



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA  
RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE AKLI MOHAND OULHADJ-BOUIRA



Faculté des Sciences et des Sciences Appliquées  
Département : Génie Electrique

### Mémoire de fin d'étude

Présenté par :  
**Madani Amel**  
**Tounsi Zoulikha**

En vue de l'obtention du diplôme de **Master 02** en :

Filière : Télécommunication  
Option : Systèmes de Télécommunication

### Thème :

**Analyse de la gestion d'un réseau sans fil basé sur le standard IEEE 802.16**

### Devant le jury composé de :

M. AYAD	MCA	UAMOB	Président
B. SAOUD	MCA	UAMOB	Encadreur
M. MEDJEDOUB	MAA	UAMOB	Encadreur
A. BENZAOUI	MCA	UAMOB	Examinateur
M. BOUCENNA	MCB	UAMOB	Examinateur

Année Universitaire 2018/2019

## *Remerciements*

*Nous remercions tout d'abord, Allah qui nous a donné la force et le Courage afin de parvenir à élaborer ce modeste travail.*

*Nous tenons à remercier de tout cœur nos encadreurs  
Monsieur B. SAOUD et Monsieur S. MADJDOUB.*

*Nos sincères remerciements au jury responsable de juger notre travail, et tous les enseignants de faculté Science et Science Appliquées.*

*Madani Amel et Tounsi Zoulikha*

## *Dédicace*

*Au nom d'Allah le tout Miséricordieux le très miséricordieux,*

*Pour sa biographie parfumée, il a le premier crédit pour atteindre ce que je suis (mon père), je prie que Dieu prolonge sa vie.*

*Pour me mettre sur le chemin de la vie et fait de moi ce que je suis le paradis Rahman (ma chère mère), je prie que Dieu prolonge sa vie.*

*À mes frères, mes sœurs qui ont eu un grand impact sur de nombreux obstacles et difficultés (Hassina, Yasmine, Younesse, Mohamed, Nabila, Elinna).et Samira et Fatima.*

*À mon professeur, qui n'a émis aucune objection à ce qu'il supervise notre travail, qui a un grand mérite dans ce travail, la lumière de Dieu nous achemine tous nos louanges et notre reconnaissance.*

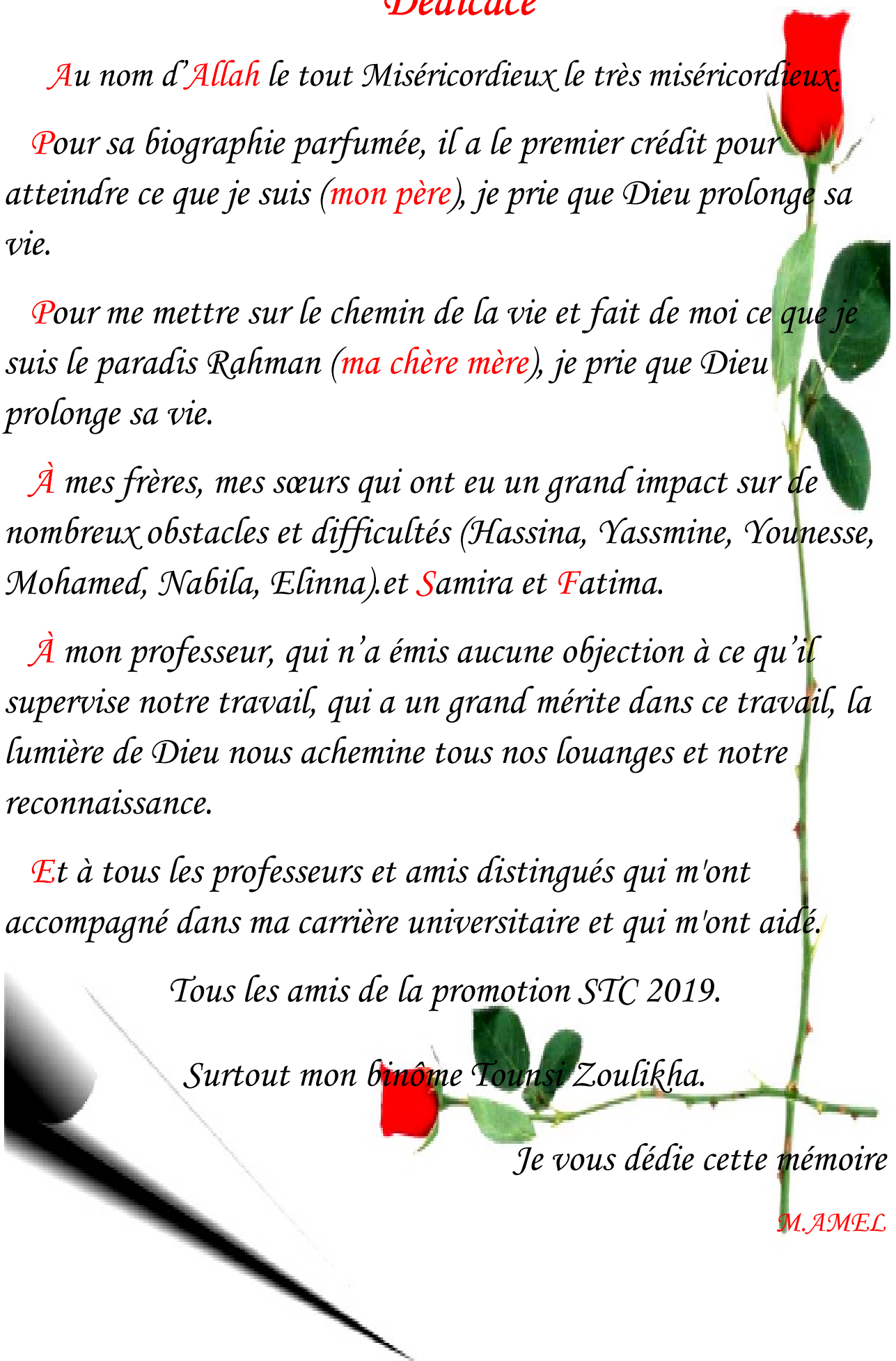
*Et à tous les professeurs et amis distingués qui m'ont accompagné dans ma carrière universitaire et qui m'ont aidé.*

*Tous les amis de la promotion STC 2019.*

*Surtout mon binôme Tounsi Zoulikha.*

*Je vous dédie cette mémoire*

*M.AMEL*



## *Dédicace*

*Au nom d'Allah le tout Miséricordieux le très miséricordieux,  
El Hamdolillah, que m'a réussi à accomplir ce travail modeste,  
fruit de plusieurs années d'efforts.*

*Je dédie ce travail :*

***Ma chère Mère,** que a toujours été présente pour moi, dans  
les moments le plus difficiles et que sans cesse veille sur moi avec  
ses prières, pour ses grands sacrifices et tout l'amour.*

***Ma cher Père,** pour tous ses conseils et pour toute la  
confiance qu'il a mise en moi et pour son dévouement pour mon  
bonheur.*

*Que dieu me le grade.*

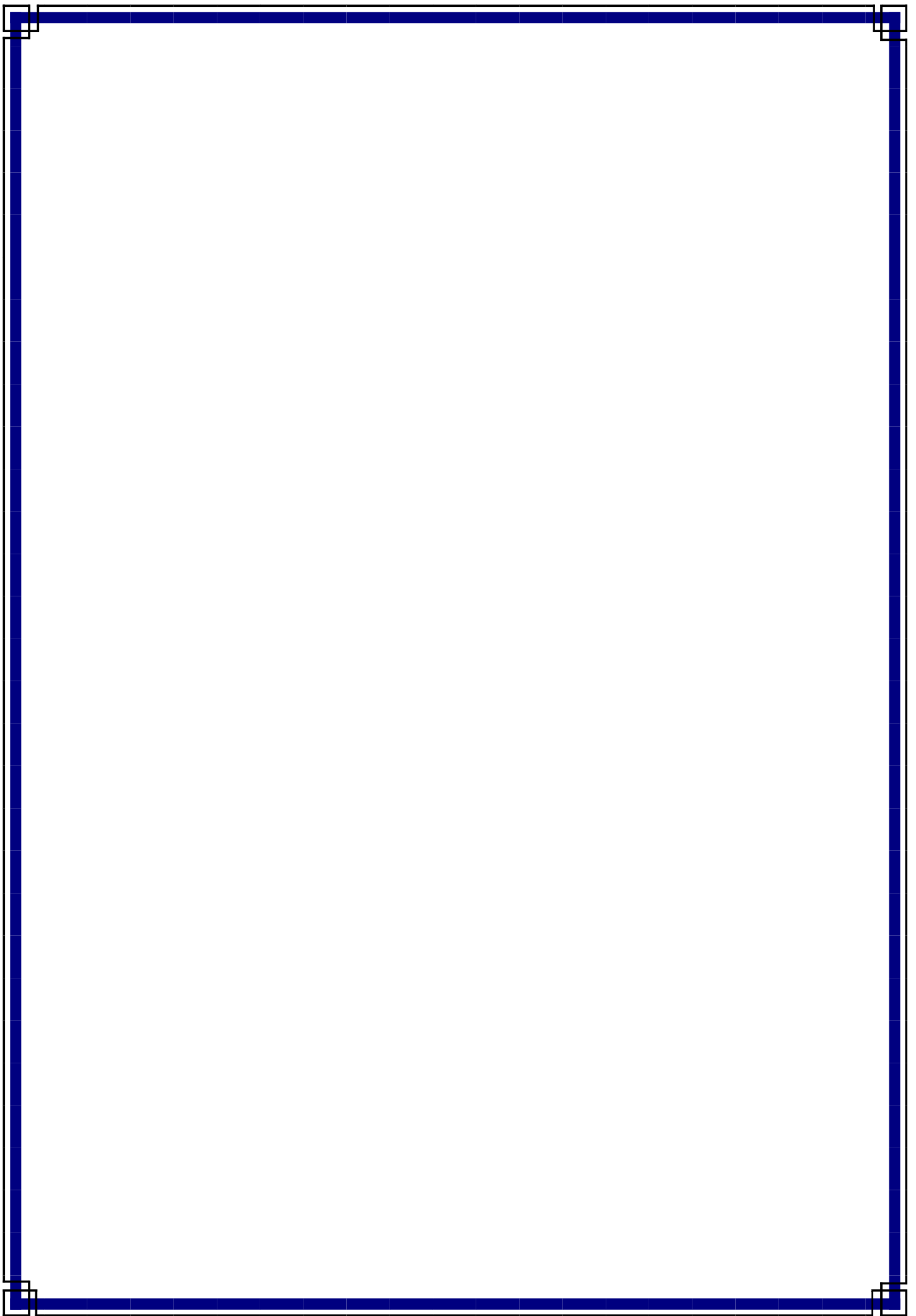
*À mes frères et mes sœurs : Abdallah, Khaled, Sara, Warda,  
Fatima, Chahra.*

*Tous les membres de ma famille, tous les amis qui m'ont ma  
douce amère.*

*Tous les amis de la promotion TC 2019.*

*Surtout mon binôme Madani Amel.*

*TOUNSI ZOULIKHA*



## Liste des Abréviations

3G : 3eme génération.

AAA: Authorization, Authentication and Accounting.

ADSL: Asymmetric Digital Subscriber Line.

ARQ: Automatique Retransmission Request.

ASN: Access Services Network.

ASN-GW: Access Services Network – Gateway.

ATM: Asymmetric Transfert Mode.

BE: Best Effort.

BLR: Boucle Locale Radio.

BTS: Base Transceiver Station.

BSS: Basic Service Set.

BS: Base Station.

BSC: Base Station Controller.

BWA: Broadband Wireless Acces.

CPE: Customer Premise Equipment.

CRC: Cyclic Redundancy Check.

CSN: Connectivity Service Network.

DHCP: Dynamic Host Configuration Protocol.

DSL: Digital Subscriber Line.

EDGE: Enhanced Data Rates for GSM Evolution.

ETSI: European Télécommunications Standards Institute.

FDD: Frequency Division Duplexing.

GPRS: Global Packet Radio Service.

GSM: Global System for Mobile communication.

IBSS: Independent Basic Service Set.

IEEE: Institut of Electrical and Electronic Engineers.

IMT-2000: International Mobile Télécommunications 2000.

IP : Internet protocole.

IPV4: Internet Protocol Version 4.

IPV6: Internet Protocol Version 6.

ISM : Industrial, Scientific, and Medical.

KMP: Key Mangement Protocol.

LAN: Local Area Network.

LOS: Line Of Sight.

MAC: Media Access Control.

MAP: Mobile Application Part.

MIB: Manajmante Information Bas.

MIMO: Multiple Input Multiple Output.

MRTR: Minimun detemined trafic rate.

MPEG: Moving Picture Experts Group.

MS: Mobile Station.

MSTR: Minimun Soustand Trafic Rate.

NLOS: Non Line Of Sight.

NRTPS: Non Real Time Poling Services.

NSS: Network Sub-System.

OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplexing.

OFDMA: Orthogonal Frequency Division Multiple Access.

OSS : Opération Sub-System.

PDA : Personale Digital Assistant.

PDU : Protocol Date Unit.

PHY : Physical layer.

PIRE : Puissance Isotrope Rayonnée Equivalente.

PMP : Point à Multi Point.

PS: Physical Slot.

PUSC: Partial Usage of Subchannels.

QOS: Quality of Service.

RTPS: Real Time Poling Services.

SC: Single Carrier.

SDU: Service Date Unit.

SIM: Subscriber Identity Service.

SISO: Single Input Single Output.

SOFDMA: Scalable Orthogonal Frequency Division Multiple Access.

SS: Subscriber Station.

TDD: Time Division Duplexing.

TDMA: Time Division Multiple Access.

UGS: Unisolicited Grant Services.

UMTS: Universal Mobil Telecommunication System.

VoIP: Voice over IP.

VPLS: Virtual Private LAN Service.

VPN: Virtual Private Network.

WIFI: Wireless Fidelity.

WIMAX: Worldwide Interoperability for Microwave Acces.

WLAN: Wireless local Area Network.

WMAN: Wireless Métropolitain Area Network.

WPAN: Wireless Personale Area Network.

WWAN: Wireless Wide Area Network.

## Liste des tableaux

Tab 2.1 : Les différentes normes 802.16 .....	17
Tab 2.2 : Les types de couche physique .....	22
Tab 2.3 : La différence entre FDD et TDD .....	24
Tab 3.1 : Configuration des WIMAX .....	38
Tab 3.2 : Caractéristique de Base station .....	38
Tab 3.3 : Caractéristique de Mobile station .....	39
Tab 3.4 : Caractéristiques de la classe Gold et Bronze .....	39
Tab 3.5 : Les valeurs de la métrique MOS .....	41
Tableau 3.6: les chutes de Bronze et gold dans différentes région.....	44



## List des Figures

Figure 1.1: Réseau Ad-Hoc	4
Figure 1.2: Exemple d'un réseau local sans fil (WLAN)	5
Figure 1.3: Architecture d'un réseau métropolitain sans fil	6
Figure 1.4: Architecture d'un réseau GSM	8
Figure 1.5: Architecture d'un réseau GPRS	9
Figure 1.6: Architecture générale de l'UMTS	10
Figure 2.1: La structure générale d'un réseau WiMax	16
Figure 2.2: WiMax fixe	18
Figure 2.3: WiMax mobile	19
Figure 2.4: Équipement radio	20
Figure 2.5: Les différents types des antennes	20
Figure 2.6: Les équipements d'abonnés fixes	21
Figure 2.7: Les équipements d'abonnés mobiles	21
Figure 2.8: La Technique de la couche physique	22
Figure 2.9: Principe du TDD	23
Figure 2.10: OFDM implémente via une banque du filtre	25
Figure 2.11: Modulation OFDMA	26
Figure 2.12: Principe du MIMO	27
Figure 2.13: Différentes type de la couche MAC	27
Figure 2.14: Applications de WiMax	31
Figure 3.1: Simulateur OPNET	34
Figure3.2: Éditeur de projet de simulateur OPNET	35
Figure 3.3 : Éditeur de modèle de réseau de simulateur OPNET	36
Figure 3.4 : Éditeur de modèle de nœud de simulateur OPNET	36
Figure3.5: Éditeur de modèle de processus de simulateur OPNET	37
Figure 3.6 : Scénario WiMax avec 4 stations de base (4 cellules)	38
Figure 3.7: Jitter (VoIP)	40
Figure 3.8: Les valeurs de la métrique MOS	42
Figure 3.9: Délai de bout en bout	43
Figure 3.10: Trafic reçu et trafic envoyé	44

# Table des Matières

Remerciements	iii
Table des Matières	iv
Liste des Figures	vi
Liste des Tableaux	vii
<b>INTRODUCTION GENERALE</b>	<b>1</b>
<b>CHAPITRE I : LES TECHNOLOGIES DE RESEAUX SANS FILS</b>	
1.1 Introduction	2
1.1 Historique des réseaux sans fils	2
1.2 Définition des réseaux sans fils	2
1.4 Fonctionnement des réseaux sans fil	3
1.5 Classification des réseaux sans fil	4
1.5.1 Réseau sans fil Personnels <<WPAN>>	4
1.5.2 Réseau sans fil Local <<WLAN>>	4
1.5.3 Réseau sans fil Métropolitain <<WMAN>>	5
1.5.4 Réseau sans fil Étendu <<WWAN>>	6
1.6 Technologie des réseaux sans fil	6
1.6.1 Technologie des réseaux sans fil radio	6
1.6.1.1 Bluetooth	6
1.6.1.2 WiFi	6
1.6.1.3 WiMax	7
1.6.2-Technologies cellulaires	7
1.6.2.1 GSM	7
1.6.2.3 GPRS	8
1.6.2.4 EDGE	9
1.6.2.5 UMTS	9
1.7 Avantages et inconvénients des réseaux sans fil	10
1.8 Canal de propagation	11
1.8.1 Propagation en espace libre	12
1.8.2 Propagation en environnement réel	12
1.8.3 Modélisation	13
1.8.4 Distorsion d'amplitude	13

1.8.5 Effet doppler	14
Conclusion	14
<b>CHAPITRE II : TECHNOLOGIE DE WiMax</b>	
2 .1 Introduction	15
2 .2 la technologie de WiMax	15
2.2.1 Objectif de WiMax	15
2.2.2 Structure de WiMax	15
2.3 Normes de WiMax	17
2.3.1 WiMax fixe	18
2.3.2 WiMax mobile	19
2.4 Constitution d'un réseau WiMax	20
2.4.1 Station de base	20
2.4.2 Client	21
2.5 Étude technique de WiMax	21
2.5.1 Couche physique	22
2.5.1.1 Duplexage	23
2.5.1 .2 Multiplexage	24
2.5.2 La couche MAC	27
2.5.2 .1 Sous couche de convergence	28
2.5.2 .2 Sous couche de commune	28
2.5.2 .3 Sous couche de sécurité	28
2.6 Les caractéristiques et avantages de réseau WiMax	29
2.7. Présentation de services dans IEEE802.16	29
2.7. 1 Qualité de services (QOS)	29
2.7. 2 Classes de services	29
2.7. 3 Flux de services	30
2.8 Les bande des fréquences	30
2.8 .1 Bande avec licence	30
2.8 .2 Bande sans licence	31
2.9 Application et l'avenir de WiMax	31
2.10 Conclusion	33
<b>CHAPITRE 3 : SIMULATION ET ANALYSE DES PERFORMANCES</b>	
3.1 Introduction	35
3.2 Présentation du logiciel OPNET	35

3.2.1 Éditeur de projet	36
3.2.2 Éditeur de modèle de réseau	37
3.2.3 Éditeur de modèle de nœud	37
3.2.4 Éditeur de modèle de processus	38
3.3 La simulation	39
3.4 Analyse de Résultats	41
3.4.1 Jitter	41
3.4.2 Note d'opinion moyenne	42
3.4.3 Le délai de bout en bout	44
3.4.4 Trafic	45
Conclusion	46
<b>CONCLUSION GENERALE</b>	<b>47</b>

# Introduction générale

De nos jours, l'utilisation généralisée d'une variété de téléphones intelligents et de tablettes avec une large gamme d'applications multimédia entraîne de plus en plus d'utilisateurs de services de données vers une mobilité totale, entraînant une augmentation rapide de la demande de débits de données mobiles. Ces nouveaux appareils et applications multimédias nécessitent des débits de données élevés et une latence réduite pour offrir une meilleure qualité de service (QoS : *Quality of Service*). Pour répondre à ces exigences, plusieurs technologies ont été proposées parmi ces technologies on trouve le standard IEEE 802.16 (WiMax).

Notre projet présente une étude et évaluation de la norme IEEE 802.16 généralement connu sous le nom WiMax. Il s'agit d'un ensemble de normes de techniques basées sur le standard de transmission radio 802.16 permettant la transmission de données IP à haut débit par voie hertzienne. On trouve deux versions de WiMax. Il y a le WiMax révolution les réseaux sans fils, sa version fixe est 802.16-2004. La deuxième version est la norme 802.16e -2005, pour le WiMax mobile. La deuxième version présente des nouvelles fonctionnalités comme le soutien de transfert qui est très important afin d'assurer des systèmes de communication mobile. Le WiMax mobile introduit l'OFDMA évolutive ce qui est une technologie de multiplexage avec plusieurs avantages. . Nous avons étudié cette norme de communication (IEEE 802.16) et ses domaines d'application afin de déduire les avantages et les inconvénients de cette norme. Ensuite, nous avons proposé une modélisation d'une topologie de réseau cellulaire à l'aide de simulateur des réseaux mobiles OPNET. La topologie proposée contient des applications (VoIP), supporte la mobilité, assure différentes classes de QoS. Les résultats de notre étude montrent que la configuration et le choix de la classe de QoS ont un impact très considérable sur les performances de réseau WiMax.

Selon les besoins et les objectifs de notre étude, nous avons subdivisé notre mémoire en trois chapitres comme suit :

Le premier chapitre, présente un état de l'art sur les technologies sans fil. Nous allons mentionner les définitions, concepts, principes nécessaires afin de comprendre le domaine de transmission des données dans un réseau sans fil.

Le deuxième chapitre, constitue une étude sur la technologie de communication sans fil WiMax. Ce chapitre donne une présentation de couche physique et liaison de la norme IEEE 802.16 suivant le modèle OSI.

Dans le dernier chapitre, nous présentons l'environnement de notre simulation, la topologie que nous avons proposé et l'analyse des résultats.

Nous terminons notre mémoire par une conclusion générale.

# Chapitre 1: Les Technologies de Réseau Sans Fils

---

## 1.1 Introduction

Aujourd'hui les réseaux sans fil jouent un rôle très important dans notre vie. Ces réseaux sont très utilisés à cause de leurs caractéristiques. Parmi ces caractéristiques on trouve la flexibilité des interfaces de communication, la mobilité, débit, ...etc.

L'étude des réseaux sans fil est devenu indispensable afin de comprendre leur fonctionnement. Dans ce chapitre nous allons présenter les différents réseaux sans fil qui existent et leurs caractéristiques.

## 1.2 Historique

Les réseaux sans fil sont conçus à base de la technologie à spectre étalé. Initialement les réseaux sans fil ont été développés pour des besoins de communications militaires pour l'armée Américaine durant la seconde guerre mondiale. Après 1945, les entreprises commerciales ont commencé à profiter de cette technologie, ayant compris l'intérêt qu'elle représentait pour leurs clients.

Les réseaux sans fils ont connu en 1971 une évolution avec le projet de l'université d'Hawaii (AlohNet) [1].

La recherche universitaire sur AlohNet a posé les bases de la première génération de réseaux sans fil, qui opérait sur la plage de fréquence 901-928 MHz. Utilisée principalement les militaires, cette phase du développement des réseaux sans fil n'a connu que peu d'utilisateurs à cause des problèmes de fréquence et de son faible débit.

À partir de ce moment, la fréquence 2,4 GHz a été définie pour une utilisation sans licence la technologie a donc commencé à émerger et la spécification 802.11 est née [1].

Celle-ci a évolué pour devenir le standard 802.11b et continue son chemin vers des implémentations plus rapides et plus sûres.

## 1.3 Définition des réseaux sans fil

Un réseau sans fil (en anglais *Wireless network*) est comme son nom l'indique un réseau qui assure la communication entre au moins deux terminaux sans liaison filaire [2]. Suivant les caractéristiques d'un réseau sans fil, un utilisateur peut rester connecter tout en se déplaçant dans un périmètre géographique plus ou moins étendu.

# Chapitre 1: Les Technologies de Réseau Sans Fils

---

## 1.4 Fonctionnement des réseaux sans fil

Dans un réseau sans fil chaque ordinateur muni d'une carte réseau adéquate peut émettre (et recevoir) des données vers (et depuis) un autre ordinateur ou point d'accès réseau. Le point d'accès peut être physiquement connecté au réseau câblé [3].

Les réseaux sans fil offrent deux modes de fonctionnement différents : le mode avec infrastructure et le mode sans infrastructure.

### 1.4.1 Réseau avec infrastructure

En mode avec infrastructure, également appelé le mode BSS (*Basic Service Set*) on trouve certains sites fixes. Ces sites sont appelés station de base. Ils sont munis d'une interface sans fil afin de communiquer directe avec des stations mobiles (unités mobiles) localisés dans une zone géographique limitée, appelée cellule.

Chaque cellule possède une station de base, à partir de laquelle des stations mobiles peuvent émettre et recevoir des données.

Les liaisons sans fil ont une bande passante limitée qui réduit sévèrement le volume des informations échangées. Dans ce modèle, une station mobile doit être, à un instant donné, directement connectée à une seule station de base.

### 1.4.2 Réseau sans infrastructure

Le mode de communication sans infrastructure également appelé réseau Ad hoc ou IBSS (*Independent Basic Service Set*) ne comporte pas des sites fixes. Dans ce mode de communication tous les sites du réseau sont mobiles et communiquent d'une manière directe en utilisant leurs interfaces de communication sans fil.

L'absence de l'infrastructure ou du réseau filaire composé de stations de base, oblige les unités mobiles à se comporter comme des routeurs qui participent à la découverte et à la maintenance des chemins pour les autres hôtes du réseau.

La différence entre le mode Ad hoc et le mode avec infrastructure est que dans le premier mode, la communication entre deux machines se fait directement si elles se trouvent à la portée l'une de l'autre, alors que dans le second mode, toutes les communications passent par le point d'accès.

## Chapitre 1: Les Technologies de Réseau Sans Fils

---

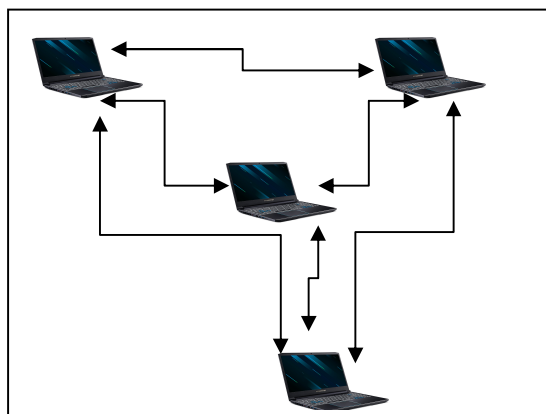


Figure 1.1 : Réseau ad-hoc.

### 1.5 Classification des réseaux sans fil

#### 1.5.1 Réseaux personnels sans fil (WPAN)

Les réseaux personnels sans fil (WPAN : *Wireless Personal Area Network*), sont des réseaux sans fil à très faible portée, de l'ordre d'une dizaine de mètres. Ils sont utilisés pour relier des équipements informatiques entre eux sans liaison filaire : par exemple une imprimante et un ordinateur de bureau. Généralement on utilise ces réseaux pour communiquer deux machines séparés avec une distance faible. Il existe plusieurs technologies permettant la mise en œuvre des réseaux WPAN comme: Bluetooth, HomeRF, Zig Bee, Liaisons infrarouges ....

#### 1.5.2 Réseaux locaux sans fil (WLAN)

Un réseau local sans fil (WLAN : *Wireless local Area Network*) est un réseau qui regroupe des entités situées sur un même site.

Généralement les communications sur ce type de réseau ont un débit élevé (100 Mbits/s ou 1Gbits/s).

## Chapitre 1: Les Technologies de Réseau Sans Fils

---

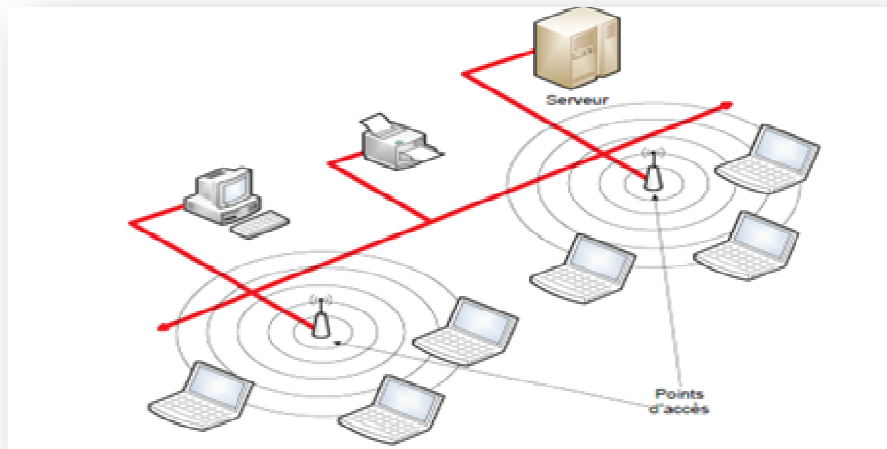


Figure 1.2 : Exemple de réseaux locaux sans fil (WLAN) [4].

### 1.5.3 Réseaux métropolitains sans fil (WMAN)

Les réseaux métropolitains sans fil ou (WMAN : *Wireless Metropolitan Area Network*) sont aussi connus sous l'appellation de boucle locale radio (BLR) [5]. Les réseaux basés sur la technologie IEEE 802.16 ont une portée de l'ordre de quelques dizaines de kilomètres (50km de portée théorique annoncée) et un taux de transmission radio théorique pouvant atteindre 74 Mbit/s, sont connu sous le nom commercial de WiMAX. La Figure 1.3 représente l'architecture de réseau métropolitain sans fil.

## Chapitre 1: Les Technologies de Réseau Sans Fils

---

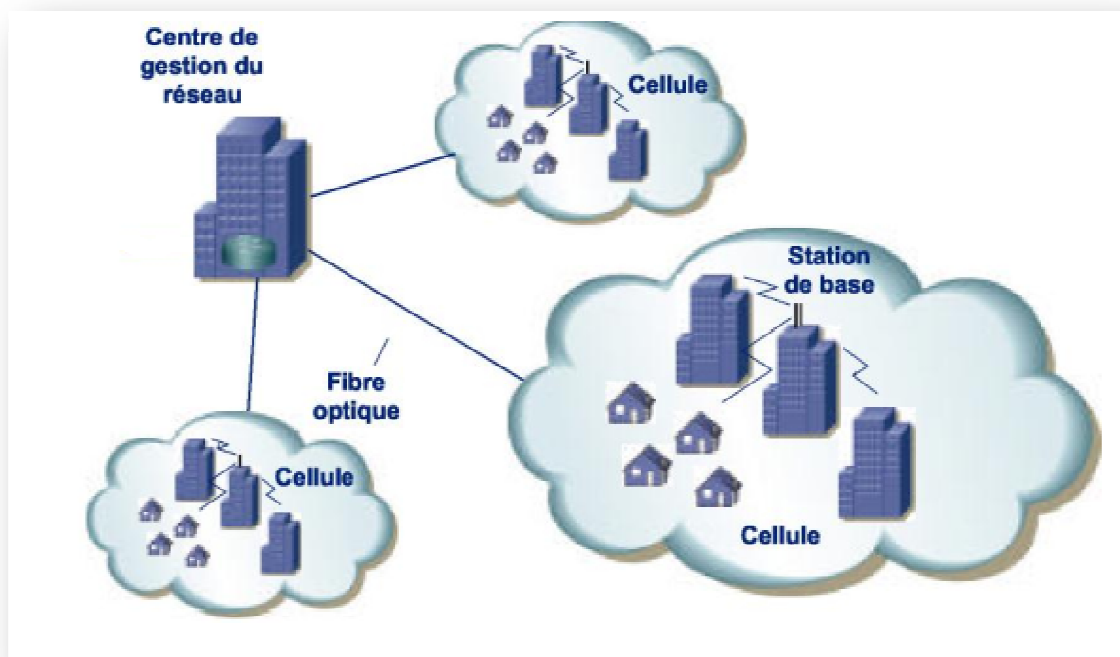


Figure 1.3: Architecture du réseau métropolitain sans fil [6].

### 1.5.4 Les réseaux étendus sans fil (WWAN)

Les réseaux sans fil (WWAN : *Wireless Wide Area Network*) possèdent assez peu de technologies à l'heure actuelle. Les seules technologies de WWAN disponibles sont des technologies utilisant les satellites géostationnaires ou en orbite basse pour relayer l'information entre plusieurs points du globe. Les principales technologies sont les suivantes : GSM, GPRS, UMTS.

### 1.6 Technologie des réseaux sans fil

#### 1.6.1 Technologie des réseaux sans fil radio

##### 1.6.1.1 Bluetooth

La norme Bluetooth (pris en charge par IEEE 802.15.1) [7] est une technologie de moyen débit, elle permet d'atteindre un débit maximal théorique de 1Mbps (environ 720Kbps effectif) à basse consommation énergétique.

Bluetooth utilise la bande de fréquence ISM (*Industrial, Scientific and Medical*) des 2,4 GHz avec une couverture entre 10 et 30 mètres. La petite taille des composants Bluetooth lui permet d'être inséré dans des équipements tels que les claviers et les souris sans fil, les kits main libre ou

---

## Chapitre 1: Les Technologies de Réseau Sans Fils

---

écouteur et le transfert de données entre un pc et les PDA (*Personale digital assistant*) ou téléphones mobiles...etc.

### 1.6.1.2 WIFI

Nom commercial relatif à la norme IEEE 802.11b, le Wifi [8] (pour *Wireless Fidelity*) est une technologie intéressante pour de nombreuses sociétés liées au monde des télécoms et d'Internet. Les collectivités locales et surtout les particuliers profitent de la facilité d'accès à Internet haut débit liée à cette norme. Il offre un débit théorique de 11 Mb/s pour une portée de 50 mètres.

Dans le souci d'apporter des améliorations en termes de débit, sécurité, QoS, différentes déclinaisons de la norme 802.11 ont vu le jour. Il regroupe plusieurs normes :

802.11a ,802.11g ,802.11n.

### 1.6.1.3 WIMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access)

C'est La norme de réseau métropolitain sans fil la plus connue permettant d'obtenir des débits de l'ordre de 70 Mbit/s sur 50 km de porte [9].

Elle permet de fournir un accès internet rapide à certaine zone rurale qu'il couterait trop cher d'équipé en ADSL classique. WiMax utilise des bandes de très hautes fréquences, situées entre 2 et 66 **GHz**. C'est une technologie de réseau sans fil fixe et non mobile. Elle nécessite que les antennes émettrices et réceptrices soient situées l'une en face de l'autre pour que les transmissions passent.

## 1.6.2 Réseaux cellulaires

### 1.6.2.1 GSM

Le GSM (*Global System for Mobile communication*) est un système de radio téléphonie numérique flexible et évolutif, composé d'entités fonctionnelles regroupées en sous systèmes définis dans la norme GSM.

Le réseau GSM offre à ses abonnés des services qui permettent la communication de station mobile de bout en bout à travers le réseau. La téléphonie est le service le plus important des services offerts. Ce réseau permet la communication entre deux postes mobiles ou entre un poste mobile et un poste fixe. Les autres services proposés sont la transmission de données et la transmission de messages alphanumériques courts. La Figure 1.4 représente l'architecture du réseau GSM [6].

# Chapitre 1: Les Technologies de Réseau Sans Fils

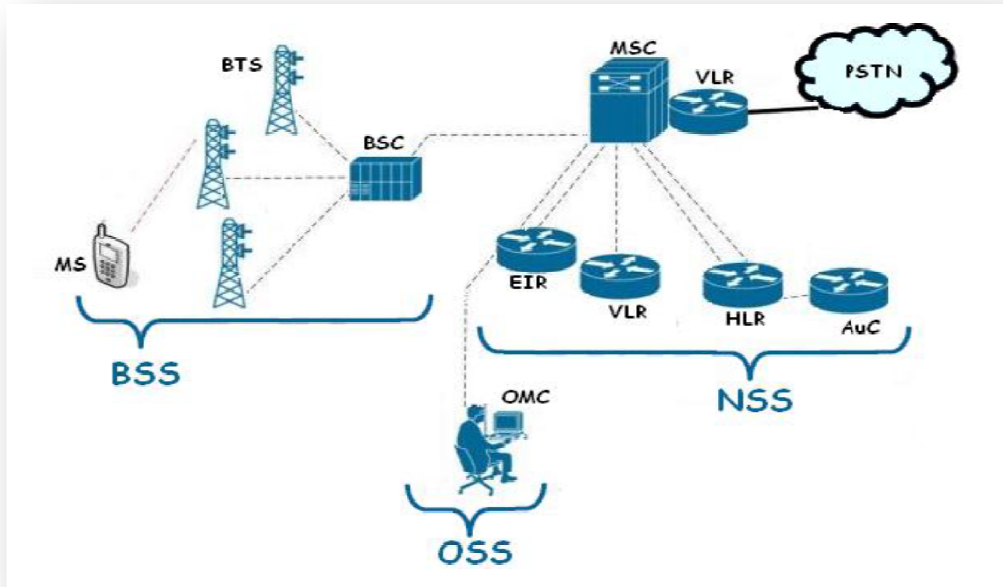


Figure 1.4 : Architecture du réseau GSM.

**Dans une architecture du réseau GSM on trouve les systèmes suivants: BSS, OSS et NSS.**

**BSS** (*Base Sub-System*) : sous-système radio qui assure les transmissions et gère la ressource radio.

**NSS** (*Network Sub-System*) : le sous-système réseau qui comprend l'ensemble des fonctions nécessaires à l'établissement des appels et à la gestion de la mobilité.

**OSS** (*Opération Sub-System*) : le sous-système d'exploitations et maintenance qui permet à l'opérateur d'administrer son réseau. La supervision du réseau et intervient à de nombreux niveaux tel que : Détection de pannes, Mise en service de sites, Modification de paramétrage, Réalisation de statistiques.

## 1.6.2.2 GPRS

Le standard GPRS (*Global Packet Radio Service*) spécifie une technique de transmission de données en mode paquet pour des réseaux cellulaires de type GSM. Les applications basées sur des protocoles de données standard sont supportées et l'interfonctionnement est défini avec les réseaux IP et X25[10]. Le GPRS a été introduit car les réseaux à commutation de circuits sont inefficaces pour gérer les transmissions de données fréquentes, les petits flux de données et les trafics Internet en rafales. La Figure 1.5 représenté l'architecture du réseau GPRS

# Chapitre 1: Les Technologies de Réseau Sans Fils

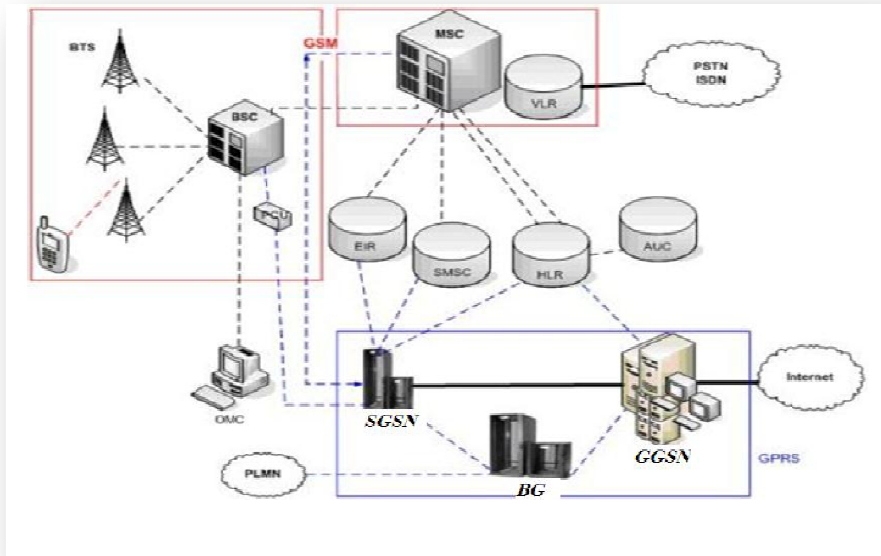


Figure 1.5 : Architecture du réseau GPRS [6].

## 1.6.2.3 EDGE

La norme EDGE (*Enhanced Data Rates for GSM Evolution*) est une norme de téléphonie mobile, une évolution du GSM. Cette technologie adopte une nouvelle modulation permettant d'atteindre des débits plus élevés tout en utilisant le spectre radio GSM existant des opérateurs.

Bien qu'avec des débits limités par rapport aux technologies UMTS qui le suivent, l'EDGE a la capacité d'offrir presque tous les services 3G. Il constitue donc une solution intéressante pour un opérateur qui désire offrir des services 3G à partir des ressources spectrales déjà existantes du 2G.

La technologie EDGE peut théoriquement atteindre un débit maximum de 473 kbit/s. Pratiquement, le débit (maximum) a été fixé au niveau du standard de la norme EDGE à 384 Kbps par l'ITU (*International Télécommunication Union*) dans le but respecté la norme IMT-2000 (*International Mobile Télécommunications-2000*).

## 1.6.2.4 UMTS

L'UMTS (*Universal Mobile Télécommunication System*) est un système cellulaire de 3ème génération (3G), un membre de la famille IMT-2000 dont les spécifications techniques qui sont

# Chapitre 1: Les Technologies de Réseau Sans Fils

développées au sein du 3GPP. les travaux de standardisation du système UMTS effectués au sein de l'ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*).

Une immense révolution d'information et de télécommunication, UMTS fournit à ses utilisateurs multi services, interactive, streaming, haute qualité de vidéo, multimédia, ...etc. La Figure 1.6 représente l'Architecture générale de l'UMTS

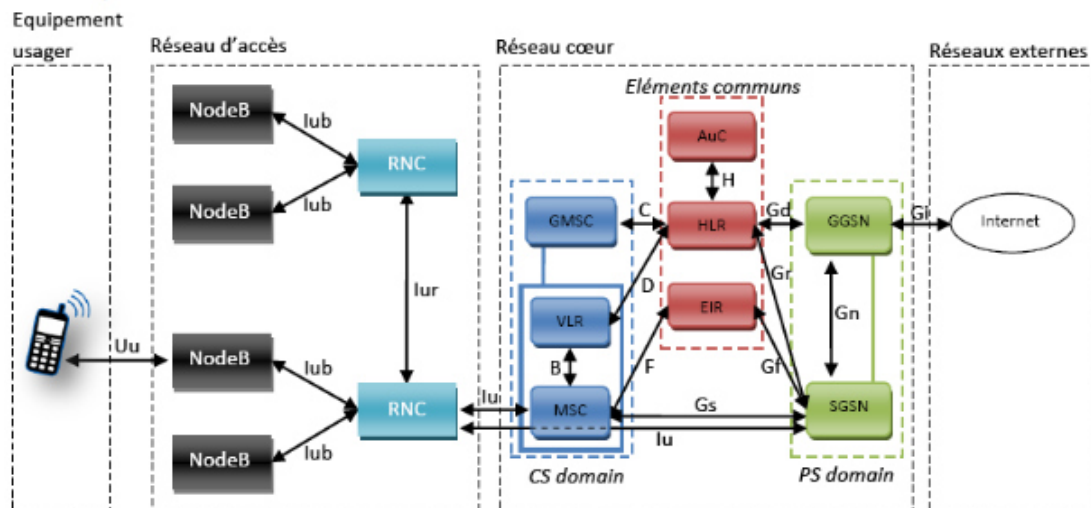


Figure 1.6 : Architecture générale de l'UMTS [6].

## 1.7 Avantage et inconvénients des réseaux sans fil

La majorité des réseaux sans fil disposent des mêmes avantages, à savoir la mobilité, une facilité et une rapidité d'installation et d'utilisation.

- **Mobilité** : Une mobilité génératrice de gains de productivité, avec un accès en temps réel aux informations, quel que soit le lieu où se situe l'utilisateur, pour une prise de décision plus rapide et plus efficace.
- **Simplicité d'installation** : Une installation plus économique du réseau dans les endroits difficiles à câbler, bâtiments anciens et structures en béton armé.
- **Coût** : Un coût d'appartenance inférieur, particulièrement dans les environnements dynamiques nécessitant des transformations fréquentes, grâce au coût minime du câblage et de l'installation par poste et par utilisateur.
- **Inter connectivité avec les réseaux locaux** : les WLAN sont compatibles avec les LAN existants, comme c'est le cas des réseaux WIFI et Ethernet, par exemple, qui peuvent coexister dans un même environnement.

## Chapitre 1: Les Technologies de Réseau Sans Fils

---

➤ **Fiabilité:** les transmissions sans fil ont prouvé leur efficacité dans les domaines aussi bien civils que militaires. Bien que les interférences liées aux ondes radio puissent dégrader les performances d'un WLAN, elles restent assez rares. Une bonne conception du WLAN ainsi qu'une distance limitée entre les différents équipements radio (station set ou points d'accès), permettent au signal radio d'être transmis correctement et autorisent des performances similaires à celles d'un réseau local. Etant donné que la norme 802.11 est l'objet de notre étude, dans la suite du document on va étudier et présenter les différentes normes.

Comme rien n'est jamais parfait, ce type de réseau présente également quelques inconvénients :

- Problèmes liés aux ondes radio (taux d'erreur plus important).
- Interférences (provenant d'autres réseaux).
- Effets multi-trajets comme il est indiqué.
- La réglementation.
- La sécurité.
- Typiquement très peu de bande passante (comparer aux réseaux filaires).
- Plusieurs solutions propriétaires (la normalisation prend du temps = consensus).
- Les produits doivent se conformer aux restrictions nationales : difficile d'avoir.

### 1.8 Canal de propagation

L'étude du canal de propagation est une étape importante dans la définition et le dimensionnement de nouveaux systèmes de communications sans fil [8]. En effet, le canal de transmission peut être modélisé comme un filtre linéaire permettant de représenter la transformation d'un signal électrique d'entrée  $e(t)$  en un signal électrique de sortie  $s(t)$  par le biais des ondes électromagnétiques. En d'autres termes, le canal de propagation correspond à l'environnement traversé par les ondes électromagnétiques lors d'une transmission d'information entre un émetteur et un récepteur. On prendra soin de différencier le canal de propagation, qui ne tient compte que des différentes interactions subies par les ondes électromagnétiques dans l'environnement, du canal de transmission qui ajoute en plus les caractéristiques des diagrammes de rayonnement des antennes d'émission et de réception.

#### 1.8.1 Propagation en espace libre

On considère tout d'abord la propagation en espace libre, c'est-à-dire le cas idéal où il n'y a pas d'obstacle entre l'émetteur et le récepteur. En définissant  $G_T$  le gain de l'antenne d'émission

---

## Chapitre 1: Les Technologies de Réseau Sans Fils

---

et  $P_T$  la puissance de signal émis, on peut exprimer la densité de puissance  $W$  présente à une distance  $d$  par [11] :

$$W = \frac{G_T P_T}{4\pi d^2} \quad (1.1)$$

D'après l'équation de transmission de FRIIS, la puissance reçue s'écrit de la manière suivante :

$$P_r = \frac{P_e \cdot G_e \cdot G_r \cdot \lambda^2}{(4\pi d)^2} \quad (1.2)$$

Où  $G_e$  et  $G_r$  sont respectivement les gains des antennes à l'émission et à la réception exprimés en dBi,  $d$  est la distance entre les deux antennes exprimée en mètre, et  $\lambda$  est la longueur d'onde en mètre.

### 1.8.2 Propagation en environnement réel

La propagation en espace libre n'est pas toujours rencontrée dans les situations réelles. Généralement, le signal transmis par une source se propage dans l'espace en suivant plusieurs chemins radios, avant d'être reçu par le destinataire. Ce type de propagation est appelé NLOS (*Non Line Of Sight*) si l'émetteur et le récepteur ne sont pas en vue directe. Si une visibilité directe existe entre ces derniers, les propagations LOS (*Line Of Sight*) et NLOS peuvent coexister. En fonction de la nature de l'environnement de propagation et de la taille des obstacles, il est sujet à l'influence de divers phénomènes physique [12] à savoir :

- **Réflexion** En transmission, entre deux stations, l'onde électromagnétique peut parvenir le récepteur soit directement, soit après réflexion sur le sol. Pour des dimensions de milieu extrêmement grand par rapport à la longueur d'onde, elle se décompose en une onde réfléchie et une onde réfractée.

Si la distance entre les stations est telle que la courbure de la terre est négligée, l'onde sera réfléchie dans une seule direction et sans perte d'énergie.

- **Diffraction** Le sol (terrain, bâtiment, végétation...) constitue un obstacle situé dans les champs des faisceaux entre un émetteur et un récepteur. Il devient, alors, une source d'émission secondaire qui donne le chemin détourné.

En effet, il faut avoir des règles de dégagement pour assurer la visibilité directe. Mais, des conditions météorologiques (orage, pluie ...) peuvent apporter un affaiblissement. Pour étudier ce phénomène, l'obstacle est modélisé par un demi-plan.

---

## Chapitre 1: Les Technologies de Réseau Sans Fils

---

- **Diffusion** 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.

### 1.8.3 Modélisation

Soit un canal radio mobile caractérisé par  $L$  trajets et par des retards associés à ces trajets. On peut donc considérer ce canal comme un filtre linéaire ayant une réponse impulsionnelle  $h(t, \tau)$  qui est une fonction du temps et des retards des trajets.

L'équivalent en bande de base de la réponse impulsionnelle du canal est:

$$h(t, \tau) = \sum_{l=1}^L \alpha_l(t) e^{-j(2\pi f_c \tau_l(t))} \delta(\tau - \tau_l(t)) \quad (1.3)$$

En posant  $\theta_l(t) = 2\pi f_c \tau_l(t)$ , on obtient :

$$h(t, \tau) = \sum_{l=1}^L \alpha_l(t) e^{-j\theta_l} \delta(\tau - \tau_l(t)) \quad (1.4)$$

Avec  $\alpha_l(t)$  et  $\tau_l(t)$  et  $\theta_l(t)$  sont respectivement l'amplitude complexe et le retard du  $l$ ème trajet à l'instant, et  $\delta$  est la fonction delta.

### 1.8.4 Distorsion d'amplitude

Comme cela a été précisé précédemment, les trajets se recombinaient au niveau du récepteur pour constituer le signal reçu. Ces recombinaisons peuvent être sous forme de superpositions constructives, en phase, ou destructives, en opposition de phase, des différents rayons réfléchis, diffusés ou réfractés vers le récepteur, donnant lieu à des distorsions du signal. On parle, alors, de distorsion d'amplitude ou fading. La distribution de ces évanouissements dépend de la présence ou de l'absence d'un trajet LOS. En absence de ce trajet, le canal est représenté par la somme d'un grand nombre de valeurs aléatoires indépendantes et l'atténuation d'amplitude résultante suit une loi de Rayleigh [13]. Cependant, si le canal entre l'émetteur et le récepteur est formé par un trajet direct et une infinité de trajets indirects, la distribution de l'atténuation est modélisée comme une loi de Rice [13].

### 1.8.5 Effet Doppler

Dans un environnement radio mobile, le récepteur est souvent en mouvement par rapport à l'émetteur. Ce mouvement introduit un décalage de fréquence dans le contenu spectral du signal reçu. Ce décalage de fréquence, appelé effet Doppler, dépend de la vitesse du mobile, de la

## Chapitre 1: Les Technologies de Réseau Sans Fils

---

longueur d'onde (fréquence porteuse) et de l'angle d'incidence du trajet par rapport à la trajectoire de déplacement. Le décalage Doppler est donné par l'équation (1.5) [14] :

$$f_d = \frac{v}{\lambda} \cos(\varphi) \quad (1.5)$$

Où  $v$  est la vitesse de déplacement du récepteur,  $\lambda$  est la longueur d'onde et  $\varphi$  est l'angle d'incidence par rapport à la trajectoire de déplacement.

### 1.9 Conclusion

Dans ce premier chapitre nous avons étudié les réseaux sans fil en générale. Nous avons présenté les fonctionnements des réseaux sans fil plus les types de ces réseaux. Nous avons terminé par des notions de la propagation dans un environnement radio mobile.

Vu que notre projet concerne la technologie du standard 802.16 « WiMax », le chapitre suivant sera consacré pour ce standard.

---

## Chapitre 2 :Technologie de WiMax

---

### 2.1 Introduction

WiMax est l'un des plus populaires technologies BWA (*Broadband Wireless Access*) disponibles, dans le but d'offrir un accès sans fil haut débit pour réseaux métropolitains (région WMAN) [15]. En tant que technologie normalisée, WiMax assure l'interopérabilité des équipements certifiés par le WiMax Forum, ce qui entraîne une réduction significative des coûts pour les fournisseurs de services qui souhaitent utiliser des produits fabriqués par différents fournisseurs. Cet avantage distinct a ouvert la voie aux services sans fil à large bande mondiaux. Un autre avantage clé de WiMax est qu'il a été optimisé pour offrir une excellente couverture NLOS à l'aide de la technologie sans fil évoluée.

Techniques de transmission, telles que diversité d'émission / réception MIMO (*Multiple Input Multiple Output*) et demande de retransmission automatique (ARQ), etc. combinées au multiplexage par répartition orthogonale de la fréquence (OFDM) ou Accès multiple par division orthogonale de fréquence (OFDMA) [16].

### 2.2 La technologie WiMax

#### 2.2.1 Objectif WiMax

Le standard IEEE802.16 cherche principalement à combler l'écart existant entre les solutions de communication sans-fil haut débit et celles de bien plus faible débit, mais qui assurent une gestion efficace de la mobilité [17].

Ce type de norme contribue à la connectivité à haut débit et la norme IEEE802.16 vise à fournir un moyen de déploiement rapide sans fil pour un déploiement à faible coût.

Il maintient également une interopérabilité totale avec tous les produits des fabricants conformes à IEEE. Fournir une Technologie hertzienne pour la transmission de données [18]:

- D'interconnecter des réseaux d'entreprises ;
- Surfer sur Internet à haut débit, sur une zone de couverture de plusieurs kilomètres ;
  - En théorie : 74 Mbit/s avec une portée de 50 kilomètres.
  - En réalité : 12 Mbit/s avec une portée de 4,5 kilomètres.

#### 2.2.2 Structure de WiMax

La figure suivante montre la structure générale d'un réseau WiMax et les différentes façons .Pour exploité les services de ce réseau :

## Chapitre 2 :Technologie de WiMax

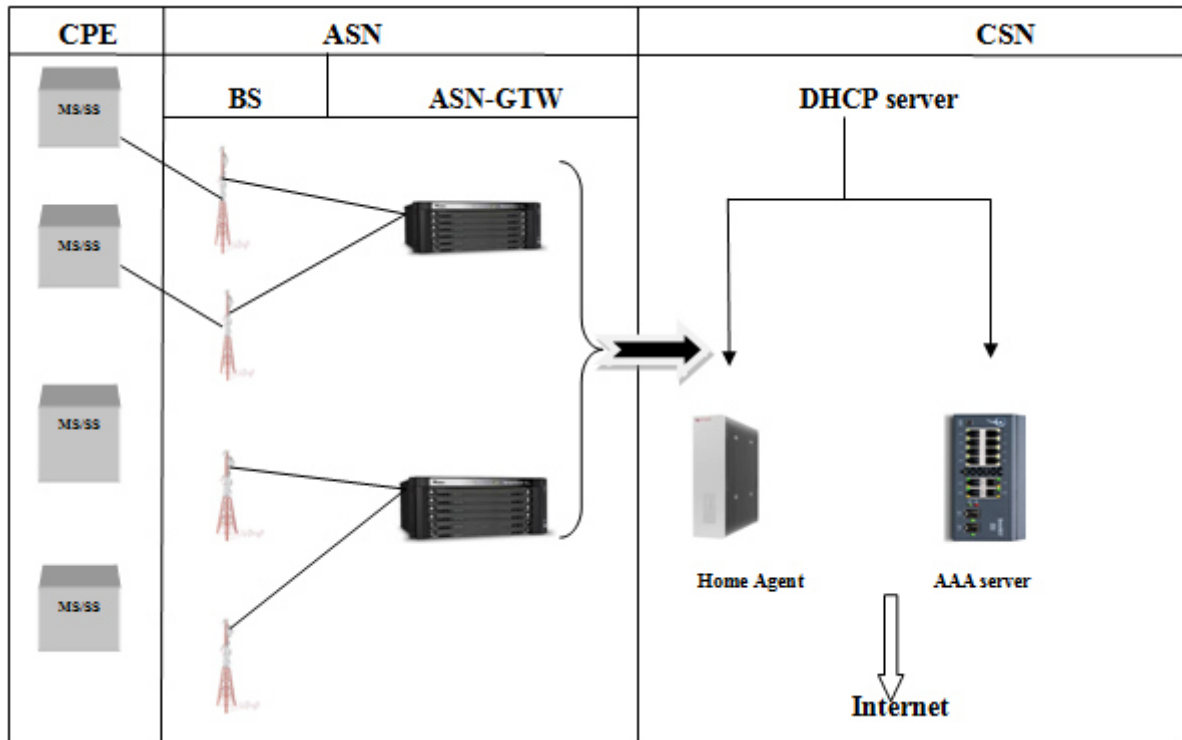


Figure 2.1 : La structure générale d'un réseau WiMax.

[19] Le CPE (*Customer Premise Equipment*) est la partie utilisateur du système WiMax. Il comprend les équipements mobiles généraux (MS) et les équipements fixes généraux (SS : *Subscriber Station*). Le réseau de service d'accès (ASN) comprend une station de base (BS) et une passerelle d'accès (ASN-GW). Le réseau de serveur de connexion (CSN) comprend un routeur, un serveur AAA (*Authorization, Authentication and Accounting*), une haute disponibilité, un serveur DHCP (*Dynamic Host Configuration Protocol*), un équipement de passerelle Internet, etc.

Dans les réseaux cellulaires comme le GSM et le GPRS, la BTS (*Base Transceiver Station*) et le BSC (*Base Station Controller*) sont deux ensembles d'équipements distincts, alors que dans le WiMax ces deux ensembles équipements avec toutes leurs différentes fonctions sont couplés dans un seul équipement appelé la BS.

## Chapitre 2 :Technologie de WiMax

### 2.3 Normes de WiMax

Les différents standards de cette norme peuvent être regroupés dans le tableau (2.1) :

Standard	Description	Publié	Statut
IEEE 802.16-2001	Définit des réseaux métropolitains sans fil utilisant des fréquences supérieures à 10 GHz (jusqu'à 66 GHz)	8avril2002	Obsolètes
IEEE 802.16c-2002	Définit les options possibles pour les réseaux utilisant les fréquences entre 10 et 66 GHz.	15 janvier 2003	Obsolètes
IEEE 802.16a-2003	Amendement au standard 802.16 pour les fréquences entre 2 et 11 GHz.	1 avril 2003	Obsolètes
IEEE 802.16-2004	Il s'agit de l'actualisation (la révision) des standards de base 802.16, 802.16a et 802.16c.	1 octobre 2004	Obsolètes/ Actifs
IEEE 802.16e-2005	Apporte les possibilités d'utilisation en situation mobile du standard, jusqu'à 122 km/h	7 décembre 2005	Actifs
IEEE 802.16f	Spécifie la MIB (Management Information Base), pour les couches MAC (Media Access Control) et PHY (Physical)	22 janvier 2006	Actifs
IEEE 802.16m	Débits en nomade ou stationnaire jusqu'à 1 Gbit/s et 100 Mbit/s en mobile grande vitesse. Convergence des technologies WiMAX, Wifi et 4G	2009 (IEEE 802.162009)	Actifs

Tableau 2.1 : Les différentes normes 802.16 [20].

A ces standards, doivent s'ajouter certains tests de conformité dont certains ont été publiés ; notamment ceux portant sur les fréquences entre 10 et 66 GHz. Les tests concernant les fréquences entre 2 et 11 GHz ont été publiés dans un second temps.

WiMAX a principalement deux types différents : WiMax fixe et mobile WiMax qui est décrits comme la suit :

## Chapitre 2 :Technologie de WiMax

### 2.3.1. IEEE 802.16d-2004 - WiMax fixe

Les normes IEEE 802.16 développées au cours des premières étapes tendent à décrire différentes parties de la technologie. Afin de faciliter les développements futurs, il a été décidé de fusionner le précédent plusieurs versions en une seule, donnant lieu à IEEE 802.16d-2004 [21], également appelé fréquemment IEEE 802.16-2004. Pour les fréquences opérationnelles comprises entre 10 et 66 GHz, le PHY est basé sur Modulation SC. Pour les conditions de propagation NLOS à des fréquences inférieures à 11 GHz, les variantes de conception de la modulation SC, OFDM ou OFDMA peuvent être utilisées [21]. Les premières solutions WiMax étaient basées sur le réseau sans fil métropolitain (WMAN) OFDM PHY de 802.16-2004. Par conséquent, le 802.16-2004 est également appelé « WiMax fixe », du fait qu'il ne prend pas en charge la mobilité. son débit théorique est de l'ordre de 70Mb/s et son rayon de couverture est de 50 Km.

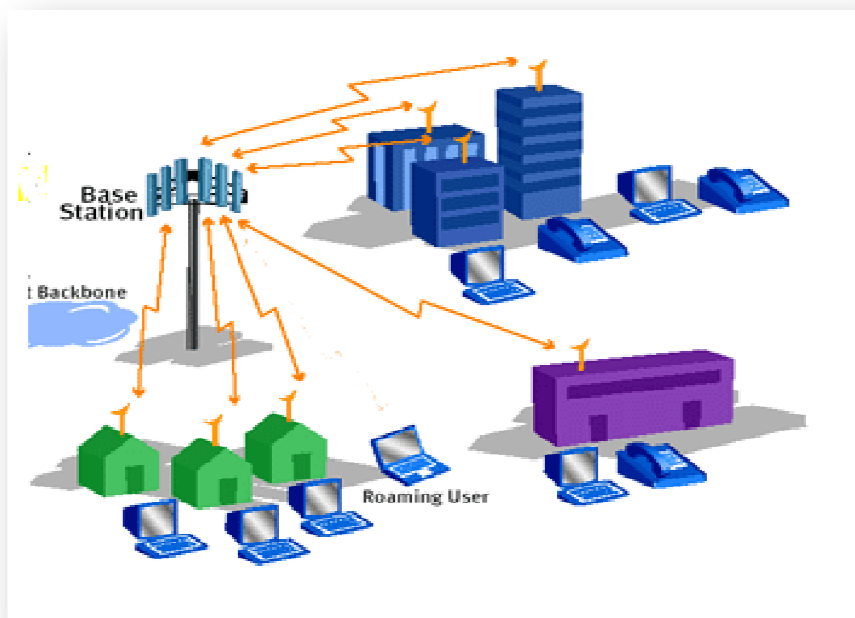


Figure 2.2: Wimax fixe [22].

### 2.3.2. IEEE 802.16e-2005 - WiMax mobile

Afin de fournir une assistance à la mobilité, le groupe de travail IEEE 802.16 a poursuivi ses développements.

En décembre 2005, un amendement à la norme IEEE 802.16-2004, intitulé IEEE 802.16e-2005 [23] ou 802.16e en bref, a été approuvé. Outre les nombreuses corrections apportées à 802.16-2004 concernant opérations stationnaires, une des améliorations clés de cette norme par rapport à ses ancêtres est qu'elle prend en charge les stations d'abonné se déplaçant à des

## Chapitre 2 :Technologie de WiMax

---

vitesses de déplacement allant jusqu'à 150 Km/h dans des conditions idéales qui se résument : par l'absence d'obstacles et qu'elle spécifie ainsi un système combinant systèmes fixes et mobiles.

Les fonctions requises pour prendre en charge le transfert de couche supérieure entre stations de base ou secteurs sont également spécifiées. Son fonctionnement est limité aux bandes sous licence adaptées à la mobilité à des fréquences porteuses inférieures à 6 GHz. En outre, les capacités d'abonné IEEE 802.16 fixes précédemment développées ne sont pas compromises [23].



Figure 2.3 : WiMax mobile [23].

### 2.4 Constitution d'un réseau WiMax

#### 2.4.1 Station de base (BS)

Elle est responsable d'offrir l'Interface Air pour la station mobile. La BS assure les fonctions de gestion de la micro mobilité, la gestion des ressources radio, la gestion de la qualité de service et la classification du trafic, etc. Une ou plusieurs stations de base peuvent être groupées ensemble pour former le Réseau de Services d'Accès (ASN *Access Service Network*). Plusieurs BS dans le même ASN peuvent communiquer avec les autres entités du réseau WiMax et, notamment, avec le réseau IP à travers une passerelle ASN-GW, il constitue deux équipements sont: station de contrôle de base (BSC) et station de transmission de base (BTS) et existe deux types de station de bases :

## Chapitre 2 :Technologie de WiMax

---

- **Équipement Radio**

C'est première équipement utilisée comme base de station.



Figure 2.4 : Équipement radio [18].

- **Antenne**

En fonction du type d'applications, trois types d'antennes sont utilisées dans les réseaux WiMax.

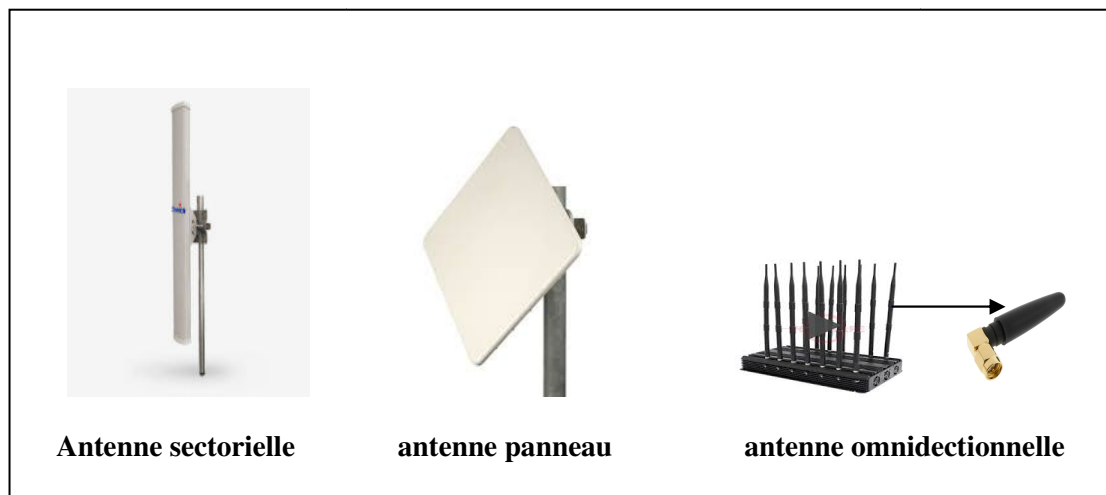


Figure 2.5 : les différents types des antennes.

### 2.4.2 Clients ou Équipements d'abonnés CPE

La station mobile (MS) appelé aussi Subscriber Station (SS) est un équipement qui permet à l'utilisateur final d'accéder au réseau WiMax. L'élément MS/SS peut être fixe ou mobile.

Aussi il existe deux types :

- **Équipements d'abonnés fixes** : Ils peuvent être installés soit à l'intérieur (*Indoor*) soit à l'extérieur (*Outdoor*) des habitations

## Chapitre 2 :Technologie de WiMax

---

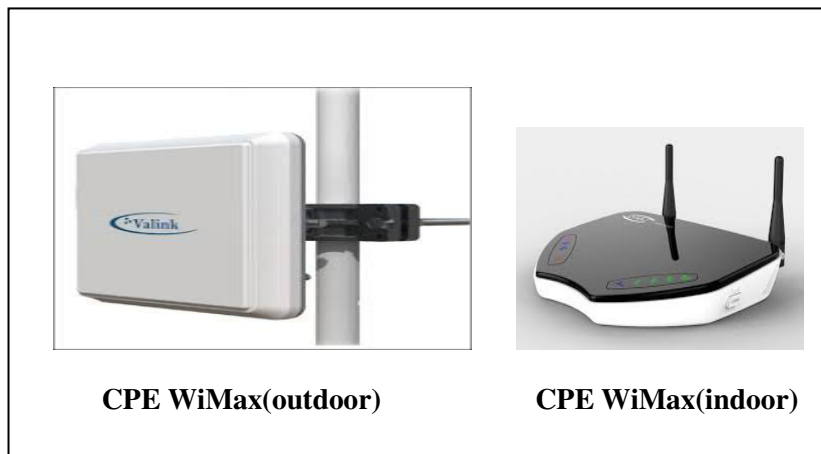


Figure 2.6 : les équipements d'abonnés fixes.

### ●Équipements d'abonnés mobiles :

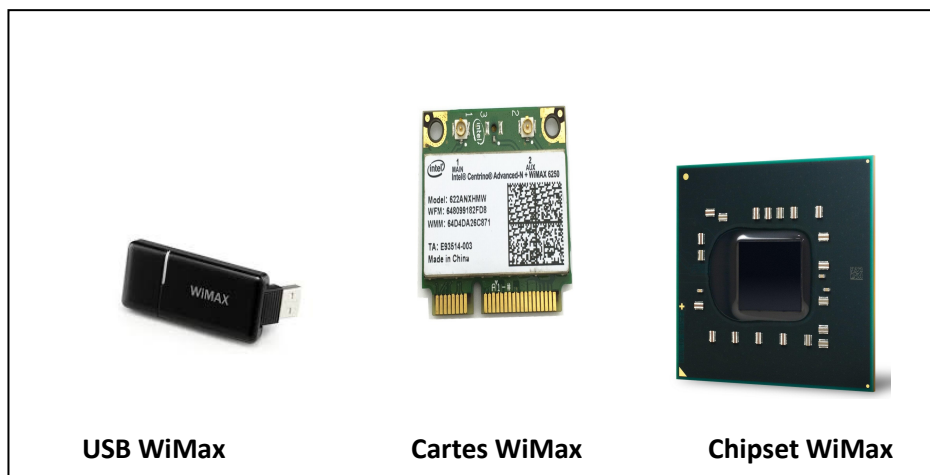


Figure 2.7 : Les équipements d'abonnés mobiles.

## 2.5 Étude des techniques de WiMax

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*).

### 2.5.1 Couche Physique

C'est la couche PHY qui transporte les signaux d'un appareil à l'autre en utilisant des fréquences radio ou tout autre support de transmission de signal. Le PHY n'est pas au courant du type d'application et des exigences de qualité de service pour le signal transmis. La couche PHY est définie conformément à la norme IEEE 802.16-2004 pour :

## Chapitre 2 :Technologie de WiMax

- les fréquences comprises entre 2 et 66 GHz et sa sous-gamme (10-66 GHz) qui nécessitent une visibilité directe (LOS).
- Propagation et possibilité de propagation sans ligne de visée sur une fréquence de 2 à 11 GHz (NLOS).

Le tableau suivant montre les types de couches physiques du WiMax :

Désignation	Fréquence	LOS /NLOS	Fonction	Duplexage
Wirless MAN-SC	10-66GHz	LOS	Point-à-point	TDD, FDD
Wirless MAN-SCa	2.5-11GHz	NLOS	Point-à-point	TDD, FDD
Wirless MAN-OFDM	2.5-11GHz	NLOS	Point-à-multipoint	TDD, FDD
Wirless MAN-OFDMA	2.5-11GHz	NLOS	Point-à-multipoint	TDD, FDD

Tableau 2.2 : les types de couche physique.

- Wirless MAN-SC : utilise un format de modulation avec une seule porteuse
- Wirless MAN-SCa : L'architecture à canal unique est la conception d'un réseau sans fil qui permet au client sans fil de ne voir qu'une seul point d'accès au réseau.
- Wirless MAN-OFDM : utilise un multiplexage orthogonal à division de fréquence avec 256 points de transformation. L'accès à cette couche physique s'effectue en TDMA (*Time Devision Multiplexer Access*).
- Wirless MAN-OFDMA : utilise un multiplexage orthogonal à division de fréquence avec 2048 points de transformation. Ce qui permet de supporter de multiples récepteurs Chaque variante est optimisée pour une utilisation particulière et peut supporter des antennes adaptatives.

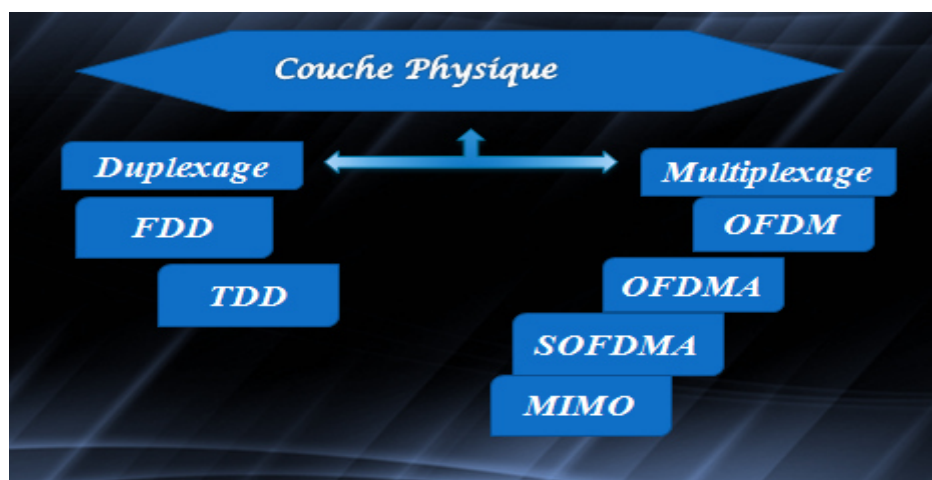


Figure2.8: les techniques de couche Physique.

## Chapitre 2 :Technologie de WiMax

### 2.5.1.1 Duplexage

Le standard 802.16 spécifie plusieurs méthodes de duplexage des voies montantes et descendantes. La couche MAC se dépend actuellement du mode de 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*).

●**Mode de duplexage FDD** : Dans FDD les canaux de liaison montante (uplink) et de liaison descendante (downlink) sont localisés dans 2 bandes de fréquence différentes. Une durée de trame fixe est utilisée pour les liaisons descendante et montante, ce qui facilite l'utilisation des différents types de modulation, et simplifie l'algorithme d'attribution des canaux. Il existe deux types de duplexage FDD sont prévus dans 802.16-2004 [24]. On trouve FDD full-duplex et FDD half-duplex [25].

●**Mode de duplexage TDD**: Les transmissions descendante et montante 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. La première trame est utilisée pour la descendante et l'autre pour la montante. Elle est formée d'un nombre entier de PS (*Physical Slot* : unité de temps, dépendant de la spécification PHY, utilisée pour l'allocation du canal), ce qui facilite la division en canaux. Un système TDD peut diviser le canal entre les 2 sens downlink et uplink d'une manière adaptative, en fonction de 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 [24].

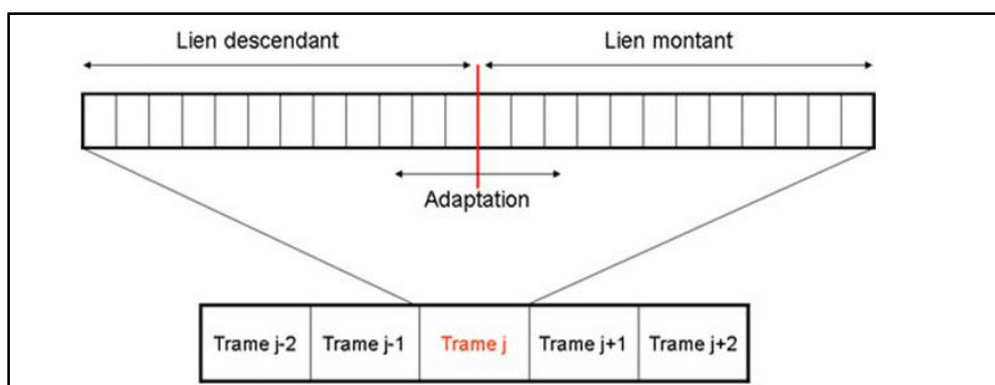


Figure 2.9 : Principe du TDD [26].

## Chapitre 2 :Technologie de WiMax

Le tableau suivant montre la différence entre FDD et TDD:

	FDD	TDD
<b>Avantages</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Flexibilité : Usage d'un seul canal fréquentiel</li> <li>. Adapté pour les flux Asymétriques (asymétrie variable)</li> <li>. Réciprocité canal : meilleur support des technologies d'antennes avancées et de technique d'adaptation de lien</li> <li>. Moins de complexité coût plus faible.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Étrier Bien adapté aux services de voix</li> <li>. Désignée pour les trafics symétriques</li> <li>. Ne nécessite pas de temps de garde (La perte en capacité due au temps de garde est estimée à 2% pour une trame de 5 ms)</li> <li>. Moins de latence</li> </ul>
<b>Désavantages</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Requiert un système de synchronisation</li> <li>. Ne peut pas émettre et recevoir en même temps</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Usage d'une paire de Fréquences diminue l'efficacité spectrale</li> <li>. Coût du spectre</li> </ul>

Tableau 2.3 : La différence entre FDD et TDD [24]

### 2.5.1.2 Multiplexage

WiMax utilise trois techniques de multiplexage qui sont OFDM [27], OFDMA [28], SOFDMA [29] et MIMO [30]. Nous allons présenter ces techniques dans la section suivante :

**a) Technique d'OFDM (*Orthogonal Fréquence Division Multiplexing*)** : est une technique clé pour permettre l'opération en absence de visibilité directe de la technologie WiMAX, grâce à sa robustesse devant les effets du trajet multiple.

OFDM consiste à multiplexer un flux des données sur plusieurs sous canaux du bande étroite il dont les fréquences centrales plus faible sont espacées d'un multiple égale  $\frac{1}{T}$ , modulés par un ensemble de sous porteuses orthogonales [31].il permet d'annuler les interférences L'ensemble de ces porteuses peut être modelé comme une banque de filtre, comme il est représenté dans la figure 2.10.

## Chapitre 2 : Technologie de WiMax

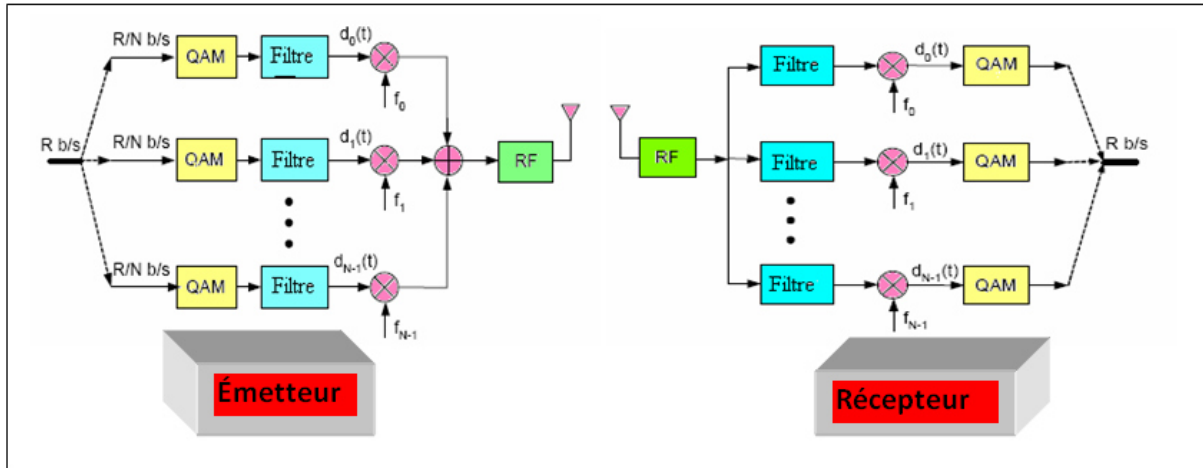


Figure 2.10: OFDM implémenté via une banque du Filtre [32].

Dans cette approche, un flux binaire des données est transmis à un taux de  $R$  (bps) et est multiplexé sur  $N$  sous canaux. Donc, le débit binaire est réduit sur chaque branche du filtre est réduit par un facteur de  $N$ . Ce que conduit à un débit de la transmission de  $R/N$  bps sur chaque sous porteuse.

L'OFDM résonne sur le principe de la transmission par bloc, la modulation de bloc de symboles est réalisée par une transformée de Fourier inverse. En OFDM Ces fréquences constituent une base orthogonale pour donne la possibilité de rapprocher les porteuses sans qu'il y ait interférence qui présente une occupation optimale de la bande allouée.

**b) La technique d'OFDMA (*Orthogonal Fréquence Division Multiplexing Access*) :** 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 [33]. 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.

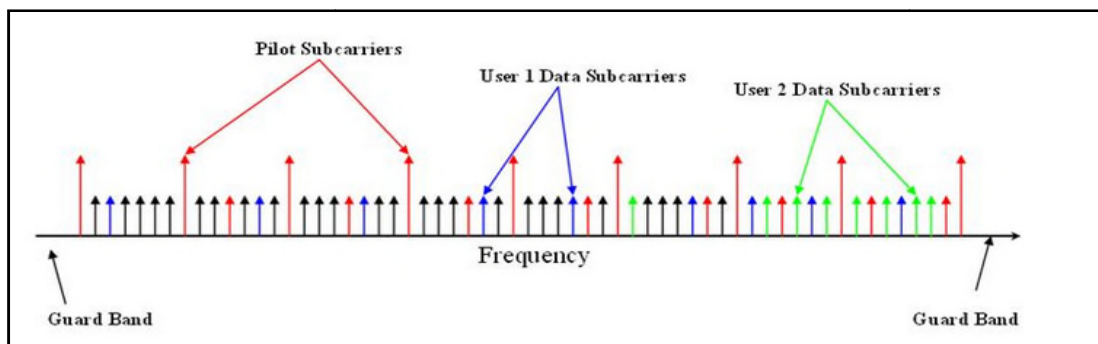


Figure 2.11 : Modulation OFDMA [28].

## Chapitre 2 : Technologie de WiMax

c) **La Technique d'accès multiple SOFDMA (*Scalable OFDMA*)** : 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.

d) **MIMO (*Multi Input Multi Output*)** : 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) [30], 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 [30].

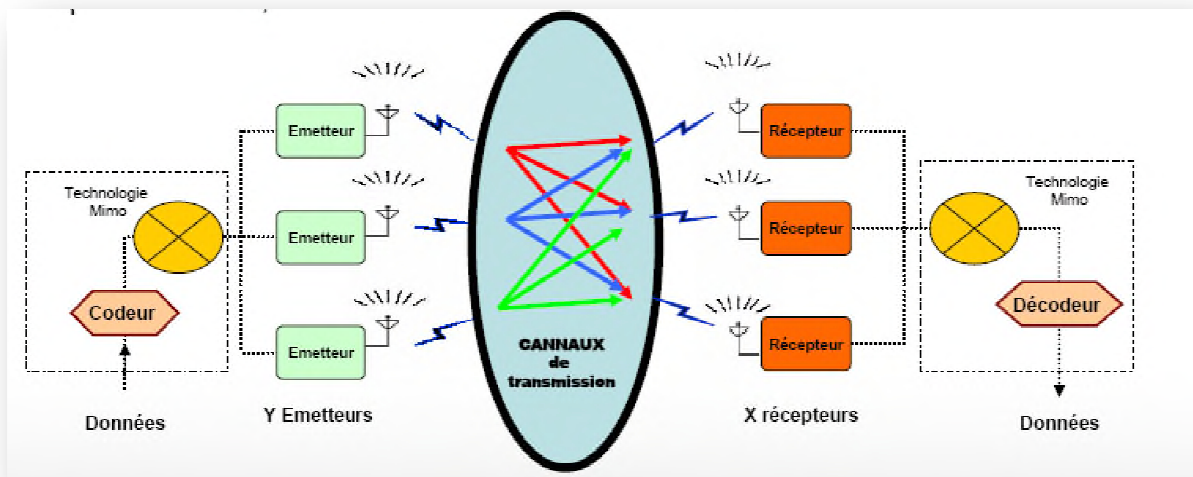


Figure 2.12 : Principe du MIMO.

---

## Chapitre 2 :Technologie de WiMax

---

### 2.5.2 La couche MAC

La couche MAC prend en charge les différentes spécifications PHY en utilisant le multiplexage par répartition dans le temps, dans lequel des créneaux horaires sont attribués aux utilisateurs pour accéder au canal.

La communication sur la liaison montante est basée sur l'accès multiple par répartition dans le temps (TDMA). La TDMA facilite différents niveaux de QoS (*Qualite Of Service*) et de communication à délai lié via un accord de niveau de service prédéterminé. La norme 802.16-2004 prend en charge les formats TDD et FDD, full et half duplex [25].

Le protocole 802.16-2004 est conçu pour transporter tout protocole de couche supérieure actuel ou futur, tel que les versions IP4 et 6, les services de voix sur IP (VoIP), Ethernet, ATM et de réseau local virtuel (VLAN) par paquets. La norme 802.16 y parvient en divisant sa couche MAC en sous-couches distinctes qui gèrent différents services [34], comme suit :



Figure 2.13 : différents types de couche MAC.

#### 2.5.2.1 Sous-couche de convergence spécifique à un service

L'interfaçage avec les couches supérieures est la responsabilité de la couche de convergence spécifique au service. En standard IEEE 802.16-2004 [35] on spécifie deux types de sous-couches destinées à mapper le service de et vers le Sous-couche MAC. La première est la sous-couche ATM qui mappe les services ATM. La deuxième sous-couche qui mappe des services de paquets comme IPv4, IPv6 et Ethernet est appelée la sous-couche paquet. Cette sous-couche prend la responsabilité de mapper les données de service Unités (SDU) avec la connexion MAC, permettant l'allocation de la qualité de service et de la bande passante dépend des données reçues par les couches supérieures. Le travail plus complexe d'effectuer la suppression d'en-tête de paquet et le mappage d'adresse est également effectué par cette sous-couche.

---

## Chapitre 2 :Technologie de WiMax

---

### 2.5.2.2 Sous-couche partie commune MAC

Les fonctions MAC importantes sont réalisées par cette sous-couche. L'établissement de connexions et son entretien avec l'allocation de la bande passante et l'accès au système sont effectués par cette couche. Manutention de QoS de la transmission de données, transformation des SDU en PDU et leur la transmission sur la couche PHY est également gérée par cette sous-couche. Selon l'IEEE 802.16 2004 standard, le protocole MAC est fait pour Point à Multi Point (PMP) opération.

### 2.5.2.3 Sous-couche de sécurité MAC

Cette couche est principalement responsable de la sécurité au système. La fourniture de fonctions telles que le cryptage, l'échange de clé sécurisé, L'authentification et le contrôle d'intégrité sont la responsabilité de cette couche. Le maintien de l'ordre PDU et assurer la confidentialité du transfert des données entre la station de base et le mobile est la tâche effectuée par cette couche.

Constitue l'interface entre la couche MAC et la couche physique, elle a principalement deux fonctions :

- **L'authentification** et **l'échange** de clés de sécurité grâce au **protocole de gestion de clefs** (KMP : *Key Mangement Protocol*) [36].
- **Le cryptage** [36] des connexions entre la station de base et l'abonné au service. **La sécurité** des données contenues dans la trame MAC est réalisée grâce au **protocole d'encapsulation**.

## 2.6 Les caractéristiques et avantages de réseau WiMax

- WiMax se présente en deux versions :
  - une version fixe, qui a été finalisée sous le nom de WiMax IEEE 802.16-2004
  - une version mobile IEEE 802.16e-2005.
- Le débit théorique est de 72Mbits/sec, en pratique, les débits atteignent les 12Mbits/sec sur une distance de 20Km.
- L'avantage majeur de cette norme 802.16 est la mobilité.
- Couverture : jusqu'à 50 km (fixe) et de 5 à 15 km (mobiles).
- Amélioration de la couverture des zones rurale et des zones difficiles d'accès, souvent difficiles à desservir par les réseaux câblés.
- Peut être utilisé sur plusieurs bandes de fréquence.

---

## Chapitre 2 :Technologie de WiMax

---

### 2.7 Présentation de services dans IEEE802.16

#### 2.7.1 Qualités de services

Le terme « qualité de service » (QOS) désigne l'ensemble des exigences de performances qui doivent être satisfaites par un réseau, pour pouvoir supporter les applications proposées aux utilisateurs. Dans un réseau utilisant le transfert d'informations par paquets de manière généralise, cette performance s'exprime en délais de transfert ; variation du délai de transfert (gigue) ; débit nécessaire taux de pertes de paquets etc. pour répondre a ces besoins on définit un modèle de services, c'est à dire un ensemble de classes de services auxquelles sont affectées des priorités relatives, pour l'accès aux différents services du réseau et les mécanismes de traitement associes.

Ainsi le WiMax définit deux critères très importants en fonction du débit, pour identifier les classes de (QOS) qui sont :

- MRTR (Minimun detemined trafic rate) ou débit minimal retenu.
- MSTR (Minimun soustand trafic rate) ou débit minimal soutenu.

#### 2.7.2 Classes de services

Le WiMax a été conçu d'ensemble pour offrir différents services à un client élévateur, par le biais d'outils de gestion du réseau. La norme 802.16 définit la qualité de service à travers quatre classes de services :

**UGS (unisolicited grant servises) :** cette classe, équivalente de la ligne spécialisée est conçue pour supporter un débit constant et garanti permettant ainsi la voix sur IP avec suppression des silences. Dans ce cas on a « MRTR =MSTR ».

**rtPS (real time poling services ou real time variable rate) :** conçu pour prendre en charge des services en temps réel générant des paquets de données de taille variable tels que la vidéo MPEG ou la VoIP avec suppression de silence sur une base périodique. un débit minimal est assuré mais variable. Dans ce cas on a « MRTR<MSTR ».

**nrTPS (non real poling services ou non real time variable rate) :** destinée pour des applications quelconques mais sans garantie de temps de réponse, un débit minimal fixe est cependant garanti. Dans ce cas on aura aussi « MRTR<MSTR ».

**BE (best effort) :** aucune garantie du débit ou du temps de réponse, seulement le MSTR est spécifie. Pour la navigation sur le Web, ces services sont fournis par Internet.

### 2.7.3 Flux de services

Le WiMax utilise des flux de services qui permettent de définir le moyen de communication. Chaque flux de services possède différentes caractéristiques, on peut en distinguer trois :

➤ **Provisionne** : Un service suffisamment provisionné peut être soumis à une activation grâce au module de réglementation. Si les ressources nécessaires à ce service sont disponibles, un identifiant de connexion est lié.

➤ **Admis** : l'activation s'effectue en deux phases. Ce modèle conserve les ressources du réseau jusqu'à ce qu'une connexion soit établie, celle-ci préalablement subit un contrôle de ressources.

➤ **Actif** : un flux de services est considéré comme actif à partir du moment où son paramètre « active QoSParamSet » [37] est positionné. La station de base va ainsi, lui fournir les ressources dont il a besoin.

### 2.8 Les bandes des fréquences [38]

Le choix des ressources spectrales est une étape importante pour assurer le succès du déploiement d'un réseau WiMax. L'opérateur doit tenir compte de plusieurs facteurs pour effectuer son choix (Bande passante du canal : pour WiMax fixe=1.25 à 28 Mhz et pour mobile =1.25 à 20 Mhz) [39].

Les fréquences utilisées pour le déploiement du WiMax peut être avec ou sans licence :

#### 2.8.1 Bande avec licence :

Les bandes avec licence englobent les fréquences (3.5 GHz et 2.5 GHz), qui sont moins sensibles aux problèmes de propagation et plus adaptables aux environnements NLOS. Donc ces bandes permettent de garantir la QoS, sur tout pour les zones urbaines à haut densité.

Le cout et le délai d'attribution de licence peuvent être des grands obstacles devant les opérateurs.

#### 2.8.2 Bande sans licence

Les bandes sans licences sont souvent soumises à une régulation contraignante pour la puissance d'émission. Cela va engendrer des interférences et minimiser la portée

Les avantages de ce type de bande sont le faible cout et la rapidité de déploiement (pas de délai d'attente lie à la procédure d'attribution de licence). Ce genre de bande se trouve généralement, autour de 2.4GHz (bande SIM) et le 5.8Ghz.

## Chapitre 2 :Technologie de WiMax

### 2.9 Application et l'avenir de WiMax

WiMax, en raison de ses applications variées, peut être utilisé comme alternative aux logiciels existants. Infrastructures de télécommunications. Cette technologie fournit un protocole Internet (IP) connectivité en utilisant l'accès aux données à large bande mobile de l'abonné. Le potentiel les applications de services fournissant un accès Internet à haut débit se sont développées dans le monde entier. Celles-ci les services peuvent être une alternative aux réseaux de fils de cuivre utilisés par le téléphone fournisseurs et les câbles coaxiaux utilisés en télévision. En tant que configuration sans fil mobile, il peut remplacer les réseaux mobiles. WiMax joue un rôle dans la plupart des Services de télécommunication, comme le montre la figure 2.14.

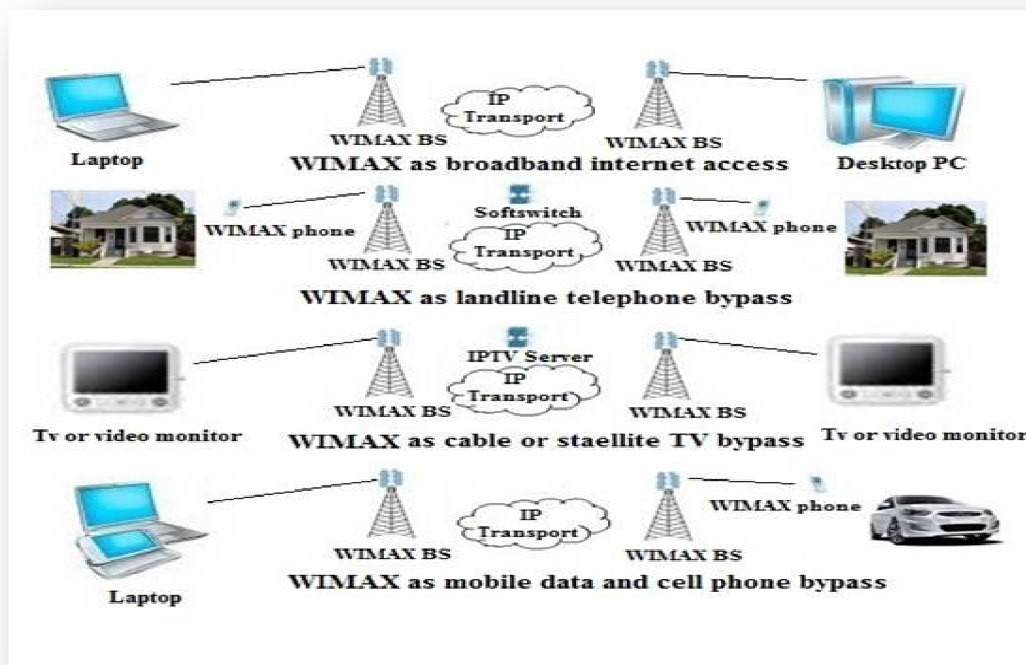


Figure 2.14: application de WiMax[40]

Les principales applications peuvent être classées comme suit :

- **Internet basé sur WiMax** : Internet basé sur la technologie WiMax présente de nombreux avantages pour les clients qui utilisent Internet par câble ou DSL. Ensuite, les stations de base WiMax fourniront des connexions simples et unicast avec les abonnés. Comme ces services sont sans fil, ils sont faciles à déployer et sont d'une grande utilité dans la zone rurale dépourvues de réseaux de câblodistribution. L'Internet WiMax apporte la fiabilité aux utilisateurs finaux.

## Chapitre 2 :Technologie de WiMax

---

- **Communications de groupe** : Ces services sont utiles pour les communications de groupe telles que la vidéo conférence. Le WiMax utilisant la technologie de multidiffusion couvre une vaste zone et peut répondre aux besoins des gens d'affaires, en particulier dans des endroits rarement peuplés où les individus sont éloignés les uns des autres. Depuis tous les nœuds dans Réseau WiMax sont situés à l'intérieur, il est facile de fournir une communication de groupe.

- **Service distribué dans les zones métropolitaines** : la communication sans fil fournie par WiMax est la technologie à venir qui fournira des communications à haut débit dans les zones métropolitaines. Cela permet de réduire les coûts, car moins de sous-stations sont nécessaires. Il y aura une élimination des lignes T1 coûteuses qui sont actuellement utilisées pour les installations périphériques, les réseaux WiMax fournissent des services abordables et à valeur ajoutée dans les zones métropolitaines. Un client peut accéder à l'installation WiMax à partir des serveurs présents dans un réseau particulier sur lequel ces serveurs sont distribués, ce qui lui permet de desservir l'ensemble de la zone métropolitaine. Carter [41] a suggéré un cadre de routage, routage multidiffusion pour activer le service distribué. Dans ce modèle, le client doit uniquement indiquer le service auquel il souhaite accéder, il ne spécifie pas l'adresse exacte d'un serveur du réseau.

- **Distribution basée sur le contenu** :Carzaniga et al. a proposé un modèle de communication orienté service connu sous le nom de schéma de routage basé sur le contenu [42]. L'expéditeur d'un message dans ce schéma n'a pas besoin de spécifier clairement ses destinataires. Les destinataires intéressés par le contenu du message seront automatiquement remis avec le message par la couche réseau.

- **Applications de qualité garantie** : pour la plupart des applications, une couche réseau doit fournir une garantie de qualité de service (QoS) suffisante, principalement en termes de fréquences dans une bande donnée, de taux de transfert de données, de variations de temps de transmission, etc. Cependant, une telle garantie est difficile à fournir dans les réseaux sans fil car ils sont généralement erronés enclin. Pour résoudre ce problème, le routage par trajets multiples peut être utile dans la mesure où il fournit une excellente qualité de service (QoS) par rapport à un seul chemin, comme l'ont proposé Zhang et Mouftah [43].

- **Applications de multi hébergement** : La pratique dans laquelle un ordinateur ou un hôte est connecté à plusieurs réseaux s'appelle le multi hébergement [44]. Ceci est fait pour fournir une connexion fiable, plus performante et économique. Cette technologie permet à une station de disposer de plusieurs chemins pour accéder aux mêmes ressources.

---

## Chapitre 2 :Technologie de WiMax

---

### Autres applications :

- **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 [45] 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.

- **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 [47].

### 2.10 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté le Standard IEEE 802.16 WiMax. WiMax est une technologie de communication numérique sans fil qui permet d'installer des réseaux Métropolitains. C'est un standard fiable avec un coût faible comparé au réseau filaire. Nous allons évaluer ce standard dans le chapitre suivant.

### 3.1 Introduction

OPNET (*Optimum Network Performance*) est une famille des logiciels de modélisation et de simulation de réseaux s'adressant à différent public tel que les entreprises, les opérateurs et la recherche. L'environnement OPNET permet la modélisation et la simulation des réseaux de communication grâce à ses bibliothèques de modèles (routeurs, commutateurs, stations de travail, serveurs) et des protocoles (TCP/IP, FTP, FDDI, Ethernet, ATM ...). Le module Radio OPNET permet la simulation des réseaux de radiocommunication : hertzien, téléphonie cellulaire et satellitaire.

Le but de notre projet est d'évaluer les réseaux WiMax. Afin de réaliser notre projet nous avons choisi d'utilisé le simulateur OPNET Modeler. Nous avons exploité les principales interfaces et bibliothèques de modèles implantés dans OPNET.

### 3.2 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.

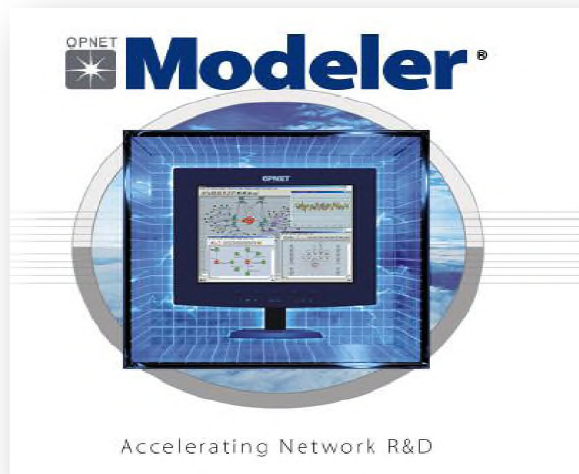


Figure 3.1 : Simulateur OPNET

On distingue les interfaces suivantes :

- Éditeur de projet (*Project Editor*).
- Éditeur de modèle de réseau (*Network Model Editor*).
- Éditeur de modèle de nœud (*Node Model Editor*).
- Éditeur de modèle de processus (*Process Model Editor*).

**3.2.1 Éditeur de projet**

Il représente l'interface principale du logiciel. Il permet d'implanter des modèles issus des Bibliothèques OPNET ainsi que des modèles créés par l'utilisateur. Au niveau de cette interface on peut configurer, lancer des simulations et visualiser les résultats. La figure 3.1 illustre les principales fonctions de cette interface sous forme d'icônes.

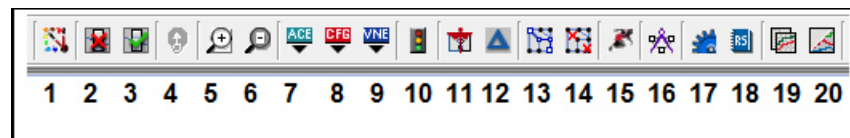


Figure 3.2 : Éditeur de projet de simulateur OPNET.

- 1 Ouvrir la palette d'objet
- 2 Mise en panne d'un appareil ou d'un lien
- 3 Remise en marche d'un appareil ou d'un lien
- 4 Retour au réseau supérieur
- 5/6 Zoom + / -
- 7 importer la topologie à partir d'ACE
- 8 importer la topologie à partir des configurations de périphérique
- 9 importer la topologie à partir du serveur VNE
- 10 ouvert centre de trafic
- 11 Configurer / exécuter NetDoctorS
- 12 Générer un rapport de différence de réseau
- 13 Configurer / exécuter l'analyse flux
- 14 Configurer / exécuter l'analyse de la survie
- 15 Lancer la simulation
- 16 Configurer / exécuter une action de conception
- 17 Configurer / exécuter des tâches d'automatisation
- 18 Web - ouvrir le serveur de rapports
- 19 Afficher les résultats
- 20 Visualiser tous les graphiques

**3.2.2 Éditeur de modèle de réseau**

Cette interface permet de créer et représenter la topologie d'un réseau. La topologie est constituée de nœuds et de liens. La création de la topologie est assuré par l'intermédiaire d'une boîte de dialogues (palettes et glisser/poser). Cette interface tient compte du contexte géographique (caractéristique physique pour la modélisation).

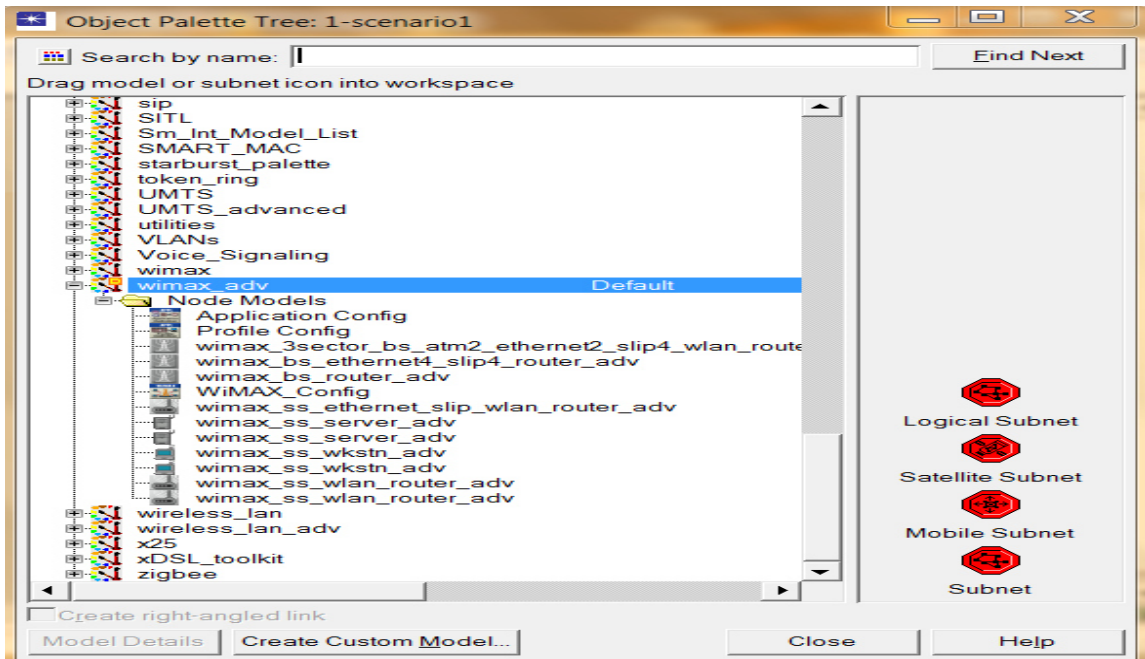


Figure 3.3 : Éditeur de modèle de réseau de simulateur OPNET.

### 3.2.3 Éditeur de modèle de nœud

Elle nous permet d'accéder à la représentation modulaire d'un élément de communication dans la topologie de réseau. 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, ...).

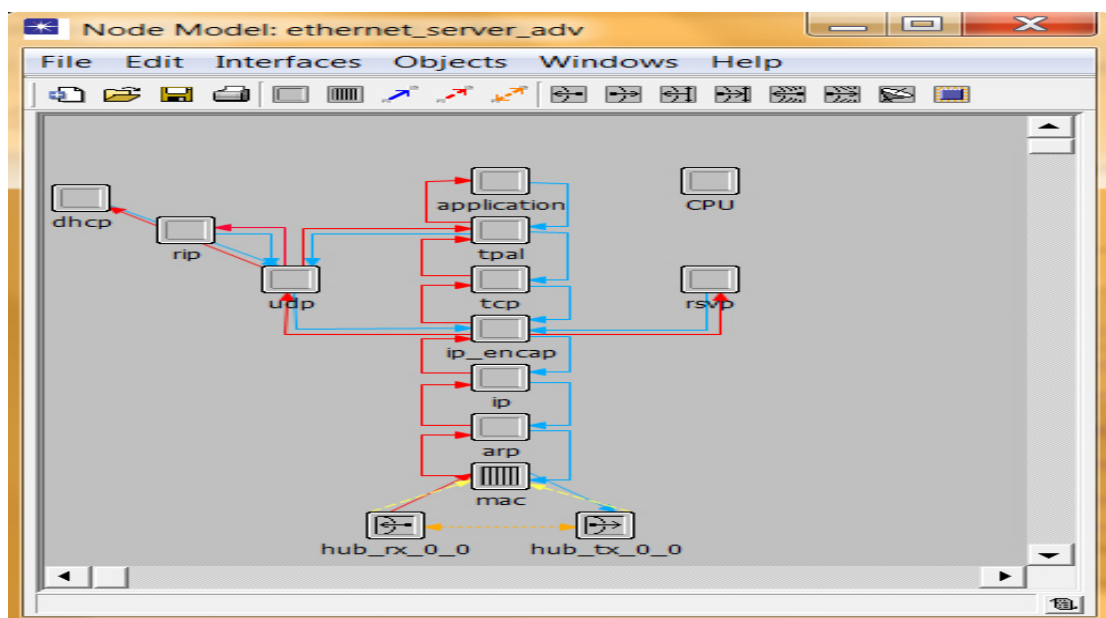


Figure 3.4 : Éditeur de modèle de nœud de simulateur OPNET.

3.2.4 Éditeur de modèle de processus

C'est l'interface qui utilise les machines à états finis pour représenter un module. Chaque état est lié à un autre état par des transitions conditionnelles ou non conditionnelles. La représentation par des machines à états finis facilite la compréhension de fonctionnement d'un module comme le fonctionnement d'un protocole de routage.

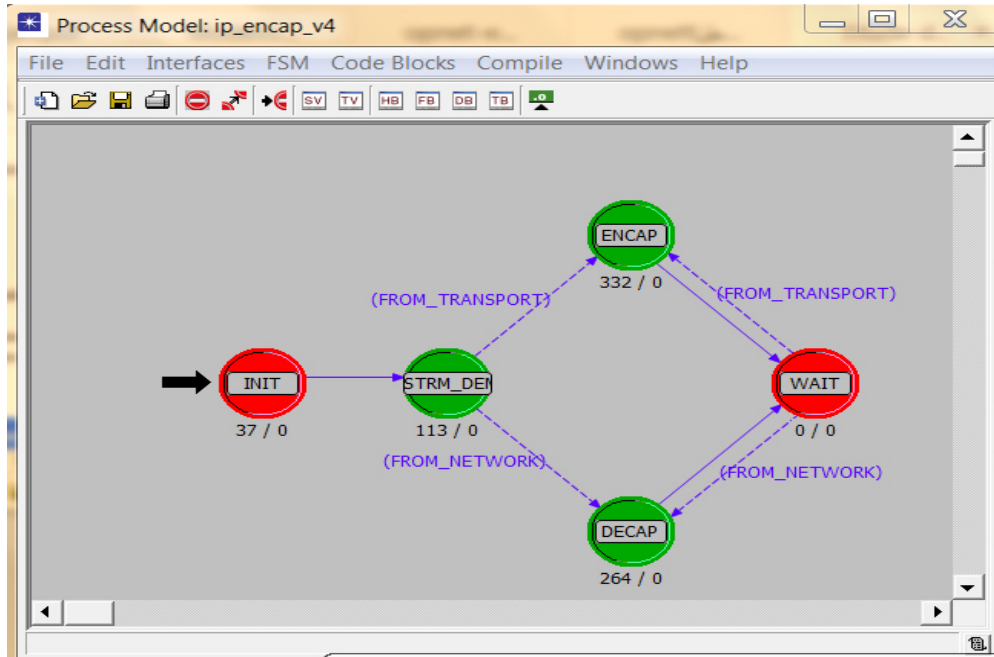


Figure 3.5: Éditeur de modèle de processus de simulateur OPNET.

3.3 Simulation

Le but de notre simulation est d'évaluer le fonctionnement d'une topologie WiMax. Nous avons utilisé un scénario qui nous permet de visualiser le résultat de la mobilité d'une MS (*Mobile Station*) entre les stations de bases. Nous avons utilisé quatre BS (*Base Station*). Les quatre BS sont connecté avec un Routeur. Ce dernier est relié à un server.

Dans notre scénario, on a une MS qui fait un appel vocal avec le serveur (VoIP). MS se déplace avec une vitesse  $2.77\text{ m/s}$  entre les stations de bases et un temps de pose égale à  $I_{min}$  ( $60\text{ Second}$ ) Au début de la simulation MS se trouve au niveau de la cellule de BS1. Durant la simulation MS se déplace vers la cellule de BS4, ensuite la cellule de BS3 afin d'arriver à la cellule de BS2. La figure suivante montre le scénario de notre simulation.

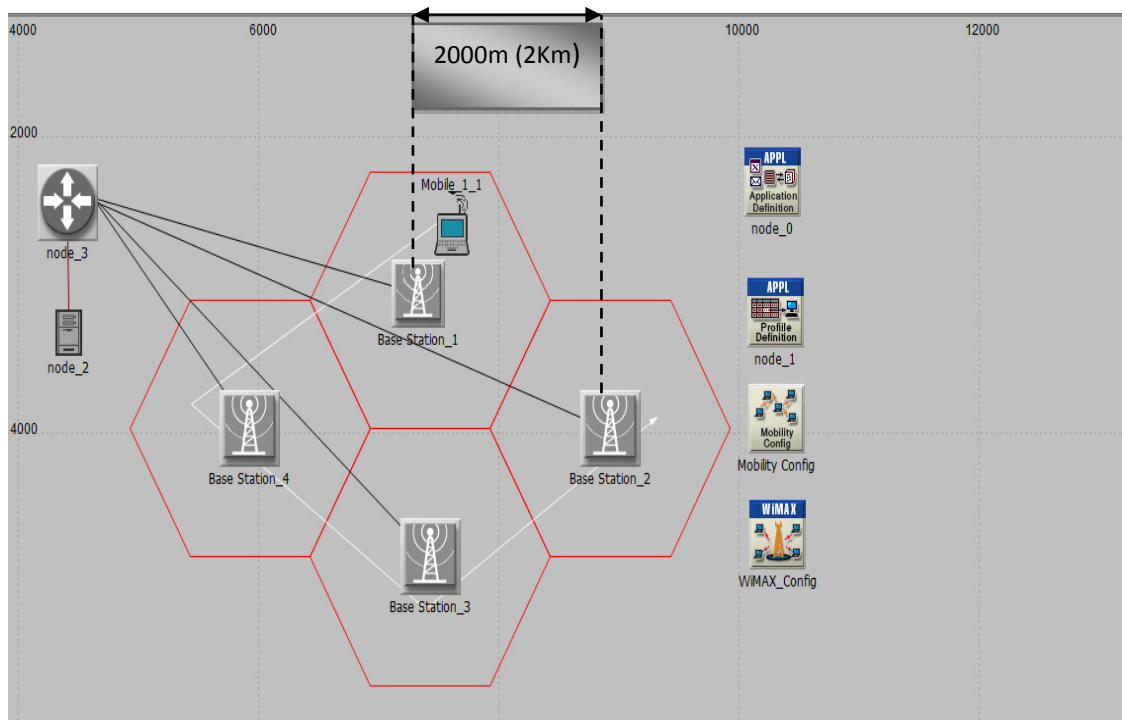


Figure 3.6 : Scénario WIMAX avec 4 stations de base (4 cellules).

La configuration des BS est montrée dans le tableau 3.1. Les caractéristiques des BS sont présentées dans le tableau 3.2. Le tableau 3.3 présente les caractéristiques de MS.

Caractéristique	valeurs
Technique de duplexage	TDD
Bande passante du canal	20 MHZ
Fréquence du canal	5.86 HZ
Puissance d'émission maximale	0.5 W
Durée de trame	5 ms
Nombre de sous-porteuses	2048

Tableau 3.1 : Configuration des WiMAX.

Caractéristique	Valeurs
Gain d'antenne	15 dBi
Nombre d'émetteurs	SISO
Profil Physique	Wireless OFDM 20 MHZ
Puissance d'émission maximale	0.5 w

Tableau 3.2 : Caractéristique de Base station.

Caractéristique	Valeurs
Trajecteur	Wimax_Handover
Gain d'antenne (dB)	-1 dBi
Transmission maximale	0.5 W
Profil Physique	Wireless OFDMA 20 MHZ
Canal à trajets multiples	ITU Vehicular
Modèle de perte de chemin	Vehicular
Plage de puissance	0.25 mw
Modulation et codage	Adaptive

Tableau 3.3 : Caractéristique de station de mobile

La configuration de QoS est déployée à l'aide des classes de QoS prédéfinies dans la configuration WiMAX. Il existe trois classes Or (Gold), Argent (Silver) et Bronze (Bronze). Chaque classe définit un ensemble d'attributs de qualité de service nécessaires sous forme de taux de trafic et de planification (*Scheduling*). La classe Gold utilise la planification UGS, la classe Silver utilise la planification rtPs et la planification de meilleur effort est utilisée dans la classe Bronze.

Dans notre scénario nous avons utilisé la classe Gold et la classe Bronze. La station MS va communiquer avec le serveur avec la classe Gold. Ensuite, elle va établir une autre communication avec le serveur mais avec la classe Bronze.

- Gold : prend en charge les applications vidéo de hautes qualité.
- Bronze : fournit la bande passante la plus basse pour les services d'invite.

Les caractéristiques de la classe Gold et Bronze sont présentées dans le tableau 3.4.

Classe service	Type de planification	Maximum trafic envoyée	Minimum trafic reçue
Gold	UGS	64 kbps	64 kbps
Bronze	Best efforts	384 kbps	384 kbps

Tableau 3.4: Caractéristiques de la classe Gold et Bronze.

### 3.4 Analyse de Résultats

Afin d'évaluer les performances de notre scénario, nous avons choisi quelques métriques de test. Il existe plusieurs métriques de test. Dans notre projet nous avons utilisé les métriques suivant: Jitter, MOS, Délai de bout en bout (*End to end Delay*), Trafic envoyé et reçu (*Traffic*

*send and received*). Dans les paragraphes suivant nous allons présenter les résultats de simulations et la définition de chaque métrique de test.

### 3.4.1 Jitter

C'est la variation du délai de transfert de l'information pour les applications multimédias. Cette variation de temps est la conséquence du fait que tous les paquets contenant des échantillons de voix ne vont pas traverser les équipements de réseau avec la même vitesse. Cela crée une déformation de la voix ou un hachage. La valeur de Jitter doit être la plus faible possible pour pouvoir parler d'un réseau fiable et d'une bonne QoS.

Jitter est calculé à partir du délai de bout en bout, il est calculé suivant la relation [47]:

$$\text{Average jitter} = \frac{\sum_{i=0}^N (\text{Delay}_i - \overline{\text{Delay}})}{N}$$

Où  $\text{Delay}_i$  représente le retard de bout en bout pour la trame  $i$ ,  $i$  est passé de 1 à  $N$  et  $N$  représente le nombre de stations mobiles (MS).

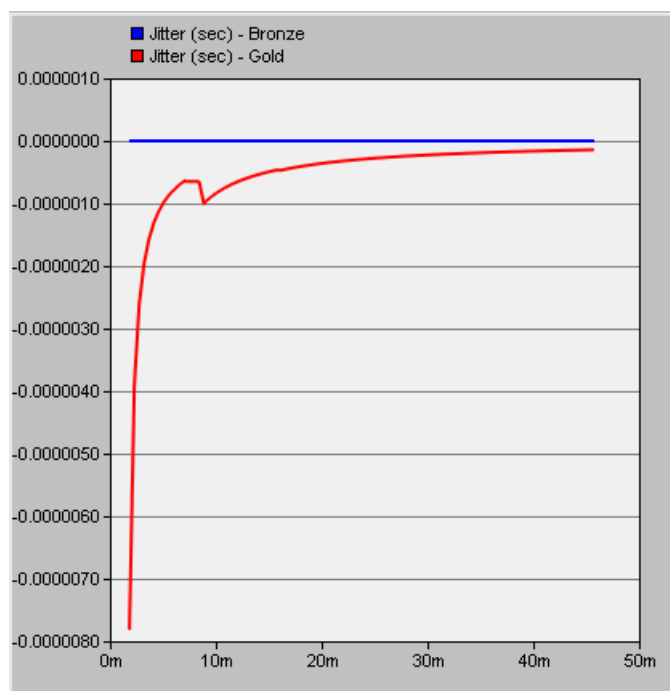


Figure 3.7: Jitter (VoIP).

Figure 3.7 représente les variations de Jitter avec QoS Gold et Bronze. On remarque dans cette figure que la transmission de la voix avec QoS de la classe Bronze donne un Jitter fixe (la couleur bleu). Donc, on constate que l'intervalle de temps entre les paquets envoyés est constant. La transmission de la voix avec QoS de la classe Gold (la couleur rouge) donne des valeurs de Jitter faible que Jitter de Bronze. Cependant, avec QoS Gold les valeurs de Jitter changent dans le temps ce qui signifie qu'il y a des intervalles de temps différents entre les

paquets envoyés entre MS et le serveur. Dans les deux cas les valeurs de Jitter sont faibles alors il existe une bonne qualité de réception de la voix entre MS et serveur.

**3.4.2 Note d’opinion moyenne (MOS)**

Un des intérêts d’effectué des simulations de trafic avant le déploiement de voix sur IP est d’estimer la qualité de service. La métrique MOS (*Mean Opinion Score*) est une mesure qui permet de calculer la qualité de service voix. Cette métrique n’a pas pour objet de fournir des données objectives mais elle fournit une appréciation de la clarté de la voix reçue. Mos a des valeurs entre 1et 5 comme indiqué dans le tableau 5. Une valeur de « 1 » indique la pire qualité et « 5 » indique la meilleure qualité.

Échelle de qualité	But	Effort d’écoute
<b>Excellent</b>	5	Aucun effort requis
<b>Bien</b>	4	Aucun effort appréciable requis
<b>Juste</b>	3	Effort modéré requis
<b>Pauvre</b>	2	Un effort considérable requis
<b>Mauvais</b>	1	Aucune signification comprise avec un effort raisonnable

Tableau 3.5: Les valeurs de la métrique MOS.

L’organisme de normalisation Institut Européen des Normes de Télécommunications (*European Telecommunication Standards Institute (ETSI)*) a proposé un modèle de calcul de la qualité de transmission de la voix de bout en bout. Le modèle consiste à calculer une grandeur unique *R* en fonction d’un ensemble de paramètres. Ensuite, la valeur de MOS prend ses valeurs suivant *R*. La formule simplifiée du calcul de *R* est la suivante:

$$R = 100 - I_s - I_e - I_d + A$$

*I<sub>s</sub>* : représente l’effet des dégradations qui se produisent avec le signal vocal.

*I<sub>e</sub>* : est les pertes de valeur causées par différents types de pertes dues au codec et aux réseaux.

*I<sub>d</sub>* : représente la dégradation causée par le retard, en particulier retard bouche à oreille.

Le facteur d’avantage est *A* permet de compenser la perte de valeur facteurs lorsqu’il existe d’autres avantages pour l’utilisateur.

*R* : est le facteur dans l’estimation MOS conversationnel selon les formules suivantes:

Pour  $R < 0$  :  $MOS = 1$

Pour  $0 < R < 100$  :  $MOS = 1 + 0.35 * R + 7 * 10^{-6}[R(R - 60)(100 - R)]$

Pour  $R > 100$ :  $MOS = 4.5$

La figure 3.8 représente MOS. Dans les deux cas on remarque que la valeur de MOS est inférieure de 1. Le cas de la transmission avec QoS Gold est mieux que la transmission avec QoS Bronze. Les deux cas sont inférieurs à 1 parce que le débit choisi est très faible. Donc pour assurer la transmission de la voix avec une qualité il est nécessaire d'utiliser un débit élevé.

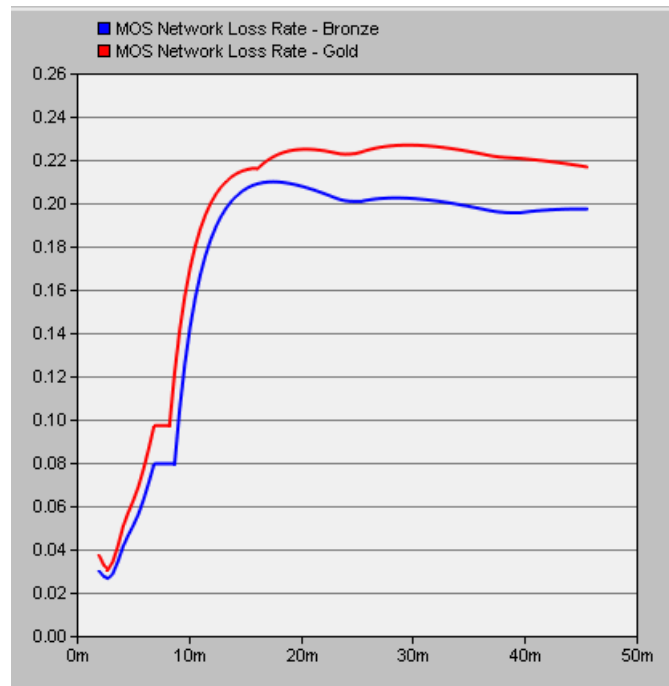


Figure 3.8: Les valeurs de la métrique MOS.

### 3.4.3 Délai de bout en bout

C'est le délai total nécessaire pour un paquet de voix pour arriver à la destination. Il consiste en délai de système final et de réseau. Le délai de système final est du au délai du codage et du décodage et du délai de compression et de la décompression et donne par relation suivante :

$$\text{Délai} = \text{délai du réseau} + \text{délai de codage} + \text{délai de décodage} + \text{délai de compression} + \text{délai de décompression}.$$

- Le délai du réseau est le temps pendant lequel l'émetteur cède le paquet au RTP (Real Time Protocol) jusqu'au temps où le récepteur le reçoit du RTP.
- Le délai de codage (sur le nœud émetteur) est calculé par l'encodeur. Notons que le délai de décodage (sur le nœud de récepteur) est égal au délai de codage.
- Le délai de compression et de décompression deviennent des attributs correspondants dans la configuration de l'application voix. Cette statistique enregistre des données de tous les nœuds dans réseau.

La figure 3.9 représente les résultats de délai de bout en bout pour la QoS de classe Gold et Bronze. Nous remarquons que la valeur du retard dans le scénario Bronze est constante. Il égale 0,067s (en couleur bleu). Avec la classe Gold (couleur rouge) la valeur du retard dans le scénario est 0,080s et converge vers la valeur 0,069 seconde. Avec la classe de qualité de service Gold le réseau envoie les paquets avec plus informations de contrôle. Dans le but d’assurer la transmission des paquets et avec une bonne réception. Cependant, avec la qualité de service Bronze les paquets sont envoyés avec moi d’informations de contrôle, mais avec une fiable probabilité de réception et une faible qualité.

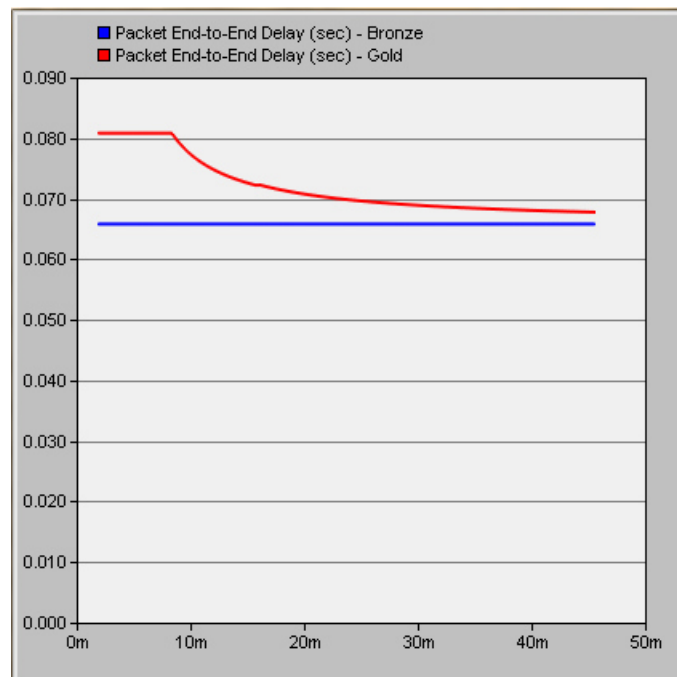


Figure 3.9: Délai de bout en bout.

**3.4.4 Traffic**

Le trafic de réseau ou le trafic de données (*Network Traffic or Data Traffic*) [48] est la quantité de données transitant sur un réseau à un moment donné. Les données réseau sont principalement encapsulées dans des paquets IP. On trouve deux types de trafic. On a le trafic envoyé et le trafic reçu. Le trafic envoyé représente la quantité d’informations envoyée par un équipement vers un autre dans le réseau. Le trafic reçu est la quantité d’informations reçue par un équipement dans le réseau.

La figure 3.10 représente le trafic envoyé et reçus par la station mobile avec les deux classes de QoS (Bronze et Gold). On remarque que le trafic envoyé par le serveur dans les deux cas est 100 Paquets/s. Par contre, le trafic reçu par la station mobile possède 4 chutes importantes en cas Bronze et 5 chutes en cas Gold. On résume dans tableau suivantes les chutes enregistrées:

Les chutes	La durée /intervalle (min)		Le débit		La région
	Bronze	Gold	Bronze	Gold	
1	3	3	85	81	Bs1-Bs4
2	[7-8]	[7-8]	0	0	Bs1-Bs4
3	25	16	0	0	Bs4-Bs3
4	[18-19]	25	0	0.6	Bs4-Bs3
5	/	38	/	20	Bs3-Bs2

Tableau3.6: les déférentes chutes dans deux cas Bronze et Gold.

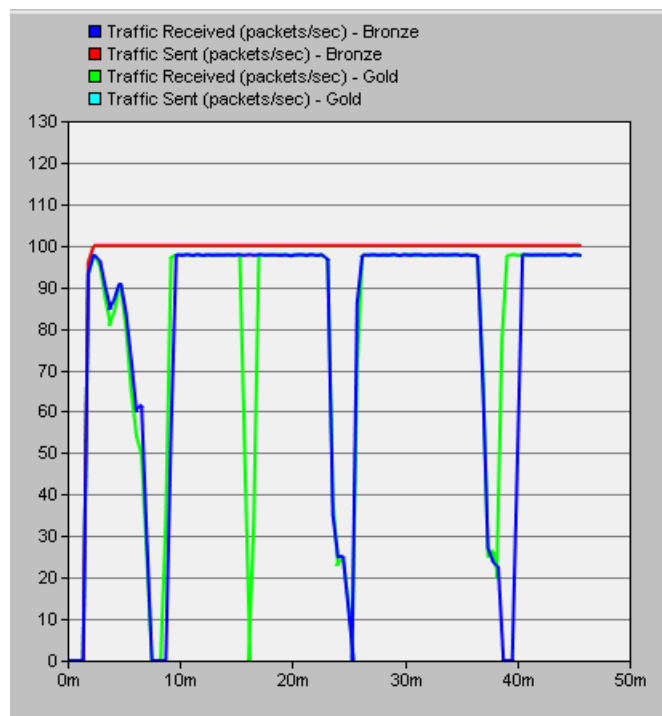


Figure 3.10 : Trafic Reçus et Trafic envoyée.

### 3.5 Conclusion

Ce chapitre présente notre scénario de simulation pour évaluer un réseau WiMax. Nous avons illustré le simulateur OPNET Modeler. Les métriques de test ont été présentées aussi dans ce chapitre. Notre scénario nous permet d'évaluer les performances de la topologie à l'aide d'une application VoIP avec deux classes de QoS (Gold et Bronze). Les résultats obtenus montrent que la valeur MOS acceptable a été enregistrée pour cas Gold et Bronze.

---

## Conclusion générale

Ce projet nous a permis de montrer la gestion du réseau WiMax en terme de couverture et de qualité de service. La mise en œuvre de la QoS est un préalable indispensable à l'intégration des flux voix sur les réseaux informatiques. En effet, il est important de comprendre que la génération de scénario pour aboutir à des bonnes interprétations des simulations effectuées il faut essayer de conserver ces différents paramètres: jitter, MOS, délai de bout à bout et trafic envoyée et reçue et classes de QoS.

Dans ce mémoire, nous avons présenté la démarche d'étude et d'évaluation des performances d'une norme de communication. Pour évaluer cette norme, nous avons utilisé le simulateur OPNET pour obtenir les meilleures performances ce qui est l'objectif principale de ce projet. Les résultats de simulation montrent que la configuration d'un réseau WiMax a un impact considérable sur ses performances.

Il est vraisemblable qu'avec ses termes de sécurité et d'accessibilité ainsi que de qualité de service le WiMax devient une des pierres angulaires des futures technologies de la quatrième génération 4G.

## Références Bibliographique

- [1] Tonybautts All, "Administration réseau sous linux", 3eme Edition, O'REILLY, France, p295-296, juin 2005.
- [2] Ke-Lin Du, Madisetti NS Swamy, "Wireless communication systems: from RF subsystems to 4G enabling technologies". Cambridge University Press, 2010.
- [3] Badr Benmammar, Asma Amraoui, "Réseaux de radio cognitive, Allocation des ressources radio et accès dynamique au spectre", Laboratoire de télécommunication Tlemcen, UABT, Algérie.
- [4] Adil Belhouji, "Étude théorique et expérimentales de systèmes de transmissions MIMO-OFDM", Thèse de doctorale, université de LIMOGES, 19 octobre 2009.
- [5] Di Gallo Frédéric, "Wifi L'essentiel qu'il faut savoir", 2003.
- [6] Belabdelli Abdelheq, Oukaz Mokhtar, "Dimensionnement D'un Réseau sans fil Wifi", Mémoire Master, Université Tlemcen, Algérie, 1 juillet 2012.
- [7] Ethat, IEEE802.15 WPAN Task Group 1 (TG1), "Part 15.1: Wireless medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications for wireless personal area networks (WPANs), 14 june 2005
- [8] Tesserault Guillaume, "Modélisation multi-fréquences du canal de propagation", Thèse, Université de Poitiers, 7 aout 2007.
- [9] <http://fr.scribd.com>doc>informatique-cours-réseau-sans-fil-la-Technologie-wifi>.
- [10] Guissi Yasmine, "Étude de la technique de gestion d'un réseau sans fil basé sur le standard 802.16", Mémoire Master, université Bejaia, Algérie, 2012/2013.
- [11] J. D. Parsons, "The Mobile Radio Propagation Channel", Wiley, 2000.
- [12] Michel Terré, "Cours du Conservatoire National des Arts et Métiers, propagation", 2005-2006
- [13] Merah Hocine, "Conception d'un MODEM de la quatrième génération (4G) des réseaux de mobiles à base de la technologie MC-CDMA", Mémoire de Magister, Université Sétif, Algérie, 11 Septembre 2012.
- [14] Touhami Ridha, "Développement d'un Model OFDM pour la 4 ème génération du mobile de communication", Mémoire de Magister, université Sétif.
- [15] Professor Nuaymi Lotfi, "Technology for broadband wireless Access ", Eds Wiley, 2007.
- [16] WiMAX Forum, "Frequently Asked Questions", 2019.
- [17] Thierry Peyre, " Évaluation de performances sur le standard IEEE802.16e WiMAX ", Thèse de Doctorat, Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse, 2008.

- [18] Djaadi Sara, Réseaux sans fil et Réseaux mobile : Réseaux métropolitain:5, Université de Bouira, 2018
- [19] Roll Fezzy Mackosso, " l'étude du WiMAX comme technologie d'accès haut débit à Internet, par École africaine de développement-Ingénieur 2008.
- [20] A. Benhamza, "Planification d'un réseau WIMAX mobile", Thèse de magister, Institut National des Télécommunications et des Technologies de l'Information et de la Communication, 2009.
- [21] Ethat, "IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks – Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems (Revision of 802.16–2001) ", IEEE 802.16d-2004, 2004.
- [22] Réseaux mobile: <http://esen.tn/médéos/documents/enseignement/1544677867429.Pdf>
- [23] Ethat, "IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks –Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems – Amendment 2: Physical and Medium Access Control Layers for Combined Fixed and Mobile Operation in Licensed Bands and Corrigendum1", IEEE 802.16e-2005, 2005.
- [24] Mathieu Garcia, "Le WiMax", rapport, université de Montpellier II DESS TNI.
- [25]<https://www.fibre-optique-cable-sale.com/introduction-to-simplex-half-duplex-full-duplex.html>.
- [26] WiMax: <https://igm-univ-mlv.fr.septembre>, 2019.
- [27] O. Edfors, M.Sandell, J-J V. De Beek, D. Landstrm, F. Sjöberg, "An introduction to orthogonal frequency division multiplexing", [Online].disponible: <http://courses.ece.uiuc.edu/ece559/spring02/ofdm/tutorial.pdf>.
- [28] Carle Lengoumbi, " Access multiple OFDMA pour le système cellulaire post 3 G : allocation de ressources et ordonnancement", Thèse de Doctorat, Paris, France, 2009.
- [29] Study paper on Scalable OFDM Access (SOFDMA), pdf.
- [30] M.K.Humadi,A.I.Sulyman and A.Alsanie, "International journal of Antennas and Propagation",Volume 2014,Article ID563273,9 pages, Saudi Arabia ,disponible sur : <http://dx.doi.org/10.1155/2014/563273>.
- [31] N.Farhi, S.Helaimia, "Etude et Simulation d'une Transmission type OFDM pour les Communication Sans Fil", Mémoire Master, Tébessa, Algérie, 2015/2016.
- [32] O. Edfors, M. Sandell, J-J V. de Beek, D. Landstrm, F. Sjöberg, "An introduction to orthogonal frequency division multiplexing". [Online].disponible: <http://courses.ece.uiuc.edu/ece559/spring02/ofdm/tutorial.pdf>.

- [33] Syed ahson, mohammad ilyas, "Wimax, standards and security,CRC Press", taylor&francis group,london,new york,2008.
- [34] Haouas Mohamed Wajih, " Étude et dimensionnement d'un réseau WiMax dans un concept IMS étude de cas Tunis", Mémoire Master, Tunis, 2007.
- [35] Syed AHSON, Muhammed ILYAS, " WiMax: applications", Edition CRC Press 2008.
- [36] Ould Bamba.Med Abdel Fettah, " Développement d'un outil de planification et dimensionnement de réseau WiMax", Mémoire Master, Tunis, 2007.
- [37] S.Y.Tang,P.Muller,H.Sharif, " WiMax security and qualité de service an end-to-end perspective", France .
- [38] S. BENSAID, M. FERJANI, " Développement d'un outil de planification d'un réseau WIMAX", Université Virtuelle de Tunis 2010-2011.
- [39] Jeffry G.Andrews. Arunbaha Ghosh. Rais Muhamed, "Fundamentals of WiMax,Understanding Broadband Wireless Network", February 2007.
- [40] Carter's Conversion: The Hardening of American Defense Policy De Brian J. Auten,university of missouri press amazon France.
- [41] Carter et all, "linear CMOS RF Power Amplifiers: A complete design workflow",2013 disponible sur : <https://books.google.dz>.
- [42] A. Carzaniga . M.J. Rutherford. A.L."Wolf View All Authors, A routing scheme for content-based networking", IEEE INFOCOM 2004, Hong Kong, China.
- [43] B Zhang, HT Mouftah, "IEEE Communications Magazine 43 (10), 110-117, QoS routing for wireless ad hoc networks: problems, algorithms, and protocols".
- [44] S. A. M. Ilyas, "WiMAX Applications. Boca Raton, FL: CRC Press", 2007.
- [45] Abed Amine, Guenouna Abdelwahab, "la Voix sur IP, Projet de fin d'études", Oran, Algérie, 2005.
- [46] Deepak Pareek, "The business of WiMax", Eds Wiley, 2006.
- [47] Awan Nahel Mahmood, "coverage Area and Capacity Evaluation for WiMAX Network", Memoire Master, Eastern Mediterranean, University, January 2014.
- [48] James Yu Imad AL Ajarmeh, " Desing and traffic engineering of VoIP for enterprise and Carrier network, USB"DOC.

## **Résumé**

Les réseaux métropolitains et étendus sont très utilisés de nos jours pour partager, envoyer et traiter les données. Parmi les normes de communication pour établir ces réseaux MAN et WAN, on trouve le WiMax (IEEE 802.16). Cette technologie est puissante et très compliquée. Dans notre projet, nous avons étudié et évalué WiMax. Une étude basée sur la simulation est réalisée dans OPNET en déployant un réseau WiMAX. La simulation considère une topologie de réseau simple avec une source et une destination de trafic. Le trafic entre la source et la destination représente VoIP. Nous avons utilisé deux classes de qualité de service (QoS). La première QoS est Gold et le second est Bronze. Les résultats montrent que la configuration peut avoir un impact considérable sur les performances du réseau.

**Mots clés :** WiMax, QoS, VoIP, Réseaux sans fil, OPNET, Évaluation

## **Abstract**

Metropolitan and wide area networks are very used in our days to share, send and process data. Among communication norms to establish MAN and WAN networks we find WiMax (IEEE 802.16). This technology is very complicated and powerful. In our project we have studied and evaluated WiMax. A simulation based study is performed in OPNET by deploying a WiMAX network. The simulation considers a simple network topology with a traffic source and destination. The traffic between source and destination represents VoIP. We have used two qualities of services (QoS) classes. The first QoS is Gold and the second is Bronze. The results show that the configuration can have a huge impact on performances of the network.

**Key-works:** WiMax, QoS, VoIP, Wireless networks, OPNET, Evaluation