications pour les transmissions utilisant les technologies 802.11a, 802.11b et 802.11g. |
| <b>802.11r</b> |  | La norme 802.11r a été élaborée de telle manière à utiliser des signaux infra-rouges. Cette norme est désormais dépassée techniquement.  |
| <b>802.11j</b> |  | La norme 802.11j est à la réglementation japonaise ce que le 802.11h est à la réglementation européenne.   |

**Tableau II.3 dérivées du Wifi et caractéristiques**

Les réseaux régionaux sont étudiés par l'IEEE 802.22. Le rayon de la cellule peut atteindre 50km pour les gammes de fréquences en dessous de 1G. L'application de base est la télévision interactive ou les jeux interactifs.

## II.5 Le modèle OSI

Il répartit le trafic réseau en un certain nombre de couches. Chaque couche est indépendante des couches voisines, et chacune s'appuie sur les services fournis par la couche en dessous d'elle, tout en offrant de nouveaux services à la couches au-dessus.

Les 7 couches du modèle OSI sont résumées dans le tableau qui suit [14] :

| <b>Couche</b> | <b>Nom</b>   | <b>Description</b>  |
|---------------|--------------|---|
| <b>7</b>      | Application  | La plupart des utilisateurs réseaux y sont exposés, et est le niveau où la communication humaine se passe. HTTP, FTP, et SMTP sont tous des protocoles de couche d'application. L'utilisateur humain se situe au-dessus de cette couche interagissant avec l'application                            |
| <b>6</b>      | Présentation | traite de la représentation des données avant qu'elles n'atteignent la couche application. Cela inclut le codage, la compression de données, les contrôles de formatage, l'ordonnement des octets, etc.   |
| <b>5</b>      | Session      | gère la session de communications logique entre les applications.   |
| <b>4</b>      | Transport    | fournit une méthode pour parvenir à atteindre un service particulier sur un nœud du réseau donné. Certains protocoles de la couche transport (comme TCP) garantissent que toutes les données sont arrivées à la destination, et sont rassemblées et remises à la couche suivante dans le bon ordre. |

|   |                    |   |
|---|--------------------|---|
| 3 | Réseau             | IP (Internet Protocol) est le protocole le plus commun. C'est la couche où le routage se passe. Les paquets peuvent quitter le réseau liaison locale et être retransmis sur d'autres réseaux. Les routeurs implémentent cette fonction sur un réseau en utilisant au moins deux interfaces réseau ; une sur chacun des réseaux qui doivent être interconnectés. Les nœuds sur l'Internet sont accessibles par leur adresse globale IP unique.   |
| 2 | Liaison de données | Lorsque deux ou plusieurs nœuds partagent le même support physique (par exemple, plusieurs ordinateurs branchés dans un hub ou une salle pleine d'appareils sans fil en utilisant tous le même canal radio), ils utilisent la <b>couche liaison de données</b> pour communiquer. Ethernet, Token Ring, ATM, et les protocoles de réseau sans fil (802.11a/b/g) sont des exemples communs des protocoles de la couche liaison des données. La communication sur cette couche est dite à liaison-locale, car tous les nœuds connectés sur cette couche communiquent les uns avec les autres directement. Cette couche est parfois connue sous le nom de <b>couche Media AccessControl (MAC)</b> . Sur le modèle de réseaux Ethernet, les nœuds sont référencés par leurs <b>adresses MAC</b> . Il s'agit d'un nombre unique de 48 bits attribué à chaque dispositif réseau quand il est fabriqué. |
| 1 | Physique           | est la couche inférieure du modèle OSI. Elle se réfère au support physique réel où les communications ont lieu. Cela peut être un câble en cuivre de type CAT5, un faisceau de fibre optique, des ondes radios, ou n'importe quel autre moyen de transmission de signaux.   |

**Tableau II.4 les 7 couches du modèle OSI**

Chaque couche dispose de fonctionnalités qui lui sont propres et fournit des services aux couches immédiatement adjacentes. Paradoxalement aujourd'hui, TCP/IP est mis en œuvre partout et même lorsque l'on parle de ce protocole on l'associe aux couches du modèle OSI.

Le protocole TCP/IP constitue 4 couches. Chaque couche de ce modèle correspond à une ou plusieurs couches du modèle OSI. TCP/IP a été conçu explicitement sans spécification de couche physique ou de liaison de données car le but était de faire un protocole adaptable à la plupart des supports [24].

| <b>Modèle OSI</b> |              | <b>TCP/IP</b>  |
|-------------------|--------------|--|
| 7                 | Application  | <i>Applications</i><br><i>Services Internet</i>                          |
| 6                 | Présentation |  |
| 5                 | Session      | <i>Transport (TCP)</i><br><i>Internet (IP)</i><br><i>Accès au Réseau</i> |
| 4                 | Transport    |  |
| 3                 | Réseau       |  |
| 2                 | Liaison      |  |
| 1                 | Physique     |  |

**Figure II.4 Différences de couches OSI et TCP/IP**

## II.6 Conclusion

Ce chapitre a décrit d'autres technologies de réseaux sans fil qui se complètent ou en concurrence avec les technologies WiMAX. Il a également donné un aperçu des technologies les plus répandues en usage aujourd'hui et les topologies utilisées, ainsi qu'une description de la similitude et les différences entre chacune des technologies.

Vu que ce projet concernera la technologie du standard 802.16 dit "WiMAX", le chapitre suivant lui sera consacré.



# Chapitre III

Etude de la technologie WiMax

|             |  |    |
|-------------|--|----|
| III.        | Introduction .....   | 36 |
| III.1       | L'historique du WIMAX.....                                       | 36 |
| III.1.1     | Naissance du WIMAX.....  | 36 |
| III.1.2     | L'évolution des standards .....                                  | 36 |
| III.2       | L'architecture du réseau WIMAX.....                              | 38 |
| III.2.1.1   | Le sous-système radio ASN .....                                  | 41 |
| III.2.1.1.1 | Les équipements de l'ASN.....                                    | 42 |
| III.2.1.1.2 | Les profils de l'ASN.....  | 43 |
| III.2.1.1.3 | Bilan de liaison.....  | 44 |
| III.2.1.2   | Connectivité Service Network (CSN) .....                         | 44 |
| III.3       | Architecture en couche de la norme 802.16.....                   | 45 |
| III.3.1     | La couche MAC .....  | 46 |
| III.3.1.1   | La sous-couche SSCS.....   | 46 |
| III.3.1.2   | La sous-couche CPS .....   | 46 |
| III.3.1.3   | La sous-couche PS.....   | 46 |
| III.3.2     | Interconnexion couche MAC/couche physique.....                   | 47 |
| III.3.2.1   | FDD .....  | 47 |
| III.3.2.2   | TDD.....   | 48 |
| III.3.3     | La couche physique.....  | 49 |
| III.3.3.1   | Techniques de multiplexage .....                                 | 49 |
| III.3.3.1.1 | OFDM .....   | 49 |
| III.3.3.1.2 | OFDMA.....   | 51 |
| III.3.3.2   | MIMO.....  | 53 |
| III.3.3.3   | Modulation adaptative .....                                      | 54 |
| III.4       | Architecture en couche de la norme 802.16e ou WIMAX MOBILE ..... | 55 |

|             |  |    |
|-------------|--|----|
| III.4.1     | La couche physique.....                    | 55 |
| III.4.1.1   | Technique d'accès multiple SOFDMA .....    | 56 |
| III.4.2     | La couche MAC .....                        | 56 |
| III.4.2.1   | Gestion de la qualité de service .....     | 56 |
| III.4.2.2   | La sécurité.....                           | 57 |
| III.4.2.3   | Gestion de la mobilité.....                | 58 |
| III.4.2.3.1 | Contrôle de puissance.....                 | 58 |
| III.4.2.3.2 | Handover .....                             | 58 |
| III.5       | Applications des réseaux WIMAX .....       | 60 |
| III.5.1     | La desserte .....                          | 60 |
| III.5.2     | La collecte .....                          | 60 |
| III.5.3     | Connecter les endroits inaccessibles ..... | 60 |
| III.5.4     | Autres applications : .....                | 61 |
| III.5.4.1   | voIP.....                                  | 61 |
| III.5.4.2   | VPLS .....                                 | 61 |
| III.6       | Conclusion.....                            | 61 |

### **III. Introduction**

Le début du nouveau millénaire témoigne l'évolution énorme des technologies sans fil à large bande. La bande passante élevée, la flexibilité et la baisse du coût de ces technologies sont vues, par les opérateurs de télécommunications, comme des solutions pour remédier aux limitations des technologies filaires (fibre optiques et les technologies xDSL).

Pour mieux comprendre la technologie WIMAX, ce chapitre sera dédié à une présentation détaillée en explorant l'architecture en couches et les différentes technologies utilisées dans ce réseau ainsi que la sécurité et la qualité de service.

#### **III.1 L'historique du WIMAX**

##### **III.1.1 Naissance du WIMAX**

Le Wimax forum est le nom d'un consortium créé en 2001, notamment par Intel et Alvarion. Ce consortium crée pour assurer l'interopérabilité et la compatibilité entre les différents équipements exploitant les normes WMAN les plus en vue : IEEE 802.16 et ETSI HyperMan. C'est un forum ouvert constitué essentiellement d'équipementiers et d'opérateurs télécoms qui est assimilable à la WiFi Alliance pour le protocole 802.11. Il a pour objectifs de soutenir le développement et l'implémentation du standard 802.16, de promouvoir l'utilisation de la large bande sans fil et de proposer un programme de certifications et de tests.

La norme 802.16 a connu de nombreuses évolutions au fur et à mesure qu'elle gagne en popularité. Destinées originellement à desservir les zones les plus éloignées en haut débit en tant que réseau d'accès, cette norme s'oriente de plus en plus vers la mobilité notamment dans la version 802.16 e.

##### **III.1.2 L'évolution des standards**

On retrouve dans l'expression WIMAX, le terme clé interopérabilité. C'est là en fait le principal objectif de recherche du WIMAX Forum. Les diverses normes et certifications jusqu'alors en jeu permettent un haut niveau d'interopérabilité entre les équipements. L'enjeu est d'autant plus grand lorsqu'on sait que le standard IEEE 802.16 est défini pour une large

bande de fréquences, de 2 à 66 GHz, dans laquelle on trouve des technologies existantes, comme le WiFi, et qui autorise des débits, des portées et des usages très variés.

Le développement des normes de 802.16 et leurs spécificités techniques sont expliqués dans le tableau :

| <b>Standard</b>  | <b>Description</b>   | <b>Publié</b>    | <b>Statut</b> |
|--|--|------------------|---------------|
| <b>IEEE 802.16-2001</b>                                    | Définit des réseaux métropolitains sans fil utilisant des fréquences supérieures à 10 GHz (jusqu'à 66 GHz) | Avril 2002       | Obsolète      |
| <b>IEEE 802.16c-2002</b>                                   | Définit les options possibles pour les réseaux utilisant les fréquences entre 10 et 66 GHz.                | 15 Janvier 2003  | Obsolète      |
| <b>IEEE 802.16a-2003</b>                                   | Amendement au standard 802.16 pour les fréquences entre 2 et 11 GHz.                                       | 1 Avril 2003     | Obsolète      |
| <b>IEEE 802.16-2004 (également désigné 802.16 d)</b>       | Il s'agit de l'actualisation (la révision) des standards de base 802.16, 802.16a et 802.16c.               | 1er octobre 2004 | Actif         |
| <b>IEEE 802.16.2</b>                                       | Interopérabilité entre toutes les solutions 802.16   | 17 Mars 2004     | Actif         |
| <b>IEEE 802.16 e (également désigné IEEE 802.16e-2005)</b> | Apporte les possibilités d'utilisation en situation mobile du standard, jusqu'à 120 km/h.                  | 7 décembre 2005  | Actif         |
| <b>IEEE 802.16 f</b>                                       | Spécifie la MIB (Management Information Base), pour les couches MAC et PHY                                 | 22 janvier 2006  | Actif         |
| <b>802.16 m</b>  | 1 Gbit/s (fixe)<br>100 Mbit/s (mobile)   |                  | Normalisé     |

**Tableau III.1 Les différentes normes 802.16**

D'abord conçu pour la partie 10-66 GHz en 2001, 802.16 s'est intéressé par la suite aux bandes 2-11 GHz pour donner naissance en 2003 à 802.16a. En Europe, c'est autour des 3,5 GHz que 802.16a peut se déployer ; aux États-Unis, c'est dans des bandes proches de celles

utilisées par le Wi-Fi, 2,4 et 5 GHz. Cette partie de la bande est celle qui a le plus d'activités au sein du WiMAX Forum aujourd'hui.

802.16a a été amendé depuis, par 802.16-2004, et en toute rigueur on ne devrait plus parler de cette version a. Conduite par le groupe de travail IEEE 802.16 d, cette version amendée est parfois également appelée 802.16d.

À côté de 802.16-2004, qui est le WiMAX de l'année 2005, on trouve également 802.16.2, qui définit l'interopérabilité entre toutes les solutions 802.16 et les solutions (comme Wi-Fi) qui sont présentées sur les mêmes bandes de fréquence. [29]

Le standard IEEE 802.16e est la version la plus avancée et la plus intéressante. Cette version apporte la mobilité. Donc, les révisions du standard IEEE 802.16 se déclinent en deux catégories :

- **WiMAX fixe/résidentiel (802.16-2004)** : destiné à un usage fixe, du domicile à l'antenne relais et opérant dans des bandes de fréquences de 2.5 GHz et 3.5 GHz (avec licence d'exploitation obligatoire) et 5.8 GHz (bande libre) en Europe. Le débit maximum théorique est de 75 Mbit/s pour une portée de 50 à 70 kilomètres sans obstacles.

- **WiMAX mobile (802.16 e)** : prévoit la possibilité de connecter des clients mobiles au réseau Internet. Le WiMAX mobile ouvre ainsi la voie à la téléphonie mobile sur IP ou plus largement à des services mobiles hauts débit. Le débit maximum théorique est de 30Mbit/s pour une portée de 2 à 4 kilomètres sans obstacles.

La portée, les débits, et surtout la nécessité ou non d'être en ligne de vue de l'antenne émettrice, dépendent de la bande de fréquence utilisée. Dans la bande 11-66 GHz, les connexions se font en ligne de vue : LOS (Line Of Sight), alors que sur la partie 2-11 GHz, le NLOS (Non Line Of Sight) est possible notamment grâce à l'utilisation de la modulation

## III.2 L'architecture du réseau WIMAX

L'architecture de la technologie WiMax se compose de stations de base (BS : Base Station), et des stations mobiles (SS : Subscriber Station). La station de base joue le rôle d'une antenne centrale chargée de communiquer et de desservir les stations mobiles qui, à leur tour, servent les clients utilisant le WIFI ou l'ADSL. La **figure III.1** représente les différentes structures qu'offre le WiMAX :

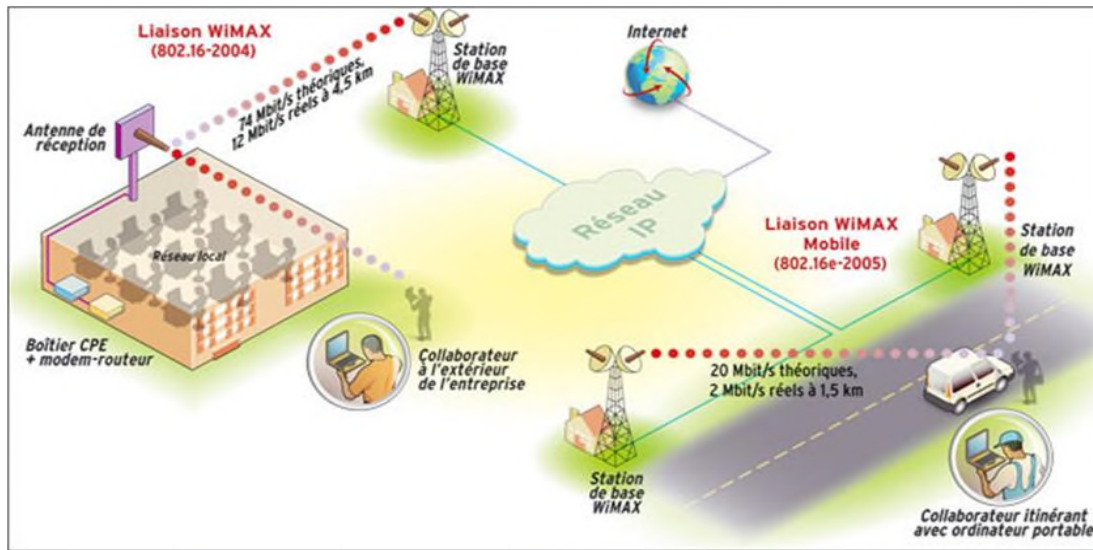


Figure III.1 Les différentes structures du WiMAX

Le WiMAX a une architecture IP d'accès sans fil, qui contient trois parties : terminaux d'utilisateurs, l'accès aux services de réseau (ASN), et le noyau de services réseau (CSN).

Un terminal utilisateur peut être un terminal fixe ou portable / mobile, qui prend en charge les scénarios d'utilisation fixe / mobile. Chaque appareil peut établir une liaison avec une station de base WiMAX (BS), et effectuer l'authentification et enregistrement par l'intermédiaire d'une passerelle d'accès à la CSN.

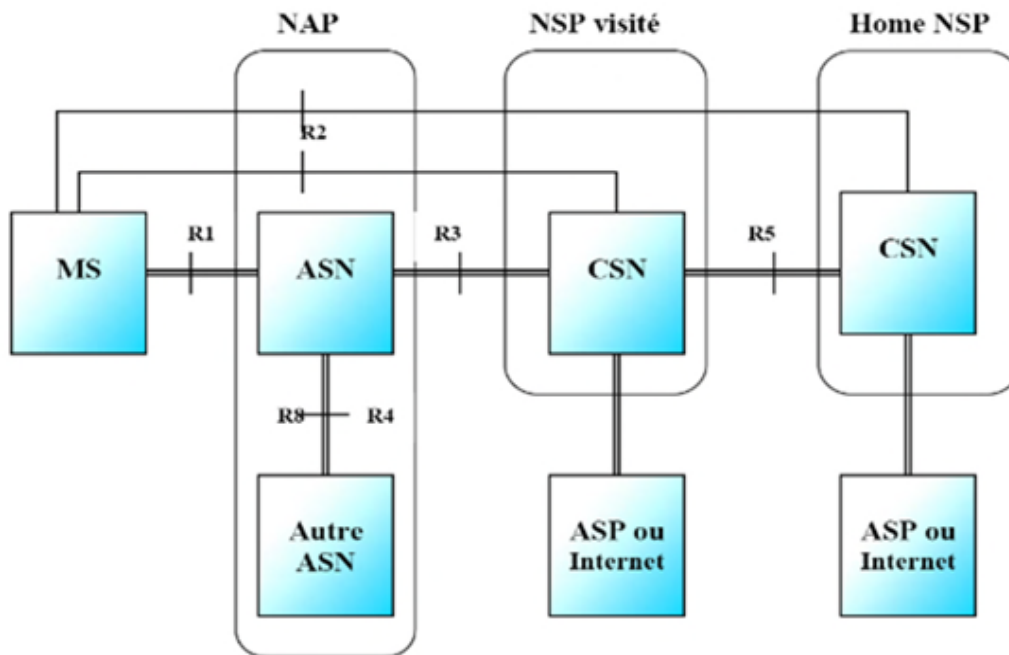
Un réseau WiMAX mobile a une architecture semblable à celle d'un réseau cellulaire, où les liens sont PMP entre chaque stations d'abonné BS et multiples (SS). Chaque BS fournit la fréquence et la référence de synchronisation de SS à des fins de synchronisation. Les passerelles ASN-GW assurent son interconnexion avec le CSN. Un ou plusieurs ASN, interconnectés, peuvent être déployés par un NAP (Network Access Provider-Fournisseur du réseau d'accès). [30].

- **Le modèle de référence du réseau WiMAX :**

Un NAP fournit l'infrastructure d'accès radio à un ou plusieurs NSP (Network Service Provider-Pourvoyeur du réseau de service). Le NSP est une entité d'affaires qui permet la connectivité IP et les services WiMAX aux abonnés WiMAX conformément aux accords de niveau de service établis. C'est le NSP qui déploie le CSN, lequel est un ensemble de fonctionnalités assurant la connectivité IP aux stations d'abonnés WiMAX et assure la connectivité et les services aux fournisseurs d'accès réseau NAP. En effet, les NAP ont besoin de se connecter à un ou plusieurs NSP, pour transmettre les services et les applications.

Le CSN regroupe des passerelles pour l'accès à Internet, des routeurs, des serveurs et des proxys de sécurité, des bases de données.

L'ASP (application service provider) : fournisseurs de services d'applications, offrent plusieurs services tels que HTTP, streaming vidéo, téléchargements de fichiers, e-mail [32].



**Figure III.2 Modèle de référence du réseau WiMAX**

Nous expliquons la Figure III.3 comme suit [31] :

Le point de référence R1 comprend les protocoles et les procédures entre la MS (mobile Station ou station mobile) et les BS selon les caractéristiques des couches PHY et MAC, et selon le profil du système défini par WiMAX forum. Le point de référence R1 inclut les protocoles additionnels liés au plan de gestion.

L'interface R2 est comprise entre la MS et le CSN. Elle est utilisée pour porter des informations d'authentification, d'autorisation d'accès aux services et de gestion de la configuration IP des hôtes. Ce point de référence est logique. L'authentification de la MS par le CSN est opérée par le H-NSP. Toutefois l'ASN et le CSN peuvent partiellement traiter les procédures et les mécanismes mentionnés ci-dessus par l'intermédiaire du V-NSP.



Le point de référence R3 comprend l'ensemble des protocoles de commande entre l'ASN et le CSN nécessaires à l'AAA. Il gère également les méthodes de transfert de données entre l'ASN et le CSN, l'application de la politique et des possibilités de gestion de la mobilité.

Le point de référence R4 est le point de contrôle des protocoles de transfert et de réception de données de l'ASN-GW qui gère la mobilité d'une MS. L'interface R4 est le seul point de référence interopérable entre l'ASN-GW d'un ou deux ASN différents.

Le point de référence R5 est utilisé par l'ensemble de protocoles de transfert et de réception de données entre CSN ou entre le mandataire AAA et le serveur AAA.

Le point de référence R6 est l'interface comprise entre les BS et l'ASN-GW dans un ASN. Elle est utilisée pour échanger les messages de signalisation entre l'ASN-GW et la BS, et les données de service de la MS. Le R7 est non référencée par WiMAX Forum.

Le point de référence R8 est intra-ASN et comprend l'ensemble de messages de contrôle échangés entre les stations de base pour assurer le handover. Il comprend le protocole de transmission inter-BS en conformité avec le profil de système mobile de WiMAX Forum et l'ensemble de protocoles additionnels qui commande et supervise le handover.

### **III.2.1.1 Le sous-système radio ASN**

L'architecture du réseau WiMAX mobile est, en fait, tout à fait intuitive. Au plus bas de la strate, un réseau WiMAX se compose d'un service d'accès réseau (ASN). Une ASN est constitué d'un certain nombre de stations de base (BS) connectée à un réseau d'accès. Le réseau de service d'accès connecte à des réseaux externes via une passerelle de réseau d'accès au service (ASN-GW). Les fonctions de l'ASN sont constituées d'un certain nombre de stations de base, les réseaux d'accès et les passerelles d'accès. Ce sont les suivantes [31] :

- Connexion avec la station mobile, y compris l'établissement PHY et MAC de couche connectivités
- Fournir des installations de transfert et d'itinérance au sein de l'ASN pour les stations mobiles
- Fournir des installations AAA pour l'utilisateur en liaison avec le réseau domestique de l'utilisateur, l'ASN fournit les installations proxy AAA
- Fournir des installations de relais entre l'ASN et les réseaux externes
- Etablissement de la connexion entre l'utilisateur et le CSN.

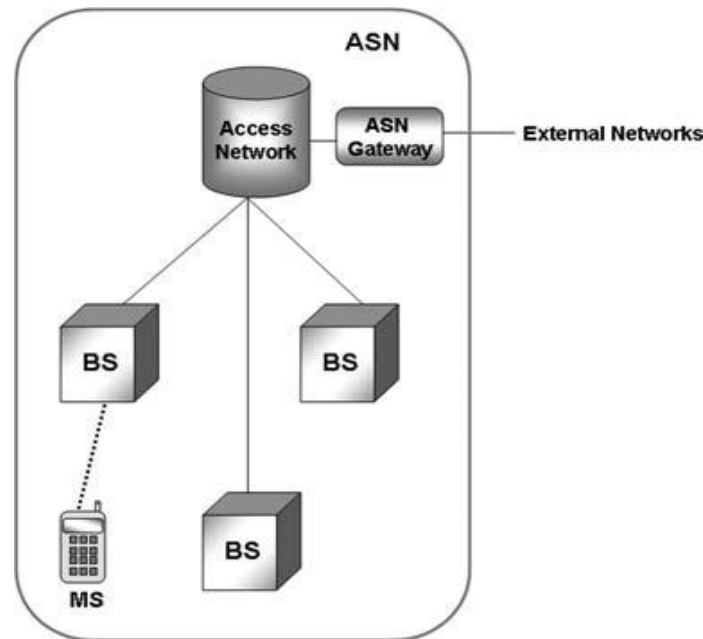


Figure III.3 schéma bloc de l'ASN [31]

### III.2.1.1.1 Les équipements de l'ASN

#### a) La station de base

Elle ressemble aux stations cellulaires classiques .Elle peut comporter un ou plusieurs secteurs. Les fonctionnalités qu'elle intègre varient d'un équipement à un autre (bande de fréquence, gain, support du NLOS...) et font la différence en terme de performances et donc de coût.

Se connecte à la station terminale en utilisant l'interface air WIMAX PHY

La BS a pour rôles :

- La gestion et le contrôle de la station d'abonné.
- La couverture d'une zone limitée. [31]

#### b) Les passerelles par défaut ASN-GW (Access Service Network Gateway)

Ce sont des routeurs classiques permettant la collecte du trafic des stations de base et le routage des paquets dans le réseau. Ils permettent d'interconnecter plusieurs BS à la fois.

La passerelle d'accès au réseau peut aussi avoir des fonctions de contrôle pour les stations de base.

Ces fonctions peuvent être intégrées dans les stations de base. Et cela dépend du profil d'architecture.

L'ASN-GW peut être décomposé en deux groupes de fonctions [31] :

- **DECISION POINT (DP)** : inclut les fonctions (non-bearer plane functions), comme la gestion des ressources radio et le paging, qui peuvent être partagés entre plusieurs ASN-GW.
- **ENFORCEMENT POINT (EP)** : inclut les fonctions (bearer plane fonctions), comme le routage pour la sélection des CSN.

#### III.2.1.1.2 Les profils de l'ASN

Le groupe WIMAX NWG a défini trois profils ASN, profil A, B et C.

Ces profils sont spécifiés afin de permettre aux réseaux WIMAX d'éviter une implémentation plus complexe et plus coûteuse.

**Profil A** : Est un modèle centralisé, utilise l'ASN-GW comme élément de contrôle, relié avec plusieurs stations de base (BS) à travers les interfaces. Les fonctionnalités de l'ASN-GW sont analogues aux fonctionnalités du contrôleur de station de base (BSC) ou au contrôleur de réseau radio (RNC) d'un réseau cellulaire.

**Profil B** : est une solution ASN qui implémente les fonctionnalités des ASN-GW dans la station de base (BS). Il en résulte une diminution du nombre de points de référence : on retrouve seulement les interfaces CSN et vers un autre ASN).

**Profil C** : est similaire au profil A, du fait qu'il dispose d'une ASN-GW comme élément de commande central. Toutefois, la différence entre les profils A et C, réside dans le fait que fonction RRC est soutenue dans le BS. [31]

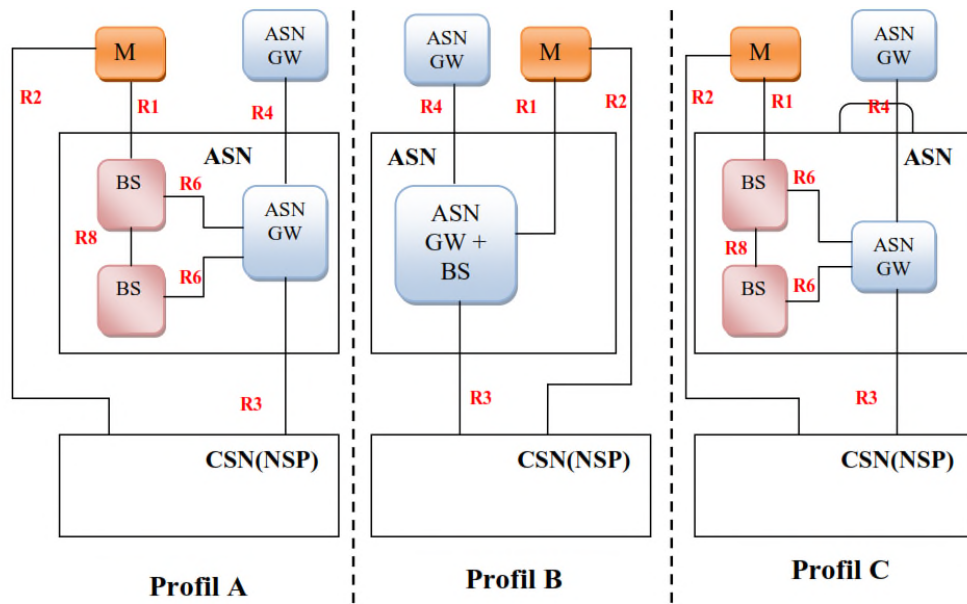


Figure III.4 Profils de l'ASN

### III.2.1.1.3 Bilan de liaison

Les réseaux de communication ont acquis une grande importance dans nos vies quotidiennes. Par conséquent, l'estimation de la puissance du signal transmis dans le canal radio et la bonne couverture d'une zone avec une qualité de service acceptable sont devenus des éléments significatifs pour ces systèmes de communication. Le bilan de liaison est l'estimation et la détermination du signal transmis. Il consiste à déterminer et à additionner tous les gains et pertes dans un système de communication.

### III.2.1.2 Connectivité Service Network (CSN)

C'est un ensemble d'équipements assurant la connectivité IP des stations d'abonnés WIMAX. Le CSN regroupe des passerelles pour l'accès Internet, des routeurs, des serveurs et des proxys de sécurité ainsi que des bases de données. Il permet également le contrôle d'admission et gère la mobilité inter-ASNs (pour la norme 802.16e).

- **Les fonctions du CSN**

Le CSN offre les fonctionnalités suivantes [32] :

- L'attribution des adresses IP à l'utilisateur.
- Serveur ou proxy AAA.
- Le CSN de NSP domicile (HOME) distribue les profils d'utilisateurs vers les ASN NAP directement ou via des NSP visités (VISITED).
- Gestion de la qualité de service.
- La taxation des abonnés.
- Création des tunnels inter-CSN pour supporter le roaming entre les NSP.
- Gestion de la mobilité inter-ASN.
- Connectivité des infrastructures et le contrôle de gestion pour des services comme l'accès à internet, l'accès à d'autres ASP, VPN, messageries...

### III.3 Architecture en couche de la norme 802.16

L'IEEE 802.16 a été développée suivant une architecture en couches. Elle est constituée de deux couches : La couche physique (PHY) et la couche MAC (Media Access Control).

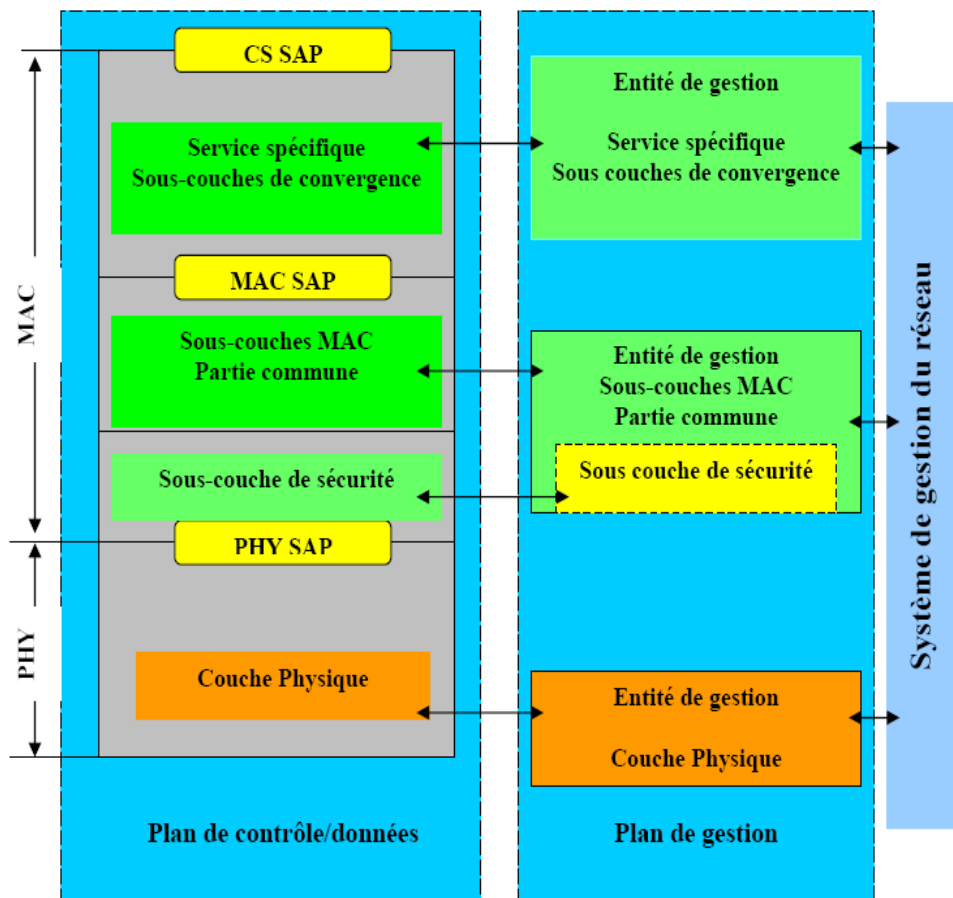


Figure III.5 Couches protocolaires du 802.16

### **III.3.1 La couche MAC**

La couche MAC prend en charge le transport des cellules ATM mais aussi celui des paquets IP, et joue un rôle important dans la gestion de la qualité de service (QoS). Elle s'appuie sur 3 sous-couches : une couche de convergence spécifique (Service Specific Convergence Sublayer : SSCS), une couche commune (MAC Common Part Sublayer : CPS), et une couche sécurité (Privacy Sublayer : PS) : [31]

#### **III.3.1.1 La sous-couche SSCS**

La SSCS fournit toute transformation de données ou le mappage de réseaux externes reçu par la CPS. Pour le raccordement de réseaux externes, la SSCS fournit 2 sous couches de convergence (CS : convergence sublayer) :

- Pour les réseaux ATM : il s'agit d'une interface qui associe les différents services ATM avec la couche MAC CPS.
- Pour les réseaux à base de paquet : il est utilisé pour le mappage de tout protocole à base de paquet, tels que Ethernet, et les protocoles Internet tels que IPv4, IPv6...

En plus de ces fonctions basiques, les sous couches de convergence peuvent aussi mettre en œuvre des fonctions plus sophistiqués.

#### **III.3.1.2 La sous-couche CPS**

Cette sous couche forme le noyau de la couche MAC, étant donné qu'elle contient les fonctions clés relatives au contrôle du lien radio. La CPS fournit les règles et les mécanismes d'accès, l'allocation de la bande passante, et la maintenance de la connexion. Elle reçoit les données des sous couches de convergence. En outre, c'est la sous couche CPS qui gère les mécanismes de qualité de service (QoS).

#### **III.3.1.3 La sous-couche PS**

La PS est le lien qui réunit la couche MAC à la couche physique (PHY). Elle fournit la sécurité à travers le réseau sans fil à large bande en cryptant la connexion entre la station de

base et l'abonné au service. De plus, la couche PS est utilisée pour l'authentification et l'échange de clefs de sécurité.

### III.3.2 Interconnexion couche MAC/couche physique

Le standard 802.16 spécifie plusieurs méthodes de duplexage des voies montantes et descendantes. La couche MAC se base à l'heure actuelle sur un mode trame, c'est-à-dire qu'elle définit une base de temps. Cette base de temps dépend de celle de la couche physique associée.

Le standard 802.16 peut utiliser deux modes de duplexage :

- Le duplexage FDD (Frequency Division Duplexing)
- Le duplexage TDD (Time Division Duplexing).

#### III.3.2.1 FDD

Dans FDD les canaux uplink et downlink sont localisés dans 2 bandes de fréquence différentes. Une durée fixe de trame est utilisée pour le downlink et l'uplink, ce qui facilite l'utilisation des différents types de modulation, et simplifie l'algorithme d'allocation des canaux. Deux types de duplexage FDD sont prévus dans 802.16-2004 [33] :

- FDD full-duplex** : une full-duplex SS (Subscriber Station) est capable d'écouter continuellement le canal downlink, ce qui lui permet de transmettre et de recevoir simultanément.
- FDD half-duplex** : une half-duplex SS peut écouter le canal downlink seulement lorsqu'elle ne transmet pas sur le canal uplink, donc elle n'est pas capable de transmettre et de recevoir simultanément. Une half-duplex SS est moins coûteuse, moins complexe qu'une full-duplex SS, mais elle n'a pas la même efficacité qu'une full-duplex SS.

La Figure suivante représente le duplexage FDD dans ses 2 variantes :

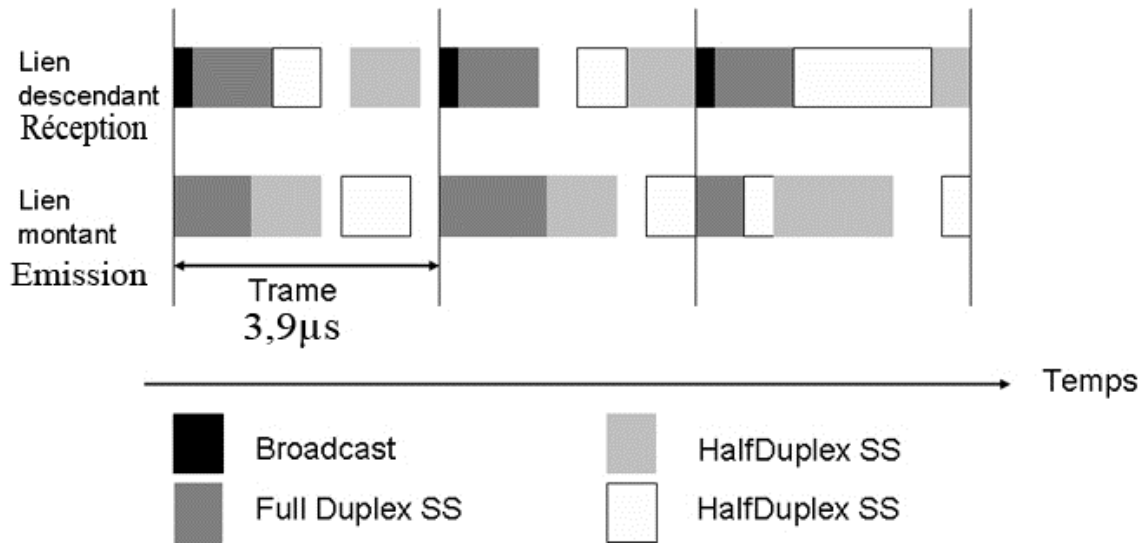


Figure III.6 Principe du FDD

### III.3.2.2 TDD

Les transmissions downlink et uplink se font sur le même canal (même fréquence porteuse), mais à des périodes temporelles différentes. La trame utilisée pour l'échange des données est d'une durée fixe et contient 2 sous trames, l'une est utilisée pour le downlink, et l'autre pour l'uplink. Elle est formée d'un nombre entier de PSs (Physical Slot : unité de temps, dépendant de la spécification PHY, utilisée pour l'allocation du canal), ce qui facilite la partition du canal. Un système TDD peut diviser le canal entre les 2 sens downlink et uplink d'une façon adaptative, selon la quantité du trafic échangé. Ce transfert asymétrique est approprié au trafic Internet où de grandes quantités de données peuvent être tirées à travers le downlink [33].

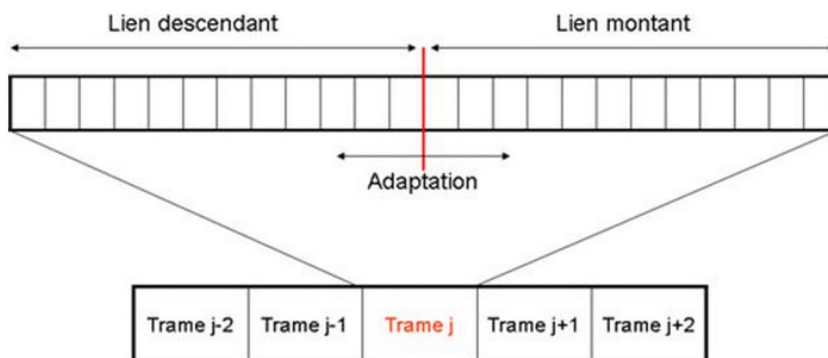


Figure III.7 Principe du TDD



### III.3.3 La couche physique

La couche physique du WiMAX peut prendre en charge la gamme de 10 à 66 GHz. Propagation de données dans de tels systèmes a besoin d'un LOS directe. En raison de cette limitation, l'IEEE a opté pour une seule porteuse de modulation (WirelessMAN-SC). LOS transmission nécessite une antenne fixe sur le toit d'une maison ou d'une entreprise, d'une connexion solide et stable capable de transmettre de grandes quantités de données. Ces antennes et leur installation est coûteuse. Pour la technologie WiMAX pour être accessible par de petites applications et résidentiel, un système NLOS est nécessaire. La couche IEEE 802.16a physique est spécifiquement conçue pour supporter des fréquences inférieures à 11GHz, ce qui permet aux vagues de se pencher obstacles tels que des maisons et des arbres.

Pour répondre à ces spécifications, trois types d'interfaces de transmission ont été définies [29] :

- **SC (Single Carrier) (ou WirelessMAN-SCa Air Interface) :** Elle définit une transmission sur un seul canal de fréquence.
- **OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) (ou WirelessMAN-OFDM Air Interface) :** cette interface utilise plusieurs bandes de fréquence qu'elle divise en plusieurs porteuses pour la transmission d'un signal. Chaque bande est utilisée à des fins différentes.
- **OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) (ou WirelessMAN-OFDMA Air Interface) :** similaire à l'OFDM, cette interface offre un plus grand nombre de porteuses du fait du multiplexage effectué sur la fréquence.

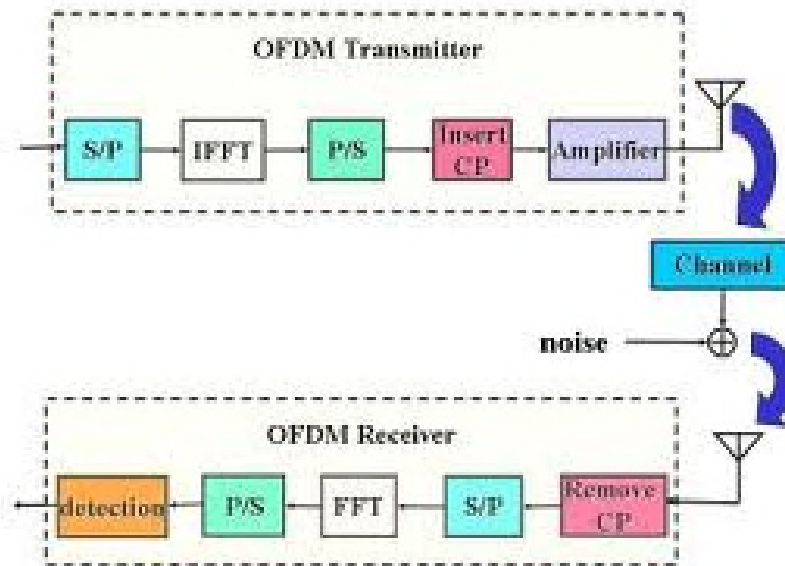
#### III.3.3.1 Techniques de multiplexage

##### III.3.3.1.1 OFDM

La norme 803.16-2004 utilise le multiplexage par répartition orthogonal de fréquence (OFDM). C'est une technique de modulation multi-porteuses à base de transformée de Fourier rapide. C'est une technique de transmission multi -porteuse où le spectre est divisé en plusieurs sous porteuses, chacune modulée avec un flux de données bas débit. Les porteuses

sont orthogonales entre elles et donc les interférences entre canaux proches sont réduites. Chaque porteuse a de plus, une bande passante faible par rapport à la bande totale utilisée, ce qui provoque une grande tolérance aux problèmes de multi trajets [35].

La figure ci-dessous représente d'une manière simple la modulation OFDM



**Figure III.8 Modulation OFDM**

OFDM utilise la transformée de Fourier rapide (FFT) et FFT inverse pour convertir les données en série à multiples canaux. La taille de la FFT est 256, ce qui signifie un nombre total de 256 sous-canaux (transporteurs) sont définis pour OFDM. En OFDM, le signal d'origine est divisé en 256 sous-porteuses et transmis en parallèle. Par conséquent, OFDM est considéré comme un système de modulation multi porteuse. Par rapport à porteuse unique régimes, OFDM est plus robuste contre les trajets multiples du fait de retard de propagation à l'utilisation de sous-porteuses étroites avec de faibles débits binaires résultant de longues périodes de symbole. Un temps de garde est introduit à chaque symbole OFDM pour atténuer les effets de la propagation par trajets multiples retard [35].

Nous distinguons 3 types de sous porteuses :

- Sous porteuses de données (192 sous porteuses)
- Sous porteuses pilotes : pour des buts d'estimation (8 sous porteuses).
- Sous porteuses nulles : (56 sous porteuses) pas de transmission, pour les bandes de garde (55 sous porteuses), et la sous porteuse DC.

- **Les avantages de l'OFDM**

Les avantages de cette technique sont nombreux parmi lesquelles on site :

- Efficacité de l'utilisation du spectre et de puissance (utilisation de N porteuses orthogonales très proche l'une de l'autre).
- Grande immunité contre la propagation multi trajets, ou certains symboles d'une précédente transmission peuvent arriver en retard.
- Immunité contre l'interférence entre les canaux (insertion de porteuses nulles à chaque extrémité du symbole).
- Facilité de synchronisation et d'estimation du canal grâce aux sous porteuses pilotes.

- **Les inconvénients de l'OFDM**

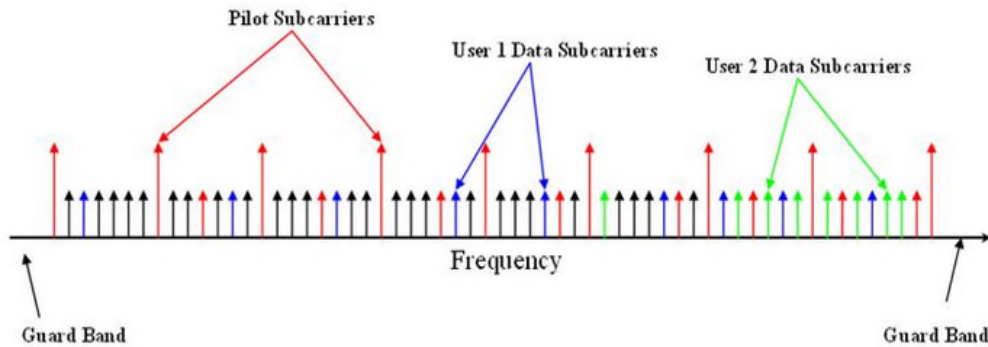
- Très sensible à la désynchronisation
- Facteur de crête
- Gestion de la diversité

La différence que présente la couche physique de la norme 802.16e par rapport au 802.16-2004, réside dans l'utilisation de l'OFDMA comme technique de multiplexage.

### **III.3.3.1.2 OFDMA**

La différence entre OFDM et OFDMA est qu'OFDMA organise le temps (c'est à dire, les symboles) et la fréquence (c.-à-d. les porteuses) des ressources en sous-canaux pour l'allocation de récepteurs individuels, ce qui permet l'accès multiple [36].

Dans cette version il est désormais possible d'attribuer jusqu'à 2048 utilisateurs qui cette fois, à la différence de l'OFDM, sont attribués de manière dynamique. En effet si un utilisateur a besoin de trois fois plus de bande passante qu'un autre utilisateur alors la modulation lui allouera 3 emplacements alors que l'utilisateur normal n'en aura qu'un seul.



**Figure m.9 Modulation OFDMA**

On a 2 modes d'utilisation des subchannels dans le sens descendant downlink [34] :

- **FUSC** (Full Usage of Subchannels) : tous les subchannels sont attribués à l'émetteur, dans ce mode on attribue d'abord les porteuses nulles de la bande de garde et les pilotes, ensuite on fait la partition des porteuses restantes en des subchannels (La partition des porteuses en des subchannels est nommée permutation), cela signifie qu'on a un seul ensemble des pilotes commun à toutes les porteuses du symbole.
- **PUSC** (Partial Usage of Subchannels) : quelques subchannels sont attribués à l'émetteur. Dans ce mode la partition se fait de la façon suivante : d'abord on fait attribuer les porteuses nulles de la bande de garde, ensuite on fait la partition des sous porteuses restantes en des subchannels (permutation), et dans chaque subchannel on fait l'attribution des pilotes et des porteuses des données, cela signifie que chaque subchannel a son propre ensemble de porteuses pilotes.

Dans le sens uplink, on commence par une permutation (partition en des subchannels), ensuite on fait l'attribution des porteuses pilotes et des porteuses de données dans chaque subchannel. Un slot dans l'OFDMA est la plus petite unité d'allocation des données possible, pour qu'il soit bien défini, il exige les 2 dimensions : temps et subchannels. La définition des slots OFDMA dépend de la structure du symbole OFDMA, qui varie pour l'uplink et le downlink, pour le FUSC et le PUSC, et pour les permutations des sous porteuses. Par exemple si on utilise le mode PUSC dans le sens uplink avec une certaine permutation, le slot utilisé est égal à 1 subchannel x 3 symboles OFDM.

La structure d'une trame OFDMA pour un duplexage temporel (TDD), est subdivisée en deux sous trames, une pour la liaison montante et l'autre pour la liaison descendante, les deux séparées par un intervalle de garde.

Les différents champs de la trame sont :

- **Premabule** : Ce champ est utilisé pour la synchronisation, et se situe au début de la sous trame de la liaison descendante (c'est le premier symbole OFDM).
- **Frame Control Head (FRH)** : Ce champ suit le préambule et a pour rôle d'assurer les informations de configuration de la trame (par exemple, la longueur du message MAP, les subchannels qu'on peut utiliser...)
- **DL-MAP et UL-MAP** : Assurent l'allocation des subchannels.
- **UL Ranging** : Ce champ est alloué aux MSs (Mobile Station) pour leur permettre d'ajuster leurs fréquences, leurs puissances ainsi que leurs demandes en besoin de bande passante.
- **UL CQICH** : Alloué aux MSs pour leur permettre de renvoyer les informations concernant l'état du canal.
- **UL ACK** : Pour acquitter une demande de DL-HARQ. Avec l'OFDM, les utilisateurs transmettent en utilisant la totalité de l'espace des porteuses pendant un time slot. Cependant, OFDMA permet aux utilisateurs de transmettre seulement à travers les sous canaux qui leurs sont alloués.

### III.3.3.2 MIMO

MIMO est un type de multiplexage spatial, c'est une technique très puissante pour les systèmes à antennes multiples. En principe, MIMO augmente le débit des données dans la proportion du nombre d'antennes de transmission du fait que chaque antenne porte un flux unique des symboles de données. Par conséquent, si le nombre d'antennes de transmission est  $M$  et le débit des données par chaque flux est  $R$  alors le débit total du système est  $M \cdot R$ . MIMO fournit un accroissement multiplicatif du débit, en comparaison avec l'architecture Single Input Single Output (SISO), tout en codant soigneusement le signal transmis à travers les antennes, les symboles OFDM, et les fréquences. Il existe plusieurs types de récepteurs pour le MIMO, mais une restriction pour tous ces récepteurs est que le nombre des antennes de réception doit être plus grand, ou au moins égal, au nombre des antennes de transmission, mais pas plus petit, sinon les données ne peuvent être décodées correctement au niveau de la réception [34].

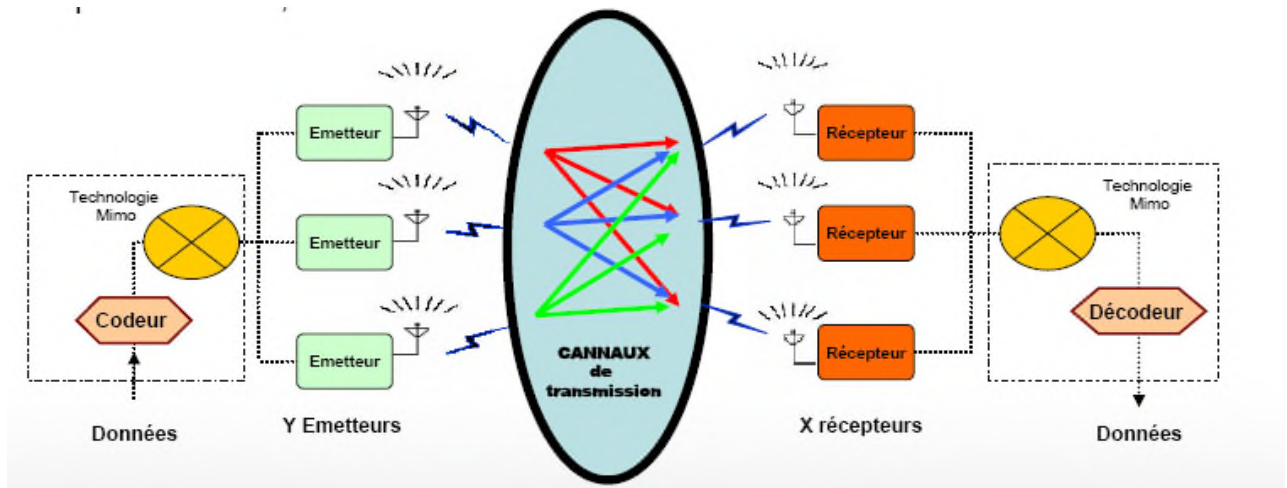


Figure III.10 Principe du MIMO

En voici quelques avantages de l'utilisation de la technologie MIMO dans les systèmes de transmission :

- « Array Gain » : c'est le gain obtenu en utilisant des antennes multiples, alors le signal s'additionne d'une façon cohérente.
- « Diversity Gain » : c'est le gain obtenu en utilisant des trajets multiples, alors s'il y en a un trajet bruité, cela ne va pas limiter la performance du système.

### III.3.3.3 Modulation adaptative

Il s'agit d'ajuster la modulation du signal par rapport au SNR (rapport signal sur bruit) du signal radio. Quand le lien radio est de très bonne qualité, le plus haut plan de modulation est utilisé. Ce qui augmentera la capacité du système. Sinon, on dégrade la qualité de la modulation pour garder la même qualité de connexion et la stabilité de lien [37].

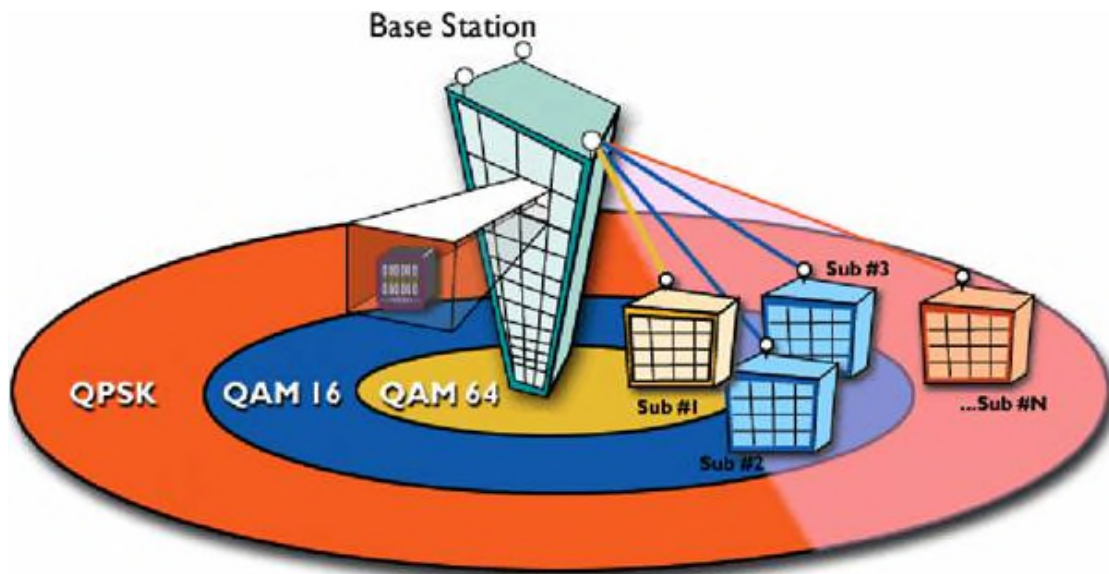


Figure III.11 couche physique adaptative

#### III.4 Architecture en couche de la norme 802.16e ou WIMAX MOBILE

Le 802.16e est une version améliorée du standard 802.16-2004, et est considérée comme la version mobile du standard. De plus cette version porte des nouvelles améliorations pour les couches Physique et MAC du standard 802.16, c'est pour cette raison qu'on va s'intéresser dans ce qui suit à l'architecture en couche du WiMAX mobile. L'enjeu du WiMAX mobile consiste à introduire la gestion de la mobilité entre des stations de base WiMAX et des terminaux nomades équipés d'un client radio ad hoc. Ainsi des nouvelles applications peuvent être envisagées, allant jusqu'à la possibilité d'exploiter ce réseau pour de la téléphonie sur IP.

##### III.4.1 La couche physique

Le WiMAX mobile porte des nouvelles améliorations pour la couche physique : l'OFDMA, connue dans 802.16e sous le nom de SOFDMA (Scalable OFDMA), et porte des caractéristiques importantes pour les réseaux fixes et mobiles.

### **III.4.1.1 Technique d'accès multiple SOFDMA**

SOFDMA introduit beaucoup de variations à l'interface WirelessMAN-OFDMA du standard 802.16-2004, non pas seulement pour améliorer sa fonction mais aussi pour être capable de supporter la mobilité des utilisateurs (Effet Doppler, Handover). Les systèmes de largeurs de bande de 5 et 10MHz sont les premiers profils développés par le WIMAX Forum.

### **III.4.2 La couche MAC**

Les spécifications de la couche MAC, du WIMAX mobile prennent forme sur la base de la norme 802.16-2004 tout en ajoutant les services de mobilité et le Handover avec une meilleure sécurité et qualité de service.

#### **III.4.2.1 Gestion de la qualité de service**

La gestion de la qualité de service est la procédure qui détermine l'allocation de bande et l'interrogation des stations d'abonnés sur l'état de leur file d'attente. Plusieurs paramètres de qualité de service sont alors définis tels que : la garantie de l'intégrité des données transportées, la garantie d'un temps de latence maximum, la garantie d'un débit minimum, la garantie d'une variation de délai (gigue) maximale, le partage équitable ou pondéré des ressources, etc. Les besoins en qualité de service peuvent être différents. Si on veut diffuser de la vidéo à la demande, on aura besoin d'un transfert quasi temps-réel, avec une latence très faible ainsi qu'une gigue faible. En revanche, il est permis de perdre parfois une image ou d'avoir une qualité d'image un peu dégradée. Cependant, si on veut transférer de gros fichiers via le protocole FTP, il est essentiel que l'intégrité des données soit préservée, mais on peut tolérer une gigue importante. Dans le standard 802.16 différents types de services sont utilisés, sont résumés dans le tableau suivant [38] :



| Classe de QoS   | Applications  | Paramètres   |
|---|---|--|
| <b>UGS</b><br><b>Unsolicited Grant Service</b>          | -VoIP   | -Debit maximal<br>-Tolérance maximal de retard<br>- Tolérance au Jitter  |
| <b>rtPS</b><br><b>Real-Time Packet Service</b>          | -MPEG<br>-Streaming audio ou vidéo<br>Voice avec detection<br>d'activité (VoIP) | -Debit minimal réservé<br>-Débit maximal admissible<br>-Tolérance maximal au retard<br>-Priorité de trafic                         |
| <b>ErtPS</b><br>Extended Real-Time Packet<br>Service    |   | -Debit minimal réservé<br>-Débit maximal admissible<br>-Tolérance maximal au retard<br>-Priorité de trafic<br>-Tolérance au jitter |
| <b>nrtPS</b><br><b>Non-Real-Time Packet<br/>Service</b> | -FTP  | -Débit minimal réservé<br>-Débit maximal admissible<br>-Priorité de trafic   |
| <b>BE</b><br><b>Best-Effort Service</b>                 | -Web browsing   | -Débit maximal admissible<br>-Priorité de trafic   |

**Tableau III.2 Classification de QoS**

#### III.4.2.2 La sécurité

Le WiMAX Mobile est l'une des meilleures technologies sans fil au niveau de la sécurité. Les principales caractéristiques qu'offre cette technologie sont les suivantes :

- **Key Management Protocol** : Privacy and Key Management Protocol Version 2 (PKMv2) est la base de la sécurité du WiMAX Mobile comme défini dans la norme 802.16e. Ce protocole gère la sécurité au niveau de la couche MAC en utilisant des messages de type PKM-REQ/RSP PKM EAP authentication, Traffic Encryption Control, Handover Key Exchange et Multicast/Broadcast.
- **Device/User Authentication** : Supporté grâce au protocole EAP en fournissant des supports SIM-based, USIM-based ou Digital Certificate ou UserName/Passwordbased.
- **Traffic Encryption** : L'AES-CCM est l'algorithme de chiffrement utilisée pour protéger les données des utilisateurs à travers l'interface MAC du WiMAX Mobile. Les clés sont générées par l'authentification EAP.
- **Control Message Protection** : Les données de contrôle sont protégées suite à l'utilisation de l'AES ou du MD5.

- **Fast Handover Support** : L'authentification dans le fast handover est optimisée grâce au mécanisme du 3-way Handshake. De même, ce mécanisme permet de lutter contre les attaques de man-in-the-middle [36].

### III.4.2.3 Gestion de la mobilité

Le handover et la vie de la batterie sont deux problèmes très importants dans le monde du mobile. Le Wimax mobile supporte le Sleep Mode et l'Idle Mode pour assurer un bon fonctionnement du terminal mobile. De plus, cette version du Wimax supporte le handover d'une façon transparente vis-à-vis de l'utilisateur et cela en basculant d'une station de base à une autre sans avoir de coupure au niveau de la communication [35].

#### III.4.2.3.1 Contrôle de puissance

Le mode « sleep » est un état au cours duquel le MS mène des périodes, pré-négociées, d'absence par rapport à l'interface air de la station de base. Ces périodes sont caractérisées par l'indisponibilité du MS en point de vue trafic ascendant ou descendant. Ce mode vise à économiser la puissance au niveau du MS ainsi que les ressources au niveau de la BS (Base Station). Quant au "Idle Mode", il permet à la MS de traverser plusieurs cellules sans avoir à envoyer des messages de handover, ni échanger de messages de gestion de trafic. Mais le MS reste joignable sur le lien descendant via le paging sans toutefois être enregistré à une BS spécifique. Le groupe de BS traversées constitue un groupe de paging [36].

#### III.4.2.3.2 Handover

Le handover est le mécanisme qui assure la continuité de la connexion d'un MS au cours de son déplacement de la zone de couverture d'une BS à une autre. Le standard 802.16e supporte trois types de Handover qui sont [31] :

- Le Hard Handover.
- Le FBSS (Fast Base Station Switching),
- Le MDHO (Macro Diversity Handover).

Le Hard handover est obligatoire, quant aux deux autres ils sont optionnels

- **Hard Handover :**

Au cours du Hard Handover, la station abonnée mobile communique avec une station de base à la fois. La connexion avec l'ancienne BS est annulée avant l'établissement de la nouvelle. Le handover est exécuté à partir du moment où le signal de la cellule voisine est plus important que celui de la station de base courante.

- **Macro Diversity Handover (MDHO)**

Pendant que le Macro Diversity Handover est supporté par la station mobile abonnée et la station de base, l'ensemble de diversité est mis à jour au niveau de la station mobile abonnée et au niveau de la station de base. Il est à noter que l'ensemble de diversité est la liste des stations de bases participantes à la procédure de Handover, dont le niveau de champ est supérieur à une certaine valeur. De plus cette liste est définie pour chaque station mobile abonnée associée au réseau. Au cours du Macro Diversity Handover, la station mobile de l'abonné qui participe à la procédure de Handover communique avec toutes les stations de base appartenant à l'ensemble de diversité. Durant la procédure de MDHO dans l'UL, deux stations de bases ou plus transmettent des données vers la station mobile de l'abonné de telle sorte qu'il existe la diversité en réception. Tandis que dans le sens montant, les transmissions de la station mobile abonnée sont reçues par plusieurs stations de bases

- **Fast Base Station Switching**

Le principe est plus ou moins semblable à celui du MDHO en ce sens qu'il y a toujours la notion d'ensemble de diversité. A la différence qu'ici, à la suite de l'élaboration de l'ensemble de diversité, la station mobile abonnée choisit une station de base parmi d'autres pour qu'elle devienne sa station de base principale. La station de base principale est la seule station de base avec laquelle la station mobile abonnée, échange du trafic à la fois dans le sens montant et descendant, en incluant les messages de gestion. C'est également au niveau de cette station de base que la station mobile abonnée est enregistrée, synchronisée, ou se fait son contrôle dans le sens descendant. Cependant, à chaque trame transmise, la station mobile abonnée peut changer de station de base principale.

## **III.5 Applications des réseaux WiMAX**

### **III.5.1 La desserte**

Le but de la desserte est de relier le client final à un réseau donné afin qu'il puisse accéder à Internet et/ou aux autres services. Pour cela, le client doit posséder un récepteur WiMAX et se trouver dans le champ d'action d'un émetteur WiMAX. La transmission entre le client et son hot spot WiMAX est dite en « non ligne de vue » (NLoS), c'est-à-dire que le client ne se trouve pas en vue directe avec l'antenne. En effet, les bâtiments ou la végétation que l'on trouve dans les villes forcent le signal à être détourné grâce à l'utilisation de la modulation de fréquence OFDM. C'est à ce niveau de desserte que se joue l'avenir du WiMAX mobile.

### **III.5.2 La collecte**

Dans un réseau WiMAX, la collecte consiste à relier les points d'accès assurant ainsi la connexion avec Internet. On appelle ce mécanisme le backhauling de hot spots. Contrairement à la desserte, la collecte se fait en "ligne de vue" (LOS), grâce à des émetteurs WiMAX placés suffisamment haut. L'avantage du WiMAX réside dans sa simplicité de mise en oeuvre. Il ne faudra que deux antennes pour relier deux réseaux distants, là où il aurait fallu des kilomètres de fibre optique en filaire.

### **III.5.3 Connecter les endroits inaccessibles**

Un réseau sans fil, maillé, peut être utilisé pour créer des réseaux là où les fils ne peuvent aller. Afin d'obtenir le meilleur signal possible, les nœuds sans-fil doivent avoir une "ligne de vue" jusqu'à leurs voisins. Cependant, il peut se présenter des situations où l'on doit transmettre un signal à travers un mur épais ou une forêt. Un réseau maillé offre deux possibilités dans ce cas :

- Disposer les nœuds autour de l'obstacle, le trafic étant relayé de nœud en nœud ;
- Disposer les nœuds de chaque côté de l'obstacle : celui-ci affaiblira fortement le signal, mais le nœud suivant le régénérera à pleine puissance.

### **III.5.4 Autres applications :**

#### **III.5.4.1 voIP**

Avec l'avancement des technologies récentes une amélioration importante de la qualité de services, la VoIP est placée en meilleur position pour remplacer les réseaux téléphoniques traditionnels. La différence entre les services VoIP et les services vocaux traditionnels réside dans la transmission des conversations VoIP qui utilise les réseaux larges bandes et internet comme support. Cela a permis aux fournisseurs VoIP d'éviter les commutateurs téléphoniques en utilisant une seule connexion large bande pour transmettre la voix et les données, et fournir d'autres services comme la messagerie unifiée et le contrôle d'appel. Wireless VoIP est un service simple et rentable avec le réseau WIMAX. [39]

#### **III.5.4.2 VPLS**

Le service VPLS est un type de VPN qui permet de relier des sites multiples à travers un seul conduit sécurisé par le provider. Pour le client, c'est comme si tous les sites étaient connectés à un seul réseau LAN privé. VPLS est entrain de remplacer les lignes louées et la technologie Frame relay. WIMAX permet avec sa QoS et sa sécurité d'implémenter des solutions VPLS à travers son réseau. [39]

### **III.6 Conclusion**

L'accroissement de la demande concernant l'accès à Internet s'est accru considérablement dans ces dernières années, tant au niveau des entreprises que des particuliers. L'émergence de standard tel que le 802.16 devrait encourager cette tendance et développer considérablement les accès sans fil au détriment des infrastructures filaires en apportant la mobilité et la flexibilité pour les usagers. Du fait de sa couverture, son très haut débit, ses coûts réduits, et sa variété d'utilisation.

Le Wimax est une technologie de communication numérique sans fil d'accès au réseau métropolitain. Son principal avantage est son accessibilité longue distance et son faible coût comparé au réseau filaire. Ainsi que sa rapidité de déploiement mais aussi, une garantie de la qualité de service.

# Chapitre

# IV

Simulation d'un réseau WiMax Mobile  
avec OPNET

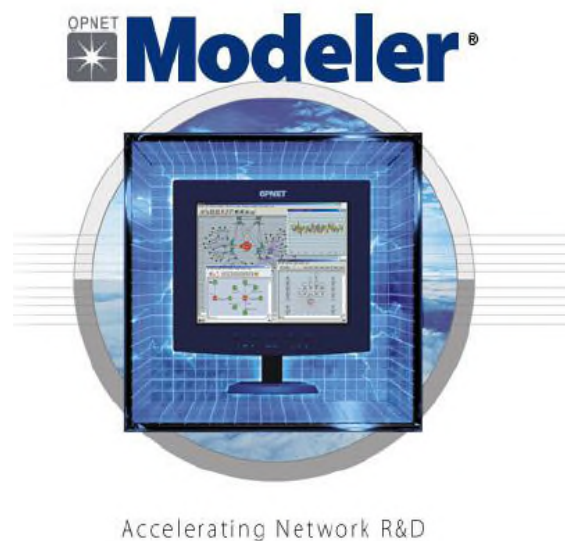
|          |  |    |
|----------|--|----|
| IV.1     | INTRODUCTION.....                      | 64 |
| IV.2     | PRESENTATION DU LOGICIEL OPNET.....    | 64 |
| IV.3     | LA SIMULATION.....                     | 68 |
| IV.3.1   | LES PARAMETRES DU SYSTEME.....         | 68 |
| IV.3.2   | LE RESEAU.....                         | 69 |
| IV.3.3   | TRADUCTION DES RESULTATS.....          | 70 |
| IV.3.3.1 | Cas du Handover.....                   | 72 |
| IV.3.3.2 | Cas de transmission sans Handover..... | 73 |
| IV.4     | CONCLUSION.....                        | 74 |

## IV.1 Introduction

Les chapitres qui ont précédé nous ont permis d'acquérir des connaissances sur la technologie WiMax ainsi que ces caractéristiques architecturale. Pour apprendre d'avantage sur les fonctionnalités que cette technologie nous offre, nous avons porté notre étude pratique sur les mécanismes qui régissent un paramètre important du WiMax Mobile, qui est la mobilité. Dans notre étude nous simulerons le fonctionnement du Handover en utilisant l'outil de simulation OPNET.

## IV.2 Présentation du logiciel OPNET

L'OPNET Modeler est un environnement de travail sophistiqué pour la modélisation et la simulation des systèmes de communication, protocoles et de réseaux. Il a une structure hiérarchique de modélisation, à base d'objets. Il dispose également d'une interface graphique qui affiche les caractéristiques des différents paramètres individuels par rapport aux autres paramètres.



On distingue les interfaces suivantes :

- Project Editor
- Network Model Editor
- Node Model Editor
- Process Model Editor



### Project Editor :

C'est l'interface principale du logiciel. Elle permet d'implanter des modèles issus des bibliothèques OPNET ainsi que des modèles créés par l'utilisateur. C'est aussi à partir de Project Editor que les simulations peuvent être configurées puis lancées et que les résultats issus de ces simulations peuvent être affichés. Les principales fonctions de cette interface sont disponibles sous formes d'icônes.



Figure IV-1 Project Editor

### Network Model Editor

Permet de représenter la topologie d'un réseau de communication constitué de nœuds et de liens par l'intermédiaire de boîtes de dialogues (palettes et glisser/poser). Cette interface tient compte du contexte géographique (caractéristique physique pour la modélisation).

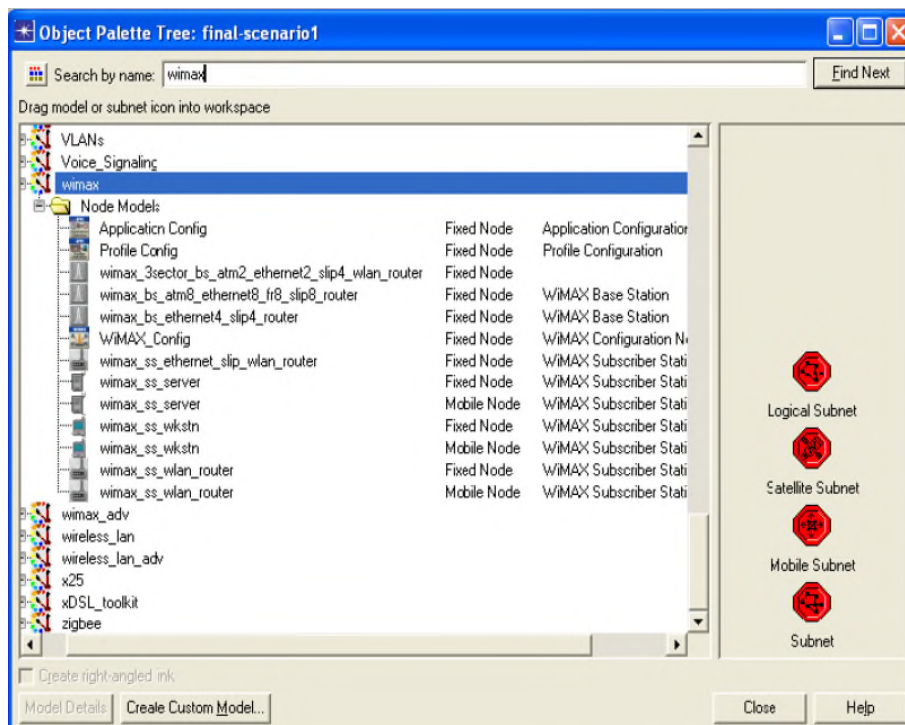


Figure IV-2 Network Project Editor

### Node Model Editor

Affiche une représentation modulaire d'un élément de la bibliothèque ou d'un élément créé par l'utilisateur. Chaque module envoie et reçoit des paquets vers d'autres modules. Les modules représentent des applications, des couches protocolaires ou des ressources physiques (buffer, port, ...)

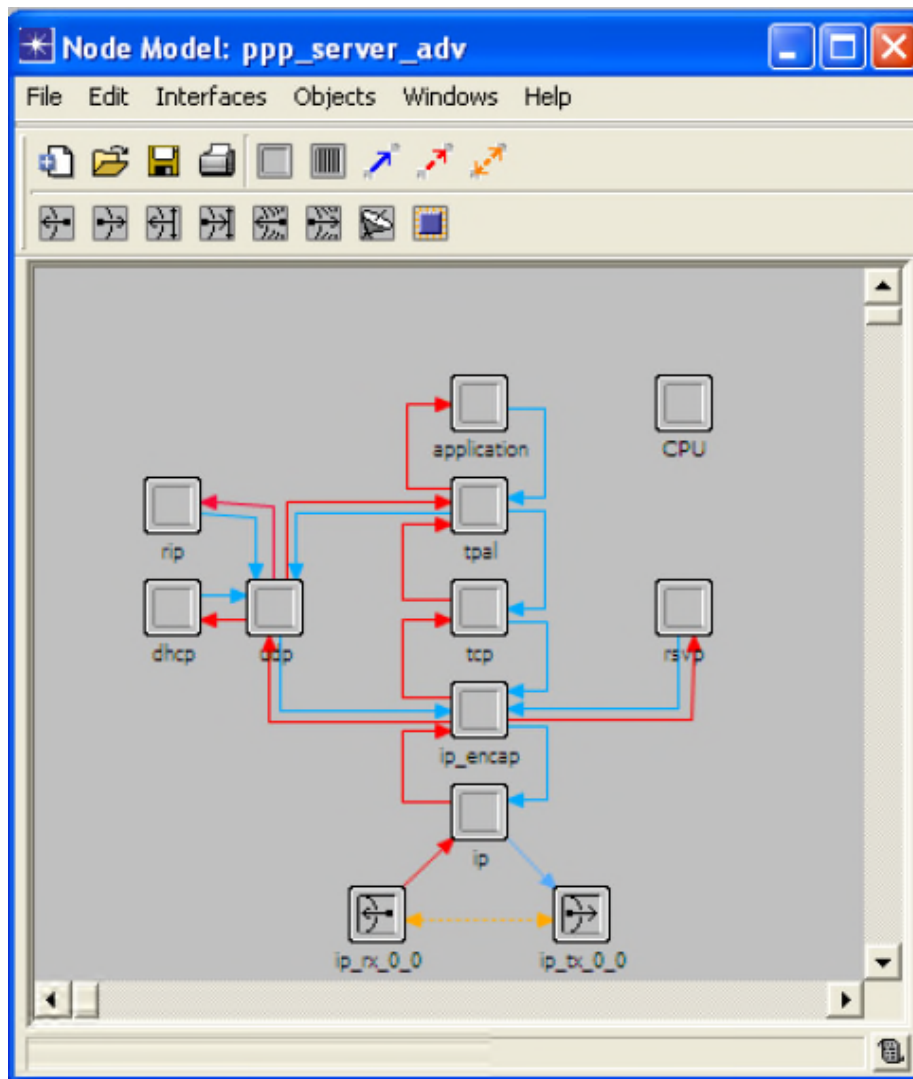


Figure IV-3 Node Model Editor

### Process Model Editor

C'est l'interface donne une représentation d'un module par des machines à états finis, chaque état est liés à un autre état par des transitions conditionnelles ou non conditionnelles.

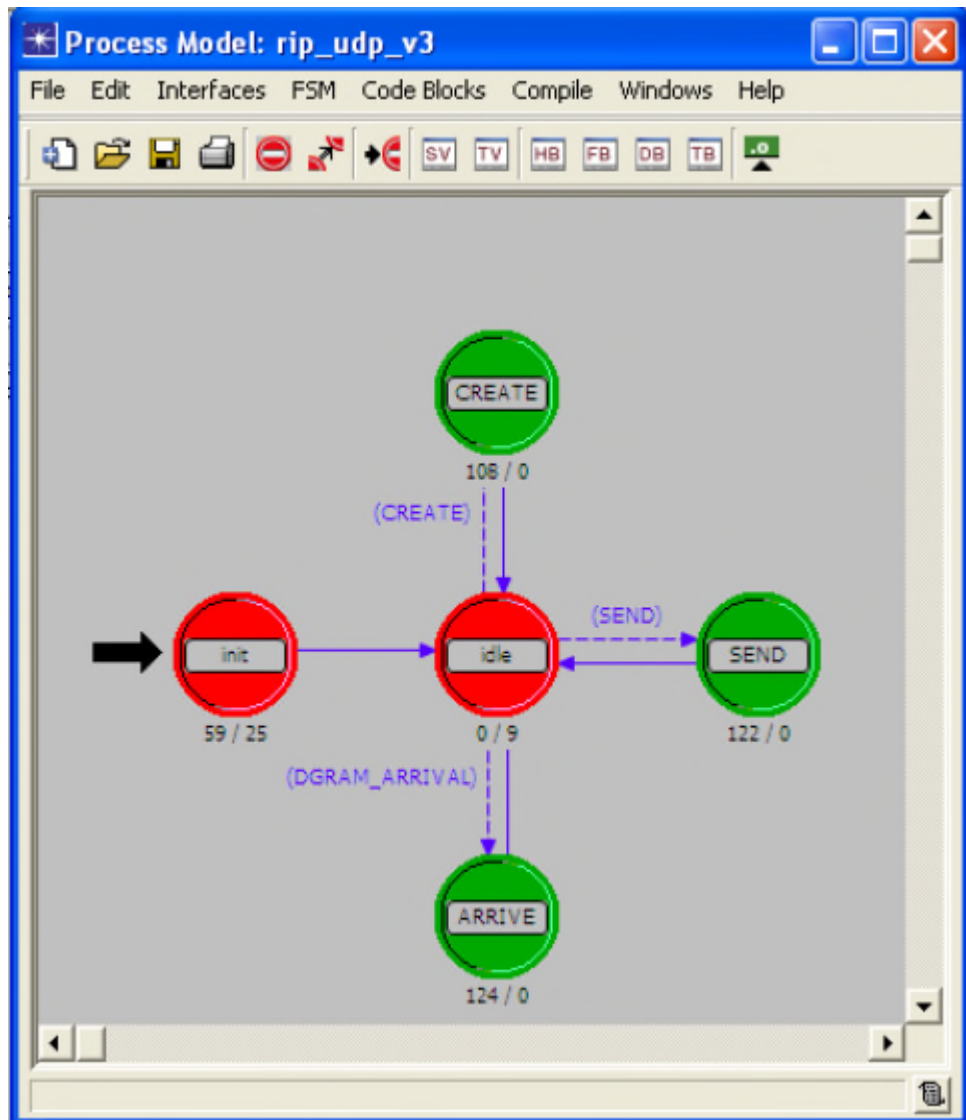


Figure IV-4 Process Model Editor

Dans ce projet, on s'est limité aux bibliothèques de modèles et de protocoles implantés dans OPNET. Ainsi les interfaces de Node Model et Process Model n'ont pas été utilisées. Nous n'avons pas pu aborder l'ensemble des interfaces proposées par le logiciel du fait de sa complexité.

### IV.3 La simulation

On effectuera une simulation qui consiste à visualiser le résultat de la mobilité d'une MS (Mobile Station) se déplaçant sur un ensemble de BTS avant de retourner à la station de départ.

#### IV.3.1 Les paramètres du système

La configuration des BS (Base Station) et de la MS se fera comme suit :

| PARAMETRE                            | VALEUR        |
|--------------------------------------|---------------|
| Fréquence                            | 5,8 GHz       |
| Duplexage                            | TDD           |
| Bande De Fréquence                   | 5 MHz         |
| Puissance Maximale De La Tx De La Bs | 2 W           |
| Puissance Maximale De La Tx De La Ms | 500 mW        |
| Gain De La Bs                        | 15 dbi        |
| Gain De La Ms                        | -1 dbi        |
| Model De Propagation                 | OPNET TIREM 4 |
| Durée De La Trame                    | 5 mS          |
| Permutation                          | PUSC          |
| Modulation                           | 64 QAM 1/2    |

**Tableau IV-1 Configuration du système**

L'OPNET possède un modèle de propagation bien défini « OPNET TIREM 4 » : Terrain Integrated Rough Earth Model, permet de définir une trajectoire de propagation en conséquence.

### IV.3.2 Le réseau

Le réseau à simulé est composé de :

- Sept stations de base, d'une distance de 1,5 Km minimum entre chaque station.
- Une station mobile qui traverse les 7 stations de base puis revient à la première à une vitesse de 25 Km/H.
- Un serveur qui génère le trafic

Le CSN joué par le backBone qui interconnecte tous les autres composants avec le serveur, suivant le schéma ci- dessous :

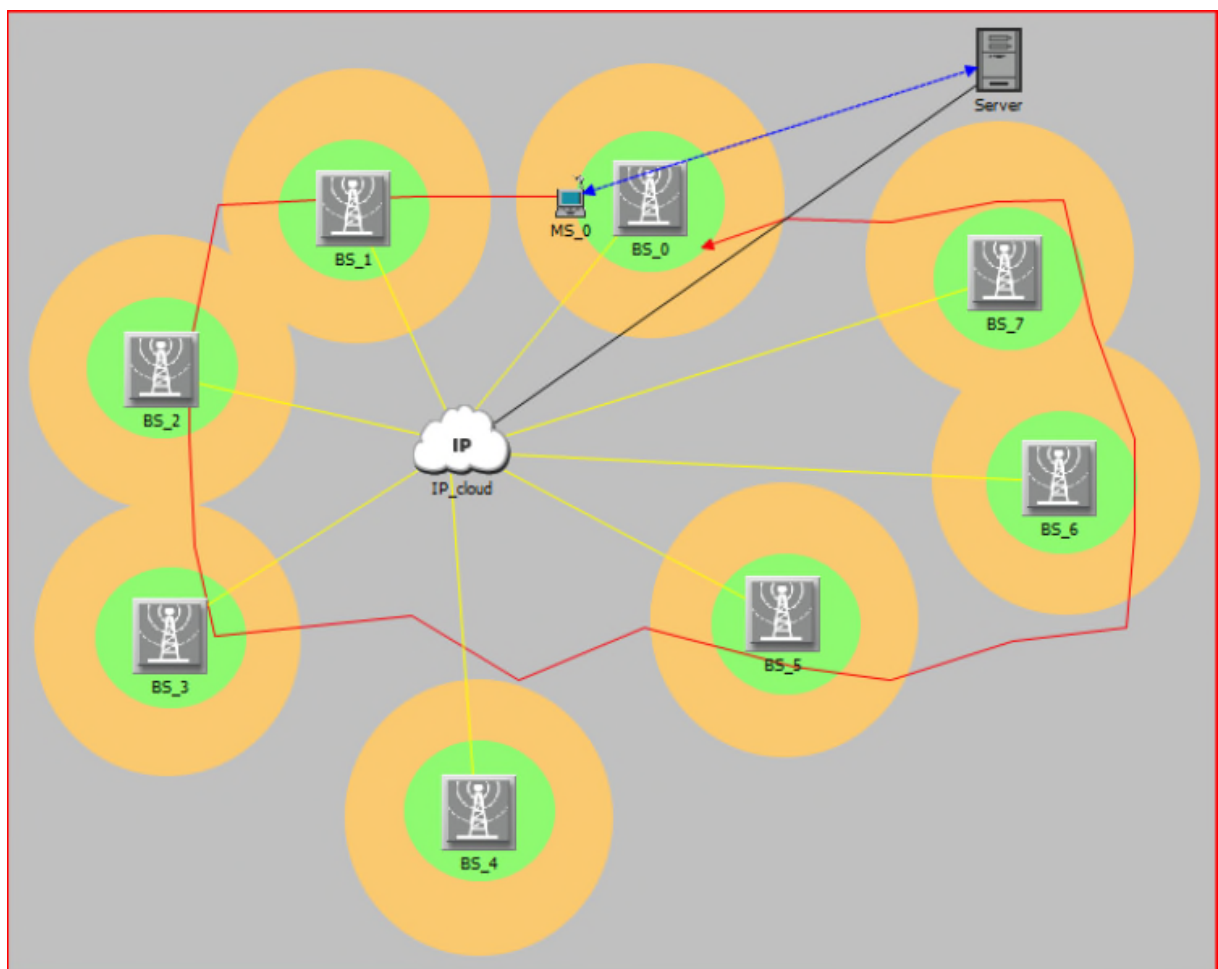


Figure IV-5 Topologie du réseau

Le trafic est généré à un débit de 64 KB/s et une qualité de service type BEST EFFORT.

Nous avons mesuré le déplacement de la MS pendant 30min.

### IV.3.3 Traduction des résultats

Nous avons obtenus deux graphes, l'un en rouge, et un dessus en bleu qui représentent chacun respectivement le débit de 64 KB/s envoyé par le serveur, et le débit reçu par la station Mobile (MS).

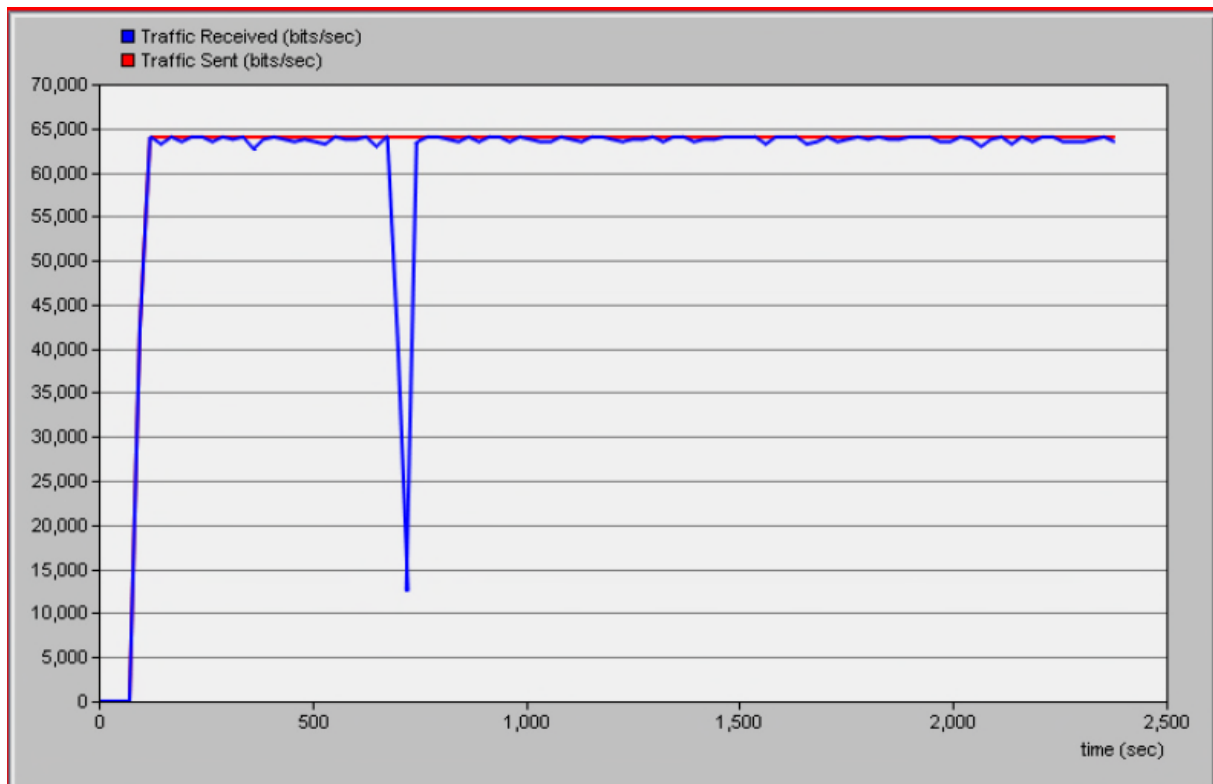


Figure IV-6 Trafic reçu par la MS

La station mobile entre 600 et 700 secondes subit une chute de débit atteignant les 11KB/s

En utilisant l'outil « View Result » d'OPNET nous procédons à la séparation des trafics :

- Le trafic reçu par la MS
- Le trafic envoyé par les BS suivantes : BS-0, BS-1, BS-3, BS-4.

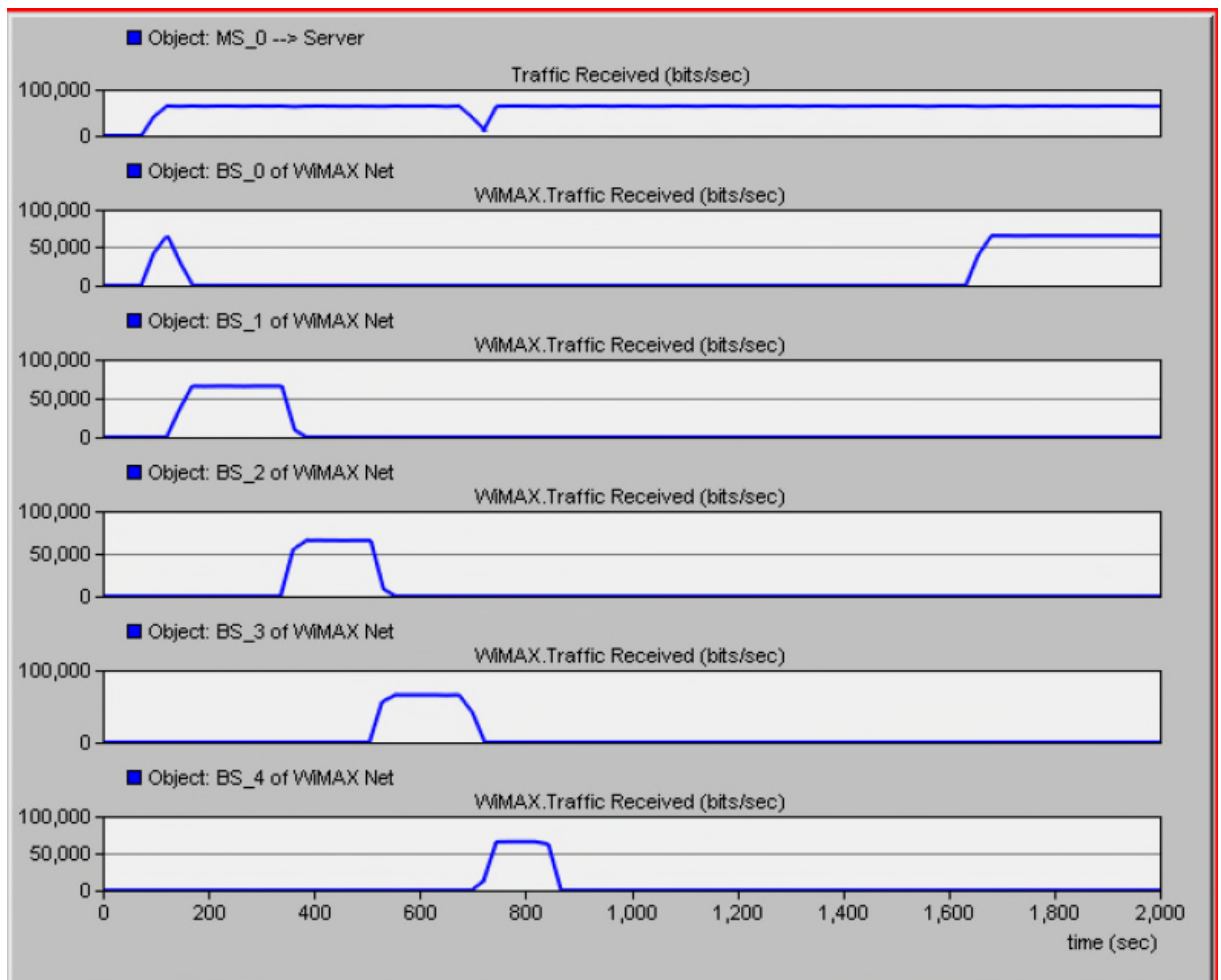


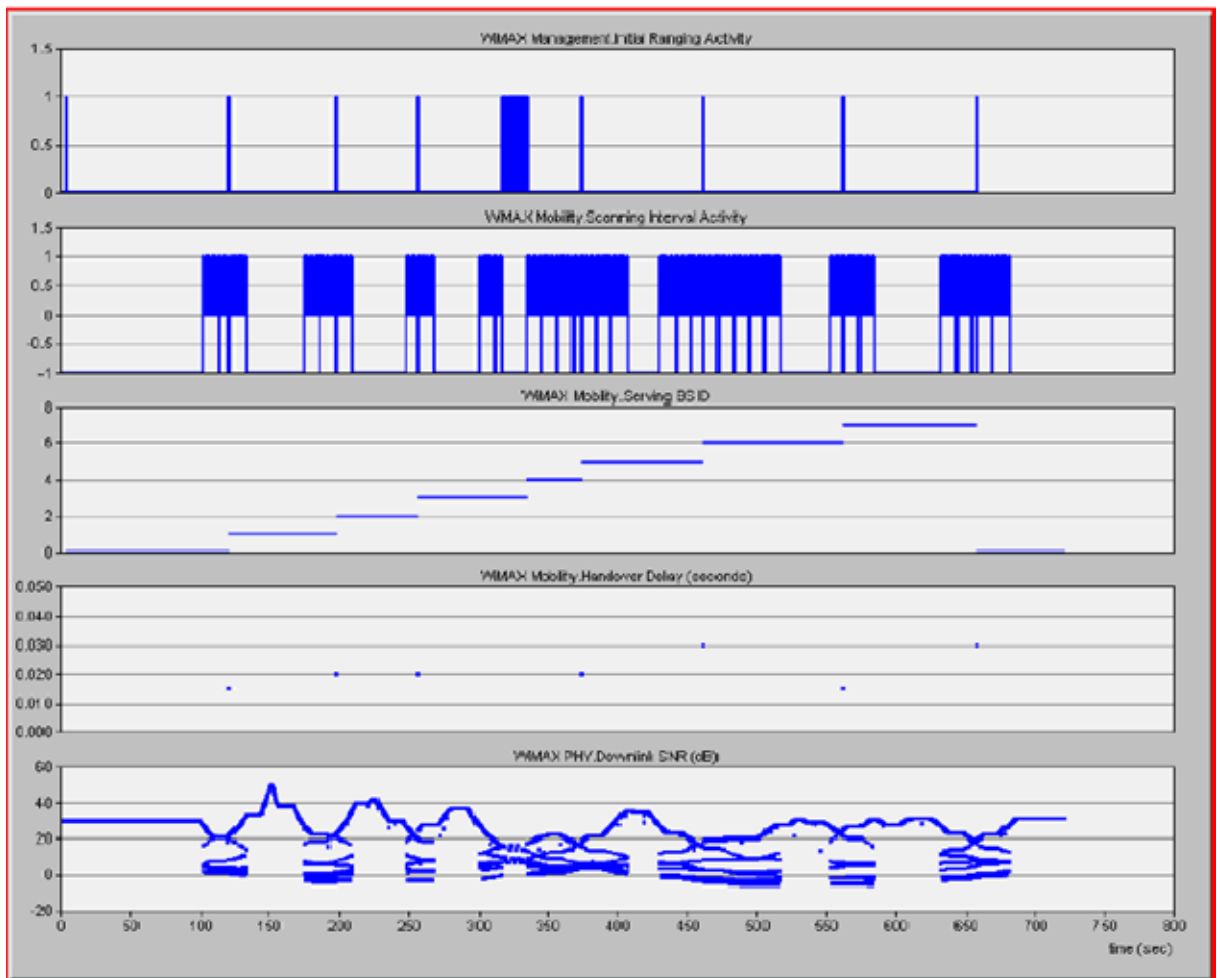
Figure IV-7 Trafic reçu par les BS

Nous remarquons que la chute de débit se trouve lors du passage de la BS-3 vers la BS-4, alors que le handover s'est parfaitement accompli entre les autres BS.

Le Handover est caractérisé par les paramètres qui suivent :

- Initial Ranging Activity
- Scanning Interval Activity
- Mobility Serving BS ID
- Mobility Handover Delay
- Phy Downlink SNR

D'après leur évolution on obtient la figure suivante :



**Figure IV-8 Paramètres du Handover**

Depuis les graphes on constate que la MS a effectué 7 handover au lieu de 8. La fonction Scanning Interval dans la MS a été configurée avec une valeur de 27 db. Lorsque la MS détecte que le niveau de SNR diminue en dessous de la valeur donnée elle lance le Scanning Interval pour mesurer le niveau du SNR des autres BS, et là elle lance le Initial Ranging pour effectuer le Handover.

#### **IV.3.3.1 Cas du Handover**

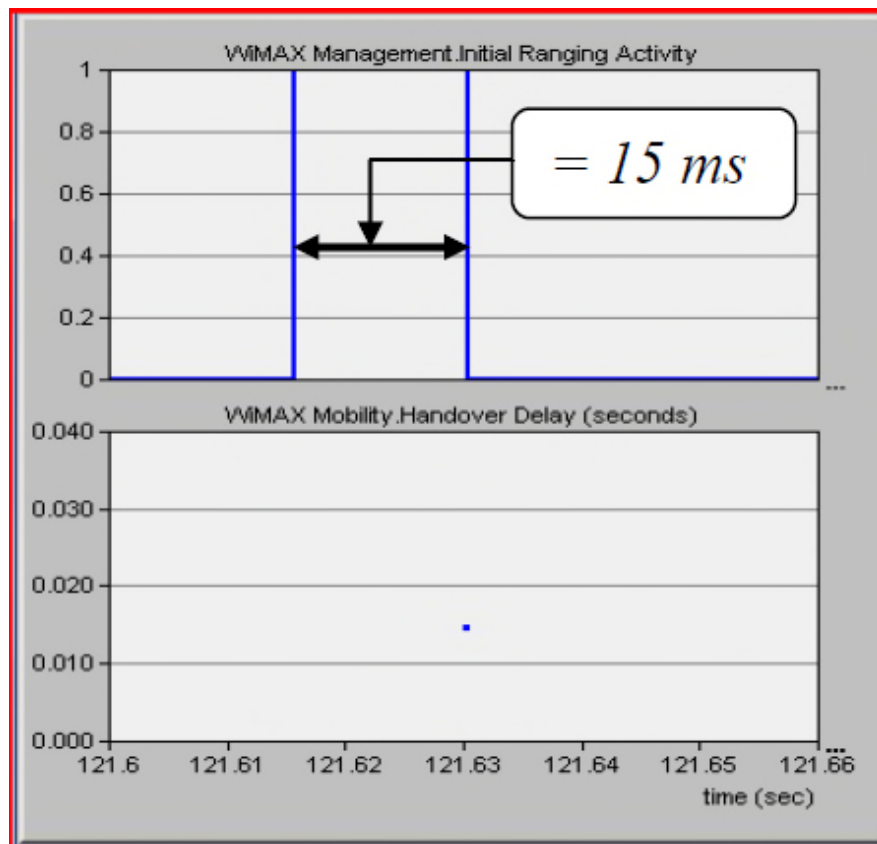
Comme nous l'avons fait remarquer précédemment la MS n'a effectué que 7 handover parmi 8.

Lors de la détection d'une autre BS, la MS lance l'Initial Ranging pour l'acquisition des nouveaux paramètres du lien montant et descendant.

Ce processus est lancé au moment où la MS trouve une BS cible et qu'ensuite celle-ci devienne source.



La durée de l'Initial Ranging doit être inférieure à 50 ms pour que le Handover ait lieu.



**Figure IV-9** Durée du Handover

La figure ci-dessus présente dans le 1<sup>er</sup> graphe la durée de l'Initial Ranging et le 2<sup>ème</sup> graphe le moment du Handover par un point.

#### IV.3.3.2 Cas de transmission sans Handover

Le déplacement de la MS entre la BS-3 et la BS-4, le même processus est lancé (Initial Ranging) pour exécuter le handover, sauf que cette fois ci il met quelques secondes à s'accomplir, ce qui devant des ms (millisecondes) est bien long.

C'est pour cela que l'on remarque la chute de débit, ainsi la BS-3 reste la BS source.

Par la suite la MS a pu établir la connexion avec la BS-4, ce qui indique la continuité du processus « Scanning activity ».

#### **IV.4 Conclusion**

Le handover est un paramètre important dans la mobilité, il veille au déroulement de la communication en permettant aux stations mobiles de passer d'une station de base à de ce scénario on conclut que la handover ne doit pas dépasser les 50 ms, et a besoin de certains processus pour s'exécuter correctement.

# Conclusion générale

## Conclusion générale

Face à l'évolution constante des services Télécoms et la variation des demandes et profils des utilisateurs, plusieurs réseaux radio en développement actuellement permettent d'offrir des capacités haut débit pour l'offre des services. Grâce à ses avantages, le standard 802.16 paraît comme une solution prometteuse pour les problèmes d'accès haut débit et avec l'apparition de la version mobile du WiMAX, 802.16e qui semble susciter le plus d'intérêt. Le WIMAX, dispose d'un ensemble d'avantages qui le place dans le rang des technologies concourants à la 4G. On cite quelques avantages tels que : l'utilisation d'un réseau à commutation de paquets, avec bande passante potentiellement large est flexible, exploitation efficace de la diversité temporelle (Ordonnancement, Modulation adaptative) et spatiale (MIMO). Pour finir c'est un standard ouvert qui offre un champ vaste pour l'innovation. Ceci lui a permis d'offrir une large couverture (3Km (mobile), 10 Km (fixe)), un débit important (75Mbits pour un canal de 20MHz), un coût raisonnable et une complexité réduite. Cependant l'ensemble n'est pas réalisable simultanément. D'autre amélioration ont été apporté au 802.16<sup>e</sup>, cette amélioration est connu sous la norme de 802.16m, des modifications ont été apporté en augmentant jusqu'à un débit de 1 Gbit/s et 100 Mbits/s par liaison sans fil mobile à grande vitesse et en utilisant davantage des techniques MIMO.

# Glossaire

**AAA:** Authentication, Authorization and Accounting. Désigne une technique de définition d'un espace de référence pour l'emploi des données d'un réseau en toute sécurité : l'utilisateur est authentifié, ses autorisations sont vérifiées et sa consommation est définie.

**AES :** Standard de chiffrement avancé » en français), aussi connu sous le nom de Rijndael, est un algorithme de chiffrement symétrique.

**ATM :** C'est-à-dire mode de transfert asynchrone) est une technologie de réseau récente, permet de transférer simultanément sur une même ligne des données et de la voix.

**IP (Internet Protocol) :** Est une famille de protocoles de communication de réseau informatique conçus pour être utilisés par Internet. Les protocoles IP sont au niveau 3 dans le modèle OSI. Les protocoles IP assurent l'acheminement au mieux des paquets. Ils ne se préoccupent pas du contenu des paquets, mais fournissent une méthode pour les mener à destination.

**SISO (Single Input Single Output):** un système possédant une seule entrée et une seule sortie. Ce sont les systèmes les plus simples, on les qualifie aussi de mono variables.

**X25 :** Est un protocole de communication normalisé par commutation de paquets en mode point à point offrant de nombreux services. Bien que tous les abonnés puissent être connectés au réseau simultanément, grâce au niveau paquet, le réseau limite l'émission des abonnés en cas de surcharge, sécurisant ainsi le fonctionnement du réseau. L'intégrité des données transmises au réseau est garantie par la correction d'erreur du niveau trame.

**UL CQICH (Channel Quality Indication Channel) :** Renvoi à la BS (Base Station) des informations sur le canal.

**UL ACK :** Alloué pour le MS pour renvoyer des informations concernant l'acquittement du DL HARQ

**HARQ ( Hybrid Automatic Repeat Request) :** Soutenu par WiMax mobile, il est activé à l'aide de «stop and wait" protocole qui fournit une réponse rapide à des erreurs de paquets et améliore la couverture EDGE cellulaire.

**MD 5 :** Pour **Message Digest 5**, est une fonction de hachage cryptographique (algorithme) qui permet d'obtenir l'empreinte numérique d'un fichier (on parle souvent de message)

**3 way-handshake :** Selon le protocole de communication TCP, une connexion entre deux hôtes s'établit en trois étapes : c'est le three-way handshake. Dès la connexion, on définit les numéros de séquence que l'on utilisera pour le transfert de données TCP.

Se déroule en 3 étapes :

1. Le client utilise son numéro de séquence initial dans le champ "Numéro de séquence" du segment SYN (x par exemple) ;

# Glossaire

2. Le serveur utilise son numéro de séquence initial dans le champ "Numéro de séquence" du segment SYN/ACK ( $y$  par exemple) et incrémente le numéro de séquence du client de 1 ( $x+1$ ) dans le champ "Numéro d'acquittement" du segment ;
3. Le client confirme en envoyant un ACK avec un numéro de séquence augmenté de 1 ( $x+1$ ) et un numéro d'acquittement correspondant au numéro de séquence du serveur plus un ( $y+1$ ).

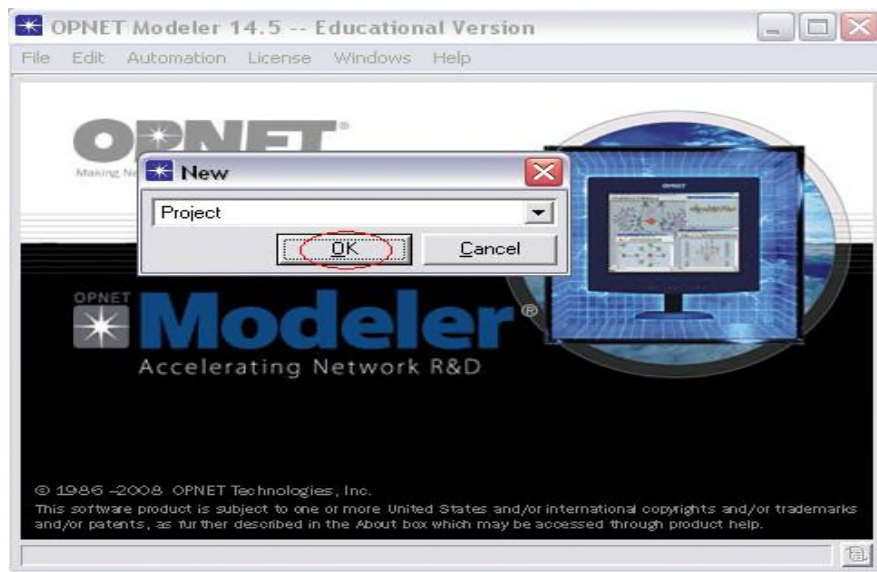
**Man in the middle :** Est une attaque qui a pour but d'intercepter les communications entre deux parties, sans que ni l'une ni l'autre ne puisse se douter que le canal de communication entre elles a été compromis.

# Annexe

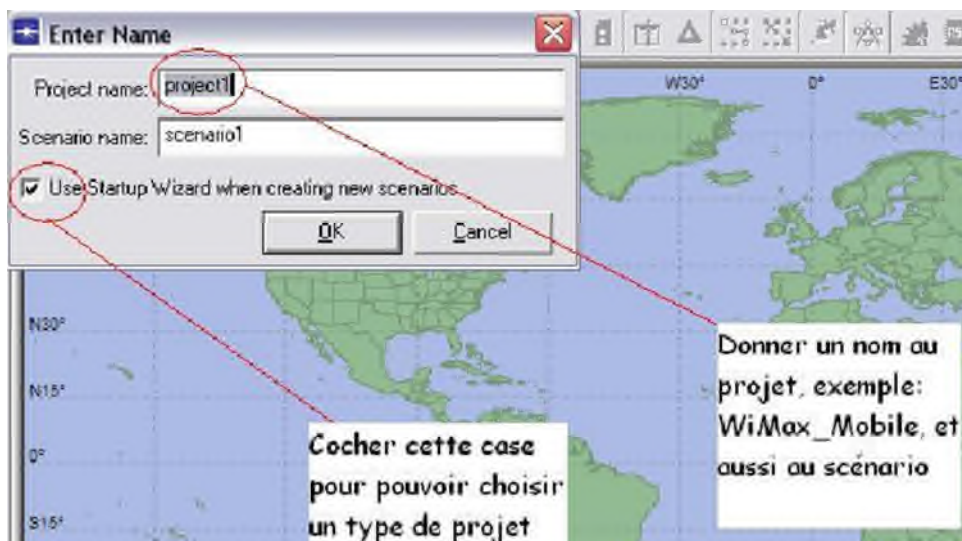
## Présentation de l'outil de simulation OPNET

### Création d'un projet :

- On lance OPNET
- Pour créer un projet : cliquer sur File/New, une petite fenêtre s'ouvrira ensuite cliquer sur OK.



L'outil Startup Wizard propose différents types de projets, ainsi que la taille du réseau, qu'il soit de l'ordre mondial ou bien entreprise...

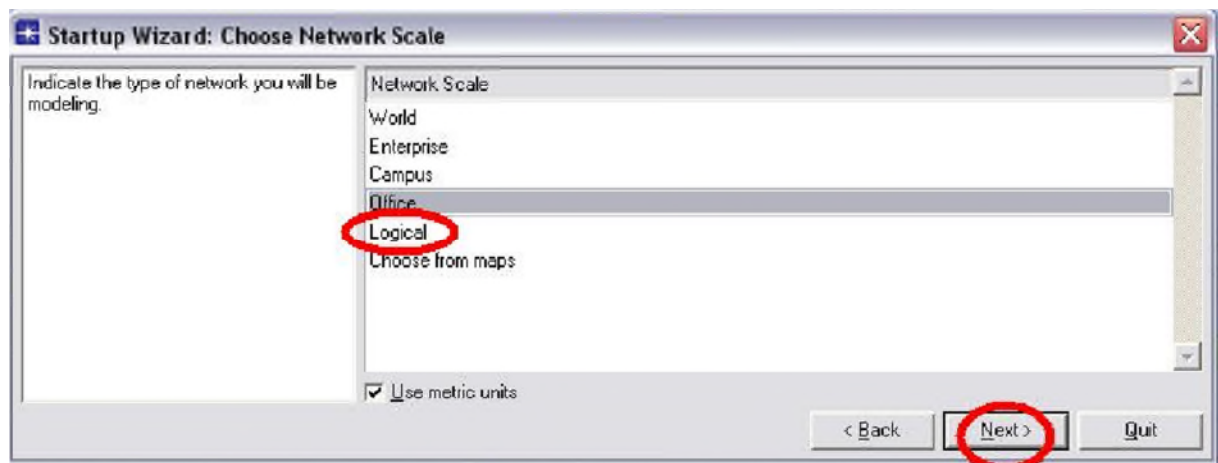
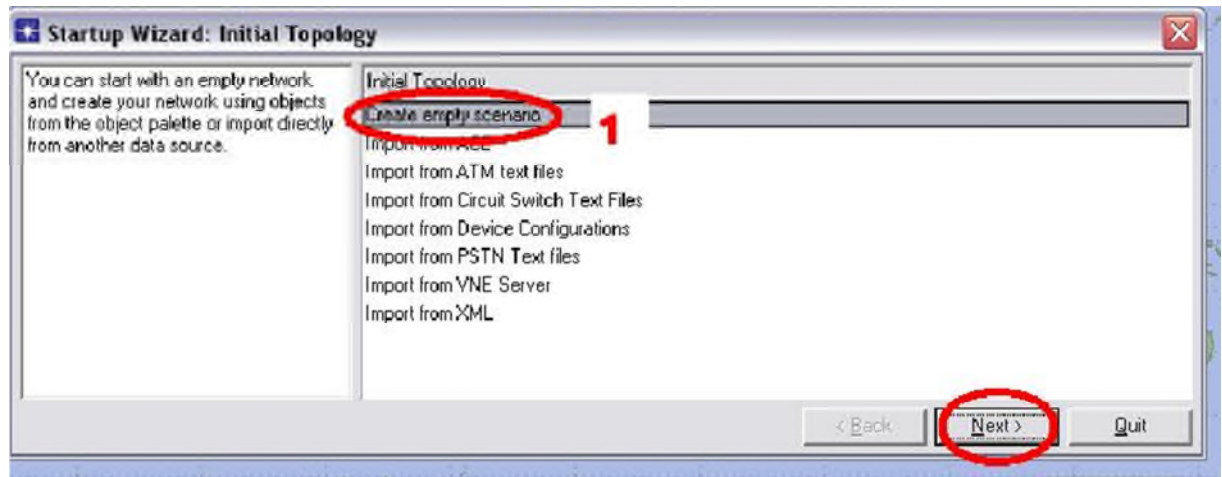


# Annexe

- Après avoir nommé le projet et le scénario, créer un « empty scénario »

Cet outil nous permet de choisir nous même les paramètres du réseau qu'on veut réaliser ! Mais dans la même fenêtre on trouve des scénarios basic déjà créés.

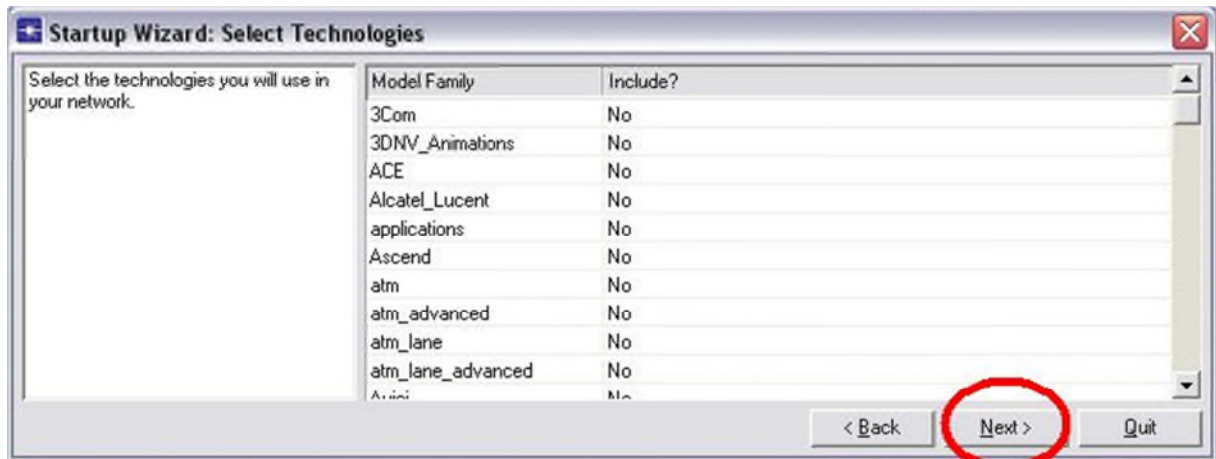
On clique sur NEXT, puis sur FINISH.



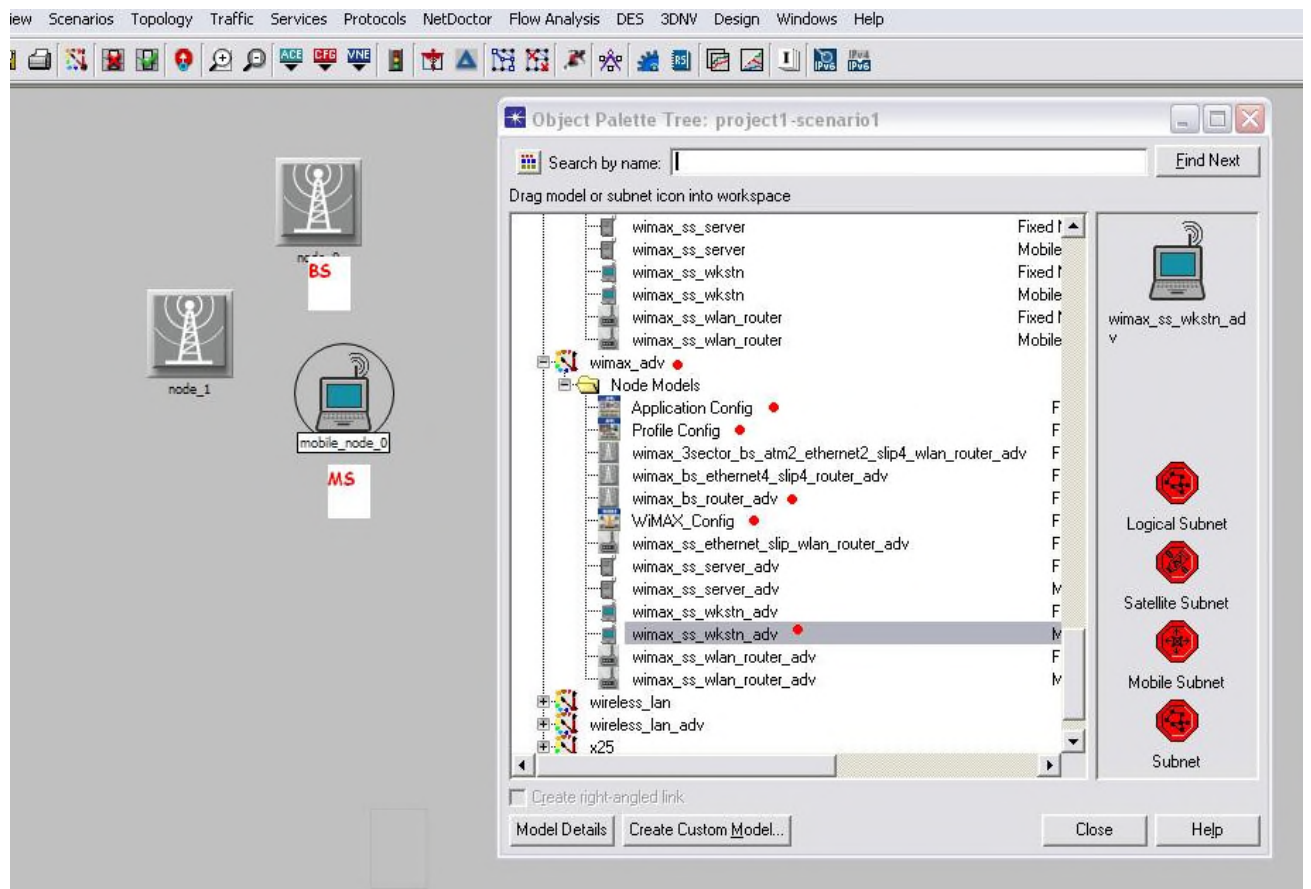
L'étape suivante nous permet de sélectionner les composants dont nous avons besoin pour créer notre réseau, dans le cas où vous savez déjà de quoi vous avez besoin, cliquer sur le « NO » pour qu'il s'inclut « YES » ensuite cliquer NEXT puis FINISH, et dans le cas contraire cliquer directement sur NEXT puis FINISH, et les composants peuvent être choisis par la suite en utilisant l'outil palette.



# Annexe



Une fois qu'on clique sur FINISH une palette s'affichera, cette palette « object palette tree » nous permet de choisir l'ensemble des composants inclus dans le réseau qu'on souhaite créer.

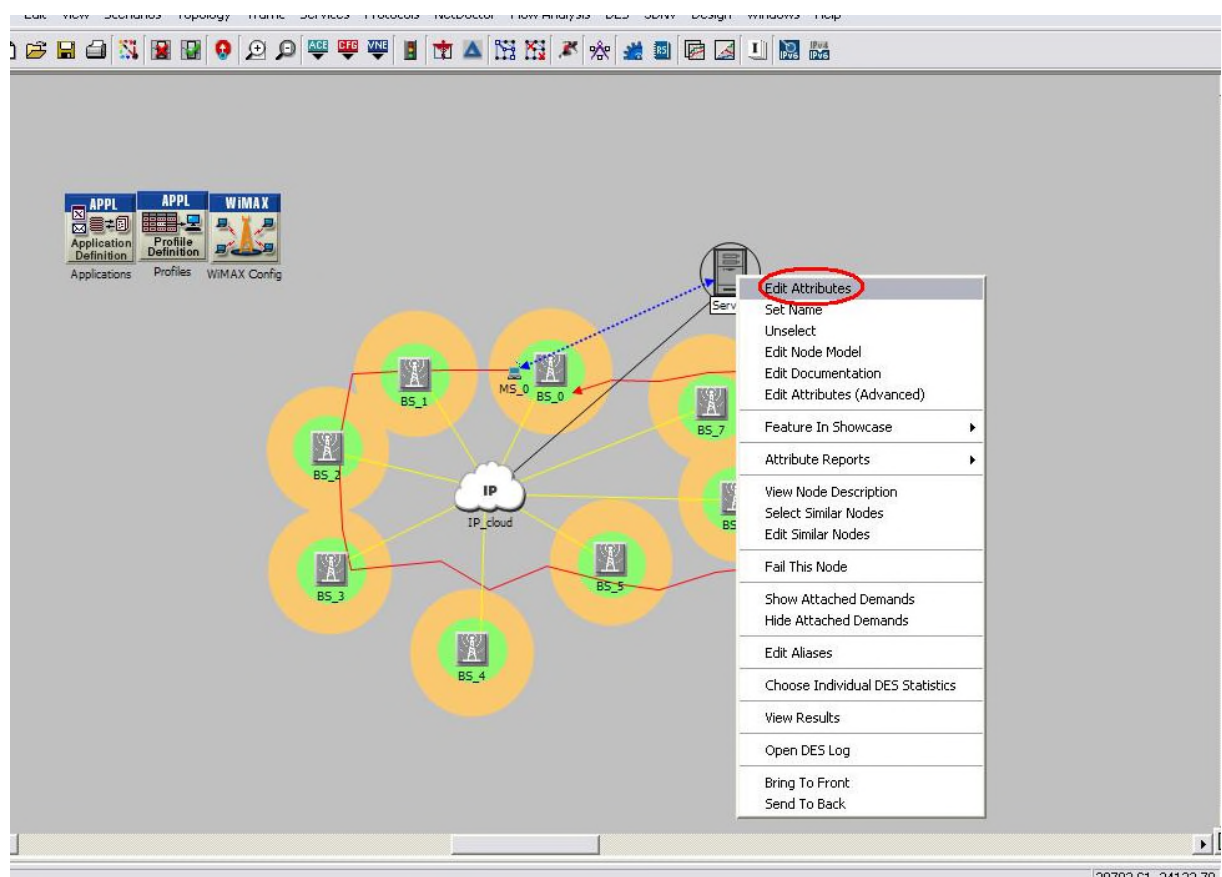


# Annexe

On ce qui nous concerne nous allons direct dans le dossier « wimax\_adv » et cliquer sur la BTS ensuite la faire glisser sur la fenêtre de travail, ainsi que l'MS, et ensuite prendre le serveur, le backbone ...

Puis nous passerons à la configuration de chaque composant.

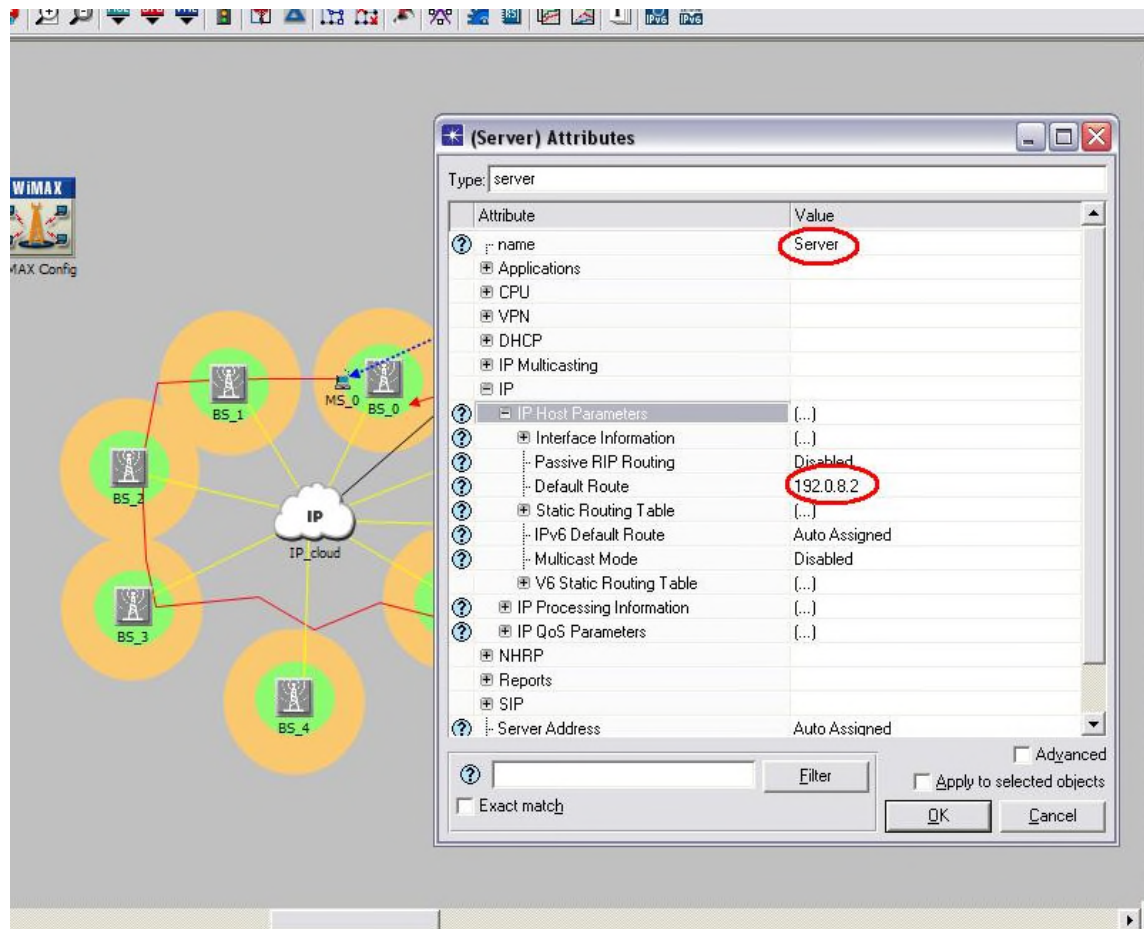
Pour configurer chaque composant, nous le sélectionne en cliquant dessus, ensuite avec un clic droit une liste apparait, et on cliquera sur « EDIT ATTRIBUTE » pour pouvoir configurer notre serveur ou n'importe quel composant.



Sur l'image qui suivra vous verrez qu'on a renommé le serveur, on lui a attribué une adresse « Default routeur », ainsi qu'une IP Host, et le masque sous réseau aussi.

Nous avons changé les paramètres d'application sur : Supported services = All

# Annexe

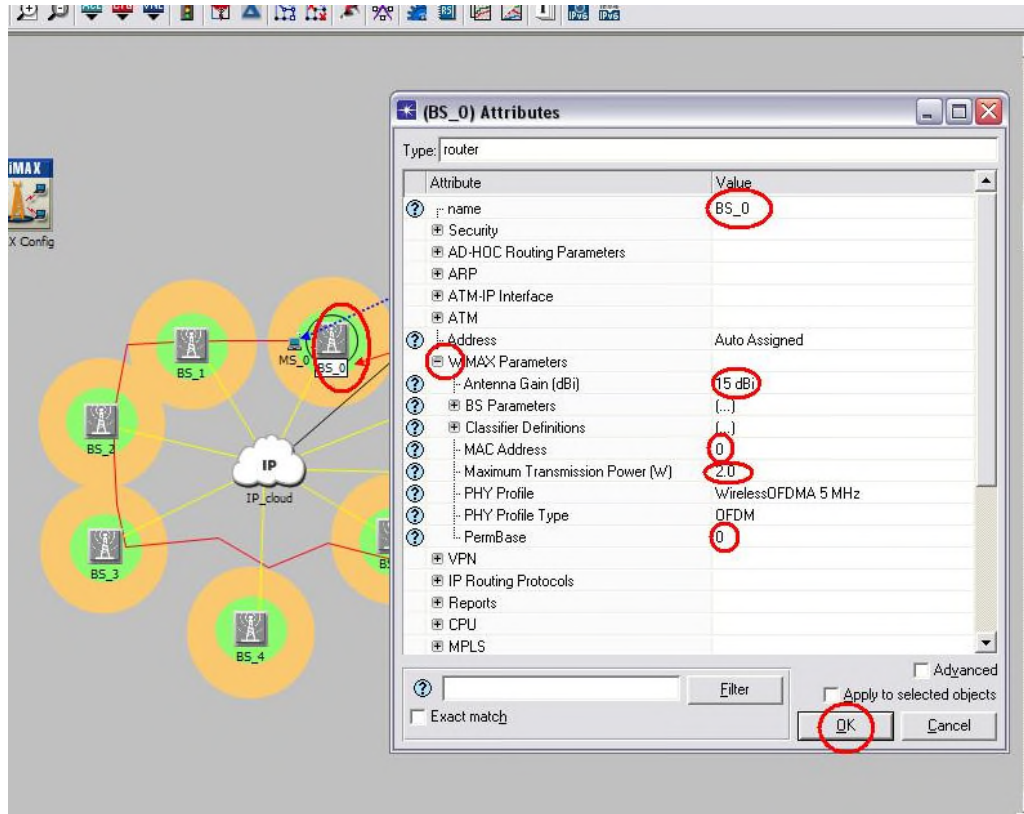


Par la suite nous avons fait pareil avec toutes les BS et la MS.

Les paramètres de la BS utilisées, nous les avons précédemment affiché (voir chapitre 4).

Nous avons procédé à d'autres changements, tel que l'adresse MAC de chaque BS porte le même numéro que sa position, c'est-à-dire de (0 à 7), ainsi que son perm base. Ce dernier définit la permutation entre chaque BTS.

# Annexe



Modeler d'OPNET est réputé dans l'industrie pour la modélisation et la simulation de réseaux. Modeler permet de dessiner et d'étudier des réseaux de communications, des équipements, des protocoles et des applications avec facilité et évolutivité. Modeler est utilisé par les entreprises technologiques les plus performantes pour accélérer leurs procédés de recherches et développements.

L'approche orientée objet associée à des éditeurs graphiques intégrés de Modeler simplifie la composition des réseaux et des équipements. Ceci permet de réaliser facilement une correspondance entre votre système d'informations et votre modèle.

**Modeler** est basé sur une série d'éditeurs hiérarchisés qui parallélistent la structure du réseau réel, des équipements est des protocoles.

# Références Bibliographique

- [1] Adil BELHOUDJI, « Etudes théoriques et expérimentales de systèmes de transmission MIMO-OFDM ; mesures actives en environnements réels et maîtrisés dans un contexte WiMax », Thèse de doctorat, université de LIMOGES, 2008.
- [2] Pascal PAGANI, « Communication ultra large bande (le canal de propagation radio) », Eds Lavoisier, 2007.
- [3] Hussein HIJAZI, « Estimation de canal mobile radio mobile à évolution rapide dans le système à modulation OFDM », thèse de doctorat, INS. Polytech Grenoble, 2009.
- [4] Dr. Chih PENG LI, « Mobile radio propagation –Channel models», National Sun Yat-Sun university.
- [5] Hervé SIZUN, « Propagation des ondes radioélectriques des réseaux terrestre », dossier de l'ingénieur référence e1162, université de Rennes, 2008.
- [6] Sylvain COLLONGE, « Caractérisation et modélisation de la propagation des ondes électromagnétique à 60GHz à l'intérieur des bâtiments », thèse de doctorat, INS d'ELNET Télécom de Rennes.
- [7] Fabrice LEMAINQUE, « Tout sur les réseaux sans fil », EdsDunod, Paris 2009.
- [8] Bruno GARGUET-DUPORT, « Les réseaux sans fil (WiFi) », EdsTechni.cités, 2004.
- [9] Paul MUHLETHALER, « 802.11 et les réseaux sans fils », EdsEyrolles, 2002.
- [10] R.VAUGHAN and J.ANDERSON, « Channels, propagation, and antennas for mobile communication », United Kingdom IEE Electromagnetic Waves serie 50, 2003.
- [11] « Wireless communication, principle and practise », T.S rappaport, EdsPrentice Hall, 1999.
- [12] Simon HAYKIN & Michael MOHER, « Modern wireless communication », Eds Prentice Hall, 2005.
- [13] KATHERIN, « Catalogue de produit d'un constructeur d'équipement GSM », 2002.
- [14] « Réseaux sans fils dans les pays en développement », guide pratique, 2<sup>ème</sup> edition Hacker FriendlyLLc, 2009.
- [15] Guy PUJOLLE, « Les réseaux », EdsEyrolles 2<sup>ème</sup> tirage, 2000.
- [16] Pierre-Yves Bély, Carol CHRISTIAN, Jean René ROY, « 250 réponses à vos questions sur l'astronomie », Eds Gerfaut, 2008.
- [17] Phillipe ATLIN, « Réseaux informatiques, Notions fondamentales », Eds ENI 3<sup>ème</sup> édition, 2009.
- [18] Phillipe ATELIN, « Wi-Fi : réseaux sans fil 802.11, technologie, déploiement, sécurité », Eds ENI, 2006.

# Références Bibliographique

- [19] Malek RAHOUAL et Patrick SIARRY, « Réseaux informatiques : conceptions et optimisation », Eds Technip, 2006.
- [20] Guy PUJOLLE, Olivier SALVATORI, « Les réseaux », Eds Eyrolles, 2011.
- [21] Samuel PIERRE, « Réseaux et systèmes informatiques mobiles : fondements, architectures et applications », Presse internationale Polytechnique.
- [22] Edouard RIVIER, « Communication audio-visuelle », Eds Springer, 2003.
- [23] Collectif d'auteurs sous la direction de Geneviève BAUDIN, « Radiocommunication numérique : principe, modélisation et simulation », Eds Dunod, 2002.
- [24] [www.Linux-france.org/prj/edu/archinet/system/ch01s02.html](http://www.Linux-france.org/prj/edu/archinet/system/ch01s02.html)
- [25] [www.ieee802.org](http://www.ieee802.org)
- [26] Cédric LLORENS, Denis VALOIS, « Tableau de bord de sécurité réseau », Eds Eyrolles, 2010.
- [27] James O'BRIEN, « Les systèmes d'information de gestion », (version française de Management Information systems), Eds du renouveau pédagogique Inc, 1995.
- [28] Aurélien GERON, « Wi-Fi professionnel : la norme 802.11, le déploiement, la sécurité », Eds Dunod 3<sup>ème</sup> édition, 2009.
- [29] Yan ZHANG, Hsiao-Hwa CHEN, « Mobile WiMax: Toward broad band Wireless metropolitan Area Network », Eds Auerbach Publications, 2008.
- [30] Yang XIAO, « WiMax/MobileFi: advanced research and technology », Eds Auerbach Publications, 2008.
- [31] Amitabh KUMUR, « Mobile broadcasting with WiMax », Eds Elsevier, 2008.
- [32] Jeffrey G. ANDREWS, Arunabha GHOSH, Rias Muhamed, « Fundamentals of WiMax understanding broad band wireless networking », Eds Prentice Hall, 2007.
- [33] Mathieu GARCIA, « Le WiMax », rapport, université de Montpellier II DESS TNI.
- [34] Professeur Lotfi NUAYMI, « Technology for broad band wireless Access », Eds Wiley, 2007.
- [35] Syed AHSON, Muhammed ILYAS, « WiMax: applications », Edition CRC Press 2008.
- [36] Syed AHSON, Muhammed ILYAS, « WiMax: Standards and security », Edition CRC Press 2008.
- [37] Kwang-Cheng CHEN, J. Roberto B. de Marca, « Mobile WiMax », Eds Wiley, 2008.
- [38] Syed AHSON, Muhammed ILYAS, « WiMax: Technologies, performance analysis and QoS », Edition CRC Press 2008.
- [39] Deepak Pareek, « The business of WiMax », Eds Wiley, 2006

# Résumé

Le WIMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) est une technologie sans fils actuelle, dont la norme 802.16 fait partie, définissant les connexions à haut-débit par onde radio. Elle offre, théoriquement, un débit maximal de 70Mbps et une portée maximale de 50Km, qui peut remplacer le réseau câblé. Elle dispose d'un ensemble de techniques hertziennes permettant de connecter un utilisateur distant au réseau IP par l'intermédiaire d'un lien radio. La norme 802.16 e, C'est une norme qui a été développée dans le but de pouvoir offrir à un utilisateur en mouvement les mêmes qualités de service et de sécurité offertes à un utilisateur fixe, bénéficiant des services d'un fournisseur d'accès. Son premier avantage est l'utilisation du SOFDMA, qui permet une flexibilité au niveau de la bande passante offerte, de plus, plusieurs autres mécanismes sont introduite dans le WIMAX mobile pour pouvoir supporter les services de mobilité, on peut noter le contrôle de puissance (mode Idle et Sleep), et la capacité d'effectuer le *handover*. Dans ce projet nous avons démontré sa capacité à régir le handover, nous avons simulé ce mécanisme grâce au Logiciel de simulation OPNET, et les résultats prouvent qu'il prend largement la place devant les LANs.

**Mots clés :** Wimax, 802.16, Handover, SOFDMA, OPNET, MIMO. IEEE 802.