

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة أبي بكر بلقايد – تلمسان

Université Aboubakr Belkaïd– Tlemcen –
Faculté de TECHNOLOGIE



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme** de **MASTER**

En : Télécommunications

Spécialité : Réseaux et Télécommunications

Par :

AINOUS Meryem

BENABDELLAH Rania Zehour

Sujet

Estimation de la capacité et de la plage de cellules pour les utilisateurs multi-traffic dans le WiMAX mobile

Soutenu publiquement, le 08 / 09 /2020, devant le jury composé de :

Mr. MERZOUGUI. R	Professeur	Univ. Tlemcen	Président
Mr. ZERROUKI. H	Maitre de Conférences	Univ. Tlemcen	Directeur de mémoire
Mr. HADJILA. M	Maitre de Conférences	Univ. Tlemcen	Examineur



Je dédie ce mémoire

A mes très chers parents :

Aucune dédicace ne saurait être assez émouvante pour exprimer ce que vous méritez, pour tous les sacrifices que vous n'avez cessé de me donner. Maman tu représente pour moi le symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse et l'exemple du dévouement, qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi. Papa rien au monde ne vaut le dévouement et les efforts fournis jour et nuit, pour mon éducation et mon bien être, merci d'être toujours pour moi le père, le frère et l'ami. Je vous dédie ce travail en témoignage de mon profond amour, estime, reconnaissance et respect puisse Dieu, le tout puissant, vous préserver et vous accorder la foi, santé, bonheur et longue vie. Votre présence seule me suffit, je vous aime énormément.

A MES CHERS FRÈRES ET Ma CHÈRE SOEUR :

Je ne pourrais jamais exprimer le respect que j'ai pour vous. Vos prières, vos encouragements et votre soutien m'ont toujours été d'un grand secours. Puisse Dieu, le tout puissant, vous préserver du mal, vous combler de santé, de bonheur et vous procurer une longue vie.

A mon binôme Rania :

cela fait déjà un bon moment que nos chemins se suivent toujours en parallèle l'une à l'autre, en témoignage de notre sincère et profonde amitié qui nous unit et des moments agréables, nos fou rires et nos pleurs que nous avons partagé ensemble, je ne peux trouver les mots justes et sincères pour t'exprimer mon affection, je te sens comme une sœur, je te dédie ce travail ainsi qu'à toute ta famille, je vous souhaite une vie pleine de santé et de bonheur et surtout de chance.

A toute ma famille Ainous et ma famille maternelle.

A tous mes amies.

Meriem





Je dédie ce mémoire

A mes chers parents

A l'homme de ma vie, mon exemple éternel, mon soutien moral et source de joie et de bonheur, celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir réussir, que dieu te garde dans son vaste paradis, à toi mon père.

A la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de mon cœur, ma vie et mon bonheur ; maman que j'adore.

A mes chers frères et ma grande famille

Aux personnes dont j'ai bien aimé la présence dans ce jour, à tous mes frères, à mes tantes, à mes oncles ainsi que tous mes cousins et cousines, je dédie ce travail dont le grand plaisir leurs revient en premier lieu pour leurs conseils, aides, et encouragements.

A mes chers grands parents

Merci pour vos prière vos douaa qu'ils m'ont soutenus durant toute mes années d'étude, Que ce modeste travail, soit l'expression de vos vœux,

A mon binôme Meriem

J'ai souvent eu besoin de ton aide et de ton soutien : à chaque fois tu as su répondre présent. Bien souvent, je me demande comment te rendre la pareille. Merci d'être mon amie, merci pour ta patience, ta tolérance, Tu es surtout la personne avec qui je peux parler de tout et de rien, la personne qui m'écoute et ne me juge pas.

Pour les bons moments qu'on a partagés, aussi pour ton soutien et ton dévouement à ce travail.

Rania



Remerciements

On remercie Allah le tout puissant de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire.

Nous tenons d'abord à remercier très chaleureusement Dr. ZERROUKI Hadj, Maître de conférences à l'université Abou-Bekr Belkaid-Tlemcen, qui nous a permis de bénéficier de son encadrement. Les conseils qu'il nous a prodigué, la patience, pour son temps, ses bonnes orientations, la confiance qu'il nous a témoignés ont été déterminants dans la réalisation de notre projet de fin d'étude. Nos plus grands respects pour sa personne. Nous sommes conscientes de l'honneur que nous a fait.

Nos remerciements vont aussi au Pr. MERZOUGUI Rachid, Professeur à l'université Abou-Bekr Belkaid-Tlemcen, en étant président du jury et Dr. HADJILA Mourad, Maître de conférences à l'université Abou-Bekr Belkaid-Tlemcen, d'avoir accepté d'examiner ce travail. Nos vifs remerciements pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'juger notre travail et de l'enrichir par leurs propositions.

Nos remerciements s'étendent également à tous nos enseignant(e)s durant les années des études.

Enfin, nous tenons à remercier infiniment, nos chers parents, pour leurs contributions, leurs soutiens et leurs patiences au long de nos études.



Résumé :

Les principes fondamentaux de la croissance continue du sans fil à large bande restent solides. Selon les prévisions officielles, le marché mondial de la connectivité Internet à haut débit sans fil dépassera le milliard d'utilisateurs d'ici fin 2020. L'opportunité offerte aux réseaux sans fils, comme WiMAX mobile, de servir ceux qui souhaitent basculer au service large bande est immense et dans nombreuses régions du monde où les technologies filaires ne peuvent pas être réalisables.

Ce projet de fin d'études a pour but d'examiner, plus en détail, les capacités de fourniture de services de la technologie innovante WiMAX mobile. Le travail est consacré à la collecte des connaissances nécessaires au problème de planification du WiMAX, calculer le débit réel du système et proposer un modèle de trafic pour les utilisateurs des applications mixtes, pour déterminer le nombre maximal d'abonnés pouvant être pris en charge par chaque secteur du WiMAX mobile. Enfin, implémenter cet algorithme pour différents paramètres du système et différents cas de trafic, afin de résoudre le problème de planification du WiMAX Mobile.

Mots clés : *WiMAX mobile, IEEE 802.16, Estimation, Capacité, Multi-trafic, Portée de cellule, Planification.*

Abstract :

The fundamentals of the continued growth of wireless broadband remain strong. According to official forecasts, the global wireless broadband Internet connectivity market will exceed one billion users by the end of 2020. The opportunity for wireless networks, such as Mobile WiMAX, to serve those who desire to switch to broadband service is immense and in many regions of the world, where wired technologies may not be achievable.

The aim of this graduation project is to examine, in more detail, the service delivery capabilities of the innovative Mobile WiMAX technology. The work is devoted to gathering the knowledge necessary for the WiMAX planning problem, calculating the actual system throughput and proposing a traffic model for the users of the mixed applications, to determine the maximum number of subscribers that can be supported by each sector of Mobile WiMAX. Finally, implement this algorithm for different system parameters and different traffic cases, in order to solve the planning problem of Mobile WiMAX.

Keywords: *Mobile WiMAX, IEEE 802.16, Estimation, Capacity, Multi-traffic, Cell-Range, Planning.*

Table des matières

Dédicaces	i
Remerciements	iii
Résumé et Abstract.....	iv
Table des matières.....	v
Liste des figures	viii
Liste des tableaux	x
Liste des abréviations.....	xi
Introduction générale	1

CHAPITRE I : Généralités sur les réseaux sans fils

I.1 Introduction.	3
I.2 Définition d'un réseau sans fil.	3
I.3 Classification des réseaux sans fil.	3
I.4 Les réseaux personnels sans fil (WPAN).	5
I.4.1 Le Bluetooth.....	5
I.4.2 Le HomeRF.....	5
I.4.3 La technologie ZigBee.....	5
I.4.4 Les liaisons infrarouges.....	6
I.5 Les réseaux locaux sans fil (WLAN).....	6
I.5.1 Le WiFi (Wireless Fidelity).....	6
I.5.2 L'HiperLAN (High Performance Radio LAN)	7
I.5.2.1 HiperLAN 1	7
I.5.2.2 HiperLAN 2	7
I.6 Les réseaux métropolitains sans fil (WMAN)	7
I.6.1 Le WiMAX	8
I.6.1.1 Fonctionnement du WiMAX.....	9
I.6.1.2 Les Types du WiMAX	9
a) Le WiMAX fixe.....	9
b) Le WiMAX mobile	10
I.6.2 HiperMAN	11
I.7 Les réseaux étendus sans fil (WWAN)	11
I.8 Avantages et inconvénients du réseau sans fil	12
I.8.1 Les avantages du réseau sans fil	12
I.8.2 Les inconvénients du réseau sans fil	13
I.9 Conclusion	13

CHAPITRE II : Présentation technique du WiMAX Mobile

II.1 Introduction	15
II.2 Architecture du WiMAX	15
II.3 Couches protocolaires du WiMAX	18
II.4 La couche physique	18
II.4.1 Les techniques de Multiplexage	19
II.4.1.1 La technique OFDM	19
II.4.1.2 La technique OFDMA	20
II.4.1.3 La technique SOFDMA	21
II.4.1.4 Modulation et Codage	22
II.4.2 Les techniques de duplexages	23
II.4.2.1 La technique FDD	23
II.4.2.2 La technique TDD	23
II.4.3 La trame WiMAX	24
II.4.3.1 Entêtes de la trame WiMAX	24
II.4.3.2 Le Payload	25
II.5 La couche MAC	26
II.5.1 Allocation de la bande passante	26
II.5.2 La qualité de service	26
II.5.3 La gestion de la mobilité	28
II.5.3.1 Contrôle de puissance	28
a) Le mode Sleep	28
b) Le mode idle	29
II.5.3.2 Techniques de Handover	29
II.6 Débit et couverture	29
II.6.1 Cell Range	29
II.5.2 Modulation et Codage Adaptatifs (MCA)	31
II.7 Conclusion	31

CHAPITRE III : Analyse de la capacité et la portée de cellule du WiMAX Mobile

III.1 Introduction	32
III.2 Distribution de modulation	32
III.3 Distribution des applications	35
III.3.1 Flux de service	35
III.3.2 Paramètres des applications	36
III.3.3 Contrôle du trafic et contrôle de la qualité de service	37
III.3.3.1 Contention Ratio (CR)	37

III.3.3.2 Over Subscription Ratio (OSR)	38
III.3.4 Distribution des application	39
III.4 Estimation de la bande passante utile	41
III.4.1 La liaison DL (Downlink)	41
III.4.2 La liaison UL (Uplink)	42
III.5 Nombre maximal d'utilisateurs par secteur	44
III.6 Les modèles de propagation pour le WiMAX	45
III.6.1 Le modèle SUI	45
III.6.2 Le modèle Cost-231 Hata	46
III.7 Comparaison des modèles de propagation	47
III.8 Conclusion	48

CHAPITRE III : *Outil d'estimation de la capacité et la portée de cellule du WiMAX Mobile*

IV.1 Introduction	49
IV.2 La structure du simulateur WCS	49
IV.2.1 Présentation du simulateur	49
IV.2.2 Structure du simulateur	50
IV.2.3 Les interfaces utilisateur	50
IV.2.3.1 Interface d'accueil	50
IV.2.3.2 Interface "WiMAX Capacity"	51
IV.2.3.3 Interface "Capacity Result"	52
IV.2.3.4 Interface "Cell Range"	54
IV.3 Simulation et résultats	55
IV.3.1 Estimation de la capacité	55
IV.3.1.1 Etude de cas 1 (cas initial)	55
IV.3.1.2 Etude de cas 2 (effet des paramètres de classe de service)	56
IV.3.1.3 Etude de cas 3 (effet des paramètres de système)	58
IV.3.2 Estimation de la portée de cellule (Cell-Range)	60
IV.3.2.1 Etude de cas 1 (modèle SUI)	60
IV.3.2.2 Etude de cas 2 (modèle Cost-231 Hata)	63
IV.4 Conclusion	64
Conclusion générale	65
Bibliographie	66

Liste des figures

Figure I.1: Classification des réseaux sans fil selon l'étendue géographique.	3
Figure I.2: Exemple d'architecture de réseaux sans fil	4
Figure I.3: Exemple d'un réseau personnel sans fil WPAN	5
Figure I.4: Un exemple d'architecture d'un réseau WLAN.....	6
Figure I.5: Architecture du réseau métropolitain sans fil:	8
Figure I.6: Principe de fonctionnement de WiMAX.....	8
Figure I.7: Le principe de fonctionnement du WiMAX.	9
Figure I.8: Exemple d'un réseau WiMAX avec les deux variantes fixe et mobile.....	10
Figure I.9: Couverture des réseaux WWAN et WMAN.	11

Figure II.1: Architecture de WiMAX mobile (IE802.16e).....	16
Figure II.2: Pile protocolaire du WiMAX	18
Figure II.3: Représentation de trois sous porteuses OFDM	19
Figure II.4: Transmission des données par bloc dans l'OFDM	20
Figure II.5: La technique OFDMA.....	20
Figure II.6: La technique SOFDMA.....	21
Figure II.7: Adaptation du Codage.....	22
Figure II.8: Exemple d'un système de duplexage FDD à deux SS	23
Figure II.9: Structure d'une trame TDD.....	24
Figure II.10: Structure de la trame WiMAX.....	24
Figure II.11: Les entêtes de la trame WiMAX.....	25
Figure II.12: Construction du Payload de la trame WiMAX	25
Figure II.13: Qualité de services(QoS) dans WiMAX Mobile	27

Figure III.1: Partitionnement de la bande passante du canal	36
Figure III.2: Développement global de WiMAX par type d'utilisateur final	38
Figure III.3: Algorithme de calcul du nombre maximum d'utilisateurs par secteur	44

Figure IV.1: Logo du simulateur WCS	51
Figure IV.2: Interface d'accueil de l'application	52
Figure IV.3: Interface "WiMAX Capacity" du simulateur WCS	53
Figure IV.4: Interface résultat de calcul de la capacité du WiMAX Mobile.....	54
Figure IV.5: Quelques fenêtres "Error Dialog" du programme défensif	54
Figure IV.6: Interface "Cell Range" du simulateur WCS.....	55
Figure IV.7: Interface calculatrice de la capacité, paramètres d'étude de cas 1	56
Figure IV.8: Résultats d'estimation de la capacité (étude de cas 1	57
Figure IV.9: Interface calculatrice de la capacité, paramètres de classe de service (étude de cas2)	58
Figure IV.10: Résultats d'estimation de la capacité (étude de cas 2)	58
Figure IV.11: Interface calculatrice de la capacité, paramètres de système(étude de cas3).....	59
Figure IV.12: Résultats d'estimation de la capacité (étude de cas3).....	60
Figure IV.13: Interface calculatrice de la portée de cellule pour le modèle SUI	62
Figure IV.14: Interface de résultat d'estimation de la portée de cellule pour le modèle SUI.....	63
Figure IV.15: Interface de résultat d'estimation de la portée de cellule pour le modèle Cost-231 Hata ..	64

Liste des tableaux

Tableau I.1: Synthèse des différentes générations de réseaux WWAN.	12
Tableau II.1: Classe de QoS et application.	28
Tableau III.1: Modulation et codage pris en charge dans le WiMAX Mobile.....	33
Tableau III.2: Sensibilité minimale du récepteur pour différentes modulations et codages	33
Tableau III.3: Hypothèse de distribution de modulation.....	34
Tableau III.4: Paramètres de symbole OFDM/OFDMA utilisés dans le WiMAX fixe et mobile en DL.....	39
Tableau III.5: Hypothèses de distribution des applications	40
Tableau III.6: Valeurs numériques pour les paramètres du modèle SUI	46
Tableau III.7: Limites du modèle Cost-231 Hata	47
Tableau III.8: Comparaison statistique des modèles de propagation	48
Tableau IV.1: Paramètres par défaut du simulateur WCS.	51
Tableau IV.2: Paramètres de simulation de la portée et nombre de station de base	60
Tableau IV.3: Résultats de calcul pour différents types de terrain du modèle SUI	62
Tableau IV.4: Résultats de calcul pour différents types d'environnement du modèle Cost-231Hata	63

Liste des abréviations

A

AAS : Adaptive Antenna System.
AAA : Authentication Authorisation Accounting.
ADSL : Asymmetric Digital Subscriber Line.
AMC : Adaptive Modulation and Coding
ASN-GW : Access Service Network Gateway.
ASN : Access Serving Network.
ATM : Asynchronous Transfer Module.

B

BE : Best Effort.
BPSK : Binary Phase Shift Keying.
BRH : Bandwidth Request Header.
BS : Base Station **BW** Bandwidth .
BSS : Basic Service Set.
BWA : Broadband Wireless Access.

C

CBR : Constant Bit Rate.
CC : Convolutional Coding.
CSN : Connectivity Service Network.
CID : Connection Identifier.
CP : Cyclic Prefix .
CQICH : Channel Quality Indicator.
CR : Contention Ratio.
CRC : Cyclic Redundancy Check.
CS : Convergence Sublayer.
CTC : Convolutional Turbo Coding.

D

DAC : Digital to Analogue Converter.
DCD : Downlink Channel Descriptor.
DIUC : Downlink Interval Usage Code.
DL : Downlink.

E

ETSI : European Telecommunication Standards Institute.

F

FBSS : Fast Base Station Switching .
FCH : Frame Control Header.
FDD : Frequency Division Duplex.
FEC :Forward Error Correction.
FFT : Fast Fourier Transform .
FRF :Frequency Reuse Factor.
FTP : File Transfer Protocol.

G

GM : Grant Management.
GMH :Generic MAC Header.
GSM : Global System for Mobile communications.

H

HHO : Hard Hand-Off.
Http : Hyper Text Transfer Protocol

I

IE : Information Element.
IEEE : Institute of Electrical and Electronics Engineers.
IP : Internet Protocol.
ISI : Inter-Symbol Interference.

L

LOS : Line Of Sight.
LTE : Long Term Evolution.

M

MAC : Medium Access Control.

MS: Station Mobile.

MAP : Media Access Protocol.

MAU : Minimum Allocation Unit.

MDHO : Macro Diversity Hand Over.

MDHO : Macro Diversity Handover.

N

NSP : Network Service Provider.

NLOS : Non Line-of-Sight.

O

OCR : Overall Coding Rate.

OFDM : Orthogonal Frequency Division Multiplex.

OFDMA : Orthogonal Frequency Division Multiple Access.

OSR : Over Subscription Ratio.

P

P2P : Peer to Peer.

PDA : Personnel Digital Assistant.

PDU : Packet Data Unit .

PL : Path Loss.

PUSC : Partially Used Sub-Carriers.

Q

QAM : Quadrature Amplitude Modulation.

QoS : Quality of Service.

QPSK : Quadrature Phase Shift Keying.

S

SC :Single Carrier.

SDU : Service Data Unit.

SNIR : Signal to Noise + Interference Ratio.

SNR : Signal to Noise Ratio.

SOFDMA : Scalable Orthogonal Frequency Division Multiple Access.

SS : Subscriber Station.

SUI : Stanford University Interim.

T

TDD : Time Division Duplex.

TDM : Time Division Multiplexing .

U

UCD : Uplink Channel Descriptor.

UE :User Equipment

UL : Uplink.

UMTS : Universal Mobile Telephone System.

UTRAN : Universal Terrestrial Radio Access Network.

V

VBR : Variable Bit Rate.

VoIP : Voice over IP.

W

WiMAX : Worldwide Interoperability for Microwave Access.

WPAN : Wireless Personal Area Network.

WLAN : Wireless Local Area Network.

WMAN : Wireless Metropolitan Area Network.

WWAN: Wireless Wide Area Network

Introduction Générale

Introduction générale

Depuis l'antiquité, l'homme n'a cessé de chercher les différents moyens (parole, gestes de la main, signaux de fumée, document écrit,...) pour communiquer. Ainsi, à travers des époques successives, il a fourni des efforts aussi bien intellectuels que physiques afin de découvrir des méthodes de communication adéquates.

Les récents progrès réalisés en matière des techniques de télécommunication ont amené le développement des réseaux sans fils dits "*Wireless Network*". Depuis quelques années, ces réseaux sans fil séduisent de plus en plus d'utilisateurs du fait de multiples avantages qu'ils apportent face aux réseaux câblés. Parmi ces avantages, il convient citer par exemple ; la suppression des câbles d'interconnexion, la réduction du temps et des coûts de déploiement, la simplicité et la commodité d'usage, l'accroissement de l'accessibilité et de la connectivité, et mieux encore l'apport de la mobilité.

De nos jours la demande de connexions à Internet haut débit se fait croissante. En effet, de nombreuses normes des technologies sans fil ont été développées, mais nombreuses d'entre elles présentent certaines limites relatives aux débits, à la portée, à la capacité, aux services, au niveau d'interférences et ne permettent pas la souplesse qu'offre une connexion sans-fil.

Le WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*) est une norme IEEE 802.16 définie pour les réseaux sans fils pour des connexions à haut débit, sur des zones de couverture de plusieurs kilomètres, permettant des usages en situation fixe ou en mobilité. Avec une grande couverture, une grande efficacité spectrale et un débit important, le WiMAX représente une vraie alternative des systèmes nécessitant des connections câblées.

Le spectre radioélectrique est devenu une ressource extrêmement précieuse, en raison de son exploitation massive par des systèmes de communication de toutes sortes. Suite à une demande continue du spectre, aussi bien pour les services existants que pour les nouveaux services radio, il y a des contraintes de plus en plus fortes sur cette ressource notamment en ce qui concerne l'équilibre entre l'offre et la demande.

Avec le développement de ces technologies et leurs implications dans la croissance économique du pays et leur rareté, il est donc nécessaire de prévoir une gestion rationnelle de cette ressource. Elle doit être gérée d'une manière efficace et efficiente afin que l'on puisse en retirer un maximum d'avantages. Sa gestion permet également d'éviter les brouillages de signaux (interférences).

Dans le cadre de ce mémoire, nous nous sommes intéressées à l'étude de l'estimation de la capacité et la plage de cellules pour les utilisateurs multi-traffic dans le WiMAX mobile. Pour

cela, notre mémoire est structuré autour de quatre chapitres, organisés comme suit :

Dans le premier chapitre, nous introduisons des généralités sur les réseaux sans fils, ainsi qu'une classification de ces réseaux selon leurs entendus géographiques avec des exemples de standards pour chaque catégorie.

Le deuxième chapitre est consacré à l'étude détaillée de la technologie WiMAX mobile, où nous nous sommes intéressées à son architecture, les caractéristiques techniques de ses couches protocolaires. Nous achevons ce chapitre par les notions de débit et la couverture de WiMAX mobile.

Dans le troisième chapitre, nous exposons tous les formules mathématiques et les calculs nécessaires, ainsi que les démarches de l'analyse de la capacité et les modèles de propagation du WiMAX Mobile. Nous allons étudier l'influence des paramètres de modulations et les distributions des applications multi-traffic, pour l'estimation de la bande passante et le nombre d'utilisateurs supportés par secteur.

Le quatrième chapitre portera sur la conception et la réalisation des interfaces graphiques de notre outil d'estimation du réseau WiMAX mobile ainsi que son principe de fonctionnement. Nous élaborons la conception et la réalisation par l'exposition des différentes interfaces de notre simulateur accompagnée d'une description précise, ainsi nous exposons les résultats de simulation de ce standard avec des exemples de calculs.

Finalement, ce mémoire se terminera par une conclusion générale, qui présente une récapitulation de tous ce que nous avons traités et les connaissances acquises suite à ce projet de fin d'étude.

Chapitre I :

Généralités sur les réseaux sans fils

I.1 Introduction :

Les réseaux sans fil connaissent actuellement un succès très important, dont leur nombre croît très rapidement au sein des entreprises et du grand public. Ils offrent en effet une flexibilité largement supérieure aux réseaux filaires, en s'affranchissant notamment des problèmes de câblage et de mobilité des équipements. Il existe plusieurs familles de réseaux sans fil, chacune étant développée par des organismes différents et donc incompatibles entre-elles [1].

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

I.2 Définition d'un réseau sans fil :

Un réseau sans fil est un réseau dans lequel au moins deux terminaux (un ordinateur portable ou un assistant numérique personnel par exemple), peuvent communiquer sans liaison filaire. Dans la pratique, cela signifie qu'un utilisateur reste connecter tout en se déplaçant dans un périmètre plus ou moins étendu. Les réseaux sans fil communiquent grâce à des ondes radioélectriques (radio et infrarouges) [2].

Les réseaux sans fil permettent de relier très facilement des équipements distants d'une dizaine de mètres à quelques kilomètres. De plus, l'installation de tels réseaux ne demande pas de lourds aménagements des infrastructures existantes comme c'est le cas avec les réseaux filaires (creusement de tranchées pour acheminer les câbles, équipements des bâtiments en câblage, goulottes et connecteurs), ce qui a valu un développement rapide de ce type de technologies [1].

Les réseaux sans fil sont classés en quatre catégories selon leur étendue géographique et normalisés par un certain nombre d'organismes, parmi lesquels nous citerons : l'ISO (*International Standardisations Organisations*), l'IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) et l'ETSI (*European Telecommunication Standards Institute*) [2].

I.3 Classification des réseaux sans fil :

De manière générale, les réseaux sans fils sont classés, selon leur étendue géographique, en quatre catégories (Figure I.1) [2].

- Les réseaux WPAN : (*Wireless Personnal Area Network*),
- Les réseaux WLAN : (*Wireless Local Area Network*),
- Les réseaux WMAN : (*Wireless Metropolitan Area Network*),
- Les réseaux WWAN: (*Wireless Wide Area Network*).

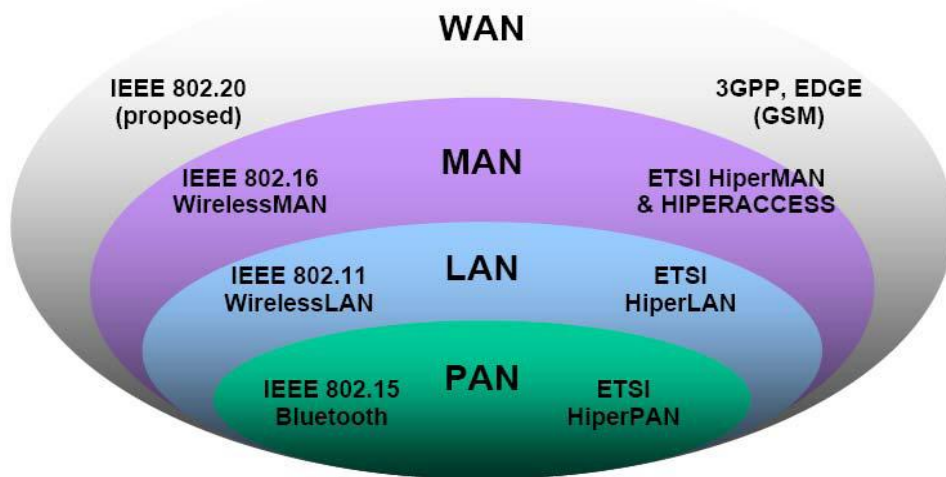


Figure I.1 : Classification des réseaux sans fil selon l'étendue géographique.

La figure suivante montre un exemple d'architecture de réseaux sans fil, qui regroupe toutes les catégories citées précédemment.

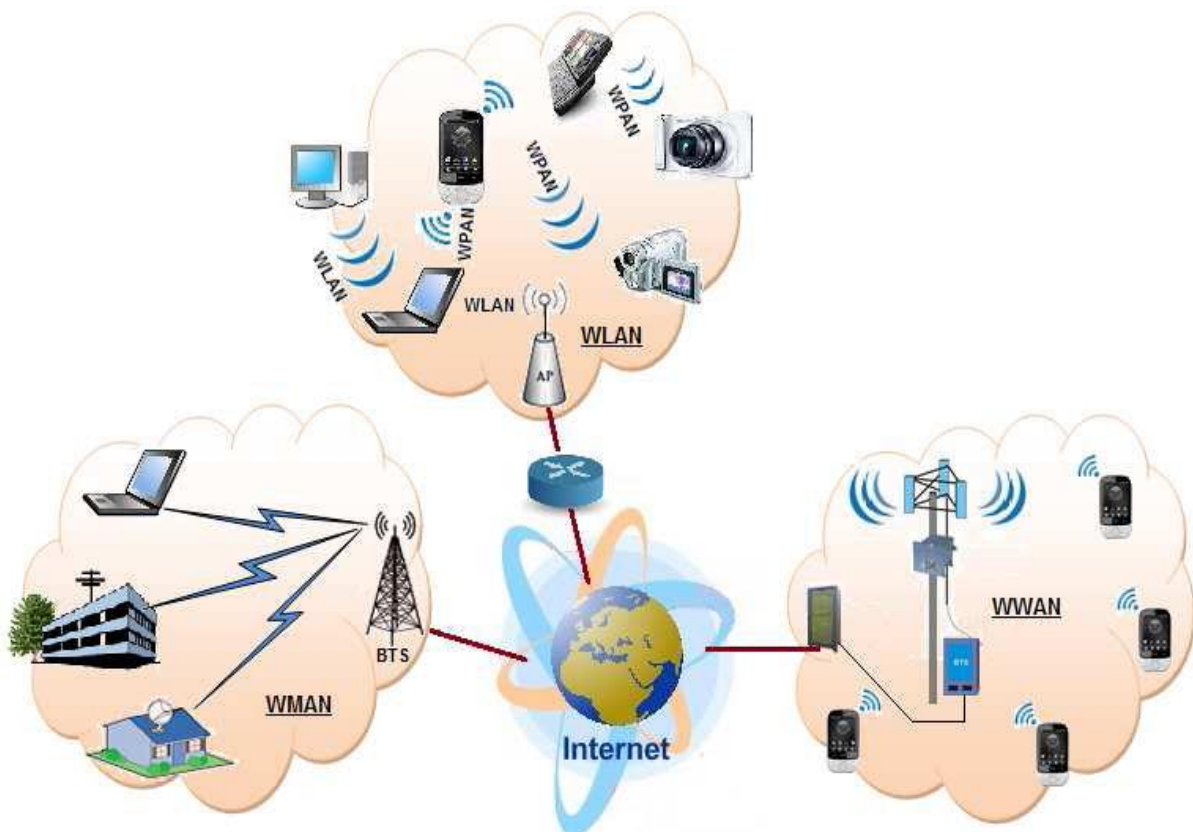


Figure I.2 : Exemple d'architecture de réseaux sans fil.

I.4 Les réseaux personnels sans fil (WPAN) :

Ce type de réseau est généralement utilisé pour interconnecter du matériel informatique et à relier des périphériques (imprimante, téléphone portable, appareils domestiques, ou un assistant personnel (PDA : *Personnel Digital Assistant*)) à un ordinateur sans liaison filaire (figure I.3), ou bien à permettre la liaison sans fil entre deux machines très peu distantes (quelque mètres).



Figure I.3 : Exemple d'un réseau personnel sans fil WPAN.

Ces réseaux personnels sans fils regroupent les technologies suivantes :

I.4.1 Le Bluetooth :

Lancé en 1994 par Ericsson, son débit théorique est de 1Mbits/s pour une portée maximale d'environ 30 mètres. Bluetooth, connue aussi sous le nom IEEE 802.15.1. L'avantage est que cette technologie est peu gourmande en énergie, c'est pourquoi elle est adaptée pour les petits périphériques comme le téléphone portable ou encore une souris [1].

L'objectif du Bluetooth est de permettre de transmettre des données ou de la voix entre des équipements possédant des circuits radio de faible coût. Ainsi, la technologie Bluetooth est principalement prévue pour relier entre eux des périphériques sans utiliser une liaison filaire [3].

I.4.2 Le HomeRF :

Lancé en 1998, n'a pas su conquérir les utilisateurs malgré le soutien d'Intel. Cette solution a été abandonnée en 2003. Sa vitesse était d'environ 10Mbits/s avec une portée avoisinant les 100 mètres [1].

I.4.3 La technologie ZigBee :

Solution récente. Il s'agit d'une variante du Bluetooth qui permet d'obtenir des liaisons sans fil à très bas prix et avec une consommation d'énergie très faible. L'avenir de cette solution est garanti. La technologie sans fil s'est toujours heurtée au fait que les appareils sans fil sont

extrêmement consommateurs d'électricité. C'est pour cela que l'IEEE (*Institute of Electrical and Electronic Engineers*) a développée ZigBee. Ce dernier permet la communication machine à machine, avec une très faible consommation électrique et des coûts très bas. Des constructeurs comme Motorola ou Philips le soutiennent déjà. Sa vitesse maximum est de 128 Kbits/s. Contrairement au Wifi ou au LAN, ZigBee n'a pas besoin d'un système centralisé pour coordonner le flux de messages [4].

I.4.4 Les liaisons infrarouges :

Elles sont omniprésentes dans la maison. Par exemple, on peut citer les télécommandes. Cette solution est très simple et pas cher. Par contre, elles sont très sensibles au positionnement des appareils (ils doivent être en face l'un de l'autre) et aux perturbations lumineuses. La liaison fonctionne sur quelques mètres pour une vitesse de quelques Mégabits par secondes [5].

I.5 Les réseaux locaux sans fil (WLAN) :

Les réseaux locaux sans fil sont de plus en plus utilisés au sein des entreprises et des réseaux locaux particuliers. Ils permettent la couverture de bâtiments entiers [2]. Il existe différentes technologies utilisées pour les WLAN (figure I.4) :



Figure I.4 : Un exemple d'architecture d'un réseau WLAN.

I.5.1 Le WiFi (*Wireless Fidelity*):

WiFi est un ensemble de protocoles de communication sans fil régis par les normes du groupe IEEE 802.11. Grâce aux normes WiFi, il est possible de créer des réseaux locaux sans fil à haut débit. Dans la pratique, le WiFi permet de relier des ordinateurs portables, des machines de bureau, des Smartphones, des assistants personnels (PDA : *Personal Digital Assistant*), des objets

communicants ou même des périphériques à une liaison haut débit de 11 Mbit/s théoriques ou 6 Mbit/s réels en 802.11b à 54 Mbit/s théoriques ou environ 25 Mbit/s réels en 802.11a ou 802.11g sur un rayon de plusieurs dizaines de mètres en intérieur (généralement entre une vingtaine et une cinquantaine de mètres) [6].

I.5.2 L'HiperLAN (*High Performance Radio LAN*):

Standard européen initié par l'ETSI (*European Telecommunication Standards Institute*) en 1998. Son but est de créer des environnements sans fil à haut débit et flexibles, permettant une communication de terminal à terminal (Ad-hoc) en transitant par des terminaux intermédiaires. Sa puissance d'émission est d'environ 1W [7]. Il est composé de 2 normes sans fil à haut de débit ; HiperLAN 1 et HiperLAN 2.

I.5.2.1 HiperLAN 1 :

Déploiement sur des distances d'environ 50m par borne, sur une bande de fréquences entre 5.1 et 5.3 GHz, avec interfaces conventionnelles pouvant être utilisées par les LAN sans fil.

I.5.2.2 HiperLAN 2 :

Sur une distance par borne étendue à 200m, orienté réseau sans fil ATM (*Asynchronous Transfert Mode* : transfert simultané de données), sur une bande de fréquences comprises entre 5.4 et 5.7 GHz. Communication possible sur différents débits (6, 9, 12, 18, 27, 36 et 54Mb/s) [8]. HiperLAN 2 peut aussi véhiculer la vidéo, paquets IP, voix numérisée des téléphones cellulaires.

I.6 Les réseaux métropolitains sans fil (WMAN) :

Le réseau métropolitain sans fil (WMAN pour *Wireless Metropolitan Area Network*) est connu sous le nom de Boucle Locale Radio (BLR). Les WMAN sont basés sur la norme IEEE 802.16. La boucle locale radio offre un débit utile de 1 à 10 Mbit/s pour une portée de 4 à 10 kilomètres, ce qui destine principalement cette technologie aux opérateurs de télécommunication [9].

Le WMAN est utilisé généralement dans les universités, les campus ou dans les villes. Le support physique d'interconnexion utilisé dans les WMAN est habituellement la fibre optique [10]. la figure suivante montre un exemple d'architecture du réseau métropolitain sans fil.

La norme de réseau métropolitain sans fil la plus connue est le WiMAX, permettant d'obtenir des débits de l'ordre de 70 Mbit/s sur un rayon de plusieurs kilomètres. Il existe autre norme européenne appelée HiperMAN.

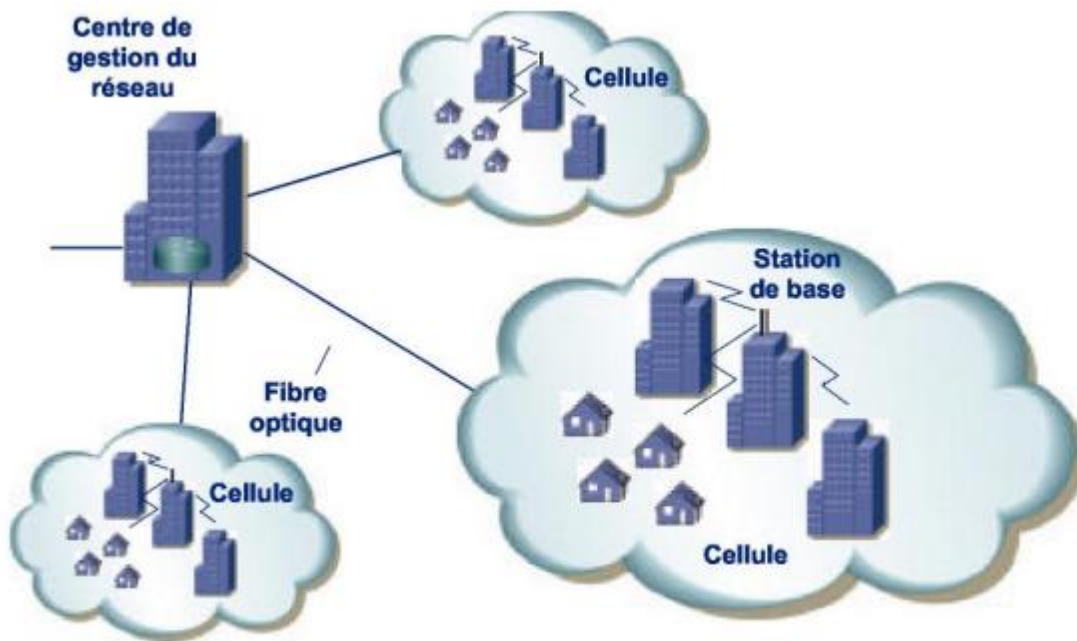


Figure I.5 : Architecture du réseau métropolitain sans fil.

I.6.1 Le WiMAX :

Egalement connu sous la désignation IEEE 802.16, le WiMAX est un standard de transmission sans fil à haut débit. Fonctionnant à 70 Mbit/s, il est prévu pour connecter les points d'accès WiFi à un réseau de fibres optiques, ou pour relayer une connexion partagée à haut débit vers de multiples utilisateurs (figure I.6). Avec une portée théorique de 50 km, il devrait permettre, à terme, le développement de réseaux métropolitains (WMAN) reposant sur un unique point d'accès, au contraire d'une architecture basée sur de nombreux points d'accès WiFi [11].

Dans notre travail, on s'intéresse sur l'étude de ce standard et sera examiné en détail dans le chapitre suivant.

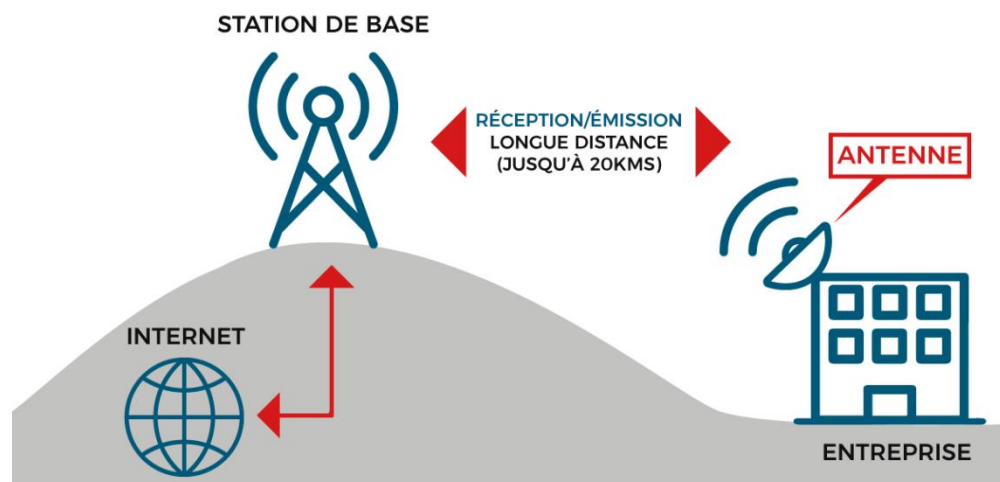


Figure I.6 : Principe de fonctionnement de WiMAX.

1.6.1.1 Fonctionnement du WiMAX :

Le fonctionnement du WiMAX est simple : une antenne centrale, reliée en fibre optique au réseau des fournisseurs d'accès à Internet (figure I.7). Le principe de fournisseurs d'accès à Internet, envoie les paquets de données vers les antennes des abonnés ou vers une antenne intermédiaire. Ce mode de communication est appelé point multipoints. Tout se passe par ondes radio, sans connexion filaire. Les ordinateurs qui se trouvent dans la zone couverte bénéficient alors d'une connexion à haut débit à Internet, sans fil et sans nécessité d'utiliser la ligne téléphonique [13].

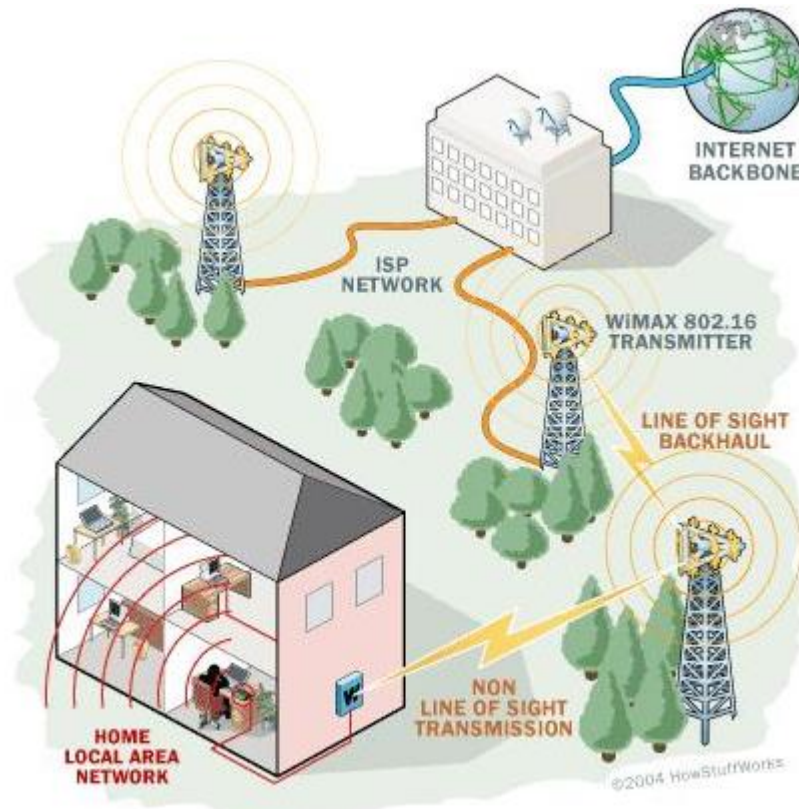


Figure I.7 : Le principe de fonctionnement du WiMAX.

1.6.1.2 Les Types du WiMAX :

De nos jours, il existe deux types de réseaux WiMAX, à savoir [14]:

a) Le WiMAX fixe :

Le WiMAX fixe est défini par la norme 802.16-2004 approuvée en juin 2004. Les premiers produits certifiés sont apparus début 2006. Cette version du WiMAX est destinée à des connexions de type point à point, où les deux entités communicantes sont fixes et généralement équipées d'antennes dédiées.

Ce type de solution offre des perspectives intéressantes pour l'accès à Internet dans des endroits géographiquement isolés, ou dont les faibles densités des habitations ne permet pas la mise en place de liaisons DSL, par exemple avec la mise en place de BLR (*Boucle Locale Radio*), avec des débits offerts de l'ordre de plusieurs dizaines de Mbit/s (70Mbits/s théoriques) et une portée de l'ordre de 50 km.

b) Le WiMAX mobile :

Le WiMAX mobile est défini par la norme 802.16e approuvée en décembre 2005. S'il s'agissait au départ d'une simple extension du WiMAX fixe destinée à rajouter de la mobilité, de nombreuses modifications ont en fait apportées au 802.16-2004. Les débits théoriques sont plus faibles (30 Mbit/s), mais une attention particulière a été portée sur la sécurisation du protocole, nettement plus avancée que les éléments proposés dans le WiMAX fixe.

Les applications de ce type de solution sont encore floues, mais plusieurs équipementiers ont annoncé leur intention de fournir des cartes "WiMAX mobile" pour PC portable, offrant ainsi des solutions de mobilité complémentaires au WiFi. Des téléphones mobiles multi modes, compatibles WiMAX sont aussi annoncés.

La figure suivante illustre un exemple d'un réseau WiMAX avec ses deux variantes, à savoir fixe et mobile. Ce réseau se compose principalement d'une station de base, qui joue le rôle d'un nœud émetteur, et des stations réceptrices qui jouent le rôle de clients WiMAX. Nous allons ultérieurement présenter le principe de fonctionnement d'un tel type de réseau.

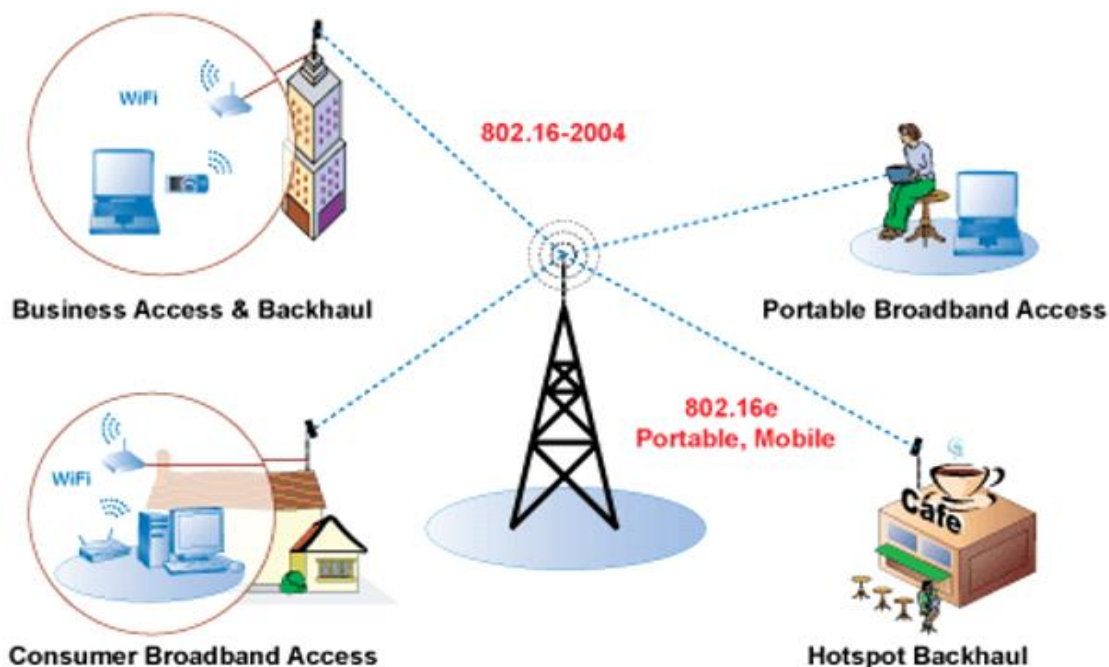


Figure I.10 : Exemple d'un réseau WiMAX avec les deux variantes fixe et mobile.

I.6.2 HiperMAN :

HiperMAN (*High Performance Radio Metropolitan Area Network*) est un standard développé par l'ETSI pour développer une alternative européenne au WiMAX. Ce standard ressemble en de nombreux points au WiMAX et opère sur la bande de fréquence entre 2 GHz et 11 GHz. Il prévoit plusieurs services comme: la qualité de service, la transmission sans fil rapide, la sécurité [15].

I.7 Les réseaux étendus sans fil (WWAN) :

Ils sont plus connus sous le nom de réseaux cellulaires mobiles. Ce type de réseau offre une couverture géographique nationale et internationale [2].

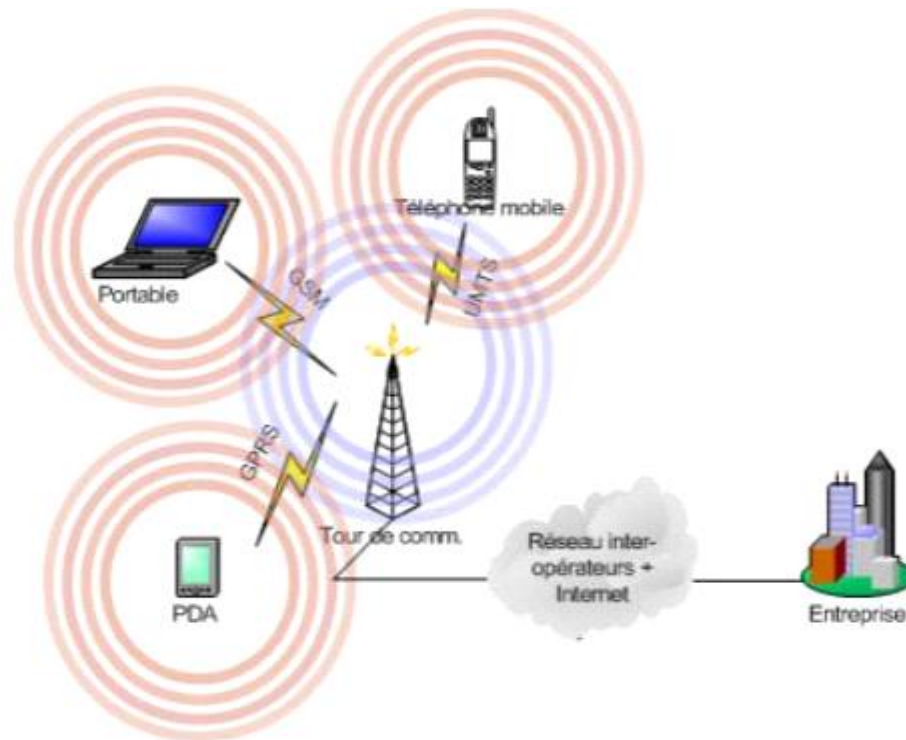


Figure I.7 : Couverture des réseaux WWAN et WMAN.

Les principales technologies sont les suivantes [15] :

- **GSM** (*Global System for Mobile Communication*) **2G**.
- **GPRS** (*General Packet Radio Service*) **2.5G**.
- **UMTS** (*Universal Mobile Telecommunication System*) **3G**.
- **LTE** (*Long Term Evolution*) **4G**.

Le Tableau suivant donne une étude comparative des réseaux WWAN et une synthèse des différentes générations de réseaux mobiles, selon la norme, le débit et la bande de fréquences.

Technologie	Norme	Débit	Bande de fréquence	Observation
GSM	Européenne	9.6 Kbits/s	[890-915] MHz [935-960] MHz [1710-1785] MHz [1805-1880] MHz	- Utilise une commutation de circuits - Système très sécurisé
GPRS	Européenne	≤ 120 Kbits/s	[890-915] MHz [935-960] MHz [1710-1785]MHz [1805 :1880]MHz	- Utilise une commutation de paquets - Prise en charge des applications de données à moyens débits - Utilise le protocole IP pour le formatage des données
EDGE	Européenne	59.2 Kbits/s	2 GHz	- Utilise la commutation de circuit
UMTS	Européenne (ETSI)	≤ 2 Mbits/s	2 GHz	- Offre un accès à Internet et à ses serveurs web - Supporte des applications audio et vidéo basse définition - Fonctionne en mode paquet et mode circuit
CDMA 2000	Américaine (TIA)	≤ 2 Mbits/s	2 GHz	- Utilise la technique d'étalement de bande
LTE	Européenne	≤ 150 Mbits/s (LTE) ≤ 1 Gbits/s (LTE-Advanced)	700 MHz -3.5 GHz	- Offre un accès à Internet et à ses serveurs web - Supporte des applications audio et vidéo haute définition - Fonctionne en mode paquet

Tableau I.1 : Synthèse des différentes générations de réseaux WWAN.

I.8 Avantages et inconvénients du réseau sans fil :

Le réseau sans fil a de nombreux avantages, mais aussi des inconvénients qu'il est bon de connaître [16, 17].

I.8.1 Les avantages du réseau sans fil :

- **La sécurité** : Lors de l'utilisation des réseaux sans fil, la sécurité est un problème. Assurez-vous qu'il est un réseau protégé par mot de passe si vous naviguez sur Internet et d'entrer des informations personnelles.
- **Commodité** : Réseaux sans fil peuvent aider à faire la connexion à Internet beaucoup plus pratique. Vous n'avez pas besoin d'une connexion Ethernet de sorte que vous pouvez connecter partout avec un signal suffisamment fort et un réseau sans fil qui est accessible au public sans un mot de passe.
- **Dispositifs** : De nombreux appareils différents peuvent être utilisés sur un réseau sans fil.

Ceux-ci comprennent des ordinateurs portables, les téléphones cellulaires, les appareils *Blackberry* et les ordinateurs de poche.

- **La vitesse** : Les réseaux sans fil sont moins fiables avec des vitesses de connexion par rapport à les connexions utilisant un câble Ethernet. Cela est dû au risque de points morts où le signal est faible ou inexistant. Météo, et les interférences de signal jouent également un rôle dans l'affaiblissement de la connexion.
- **Limites** : Lorsque vous accédez à des sites Web en utilisant une connexion sans fil avec un téléphone portable, de nombreux sites vous donnent une version de leur site web standard avec moins de fonctionnalités. Vous n'aurez pas l'accès à des parties de ces sites web, avec Espn.com et Weather.com étant deux exemples précis.

I.8.2 Les inconvénients du réseau sans fil :

Les réseaux sans fil sont loin d'être parfait et il y a un certain nombre d'inconvénients qu'un individu ou une organisation peut faire face lors de l'utilisation d'un réseau sans fil [16, 17].

- **Coût** : Les réseaux sans fil sont généralement peu coûteux, mais il peut coûter jusqu'à quatre fois plus de mettre en place un réseau sans fil que de mettre en place un réseau câblé dans certains cas.
- **Couverture** : La portée d'un réseau sans fil est limitée et un routeur sans fil typique permettra seulement les individus au sein de 150 à 300 pieds pour accéder au réseau.
- **Fiabilité** : Les réseaux sans fil sont extrêmement sensibles aux interférences de sorte des signaux radio, le rayonnement et tout autre type similaire d'interférences peuvent provoquer un réseau sans fil à un dysfonctionnement.
- **la sécurité** : Les réseaux sans fil peuvent être consultés par tout ordinateur à portée du signal du réseau afin que l'information transmise par le réseau (y compris des informations cryptées) peuvent être interceptées par des utilisateurs non autorisés.
- **La vitesse** : Les réseaux sans fil sont généralement plus lents que les réseaux câblés, parfois même jusqu'à 10 fois plus lent.

I.9 Conclusion :

Tout au long de ce chapitre, nous avons étudié les différentes spécificités des réseaux sans fils qui possèdent des caractéristiques et des équipements propres qui diffèrent de ceux employés dans les réseaux traditionnels.

Les réseaux sans fils, en général, sont des technologies intéressantes et très utilisés dans de divers domaines comme l'industrie, la santé et le domaine militaire. Cette diversification

d'utilisation revient aux différents avantages qu'apportent ces technologies, comme la mobilité, la simplicité d'installation (absence de câblage). Les connexions sans fils permettent de connecter différents appareils sans câble. La liaison peut-être soit de type hertzien, soit par la lumière infrarouge. Les réseaux sans fil ne visent toutefois pas à remplacer les réseaux filaires mais plutôt à leurs apporter les nombreux avantages découlant d'un nouveau service: la mobilité de l'utilisateur.

Aussi dans ce chapitre, nous avons examiné le WiMAX qui est un standard émergeant d'IEEE donnant de bonnes et impressionnantes performances afin de satisfaire les besoins actuels sans aucune connexion à fil. Du fait de sa couverture, son très haut débit, ses coûts réduits, et de sa variété d'utilisation. Le WiMAX a pu remplacer d'une façon géante le réseau à fil et a devenu le plus utilisé chez les utilisateurs privés, les sociétés, les établissements et surtout chez les opérateurs de Télécommunications. Dans le chapitre suivant, on va s'intéresser à l'étude de la technique du réseau WiMAX mobile.

Chapitre II :

Présentation technique du WiMAX Mobile

II.1 Introduction :

WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*) est une solution pour des réseaux MAN sans fil. En utilisant un accès WiMAX, on peut atteindre théoriquement un débit jusqu'à 70 Mbits/s. Le groupe de travail d'IEEE 802.16 des technologies prouvées pour la couche physique, comprenant le multiplexage par répartition en fréquence orthogonal (OFDM), *Time Division Duplex* (TDD), *Frequency Division Duplex* (FDD), les types de modulation : (BPSK), (QPSK) et (QAM) et la couche MAC. WiMAX prend en charge les transferts de type ATM et IP, pour cela il utilise une sous-couche de convergence qui permet la conversion des informations afin de les rendre exploitable par la couche MAC.

Ce chapitre fournira une brève vue sur l'architecture de WiMAX Mobile, Le premier élément de l'architecture WMAN est la station de base (BS), qui couvre une certaine zone géographique où se situent des utilisateurs immobiles ou en mouvement relativement lent, qui communiquent avec la BS selon le principal du point à multipoint. Ce réseau peut fournir des débits importants et un passage à l'échelle en raison des capacités de canal flexibles. Il offre une couverture importante, des services avec des exigences de la qualité de services (QoS), ainsi qu'une sécurité importante.

II.2 Architecture du WiMAX :

L'architecture du WiMAX mobile [18], schématisée par la figure II.1, est composée de terminaux mobiles (MS) qui communiquent via un lien radio avec une station de base (BS), qui joue le rôle d'un relais avec une infrastructure terrestre fondée sur le protocole IP. Les BSs sont connectées à un élément du réseau appelé ASNGW utilisé comme passerelle (Gateway) pour gérer le raccordement des BSs avec le réseau IP.

Le WiMAX mobile (le standard L'IEEE 802.16e) est composé aussi du NAP (*Network Access Provider*) qui est l'entité responsable de fournir l'infrastructure nécessaire pour l'accès radio à un ou plusieurs fournisseurs de services. Elle contrôle un ou plusieurs ASN (*Access Service Network*) qui est formée d'une ou plusieurs BS, et d'un ou plusieurs ASN-GW.

La dernière composante de l'IEEE 802.16e est le NSP (*Network Service Provider*). Cette entité fournit l'accès au réseau IP et offre aux abonnés l'accès aux services réseau. Le NSP Contrôle un ou plusieurs CSN (*Connectivity Service Network*) qui est le cœur du réseau WiMAX. Les fonctions des différents éléments formant l'architecture du réseau WIMAX mobile sont décrites comme suite [19] :

- **Network Access Provider (NAP)** : Une entreprise qui fournit l'infrastructure d'accès Radio à un ou plusieurs fournisseurs de services de réseau.

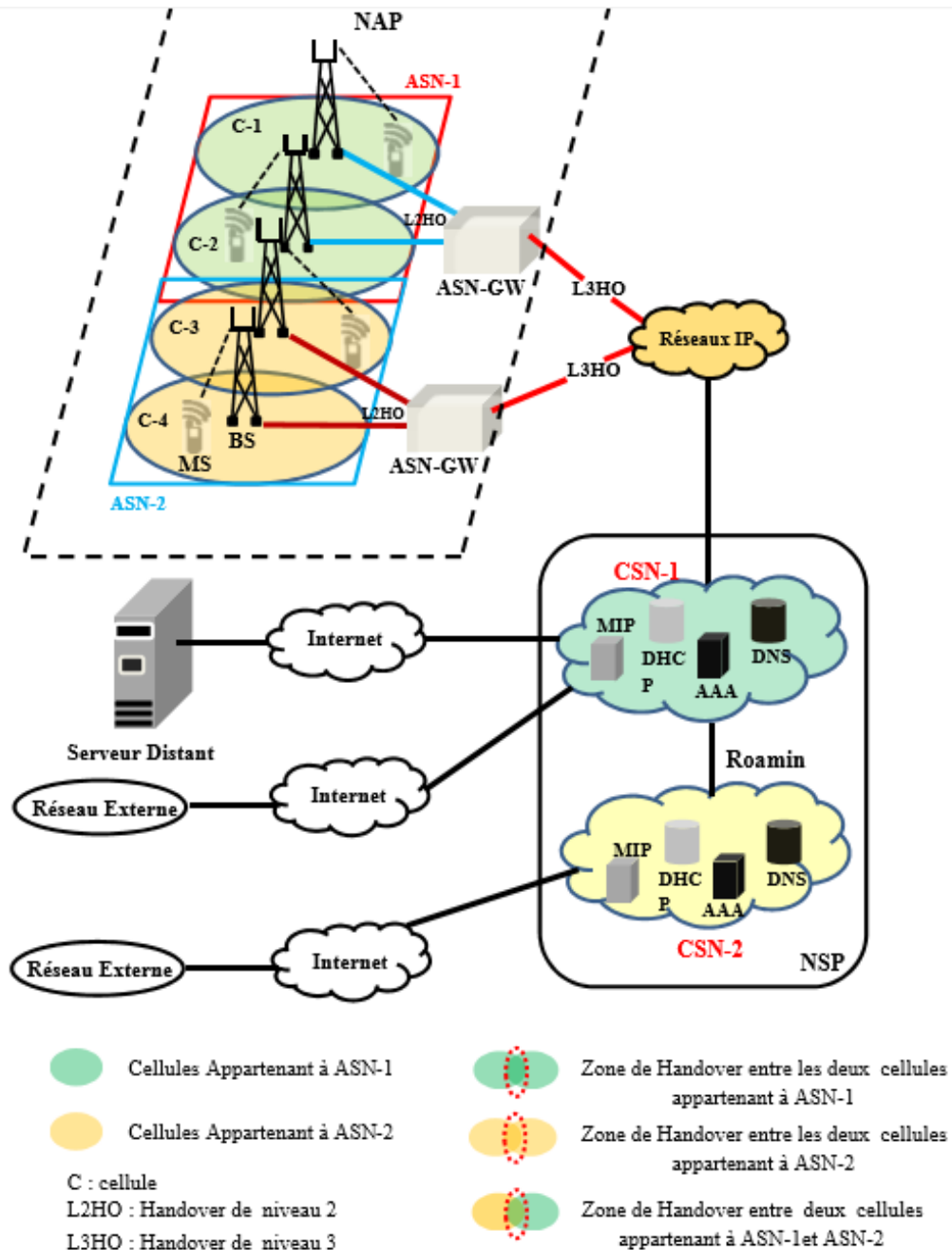


Figure II.1 : Architecture de WiMAX mobile (IEEE 802.16e).

- Network Service Provider (NSP) :** Une entité qui fournit la connectivité IP et les services réseau aux abonnés compatibles avec le niveau de service établi. Pour fournir ces services, un NSP établit des ententes contractuelles avec un ou plusieurs programmes d'action nationaux. Un NSP peut également établir des accords de *Roaming* avec d'autres fournisseurs de services réseau et des ententes contractuelles avec des tiers fournisseurs de l'application (par exemple ASP) pour fournir des services IP aux abonnés.

- **Connectivity Serving Network (CSN)** : Représentation logique des fonctions du NSP, par exemple :
 - Raccordement à Internet.
 - Authentification, autorisation et gestion.
 - Gestion de l'adresse IP.
 - Mobilité et Roaming entre ASNs.
 - Gestion de la politique et de la QOS fondée sur le SLA (*Service Level Agreement*).
 - Elle contient des éléments de gestion comme le DHCP, l'AAA, le HA, etc.
- **Access Serving Network (ASN)** : Représentation logique des fonctions du NAP, par exemple :
 - Interface d'entrée au réseau IEEE 802.16e
 - Gestion des ressources radio et contrôle d'admission.
 - Gestion de la mobilité.
 - QOS et politique de renforcement.
 - Acheminement pour la sélection de CSN.
 - Elle contient une ou plusieurs stations de bases responsables de la communication avec les abonnés, et un ou plusieurs ASN-GW qui constituent une passerelle qui assure la connexion des BSs avec le CSN.
- **ASN Gateway (ASN-GW)** : Elément du réseau WIMAX qui agit comme une entité logique dans le système WIMAX. Il sert à représenter une agrégation du plan de contrôle des entités fonctionnelles avec la fonction correspondante dans l'ASN ou la fonction résidente dans le CSN, ou une autre fonction dans l'ASN. l'ASN-GW gère la mobilité, le *Handover* (transfert intercellulaire) et le *forwarding*. Il agit comme une passerelle. Il contrôle les ressources radio. Il renforce la QOS et la classification des fonctions et se charge de la gestion et de la sécurité.

Les fonctions de l'ASN-GW sont les suivants :

- Gestion de localisation et du *Paging*.
 - Serveur pour la session réseau et le contrôle de la mobilité.
 - Contrôle d'admission et mise en cache des profils d'abonnés, et des clés de chiffrement.
 - AAA (*Authentication Autorisation Accounting*) client/proxy.
 - Fournit les fonctionnalités de l'agent étranger.
 - Routage IPv4 et IPv6 pour sélectionner le CSN.
-
- **La station de base** : Située dans l'ASN et responsable de la communication sans fil avec les abonnés.
 - **Les terminaux d'abonnés** : Sont des équipements spéciaux équipés d'une carte WiMAX qui permet la communication avec ce réseau. Ils sont situés dans la zone de couverture d'une BS pour pouvoir communiquer avec cette dernière.

II.3 Couches protocolaires du WiMAX :

Dans la structure de la pile protocolaire du WiMAX (figure II.2), il existe une couche physique et trois sous-couches MAC :

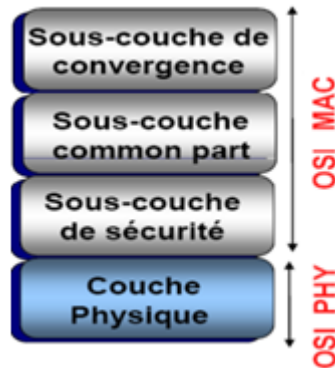


Figure II.2 : Pile protocolaire du WiMAX.

II.4 La couche physique :

Comme toutes les technologies utilisant la voie hertzienne, le WiMAX est soumis aux interférences du milieu dans lequel les ondes se propagent. Les caractéristiques de la couche physique changent en fonction de la fréquence [20].

- **Couche physique pour les fréquences entre 10 et 66 GHz :** C'est dans cette configuration que les performances du WiMAX sont les meilleures. Cette fréquence requiert la propagation en LOS (Ligne de vue). Elle supporte deux types de duplexage FDD (*Frequency Division Duplexing*) et TDD (*Time Division Duplexing*).
- **Couche physique pour les fréquences entre 2 et 11 GHz :** Les couches physiques pour ces fréquences sont adaptées à la propagation en NLOS dont il faudra ainsi prévoir la gestion du multi trajet. On distingue quatre types de couches physiques [20] :
 - **Le Wireless MAN-SC:** utilise la modulation SC (*Single Carrier*) comme technique de transmission. L'accès est fait par la technique TDMA et supporte les duplexages TDD et FDD.
 - **Le Wireless MAN-OFDM :** utilise l'OFDM à 256 sous-porteuses comme technique de transmission. L'accès est fait par TDMA et supporte les duplexages TDD et FDD.
 - **Le Wireless MAN-OFDMA :** utilise un multiplexage orthogonal à division de fréquence d'accès multiple OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*) avec 2048 sous porteuses lui permettant de tolérer de multiples récepteurs. L'accès se fait par TDMA et supporte les duplexages TDD et FDD.

- **Le Wireless HUMAN (*High speed Unlicensed Metropolitan Area Network*)** : la norme ne spécifie pas une technique de transmission propre, puisque n'importe quelle technique de transmission NLOS (SC, OFDM, OFDMA) peut être utilisée. Seul le duplexage TDD est autorisé. Grâce à ses performances, l'OFDM peut assurer l'immunité contre l'effet multi-trajet causé par la propagation NLOS, Wireless MAN-OFDM est l'interface retenue par le "WiMAX Forum".

II.4.1 Les techniques de Multiplexage :

II.4.1.1 La technique OFDM :

La norme 802.16-2004 utilise le multiplexage par répartition orthogonale de fréquence (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing* ou OFDM). C'est une technique de modulation multi-porteuses à base de transformée de Fourier rapide [21]. La figure II.3 montre la représentation de trois sous porteuses orthogonales OFDM.

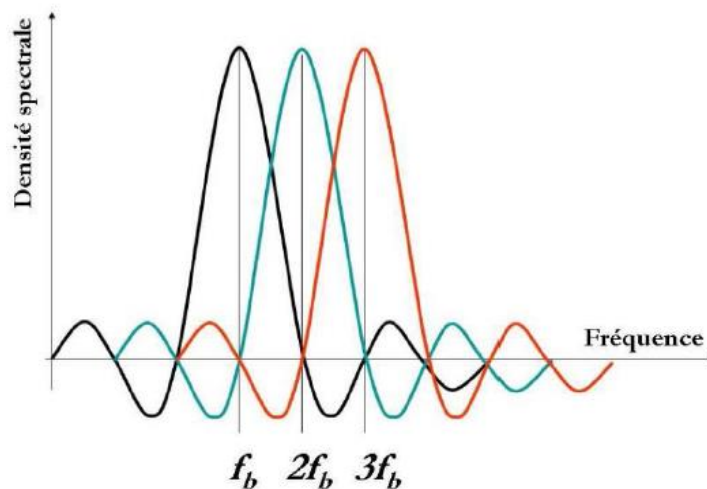


Figure II.3 : Représentation de trois sous porteuses OFDM.

L'OFDM est une technique clé pour permettre l'opération en absence de visibilité directe (NLOS) de la technologie WiMAX, grâce à sa robustesse devant les effets du trajet multiple [22].

D'un point de vue implémentation numérique, les systèmes OFDM transmettent les données par blocs (figure II.4) : le flux originel de données de débit R est multiplexé en N flux parallèles de débit R/N . Il s'agit bien d'un multiplexage fréquentiel puisque les données sont transmises sur N canaux différents [23]. Afin d'effectuer cette transmission, au lieu de transmettre les données en série comme le font les systèmes mono-porteuses (Single Carrier), la technique OFDM consiste à transmettre les données par bloc, où un vecteur de N symboles de données est transporté par un seul symbole OFDM.

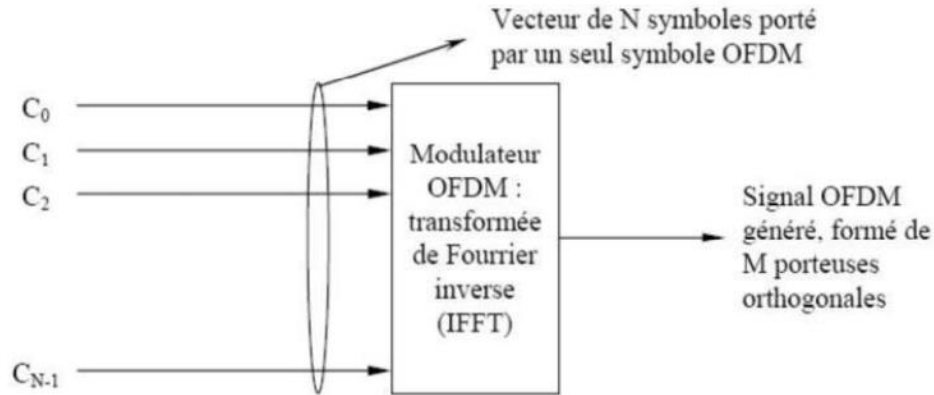


Figure II.4 : Transmission des données par bloc dans l'OFDM.

Grâce à la séparation orthogonale des porteuses, il est plus facile à la réception de faire l'égalisation des sous-porteuses chacune à part, au lieu de faire l'égalisation d'un signal à une porteuse unique [24].

II.4.1.2 La technique OFDMA :

L'OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiples Acces*) reprend le principe de l'OFDM. 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 [25].

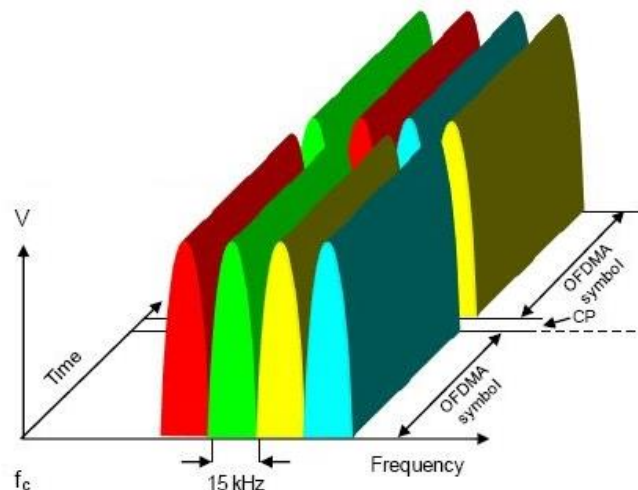


Figure II.5 : La technique OFDMA.

Dans la technique OFDMA, chaque sous porteuse est exclusivement assignée à un seul utilisateur, éliminant de ce fait les Interférences Intra Cellulaires (ICI). Cela a pour conséquence directe un décodage facile de l'OFDMA par l'utilisateur. Une telle simplicité est particulièrement

intéressante pour les opérations descendantes, lorsque la puissance de traitement est limitée par les terminaux utilisateurs par exemple. On imagine aisément que la performance d'un canal secondaire alloué à un utilisateur sera différente de celle d'un autre utilisateur, puisque les qualités du canal y sont différentes, en fonction des conditions de propagation individuelles. Ceci veut dire qu'un canal qui a de mauvaises performances avec un utilisateur peut se révéler favorable à un autre.

La technique OFDMA exploite cette caractéristique, du fait qu'elle permet d'allouer des canaux secondaires différents selon les utilisateurs dans une fenêtre temporelle à configuration variable pour la transmission d'un certain nombre de symboles OFDM.

II.4.1.3 La technique SOFDMA :

Le 802.16e est une version améliorée du standard 802.16-2004. Elle est considérée comme la version mobile du standard. De plus, cette version porte des nouvelles améliorations pour la couche PHY OFDMA. En effet, elle est basée sur le concept de SOFDMA (*Scalable OFDMA*) qui porte des caractéristiques importantes pour les réseaux fixes et mobiles (figure II.6) [26].

SOFDMA introduit beaucoup de variations à l'interface Wireless MAN-OFDMA du standard 802.16-2004, dans le but de supporter la mobilité des utilisateurs (effet Doppler, Handover). SOFDMA supporte les NFFT suivants : 2048, 1024, 512, 128, afin d'accommoder avec les différentes largeurs du canal possibles [26].

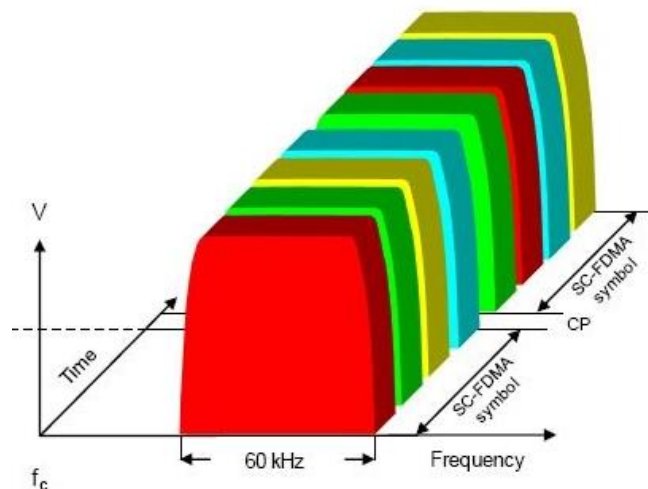


Figure II.6 : La technique SOFDMA.

SOFDMA est une technique qui permet de moduler dynamiquement des sous-groupes de fréquences porteuses orthogonales, dont le nombre peut varier à la fois en fonction de l'utilisateur et dans le temps [27].

II.4.1.4 Modulation et Codage :

Elle a pour but de réaliser les mécanismes de modulation/démodulation, de codage/décodage, de détection et de correction d'erreur. La couche physique du WiMAX utilise la modulation OFDM, qui découpe les fréquences en sous-fréquences orthogonales afin que deux fréquences voisines soient utilisées sans interférence [28].

Le WIMAX utilise également une technique d'adaptation du codage à la qualité de la communication. Cette adaptation est illustrée à la figure suivant :

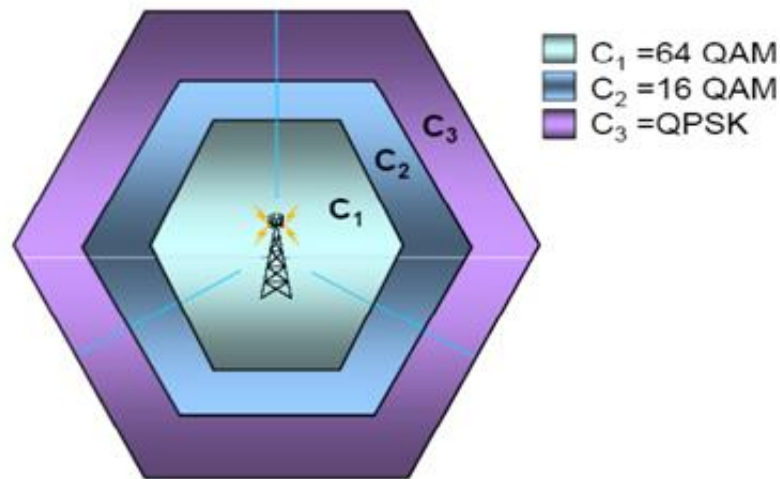


Figure II.7 : Adaptation du Codage.

Le codage utilisé n'est pas le même selon que l'utilisateur est proche ou éloigné de la station de base. Dans la figure ci-dessus, le codage utilisé lorsque celui-ci est assez proche de l'antenne est le 64-QAM ce qui permet de faire passer 8 bits à chaque intervalle temps élémentaire. Si l'utilisateur s'éloigne et la qualité du signal se dégrade, ce qui est observé par le nombre de retransmission, le codage passe à 16-QAM ce qui permet le transport de 4 bits à chaque intervalle de temps élémentaire. Si ce dernier s'éloigne d'avantage de l'antenne, une nouvelle dégradation implique le passage en QPSK donc l'émission de seulement 2 bits simultanément.

Cette technologie est assez sophistiquée puisqu'elle implique une adaptation du terminal au débit donc à la qualité du signal. Ce débit dépend des terminaux connectés et non à l'antenne elle-même. Chaque terminal peut transmettre à sa vitesse. C'est pour cela, si on veut obtenir un débit approchant les 50 Mbits/s, il faut restreindre la taille de la cellule WIMAX à des rayons de quelques Kilomètres, idéalement 2 ou 3.

II.4.2 Les techniques de duplexages :

Le WiMAX utilise deux types de duplexage : *Frequency Division Duplex* (FDD) et *Time Division Duplex* (TDD). Chacun d'eux présente des avantages et des inconvénients, qui pourront orienter le choix du type de duplexage [22].

II.4.2.1 La technique FDD :

L'utilisation de la méthode FDD nécessite l'attribution d'une fréquence différente au canal émetteur et au canal récepteur [26]. Le fait que la voie montante et la voie descendante utilisent la même longueur de trame simplifie l'algorithme d'allocation de bande passante (figure II.8). Une SS utilisant le mode "Full Duplex" est capable d'écouter continuellement la voie descendante tandis qu'une SS fonctionnant en mode « Half Duplex » ne peut pas écouter la voie descendante pendant qu'elle transmet des données sur la voie montante [25].

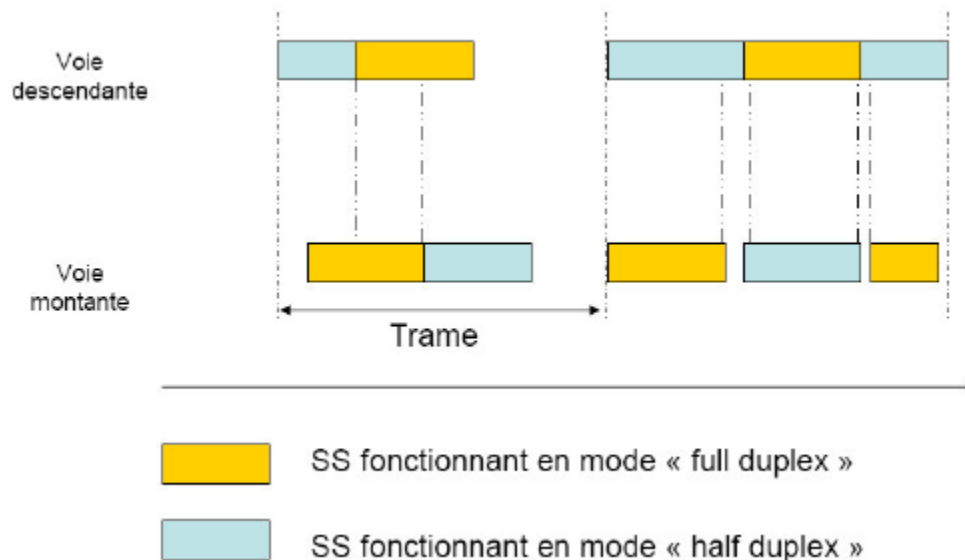


Figure II.8 : Exemple d'un système de duplexage FDD à deux SS.

Dans ce mode de duplex, une forte synchronisation temporelle est nécessaire afin de faire coïncider les parties montantes et descendantes et une partie de la bande est parfois perdue. C'est la principale raison du déploiement plus rapide du TDD. Le duplex fréquentiel permet de séparer les flux montants et descendants [23].

II.4.2.2 La technique TDD :

Dans le cas d'un mode TDD, la voie descendante et la voie montante utilisent la même bande de fréquence et les transmissions de chacune se déroulent à des temps bien distincts.

Les trames TDD sont toujours d'une longueur fixe et contiennent une "sous-trame" montante et une "sous-trame" descendante. La trame est donc divisée en un nombre de slots (un slot correspondant à 4 symboles de modulation) ce qui permet de partitionner la bande facilement. Le tramage TDD est adaptable c'est-à-dire que le partage entre la voie montante et descendante n'est pas figé (Figure II.9). Ceci permet d'adapter le débit de la voie descendante par rapport à celui de la voie montante [25] [21].

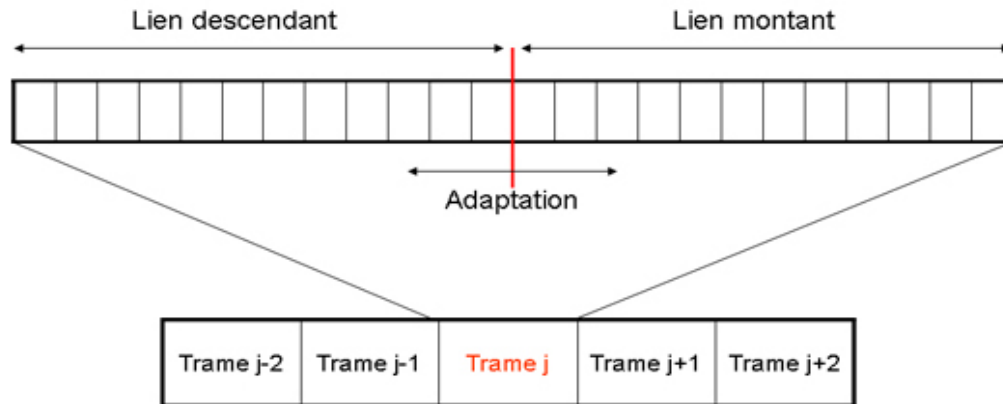


Figure II.9 : Structure d'une trame TDD.

II.4.3 La trame WiMAX :

La trame se décompose en trois parties (figure II.10). La première partie correspond à l'en-tête de la trame donnant les informations principales sur le transfert des informations. Le *Payload* correspond aux données transportées par la trame. Enfin, le CRC. Celui-ci est facultatif, il permet au récepteur de la trame de vérifier l'intégrité de la trame [25].



Figure II.10: Structure de la trame WiMAX.

II.4.3.1 Entêtes de la trame WiMAX :

Il existe deux types d'entêtes aux trames WiMAX (figure II.11). Comme on peut le voir plusieurs champs sont communs. HT nous donne le type d'en-tête, on peut ainsi définir la trame comme incrémentale ou agrégée. EC informe sur l'encryptions de la trame, si le champ est nul alors la trame n'est pas encryptée. RSV définit une réservation. LEN donne la longueur du paquet en comprenant l'en-tête et le CRC s'il est présent. EKS est l'index de la clé d'encryptage.

HT	EC	TYPE	RSV	CI	EKS	RSV	LEN	CID	HCS
1	1	6	1	1	2	1	11	16	8

Entête Type 1

HT	EC	TYPE	BR	CID	HCS
1	1	6	19	16	8

Entête Type 2

HT : Header Type = 1

EC : Encryption Control = 0

RSV : Reserved = 0 ou 1

CI : CRC Indicator = 0 ou 1

EKS : Encryption Key Sequence

LEN : Length (entête + Payload + CRC)

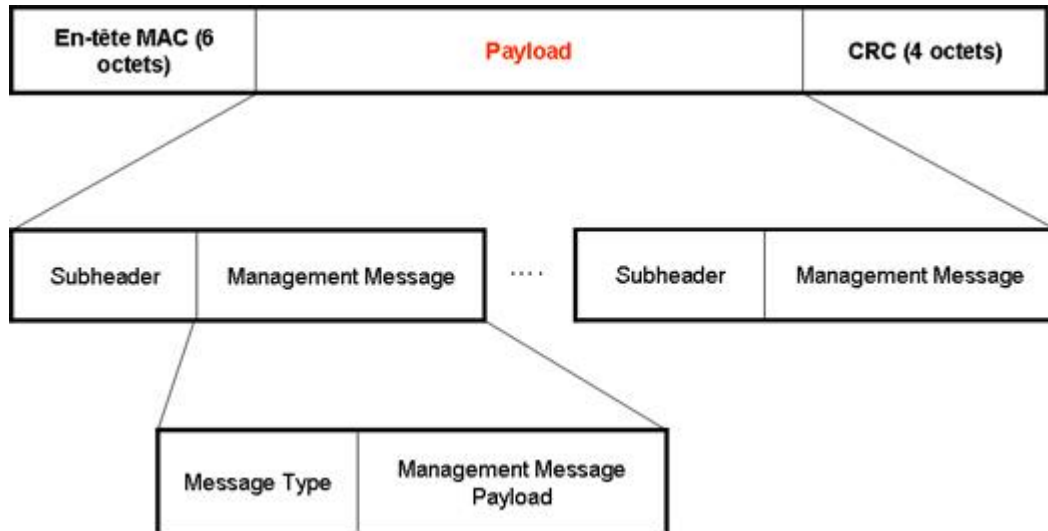
CID : Connection Identifier

HSC : Header Check Sequence

BR : Bandwidth Request

Figure II.11 : Les entêtes de la trame WiMAX.**II.4.3.2 Le Payload :**

Le Payload est la partie où les données sont transportées, le Payload constitue la partie centrale de la trame WiMAX (figure II.12) [25].

**Figure II.12** : Construction du Payload de la trame WiMAX.

Le Payload se s'organise en différentes parties contenant chacune un entête et un message de management. Le message de management se compose de deux parties : le type de message et les données.

II.5 La couche MAC :

La couche Mac du WiMAX est composée en trois sous-couches : la sous-couche convergence, la sous-couche commune et la sous-couche sécurité [29] :

- **Service-Specific Convergence Sublayer (1^{ère} sous couche MAC):** Joue le rôle d'interface avec les couches supérieures ou bien avec les systèmes externes. Elle a entre autre la charge de classer les paquets selon leur provenance et leur destination afin de les répartir sur la bonne connexion MAC.
- **Common Part Sublayer (2^{ème} sous couche MAC):** Contient les fonctions clés de la couche MAC. Elle détermine de quelle manière le médium va être partagé. C'est le cœur de la couche MAC à savoir qu'elle s'occupe de l'allocation de ressource, de l'établissement et de la maintenance des connexions, etc...
- **Sous couche de protection (3^{ème} sous couche MAC) :** Contient les informations d'authentification et de cryptage. Elle s'occupe aussi du cryptage des données, de l'échange des clefs, etc...

II.5.1 Allocation de la bande passante :

Dans la liaison descendante, toutes les décisions relatives à l'attribution de la largeur de bande à divers MS sont prises par la BS sans l'implication du MS sur la base du CID (*Connection Identifier*). Ces CID sont des adresses de 16 bits utilisées pour faire la distinction entre plusieurs canaux UL (connexions) associées au même canal DL. Les stations mobiles ou stations d'abonnement, SS, vérifient les CID dans les PDU_s (*Protocol Data Unite*) reçues et ne conservent que les PDU_s qui leur sont adressées. Comme mentionné précédemment, les recours PHY alloués aux PDU la transmission de chaque connexion est indiqués dans les messages DL-MAP.

Dans la liaison montante, la MS demande des ressources en utilisant un sous-en-tête de demande de bande passante et une PDU MAC. Le BS alloue dédié (destiné à un seul SS) ou partagé (destiné à un groupe de SS) ressources pour les utilisateurs périodiquement qui peuvent être utilisées pour demander la bande passante. Dans WiMAX, ce processus est appelé interrogation.

II.5.2 La qualité de service :

WiMAX doit répondre à des exigences de QoS pour un large éventail de services et d'applications de données, surtout avec la liaison ou connexion rapide, les capacités asymétriques en UL et DL, les mécanismes flexibles d'allocation de ressources [30].

Dans la couche MAC, la QoS est fournie par l'intermédiaire des flots de service comme illustré dans la figure suivante :

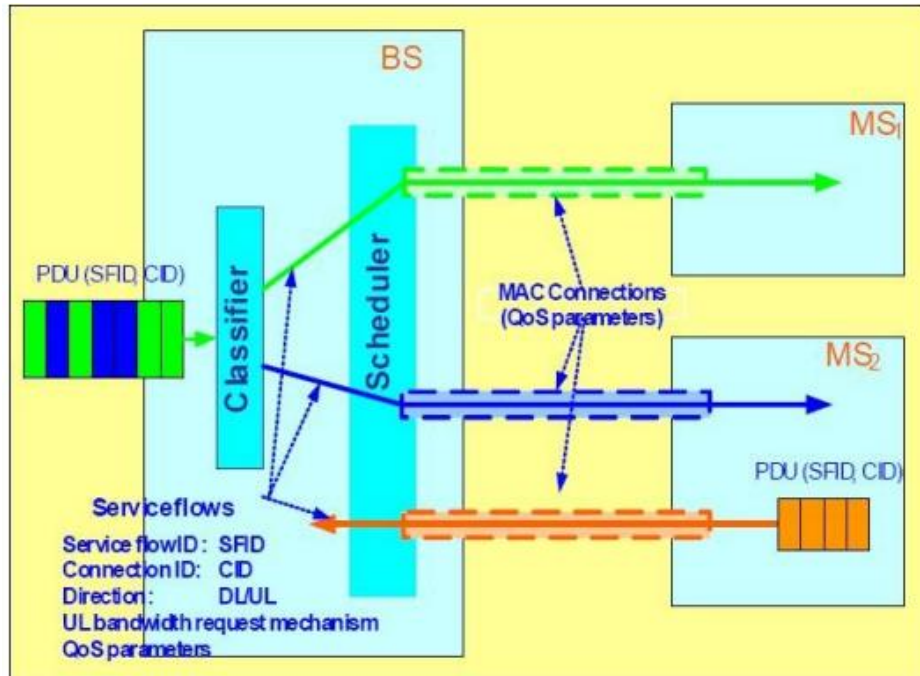


Figure II.13 : Qualité de services(QoS) dans WiMAX Mobile.

Avant de fournir un certain type de service de données, la station de base et le terminal de l'utilisateur établissent d'abord un lien logique unidirectionnel entre les *peer* MAC nommé connexion. Ensuite, l'*outbound* MAC associe des paquets traversant l'interface MAC dans un flot de service afin d'être délivré à travers la connexion.

Les paramètres de QoS associés avec le flot de service définissent l'ordonnancement de la transmission à l'interface radio. La couche MAC est orientée connexion. En fait, on a une QoS par connexion établie. Chaque connexion est affectée aux flots de services et la bande passante est négociée par l'intermédiaire de la signalisation.

Les paramètres du flux de service peuvent être gérés dynamiquement par des messages MAC à Adapter à la demande dynamique du service. Le mécanisme de QoS s'applique en UL et en DL Pour fournir une QoS améliorée dans les deux directions.

On distingue plusieurs classes de service différant selon le type de données supportées et donc En fonction des exigences de l'application. Le tableau suivant présente les classes de service en Spécifiant leurs paramètres respectifs :

QoS Category	Applications	QoS Specifications
UGS Unsolicited Grant Service	VoIP	• Maximum Sustained Rate • Maximum Latency Tolerance • Jitter Tolerance
rtPS Real-Time Polling Service	Streaming Audio or Video	• Minimum Reserved Rate • Maximum Sustained Rate • Maximum Latency Tolerance • Traffic Priority
ErtPS Extended Real-Time Polling Service	Voice with Activity Detection (VoIP)	• Minimum Reserved Rate • Maximum Sustained Rate • Maximum Latency Tolerance • Jitter Tolerance • Traffic Priority
nrtPS Non-Real-Time Polling Service	File Transfer Protocol (FTP)	• Minimum Reserved Rate • Maximum Sustained Rate • Traffic Priority
BE Best-Effort Service	Data Transfer, Web Browsing, etc.	• Maximum Sustained Rate • Traffic Priority

Tableau II.1 : Classe de QoS et application.

II.5.3 La gestion de la mobilité :

Le *handover* et la vie de la batterie sont deux problèmes très important dans le monde du mobile. Le WiMAX mobile supporte le *Sleep* mode et l'*Idle* mode pour assurer un bon fonctionnement du terminal mobile. De plus, cette version du WiMAX supporte le *handover* d'une façon transparent vis à vis de l'utilisateur et cela en basculant d'une station de base à une autre sans avoir de coupure au niveau de la communication [31].

II.5.3.1 Contrôle de puissance :

La gestion des ressources radio est nécessaire pour remédier à l'effet du bruit du canal afin d'aboutir à une bonne qualité de signal, ainsi qu'à un débit élevé, tout en économisant la puissance des stations mobiles le plus possible. Le WiMAX mobile supporte deux modes pour un contrôle efficace de la puissance, le mode "*sleep*" et le mode "*idle*" [32].

- a) **Le mode *Sleep*** : est un état au cours duquel le MS (*Mobile Station*) mène des périodes, pré négociées, d'absence par rapport à l'interface air de la station de base. Ces périodes sont caractérisées par l'indisponibilité du MS en point de vue trafic ascendant ou descendant. Ce mode vise à économiser la puissance au niveau du MS ainsi que les ressources au niveau de la BS (*Base Station*). Aussi, le mode « *sleep* » fournit une flexibilité pour les MS, en les

permettant de parcourir d'autres stations de base pour rassembler de l'information afin d'assurer le *Handover*.

- b) Le **mode idle** : fournit un mécanisme de disponibilité périodique pour le trafic "Downlink" en diffusion, sans que le MS soit inscrite au niveau d'une station de base spécifique.

II.5.3.2 Techniques de Handover :

Trois méthodes de *handover* sont supportées par le standard 802.16e, à savoir : le *Hard handoff* (HHO), le *Fast Base Station Switching* (FBSS) et le *Macro Diversity Handover* (MDHO). De ceux-ci, le HHO est obligatoire alors que FBSS et MDHO sont deux modes optionnels.

Le WIMAX forum a développé plusieurs techniques pour l'amélioration du HHO au niveau du standard 802.16e. Ces améliorations ont été développées dans le but de garder un délai *handover* inférieur à 50 millisecondes.

Quand il s'agit d'un FBSS, la station mobile (MS) et la station de base (BS) maintiennent une liste des BSs impliquées dans le FBSS avec le MS. Cet ensemble est appelé un Ensemble Actif (ou Active Set). Le MS suit de près les stations de bases incluses dans le « Active Set ». Le BS avec lequel le MS s'échange les données (en UL et DL) s'appelle un BS relais, ainsi le MS communique seulement avec le BS relais de l'Active Set.

La transition d'un BS relais à un autre se fait sans aucune invocation de messages de signalisation d'un HO explicite. Un FBSS est déclenché par une décision d'un MS d'échanger du trafic avec un BS relais qui peut changer à le sein de l'Active Set. Le MS commence d'abord par balayer les BS voisines et choisit celles qui sont susceptibles d'être incluses dans le Active Set, puis signale les BSs sélectionnées, et la procédure de mise à jour du Active Set est exécutée par le MS et les BSs. Une exigence importante du FBSS c'est que les données sont transmises simultanément à tous les membres d'un Active Set qui sont capables de servir le MS.

Lorsqu'il s'agit d'un MDHO, le BS maintient un Active Set contenant les BSs Impliquées avec le MS. Parmi les BS de l'Active Set, une station de base est choisie comme un BS relais. Lorsqu'il s'agit d'un MDHO, le MS communique avec toutes les stations de bases dans l'Active Set. Un MDHO est déclenché quand un MS décide de transmettre ou recevoir des messages de trafic et de la part de plusieurs stations de bases dans le même intervalle de temps [33].

II.6 Débit et couverture :

II.6.1 Cell Range :

La relation suivante s'applique à toutes les lignes de transmission, y compris les canaux sans fil.

$$P_r = P_t + G_t - PL + G_r \quad (II.1)$$

Où :

P_r est la puissance minimale reçue dans le récepteur.

P_t est la puissance transmise.

G_t est le gain de l'émetteur.

G_r est le gain du récepteur.

PL est le Pathloss.

La sensibilité ou la puissance minimale reçue peut être calculée en utilisant la formule ci-dessous :

$$P_{r,min} = -114 + SNR_{RX} - 10 \log R + 10 \log\left(\frac{F_s N_{used}}{N_{FFT}}\right) + ImpLoss + NF \quad (II.2)$$

Comme on peut le voir $P_{r,min}$ dépend du récepteur SNR , SNR_{RX} qui est défini dans la norme en fonction des différents niveaux de modulation et des taux de codage des canaux. $ImpLoss$ est la perte d'implantation, qui comprend des effets de récepteur non idéaux tels que des erreurs d'estimation de canal, les erreurs de suivi, les erreurs de quantification et le bruit de phase. La valeur supposée est de 5 dB NF est le facteur de bruit du récepteur, référencé au port d'antenne. La valeur supposée est de 8 dB P_t , G_t , G_r sont des valeurs de productions spécifiques introduites auprès des fabricants.

Le terme *PathLoss* (PL) ici, généralement, implique tous les différents types de pertes dans l'émetteur et le récepteur, y compris les pertes à grande échelle et également l'impact de la décoloration et pas seulement la perte causée par la distance. Cependant sur de courtes distances et par simplicité, en Free La modélisation spatiale des obstructions entre l'émetteur et le récepteur est négligée.

$$PL(d) = 32.44 + 20 \log(f) + 20 \log(d) \quad (II.3)$$

La relation ci-dessus pour le calcul de la perte de trajet en espace libre est une fonction dépendante de d (plage de cellules). Cela implique que, en obtenant la puissance reçue minimale à partir de l'équation II.2, la perte de chemin maximale peut être calculée à l'aide de l'équation II.1. Enfin, la valeur maximale de la plage de cellules (d), qui introduit notre rayon de couverture peut être calculé en utilisant l'équation II.3, où le paramètre f représente la fréquence porteuse utilisée.

Plutôt que le modèle d'espace libre, il existe de nombreuses relations bien connues pour calculer la perte de chemin maximale appelée modèles de propagation. D'autres paramètres sont définis dans ces modèles pour tenir compte des effets environnementaux dans nos calculs. Ces paramètres se divisent l'environnement étudié dans les zones urbaines, suburbaines et rurales.

D'autres coefficients sont présents dans les différentes méthodes de calcul des pertes de charge pour s'adapter au mieux aux conditions tels que: la hauteur d'antenne moyenne des stations mobiles et de base, le type des terrains dans chaque zone, la fréquence et les facteurs de correction des évanouissements [33], etc.

Voici Quelques exemples de modèles de propagation : COST-231-Hata ou Walfisch-Ikegami, modèle SUI et Multihop Modèle de perte de chemin. Dans le dernier suivant, ceux qui sont plus pertinents pour les applications WiMAX seront examinés.

II.6.2 Modulation et Codage Adaptatifs (MCA) :

Comparaison des relations l'équation II.1 et l'équation II.2 pour le débit de données et la sensibilité calcul, respectivement. On peut extrapoler la relation entre le débit de données maximal disponible et le rayon de recouvrement. Depuis $P_{r,min}$ est directement proportionnel à la fréquence d'échantillonnage, F_s et donc à la bande passante, un BW plus élevé entraînera une durée de symbole de modulation moindre et donc un débit de données plus élevé. En revanche, avoir un $P_{r,min}$ plus élevé, implique moins de valeur PL et en conséquence une plage cellulaire plus courte.

Dans l'ensemble, bénéficier d'une bande passante plus élevée fournira un débit de données supérieur au coût d'un rayon de couverture plus court. Cet axiome est l'idée de base du Technique AMC utilisée dans WIMAX pour fournir le débit maximal pour chaque utilisateur communiquant sur le réseau. Pour ce faire, différents niveaux de modulation utilisant différents des taux de codage sont utilisés en fonction de la demande du client et de sa distance par rapport à la station de base.

Un défi clé dans AMC est de contrôler efficacement trois quantités à la fois: la puissance de transmission, le taux de transmission (constellation) et le taux de codage. Le niveau de modulation approprié pour chaque SS est choisi par le BTS sur la base du CQICH reçu qui transporte le retour d'état $SNIR$ du canal. Technologie de modulation et de codage adaptatifs augmente considérablement la capacité globale du système [34].

II.7 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté le WiMAX mobile du point de vue technique. En effet, ce standard qui est une technologie de communication numérique sans fil d'accès au réseau métropolitain, présente de nombreux avantages tels que, son accessibilité longue distance, son très haut débit, son faible coût et sa variété d'utilisation. En effet, nous avons présenté les couches protocolaires et les différentes techniques de multiplexage et de modulation de la norme IEEE 802.16 e. Le chapitre suivant sera consacré à l'étude théorique pour l'estimation de la capacité et la plage de cellules pour les utilisateurs multi-traffic dans le WiMAX mobile.

Chapitre III :

Analyse de la capacité et la portée de cellule du WiMAX mobile

III.1 Introduction :

Comme mentionné dans le chapitre précédent, la norme IEEE 802.16e-2005 pour le WiMAX Mobile, est un ensemble de différentes normes principalement axées sur les applications des couches physique (PHY) et MAC, dans le but de fournir l'interopérabilité entre les différentes spécifications du système. Ainsi, une grande flexibilité est considérée dans chaque application. De plus, ceux qui sont liés à la fourniture d'accès tels que l'allocation des ressources et le processus de planification, sont conçus de manière très flexible. Une simulation précise des performances du système est donc difficilement réalisable. De plus, l'attribution et l'ordonnancement dynamiques des canaux rendent difficile l'introduction d'une procédure pratique d'estimation de la capacité.

Dans la première partie de ce chapitre, nous essayons de présenter un algorithme pour obtenir une approximation acceptable de la capacité du WiMAX Mobile dans les directions de liaison descendante (DL) et montante (UL) sur la base de la modélisation du trafic. Certaines hypothèses de base pour la distribution de la modulation et des applications sont faites, extrapolées à partir de références authentiques et seront expliquées en détail. Pour la prise en charge de la QoS, deux paramètres (CR et OSR) sont introduits qui ont un roulement significatif dans l'allocation des ressources du système et la modélisation de la planification. La suppression des surcharges de la couche PHY et MAC est expliquée étape par étape, pour des estimations utiles de la bande passante. Dans la deuxième partie, nous étudions les modèles de propagation *SUI* et *COST-231 Hata* qui satisfont aux conditions requises. Bien qu'il existe d'autres options disponibles pour la modélisation de la propagation radio, les deux modèles susmentionnés sont largement utilisés par les planificateurs sans fil, et dans certains cas sont examinés avec des mesures du WiMAX dans le cas réel.

III.2 Distribution de modulation :

Afin d'analyser la capacité d'une station de base, la distribution de modulation de la zone de couverte doit être disponible. Selon la norme IEEE-802.16e-2005 et comme décrit dans le chapitre précédent, la prise en charge des modulations QPSK, 16QAM et 64QAM est obligatoire dans la *Downlink* avec le WiMAX Mobile. Dans l'*Uplink*, la 64QAM est facultatif. Le Code Convolutionnel (CC) et le Code Turbo Convolutionnel (CTC), avec un taux de codage variable et un codage à répétition, sont pris en charge [31].

Le tableau III.1 résume les schémas de codage et de modulation pris en charge dans le profil de WiMAX Mobile. Les codes et les modulations en Uplink optionnels sont indiqués en gras.

L'utilisation de chacun des profils ci-dessous dépend de la puissance reçue en chaque point de la zone de couverture. Ainsi, en fonction de la bande passante appliquée, la norme définit une sensibilité minimale du récepteur pour chaque schéma de modulation et de codage.

		DL	UL
Modulation		QPSK, 16QAM, 64QAM	QPSK, 16QAM, 64QAM
Taux de Code	CC	1/2, 2/3, 3/4, 5/6	1/2, 2/3, 5/6
	CTC	1/2, 2/3, 3/4, 5/6	1/2, 2/3, 5/6
	Répétition	x2, x4, x6	x2, x4, x6

Tableau III.1 : Modulation et codage pris en charge dans le WiMAX Mobile.

Le tableau III.2 révèle la sensibilité minimale du récepteur S_{RX} pour différents profils possibles par rapport aux deux bandes passantes les plus utilisées (5 et 10 MHz) dans le WiMAX Mobile.

			S_{RX}	
Type de Modulation	Taux de codage	SNR	5 MHz	10MHz
QPSK	1/2	5	-92.30	-89.29
	3/4	8	-89.30	-86.29
16-QAM	1/2	10.5	-86.80	-83.79
	3/4	14	-83.30	-80.29
64-QAM	1/2	16	-81.30	-78.29
	2/3	18	-79.30	-76.29
	3/4	20	-77.30	-74.29

Tableau III.2 : Sensibilité minimale du récepteur pour différentes modulations et codages.

Selon la technologie de modulation et codage adaptatifs (AMC), le système essaie d'attribuer le niveau de modulation le plus élevé à chaque abonné pour maximiser le débit global. Plus l'abonné s'éloigne de la station de base, plus il perdra de trajet (*Pathloss*). Donc, avec une plus grande valeur de *pathloss*, la puissance reçue sera inférieure. Ainsi, la probabilité pour que l'abonné accorde la sensibilité minimale du récepteur diminue. En d'autres termes, des niveaux de modulation plus élevés seront disponibles pour les utilisateurs suffisamment proches de la station de base WiMAX, pour satisfaire la sensibilité minimale du récepteur requise pour ce niveau de modulation.

D'autre part, le calcul de *pathloss* nécessite une cartographie précise de la zone étudiée. Dans certains cas, les obstacles peuvent affaiblir le signal reçu de l'abonné en dessous du S_{RX} requis, tandis que l'utilisateur est suffisamment proche de la station de base. En outre, la distribution de modulation dépend également des capacités des abonnés qui tentent de se connecter sous la zone de couverture.

Pour dériver un algorithme analytique pour le calcul de la capacité WiMAX Mobile, dans notre travail, un exemple réaliste de la distribution de modulation est supposé qui est montré dans le tableau III.3. L'hypothèse appartient à la direction *Downlink* en milieu Urbain et est extrapolée à partir de différentes expériences de mesure introduites dans les références. La valeur k se réfère au nombre de bits par symbole dans chaque type de modulation.

Modulation Type	Coding Rate	Weight	K
BPSK	1/2	5%	1
QPSK	1/2	2.5%	2
	3/4	2.5%	2
16-QAM	1/2	5%	4
	3/4	5%	4
64-QAM	2/3	40%	6
	3/4	40%	6

Tableau III.3 : Hypothèse de distribution de modulation.

Selon la distribution de modulation du tableau III.3 et en utilisant la formule ci-dessous, la bande passante brute (*raw bandwidth*) du canal DL peut être calculée :

$$BW_{raw} = \frac{FFT_{used} \times \sum (\% P \cdot k \cdot OCR)}{T_s} \quad (III.1)$$

Où FFT_{used} est le nombre de sous-porteuses de données qui dépend de la largeur de bande du canal, de la direction et de son schéma de permutation, $\% P$ représente le pourcentage (*weight*), k le nombre de bits par symbole et OCR (*Overall Coding Rate*) le taux de codage global, respectivement, pour chaque type de modulation, comme indiqué dans le tableau III.3.

Le T_s peut être obtenu à partir de l'équation $T_s = T_g + T_b = [G + 1] T_b$ et tandis que l'équation a besoin d'une valeur G comme entrée pour la caractéristique de Préfixe Cyclique du symbole OFDM. La quantité de FFT_{used} dans chaque direction dépend du mode de permutation. Le nombre de sous-porteuses utilisables est différent dans chacune de ces deux directions pour chaque bande passante générique.

De plus, comme mentionné dans une trame TDD, la bande passante totale disponible est partagée entre les sous-trames DL et UL. Donc, pour obtenir la bande passante brute (BW_{raw}) dans chaque direction, ce partitionnement temporel doit être pris en compte. Par exemple, si le BW_{raw} en DL doit être calculée avec une largeur de canal de 5 MHz, la valeur $FFT_{used} = 360$ doit être prise en compte dans l'équation (III.1), tandis que le résultat final doit être multiplié au rapport $(\frac{DL}{Total})$ où $Total = DL + UL$. D'autre part, pour la BW_{raw} en UL, la $FFT_{used} = 272$ pour 5 MHz, tandis que le résultat de l'équation (III.1) doit être multiplié au rapport $(\frac{UL}{Total})$.

III.3 Distribution des applications :

Un élément clé de la planification du réseau consiste à estimer le nombre d'utilisateurs que chaque la station de base peut prendre en charge. Pour avoir une idée du nombre maximum d'abonnés qu'une station de base typique peut servir, les informations de différents types de trafic possibles et leurs paramètres sont essentiels. Mais, comme les réseaux WiMAX Mobile n'ont pas encore été déployés à grande échelle, les tendances du marché et les demandes des utilisateurs ne sont pas clairement déterminées. D'un autre côté, les réseaux de données de paquets d'applications mixtes sont certainement difficiles à traiter avec des méthodes statistiques pour le cas général. L'ingénierie du trafic sur la façon dont la bande passante est affectée aux diverses connexions actives est généralement laissée à la configuration de l'opérateur et n'est pas incluse dans la norme.

Dans notre travail, nous allons tenter d'examiner et d'introduire les différentes classes d'applications de WiMAX et de spécifier une approximation fiable pour les paramètres souhaités et le pourcentage d'utilisation liés à chacune des applications.

III.3.1 Flux de service :

Dans le chapitre précédent, nous avons examiné les flux de services pris en charge par WiMAX Mobile. Dans cette section, nous examinerons les paramètres présentés précédemment du point de vue de l'ingénieur. En général, les flux de services liés à chaque application peuvent être identifiés avec deux principaux types d'allocation de taux de trafic [35] :

- **Le taux de trafic réservé** : qui est le débit d'information engagé pour le flux. Le débit de données qui est inconditionnellement dédié au flux et peut donc être directement soustrait de la taille de canal utilisateur disponible pour déterminer la capacité restante.
- **Le taux de trafic soutenu** : c'est le débit d'information maximal que le système permettra. Le trafic soumis par une station de base à des tarifs limités par les tarifs minimum et maximum, est traité par la station de base sur une base non garantie

Sur la base des méthodes d'allocation de débit de trafic ci-dessus, trois flux de service peuvent être définis pour prendre en charge les applications WiMAX Mobiles. Ces services sont les suivants :

- ✓ **CBR (Constant Bit Rate Service)** : qui est le débit d'information nécessaire pour le flux. Ce service est adapté aux applications avec des contraintes de latence et de débit strictes, qui génèrent un flux constant de paquets de taille fixe tels que VoIP.
- ✓ **VBR (Variable Bit Rate Service)** : qui a un minimum réservé et un maximum soutenu des taux de trafic. Ces types de flux de services conviennent aux applications qui génèrent des charges de trafic fluctuantes, y compris des vidéos en streaming compressées.

- ✓ **BE (Best Effort Service)** : qui sont destinés aux flux de services avec les exigences de qualité de service les plus souples, en termes de latence d'accès aux canaux et sans bande passante garantie. Les services BE sont appropriés pour des applications telles que la navigation Web et les transferts de fichiers, qui peuvent tolérer des interruptions intermittentes et un débit réduit sans graves conscience. Pour des services BE, le trafic affecté est envoyé en tant que capacité excédentaire disponible, après avoir satisfait à d'autres types de services garantis.

La figure III.1 montre un schéma de la bande passante disponible qui est partitionnée en fonction des 3 flux de services ci-dessus.

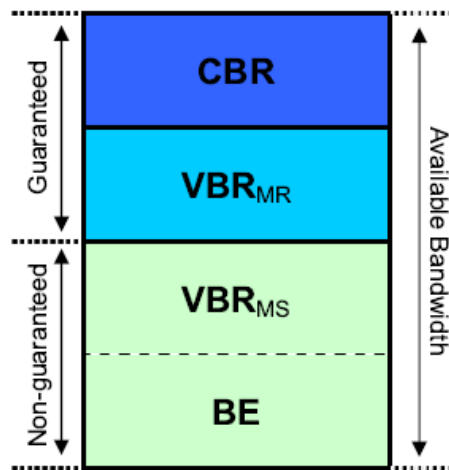


Figure III.1 : Partitionnement de la bande passante du canal.

Sur la base de la méthodologie de partitionnement de bande passante présentée, chacune des applications souhaitées (qui sera expliquée par la suite) peut être affectée au flux de service souhaité en fonction de ses paramètres de qualité de service requis. Comme mentionné précédemment, la procédure de réévaluation de cette tâche n'est pas incluse dans la norme et chaque fournisseur doit la mettre en œuvre en utilisant des processus de planification du trafic appropriés pour les attributions de recours aux canaux de temps et de fréquence.

III.3.2 Paramètres des applications :

Il existe plusieurs applications définies sur la base de la norme IEEE-802. 16e-2005. Le Forum WiMAX a divisé ces applications en cinq classes principales qui sont [36] :

1. Jeu interactif multi-joueurs
2. VoIP et Vidéo conférence
3. Médias en streaming
4. Navigation sur le Web et messagerie instantanée
5. Téléchargement de contenu multimédia.

Pour répondre aux spécifications de QoS requises de chaque application, un certain nombre de paramètres importants doivent être respectés. Ces paramètres sont : le taux d'erreur binaire, la gigue, la latence et le débit minimal. La liste ci-dessus est triée dans un ordre décroissant de sensibilité au retard.

Selon les types de services étudiés, le premier groupe d'application peut être classé dans les services VBR. Puisque le but de notre travail est d'estimer la capacité maximale d'une station de base typique, nous allons nous concentrer sur le débit de données minimal réservé de chaque service VBR et laisser le débit de données maximal soutenu pour les procédures de planification.

Selon le WiMAX Forum publié pour les applications de profil Mobile [31], la première classe d'application (jeux interactifs) a besoin d'un débit de données réservé minimum de 50 kbps pour chaque utilisateur. La deuxième classe appartient au type de service CBR avec le débit de données réservé moyen de 32 kbps pour chaque utilisateur. Le groupe d'applications Médias en Streaming peut être classé dans les services VBR avec un débit de données réservé de 64 kbps.

Les deux dernières classes d'application peuvent être considérées comme un type de service BE. Le groupe d'applications de navigation Web peut se voir attribuer le débit de données nominal de l'utilisateur, et la classe FTP est prise en charge avec la capacité restante attribuée à chaque abonné qui est disponible, après avoir satisfait à d'autres types de services garantis [36].

Cependant, l'autre facteur important pour l'estimation de la capacité d'une station de base typique est les demandes des utilisateurs et la tendance de chaque type d'utilisateur. Dans les sections à venir, un scénario de distribution d'applications et deux échelles importantes pour suivre les tendances du marché sont présentées.

III.3.3 Contrôle du trafic et contrôle de la qualité de service :

Le dimensionnement d'un réseau WiMAX doit tenir compte de la demande de trafic des utilisateurs et des applications qu'il utilise, afin que la densité des stations de base et le dimensionnement du réseau de base puissent répondre à la demande. Une autre tâche importante dans la fourniture de services consiste à prendre en charge les paramètres de QoS de chaque connexion sur la bande passante demandée. Dans notre calcul, nous bénéficions de deux mesures OSR et CR afin d'appliquer le contrôle de la QoS sur le trafic attendu [37].

III.3.3.1 Contention Ratio (CR) :

A mesure que la clientèle augmente, il doit y avoir une mesure de la simultanéité des utilisateurs demandant un débit binaire aux stations de base, car la plupart des utilisateurs ne demanderont pas de données en même temps. En termes simples, cela signifie que la demande de pointe absolue sur les ressources partagées se produit rarement. Cette simultanéité d'utilisateur est définie par un paramètre que nous appelons *Contention Ratio* (taux de contention). D'un autre

côté, de nombreux abonnés connectés demandent des données dont les paquets peuvent être livrés en supposant une latence ou une gigue (moins prioritaire).

Selon l'algorithme procédé dans notre mémoire, deux taux de contention (CR) sont définis pour la subdivision non-garantie de la bande passante. Les valeurs typiques pour les taux de contention peuvent être d'environ 30 pour les utilisateurs résidentiels (moins prioritaire) et jusqu'à 10 pour les utilisateurs professionnels (priorité et débit plus élevés). Dans ce cas, si des abonnés de *classe Residential* et de *classe Business* ont souscrit un service BE de la liaison descendante, respectivement, aux débits de 512 kbps et 1 Mbps, les débits de données réels qui doivent être pris en compte dans les calculs de capacité totale du système seront, respectivement $512/30 = 17$ kbps et $1000/10 = 100$ kbps. C'est alors que le débit de données des services à bande passante garantie (CBR, VBR_{MR}) restera intact. La figure III.2 illustre la distribution mondiale de deux différentes classes de service en 2007 [31].

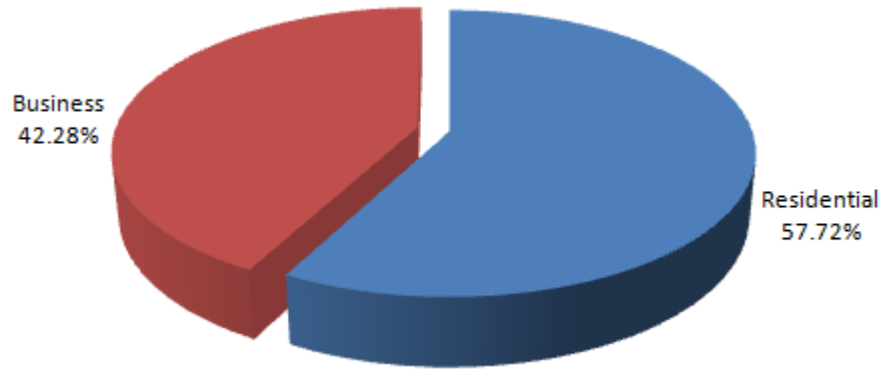


Figure III.2 : Développement global de WiMAX par type d'utilisateur final.

III.3.3.2 Over Subscription Ratio (OSR) :

L'OSR est le rapport du nombre total d'abonnés demande sur la capacité de référence de la station de base, en tenant compte de la modulation adaptative. La capacité de référence de la station de base correspond au débit binaire disponible du schéma de modulation le plus bas servi avec cette station de base. Selon le tableau III.3, le niveau de modulation le plus bas est la BPSK 1/2. La capacité de référence de notre système peut être obtenue par :

$$C_{ref} = \frac{FFT_{used}}{2T_s} \quad (III.2)$$

où la valeur de FFT_{used} et T_s dépend respectivement de la largeur de bande du canal et du facteur de préfixe cyclique. Les valeurs possibles pour ces deux paramètres sont indiquées sur le tableau III.4.

La capacité de demande totale de l'abonné se réfère à la répartition des abonnés en fonction de leur type de service. Considérer Les deux anciennes classes d'abonnés introduites précédemment. Supposons que la classe *Residential* occupe 58% des utilisateurs sous le couvert de

notre station de base, tandis que les utilisateurs en classe *Business* sont limités à 42%. Dans ce cas, la capacité totale de calcul de l'OSR serait comme suite :

$$C_{tot} = N \times (58\% \times 512 + 42\% \times 1000)$$

$$OSR = C_{tot}/C_{ref} \quad (III.3)$$

Où N fait référence au nombre d'utilisateurs connectés à la station de base.

Parameter	Fixed WiMAX OFDM-PHY	Mobile WiMAX Scalable OFDMA-PHY ^a			
FFT size	256	128	512	1,024	2,048
Number of used data subcarriers ^b	192	72	360	720	1,440
Number of pilot subcarriers	8	12	60	120	240
Number of null/guardband subcarriers	56	44	92	184	368
Cyclic prefix or guard time (T _g /T _b)	1/32, 1/16, 1/8, 1/4				
Oversampling rate (F _s /BW)	Depends on bandwidth: 7/6 for 256 OFDM, 8/7 for multiples of 1.75MHz, and 28/25 for multiples of 1.25MHz, 1.5MHz, 2MHz, or 2.75MHz.				
Channel bandwidth (MHz)	3.5	1.25	5	10	20
Subcarrier frequency spacing (kHz)	15.625	10.94			
Useful symbol time (μs)	64	91.4			
Guard time assuming 12.5% (μs)	8	11.4			
OFDM symbol duration (μs)	72	102.9			
Number of OFDM symbols in 5 ms frame	69	48.0			

Tableau III.4 : Paramètres de symbole OFDM pour WiMAX fixe et paramètres de symbole OFDMA équivalents utilisés dans WiMAX mobile en liaison descendante.

Comme mentionné précédemment, l'OSR est une mesure de la qualité de service dans la planification des cellules. Un compromis équitable entre Les OSR et les CR du modèle de trafic nous fourniront une bonne mesure de contrôle de la QoS. Ceci est dû au fait que les CR nous aident à avoir un modèle réaliste du trafic utilisé, basé sur la distribution de modulation des abonnés dans la zone de couverture, tout en l'OSR nous donne une idée de la demande de trafic que l'opérateur a engagée.

III.3.4 Distribution des applications:

Le profil mobile de la technologie WiMAX n'a pas encore été déployé à grande échelle, une étude statistique complète sur les tendances du marché n'est pas disponible. Mais il y'a certaines technologies concurrentes, telles que l'UMTS-HSPA et LTE qui est actuellement utilisé par d'anciens opérateurs mobiles GSM, qui sont destinées à offrir les mêmes applications que le WiMAX Mobile.

Par conséquent, l'étude de la demande de trafic de ces fournisseurs de services existants peut nous donner une idée de la distribution possible des applications des abonnés, lors de l'utilisation des services sans fil à large bande métropolitains [36].

Ces informations sont utilisées pour modéliser la distribution de notre d'application, basée sur les classes d'application du WiMAX Forum décrites précédemment. Le tableau III.5 résume ce modèle qui est la distribution finale qui sera prise en compte dans notre algorithme de calcul de capacité [38].

Application	Débit (Kbps)	Poids
Jeux interactifs multi-joueurs	50	25.0%
VoIP et vidéo conférence	32	10.0%
Medias en Streaming	64	12.5%
Navigation sur le Web et messagerie instantanée	nominale	32.5%
Téléchargement de contenu multimédia	BE	20.0%

Tableau III.5 : Hypothèses de distribution des applications.

Maintenant que tous les paramètres de distribution d'application sont complètement définis, la bande passante minimale du trafic exigeant peut être calculée. Cela signifie que nous nous appuyons uniquement sur le débit de données minimal requis réservé pour les applications, y compris la bande passante garantie. Ce fait nous permet de dériver la capacité maximale supportable d'un secteur générique. Dans notre calcul, la demande de trafic est classée en 2 classes d'abonnés. Les équations ci-dessous montrent les étapes de calcul de la demande de trafic pour les abonnés des classes *résidentiel* et *business* et la demande de trafic total pour le DL [38].

$$D_{reserved} = (25\% \times 50) + (10\% \times 32) + (12.5\% \times 64)$$

$$D_{shared-R} = (32.5\% \times BW_R) + 20\% \times (BW_R - (50 + 32 + 64))$$

$$D_{shared-B} = (32.5\% \times BW_B) + 20\% \times (BW_B - (50 + 32 + 64))$$

$$Traffic_R = N \times (\%N_R) \times (D_{reserved} + (\frac{D_{shared-R}}{CR_R}))$$

$$Traffic_B = N \times (\%N_B) \times (D_{reserved} + (\frac{D_{shared-B}}{CR_B}))$$

$$Traffic_{Total} = Traffic_R + Traffic_B$$

(III.4)

Les paramètres sont les suivants:

$D_{reserved}$: Débit de données minimal réservé (*reserved*) pour les applications CBR / VBR

$D_{shared-R}$: Débit de données partagé (*shared*) pour les utilisateurs de la classe *Residential* avec des applications BE

$D_{shared-B}$: Débit de données partagé pour les utilisateurs de la classe *Business* avec des applications BE

BW_R : Débit d'abonnés de la classe *Residential* basé sur l'accord de l'utilisateur

BW_B : Débit d'abonnés de la classe *Business* basé sur l'accord de l'utilisateur

N : Nombre total d'utilisateurs connectés au secteur

$\%N_R$: Pourcentage des abonnés de la classe *Residential* dans la zone étudiée

CR_R : Contention Ratio (Taux de contention) pour les abonnés de la classe *Residential*

$\%N_B$: Pourcentage des abonnés de classe *Business* dans la zone étudiée

CR_B : Contention Ratio (Taux de contention) pour les abonnés de la classe *Business*

En suivant la procédure ci-dessus, la demande de chaque direction (DL ou UL) peut être obtenue sur la base des informations d'entrée. En pratique, étant donné que les paramètres de trafic dans DL sont plus accessibles, la demande en DL est calculée et un *Rapport de Trafic* (UL / DL) est utilisé pour obtenir la demande en UL.

III.4 Estimation de la bande passante utile [39] :

Maintenant, nous avons introduit deux hypothèses principales basées sur des cas réalistes pour dériver l'algorithme de calcul de la capacité de notre secteur. Nous avons d'abord défini un modèle de distribution de modulation afin d'obtenir le débit de données brut de notre système. La deuxième hypothèse est un modèle de demande de trafic des abonnés en fonction de la distribution de leur application. L'étape suivante de notre algorithme consiste à définir le débit réel du système en détectant les frais généraux et en les supprimant pour obtenir le débit de données utile (disponible).

III.4.1 La liaison DL (*Downlink*) :

La première étape est de calculer la bande passante brute (BW_1) sur la base des paramètres du système obtenus à partir données initiaux comme expliqué dans la procédure au début de ce chapitre.

$$BW_1 = \frac{FFT_{used} \times \sum (\% P . k . OCR)}{T_s} \quad (III.5)$$

Dans la deuxième étape, nous devons trouver combien de symboles complets (N_{S-DL}) peuvent être intégré dans la sous-trame de liaison descendante (T_{DL}).

$$N_{S-DL} = \frac{T_{DL} - T_g}{T_s} \quad (III.6)$$

Où ($T_{DL} = DL/(DL + UL) \times T_f$) et ($T_f = 5 \text{ ms}$) et ($T_g = 11.4 \text{ } \mu\text{s}$) sont des valeurs fixes dans les applications de WiMAX Mobile.

Pour savoir combien de bande passante est gaspillée, nous concluons a nouveau la bande passante disponible, nous pouvons utiliser l'équation ci-dessous:

$$BW_2 = \left[\frac{N_{S-DL} \times T_s}{T_{DL}} \right] \times BW_1 \quad (\text{III.7})$$

Nous devons ensuite supprimer le symbole supplémentaire de notre bande passante DL utile, comme indiqué par la formule suivante :

$$BW_3 = (N_{S-DL} - 1) \times BW_2 \quad (\text{III.8})$$

La suite de calcul demande deux autres entrées qui sont ;

- Le nombre moyen de connexions par PDU.
- Le nombre moyen de PDUs par *Burst* (rafale) de données.

Ainsi, nous permettons essentiellement à l'algorithme d'être personnalisé en fonction des applications du système. Cela se fait en estimant le nombre de PDUs et la *Burst* dans chaque sous-trame en fonction du nombre d'utilisateurs connectés (N) comme suit :

$$N_{PDU} = \frac{N}{\text{Nombre moyen de connexions par PDU}} \quad (\text{III.9})$$

$$N_{Burst} = \frac{N_{PDU}}{\text{Nombre moyen de PDUs par Burst}} \quad (\text{III.10})$$

Il y a quelques bits d'information supplémentaires dans une unité de données de protocole MAC plutôt que la charge utile de données. L'en-tête générique de 6 octets et la somme de contrôle CRC de 4 octets sont toujours présents dans la PDU. Nous pouvons estimer de façon prudente qu'en moyenne, un sous-en-tête de 3 octets sera présent dans chaque MAC-PDU. Donc, ayant le nombre moyen de PDUs en fonction du nombre d'utilisateurs connectés, on peut estimer le sur-débit global imposé par MAC-PDUs dans la sous-trame de liaison descendante comme :

$$N_{PDU} \times (6 + 4 + 3) \text{ octets} \quad (\text{III.11})$$

Chaque *Burst* est constituée d'un ou plusieurs MAC-PDUs qui est collectés sous un même profil de *Burst* pour être transmis sur la sous-trame de liaison descendante. Comme les PDUs placés dans la *Burst* peuvent avoir des longueurs variables, la taille globale de chaque *Burst* est également variable. Ainsi, en plus des entêtes supportées par chacun PDU, il peut y avoir une erreur de décalage lors de la tentative de débordement de la taille de *Burst*. Donc, une erreur de décalage de 50% doit être considérée sur le N_{Burst} .

III.4.2 La liaison UL (*Uplink*) :

Le processus de calcul de la bande passante utile en liaison montante est similaire à la liaison descendante dans de nombreuses étapes. La principale distinction est qu'il n'y a pas de préambule initial ni de messages MAP dans la sous-trame de liaison montante, mais qu'il existe à la place une première allant et un intervalle de contention. Dans la suite, ces différences et d'autres détaillées seront expliquées.

Comme pour la liaison descendante, l'algorithme de calcul de la bande passante utile en liaison montante commence par les entrées initiales pour calculer la bande passante brute (BW_1) sur la base de l'équation (III.5). Ensuite, la suppression des entêtes de sous-trames. La même procédure que pour DL peut être utilisée ici pour supprimer les surcharges des symboles incomplets et de T_g . Il suffit de remplacer les valeurs DL correspondantes par celles de UL (T_{UL}) dans les équations (III.6) et (III.7).

Le WiMAX Mobile prend en charge les processus d'alignement (*Ranging*) initiale et périodique, en tant que procédure de couche physique de liaison montante, qui permet à la station de base et à le mobile d'effectuer une synchronisation de l'heure et de la puissance, les uns par rapport aux autres paramètres de liaison radio pendant la première entrée de réseau et périodiquement. Ainsi, les symboles de surcharge globaux présentés avec l'intervalle d'alignement pour l'UL sur une trame TDD de 5 ms peuvent être estimés par :

$$N_{Ranging} = \left(\frac{5}{2000}\right) \times \left(\frac{4}{N_{S-UL}}\right) \quad (III.12)$$

Où N_{S-UL} est le nombre total de symboles dans la sous-trame de liaison montante, qui peut être obtenu à partir de l'équation (III.6) pendant que la valeur UL est considérée.

En supposant une période de 100 ms entre chaque intervalle d'interrogation, les symboles de surcharge généraux de l'intervalle de contention pour la liaison montante sur une trame de 5 ms peuvent être estimés par l'équation (III.13).

$$N_{Contention} = (5/100) \times \frac{\left(N \times \frac{10}{MAU}\right) + 1}{N_{S-UL}} \quad (III.13)$$

Ou MAU (*Minimum Allocation Unit*) est l'unité d'allocation minimale fait référence au plus petit quantité bidimensionnel de fréquence et de temps pouvant être alloué pour l'envoi de données à travers le canal. L'équation III.14 montre comment la MAU peut être calculée en octets :

$$MAU = \left\lceil \frac{(N_c \times OCR)}{N_{Sub-CH}} \right\rceil \quad (III.13)$$

Où N_C la taille de bloc codée en octets et OCR est le taux de codage du schéma de modulation le plus robuste, ici 64-QAM, et N_{Sub-CH} est le nombre de sous-canaux basé sur la bande passante du canal du système en utilisant la permutation PUSC.

Comme décrit pour la liaison descendante, dans le calcul d'estimation de capacité de liaison montante, 2 entrées supplémentaires sont nécessaires pour calculer le nombre de MAC-PDU et de *Bursts* de données dans la sous-trame UL en utilisant les équations (III.9) et (III.10). En utilisant N_{PDU} et N_{Burst} on peut calculer les surcharges des PDUs et Bursts. Dans ce cas, les octets de surcharge généraux imposés par PDUs seraient :

$$N_{PDU} \times (6 + 4 + 3 + 2) \text{ octets.} \quad (\text{III.14})$$

Les octets de surcharge introduits à chaque *Burst* sont $MAU \times (1 + 1/2)$. Notez que ces octets supplémentaires sont envoyés en fonction du profil de leur burst correspondante. Donc ce n'est pas loin de la réalité si nous supposons que leurs paramètres de transmission sont les mêmes que notre hypothèse de distribution de modulation.

III.5 Nombre maximal d'utilisateurs par secteur :

Dans cette étape, nous avons l'intention de dériver un algorithme pour calculer le nombre maximal des utilisateurs qui peuvent être supporté simultanément par un secteur, par rapport aux informations précédemment obtenues. La figure III.3 révèle un aperçu de cette méthodologie [40].

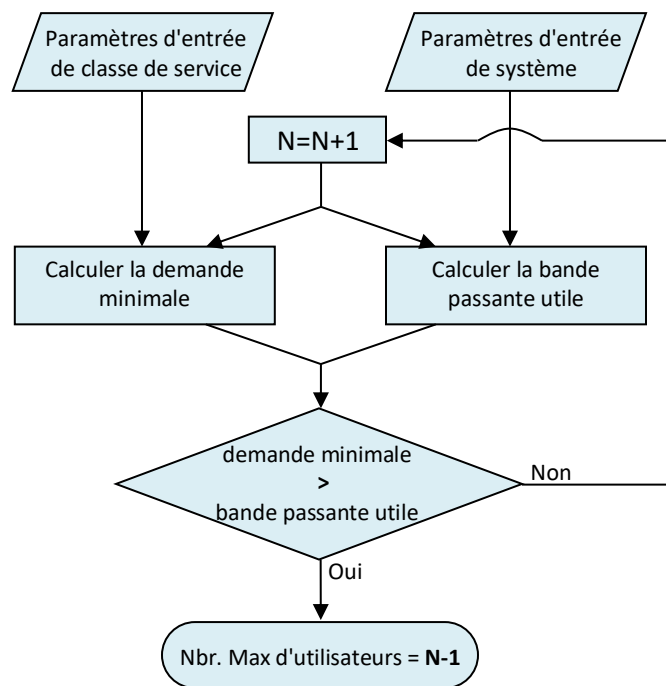


Figure III.3 : Algorithme de calcul du nombre maximum d'utilisateurs par secteur.

L'algorithme peut être implémenté dans les deux directions DL et UL, séparément. Cela fonctionne comme suit; nous commençons d'abord avec un seul utilisateur essayant de se connecter au secteur. Comme deuxième étape, sur la base des deux types d'entrée, le débit de données de demande minimale et la bande passante disponible doivent être calculés dans chaque direction. Les premières données peuvent être obtenues selon l'équation (III.4) et la seconde par les procédures de suppression des surcharges décrites précédemment.

Ces deux valeurs sont comparées pour vérifier si la charge dans DL et UL peut être desservie. S'il y a suffisamment de bande passante disponible, le nombre d'abonnés augmente de un et le processus de disponibilité des canaux est révérifié, en comparant le débit de données supplémentaire que cet utilisateur supplémentaire exigera par le surcoût qu'il impose à la bande passante utile. Chaque fois que le débit de données minimum demandé dépasse la quantité de la bande passante disponible dans chaque direction, l'algorithme s'arrête et introduit le nombre maximum d'abonnés peuvent être desservis simultanément par le secteur avec des paramètres déjà entrés.

III.6 Les modèles de propagation pour le WiMAX :

Des modèles de propagation sont utilisés pour estimer la valeur de *Path loss (PL)* ou perte de trajet, dans les communications sans fil WiMAX et pour prédire le SNR au niveau du récepteur. La valeur *PL*, est utilisée pour déterminer la couverture de la portée cellulaire de la station de base et de la station mobile. La valeur SNR est appliquée pour dériver le schéma de distribution de modulation tel que discuté précédemment.

Il existe plusieurs modèles développés pour la prédiction de la propagation de l'interface radio. Puisque ce projet de fin d'étude concerne l'estimation de la portée de cellule du WiMAX Mobile, nous nous concentrerons sur les modèles proposés pour les applications *LOS (Line-of-sight)* et *NLOS (Non- Line-of-sight)* avec des bandes de fréquences allant jusqu'à 6 GHz.

III.6.1 Le modèle SUI :

Ce modèle est basé sur la proposition de l'Université de Stanford pour l'estimation de la perte de chemin d'accès sans fil à large bande. Le développement complémentaire est réalisé selon la norme IEEE802.16d [41], sur la base des mesures AT&T dans la bande de fréquence de 1,9 GHz sur des 95 macro-cellules pour un accès fixe aux États-Unis, tandis qu'un facteur de correction de fréquence est introduit pour d'autres fréquences. Le modèle est applicable aux zones suburbaines tandis que le rayon des cellules est inférieur à 8 km et catégorise la zone à l'étude en trois terrains différents comme ci-dessous :

- **Terrain A** : accidenté avec des densités d'arbres fortes.
- **Terrain B** : Terrain principalement plat avec des densités d'arbres fortes, ou terrain accidenté avec des densités d'arbres légères.

- **Terrain C** : Terrain plat avec des densités d'arbres légères.

La formule de l'affaiblissement de propagation basée sur le modèle *SUI* est présentée dans l'équation suivante.

$$PL = A + 10\gamma \log_{10}\left(\frac{d}{d_0}\right) + \Delta_f + \Delta_h + S \quad (\text{III.15})$$

Où d (distance entre Tx et Rx) est supérieur à $d_0 = 100m$ (distance de référence).

Et

$$A = 20 \log_{10}\left(\frac{4\pi d_0}{\lambda_c}\right)$$

$$\gamma = a - bh_{BS} + \frac{c}{h_{BS}}$$

Où les valeurs a , b , c dépendent de différents terrains selon le tableau III.6.

Δ_f est le facteur de correction de fréquence, où f est la bande de fréquence de fonctionnement:

$$\Delta_f = 6 \times \log_{10}\left(\frac{f}{2000}\right)$$

Δ_h est le facteur de correction de la hauteur de l'antenne du terminal comme ci-dessous:

$$\Delta_h = -10.8 \log_{10}\left(\frac{h_r}{2000}\right) \quad \text{Pour les types de terrain A et B}$$

$$= -20 \log_{10}\left(\frac{h_r}{2000}\right) \quad \text{Pour le type de terrain C}$$

Et $S = 0.65[\log f]^2 - 1.3 \log f + a$ est log-normale de l'effet d'ombrage (*Shadowing*).

Où f est la fréquence de travail en MHz et $a = 5.2 \text{ dB}$ (urbain) ou 6.6 dB (suburbain).

Paramètre de modèle	Terrain A	Terrain B	Terrain C
A	4.6	4	3.6
b (m^{-1})	0.0075	0.0065	0.005
C (m)	12.6	17.1	20

Tableau.III.6 : Valeurs numériques pour les paramètres du modèle *SUI*.

III.6.2 Le modèle Cost-231 Hata :

Le modèle *COST-231 Hata* a été conçu comme une extension du modèle Hata-Okumura. Ce modèle est censé être utilisé dans la bande de fréquences de 1500 MHz à 2000 MHz. Il est limité

aux grandes et petites macro-cellules. Quatre paramètres sont utilisés pour estimer la perte de propagation par le modèle bien connu de Hata : la fréquence f (MHz), la distance d (km), la hauteur de la station de base h_b (m) et la hauteur de l'antenne mobile h_m (m). La formule *COST-231 Hata* est la suivante :

$$PL = 46.3 + 33.9 \log_{10}(f) - 13.82 \log_{10}(h_b) - ah_m + (44.9 - 6.55 \log_{10}(h_b)) \log_{10}(d) + C_m \quad (\text{III.16})$$

Où les paramètres C_m et ah_m sont utilisés pour spécifier les caractéristiques environnementales comme ci-dessous :

$$\begin{aligned} \text{Urban :} \quad C_m &= 3\text{dB} & ah_m &= 3.20(\log_{10}(11.75h_m))^2 - 4.97 \\ \text{Suburban/Rural :} \quad C_m &= 0\text{dB} & ah_m &= (1.1 \log_{10} f - 0.7)h_m - (1.56 \log_{10} f - 0.8) \end{aligned}$$

Il existe un certain nombre d'extensions de ce modèle empirique [42]. Chacune peut contenir un ou plusieurs paramètres supplémentaires pour améliorer la précision de ce modèle de base. Les paramètres peuvent être utilisés pour gérer les limitations des modèles ou pour différencier les applications spécifiques, telles que LOS et NLOS. Le tableau III.7 présente les limites du modèle de propagation empirique *Cost-231 Hata*.

Paramètre	Valeur
fréquences (f) Fr	1500-2000 Mhz
Hauteur de la Station de Base (h_b)	30-200 m
Hauteur mobile (h_m)	1-10 m
Distance (d)	1-20 m

Tableau III.7 : Limites du modèle *Cost-231 Hata*.

Notez que le WiMAX Forum définit des pertes supplémentaires de 8 dB pour l'effet de *Shadowing* en log-normale et de 10 dB pour la perte de pénétration dans l'une de ses études de cas d'évaluation des performances du système [31] pour le WiMAX Mobile, lors de l'utilisation du modèle suburbain Cost-231. La valeur de 5.56 dB est utilisée pour la marge Shadow, tout en ayant une probabilité de couverture de 75% au bord de la cellule et une probabilité de couverture de 90% sur toute la zone.

III.7 Comparaison des modèles de propagation :

Comme mentionné précédemment, étant donné que le WiMAX Mobile n'a pas encore été largement déployé, peu d'essais et de mesures sont disponibles. Par conséquent, pour présenter

une comparaison entre les modèles de propagation introduits, dans ce chapitre nous passons en revue l'essai qui a été fait par *BT Italie* [43] sur un accès WiMAX fixe.

L'étude de cas s'est déroulée de Juillet 2005 à Juin 2006 à Rome sur un réseau fixe fonctionnant sur 3,5 GHz de bande de fréquences avec une largeur de canal de 3,5 MHz. Plus de 200 points de mesure ont été choisis jusqu'à 2,4 km de la station de base. Un certain nombre de modèles de propagation, y compris les modèles *SUI-B* et *Cost-231 Hata*, ont été examinés pour comparer les résultats déterministes avec des résultats empiriques. Tableau III.8 illustre les résultats des tests de couverture où les calculs de probabilité ont été considérés comme ci-dessous :

$$e_k = \text{abs}(PL_{K-\text{prédit}} - PL_{K-\text{mesuré}}) \quad (\text{III.17})$$

$$\mu = \frac{1}{N} \sum_{K=1}^N e_k \quad \text{et} \quad \sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{K=1}^N (e_k - \mu)^2}$$

Model	μ	Σ
IEEE_SUI-B	50	5.7
Cost231-Hata	4.4	2.4

Tableau III.8 : Comparaison statistique des modèles de propagation.

Comme le montre le tableau, le modèle *Cost-Hata* a révélé des résultats de prédiction plus précis et a été choisi par *BT Italie* comme modèle de couverture acceptable pour les applications WiMAX.

III.8 Conclusion :

Dans ce chapitre, l'analyse de la capacité de WiMAX Mobile, fonctionnant dans des modes de permutation de sous-porteuses distribuées, est étudiée mathématiquement en fonction des résultats de simulation de la couche physique. Ces résultats de simulation de la couche physique présentent des valeurs exactes pour le nombre de meilleurs profils de *Burst*.

De plus, ce chapitre s'est concentré sur les calculs des surcharges exacts, en prenant en compte tous les paramètres de frais généraux importants dans la structure de trame de couche MAC qui affectant la capacité globale du système. Un modèle de trafic basé sur les prévisions de distribution des applications et les flux de services a été présenté. Sur la base de l'algorithme de calcul, les largeurs de bande disponibles pour les directions DL et UL ont été estimées.

Le dernier chapitre sera consacré à l'implémentation d'un algorithme complet dans un code Matlab sous forme d'un simulateur graphique. Des cas différents basés sur différents paramètres de service et de système sont étudiés et les résultats numériques et graphiques de chaque cas sont discutés.

Chapitre IV :

*Outil d'estimation de la capacité
et la portée de cellule du
WiMAX mobile*

IV.1 Introduction :

L'objectif de ce dernier chapitre est le développement d'un outil d'estimation de la capacité et de la portée de cellules pour les utilisateurs multi-traffic dans le WiMAX mobile. Le simulateur conçu devra réaliser une planification estimée, rigoureuse et réaliste, en explorant les calculs de capacité et la modélisation de la propagation et de la couverture, qui couvre les considérations globales du réseau sur une mise en œuvre à l'échelle de la ville, ce qui est considéré comme un grand domaine d'intérêt pour les chercheurs et les développeurs de logiciels.

Nous entamons ce chapitre par une présentation de la structure de notre simulateur, ainsi qu'une brève description de la plateforme logicielle développée et le fonctionnement de notre simulateur. Ensuite, les interfaces graphiques composant notre outil de calcul sont, également, présentées et commentées. Finalement, la dernière partie présente les résultats de simulation pour l'estimation de la capacité, de débit et la bande passante du système, ainsi que le de nombre maximal d'utilisateur par secteur. Enfin une étude des modèles de propagation adéquats pour l'estimation de la portée de cellule WiMAX est faite.

IV.2 La structure du simulateur WCS :

IV.2.1 Présentation du simulateur :

Dans le but de proposer un outil qui soit à la fois plus performant, moins complexe et simple d'utilisation, un simulateur avec des interfaces graphiques a été conçu. Notre simulateur est développé sous Matlab. Pour fonctionner, l'ordinateur doit obligatoirement disposer d'un logiciel Matlab. De même, l'utilisateur est informé de l'état du simulateur et de la démarche à suivre. Ces contraintes imposent une démarche rigoureuse dans la construction du programme, mais surtout, une partition de tous les événements possibles doit être mise à œuvre afin de pouvoir éviter les erreurs nuisibles.

D'autre part, la programmation de notre simulateur a nécessité l'utilisation des fonctions à chaque technique utilisée, et cela pour éviter toute utilisation des algorithmes qui ne seraient pas supportés par le standard WiMAX mobile. Ainsi, les modules traditionnels ont été gardés pour avoir un niveau de modifications acceptable et respecter le standard.

L'utilisateur de notre simulateur est invité à choisir les paramètres d'entrée pour l'estimation de la capacité, comme les paramètres de classe de service et les paramètres de système, ainsi que les paramètres de distribution de modulation et d'applications. L'estimation de la portée des cellules et de la couverture, nécessite le choix des modèles de propagation, les paramètres de terrain et de la zone de couverture.

Le résultat d'estimation de la capacité se compose du nombre maximal d'utilisateurs pouvant être pris en charge pour le secteur précédemment spécifié, et d'un certain nombre de valeurs numériques connexes jointes à un graphique de visualisation qui illustre le diagramme de tendance de la capacité et de la demande en DL et en UL. L'estimation de la planification de

la portée de cellules, regroupe les résultats de la portée de cellule (*cell-range*), le nombre de stations de base nécessaires à l'optimisation de la zone de couverture.

IV.2.2 Structure du simulateur :

Dans ce paragraphe, nous présentons la structure de notre simulateur WCS (*WiMAX Capacity Simulator*) visant à répondre à la question portant sur la pertinence d'estimation de la capacité et la collecte des connaissances nécessaires au problème de planification du WiMAX mobile. A travers les fonctions numériques constituant notre système, entièrement développés sous Matlab, notre simulateur propose un modèle de trafic pour les utilisateurs des applications mixtes, pour déterminer le nombre maximal d'abonnés pouvant être pris en charge par chaque secteur du WiMAX mobile, calculer le débit réel du système et implémenter un algorithme pour différents paramètres du système et différents cas de trafic, afin de résoudre le problème de planification du WiMAX Mobile.



Figure IV.1 : Logo du simulateur WCS.

Notre simulateur porte sur l'étude et estimation de la capacité et de la plage de cellules pour les utilisateurs multi-traffic dans le contexte des réseaux métropolitains sans fil basé sur le standard WiMAX mobile. Pour un tel système (WiMAX), deux approches différentes ont été envisagées ; L'estimation de la capacité de demande totale de l'abonné fait référence à la répartition des abonnés en fonction de leur type de service et une amélioration acceptable de la planification de cellule tout en respectant les exigences de qualité de service..

Les fonctions d'estimation de la capacité de WiMAX mobile sont implémentées dans notre simulateur par le développement d'un nouveau code sous Matlab avec une interface utilisateur graphique (GUI), permettant d'automatiser l'exécution et les traitements des données de simulation. Le code Matlab est composé des fonctions principales pour la collecte le traitement des données d'entrée, deux sous-fonctions pour les calculs utiles de la bande passante dans les directions DL et UL, une sous-fonction pour l'adaptation des modèles de propagation afin résoudre le problème de planification, ainsi que des fonctions pour délivrer et afficher les résultats de simulation. Le simulateur WCS implémente toutes les formules et les modèles analytiques présentées dans le chapitre précédent.

IV.2.3 Les interfaces utilisateur :

IV.2.3.1 Interface d'accueil :

Lorsque l'utilisateur démarre notre simulateur, il se retrouve face à une interface de bienvenue, telle que présente la figure IV.2. Cette page contient le bouton "START" pour le démarrage de notre application, ainsi qu'une zone d'information sur les développeurs de simulateur et nom de l'application.

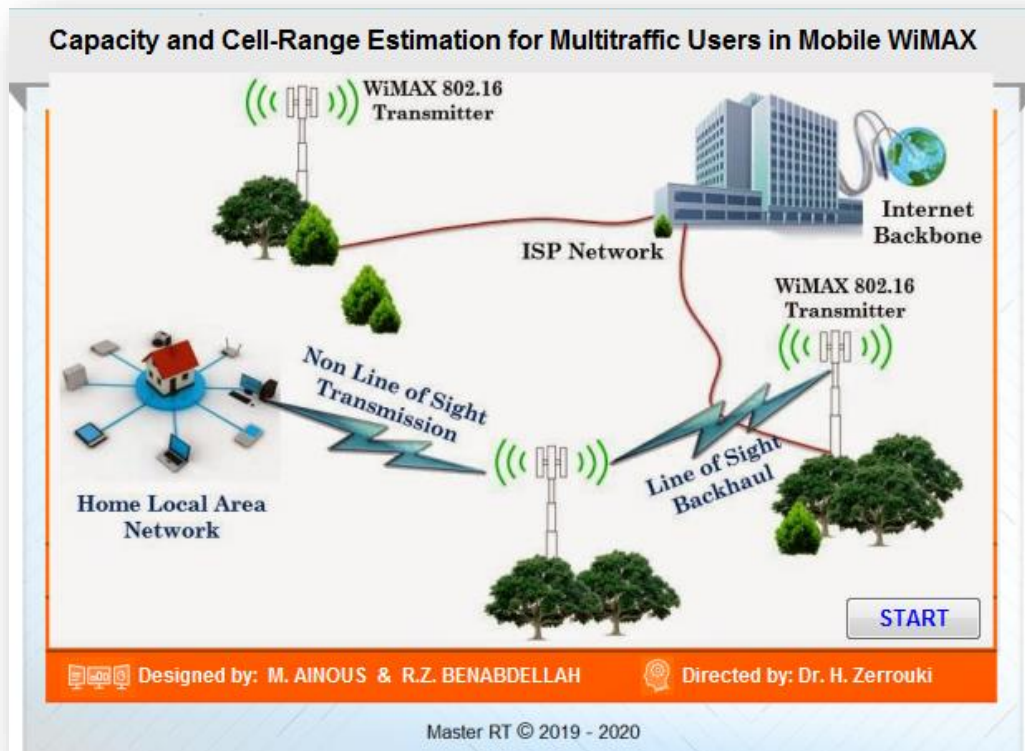


Figure IV.2 : Interface d'accueil de l'application.

IV.2.3.2 Interface "WiMAX Capacity" :

C'est la première interface qui apparaît après le lancement du bouton "START" de l'interface d'accueil. L'interface "WiMAX Capacity" présente les paramètres utilisés dans le calcul et l'estimation de la capacité.

Paramètres			Valeur
Classe de services	Abonné "Residential"	Débit de données (kbits/s)	1024
		Pourcentage (%)	60
		Taux de contention	20
	Abonné "Business"	Débit de données (kbits/s)	4096
		Pourcentage (%)	40
		Taux de contention	10
Paramètres de système		Bande passante (Mhz)	5
		Préfixe cyclique	1/16
		Rapport de sous-trame (DL)	7
		Rapport de sous-trame (UL)	2
		Taux de Trafic (DL/UL)	4
		Nbr. moy de connexion par PDU	2
		Nbr. moy de PDUs par donnée	2

Tableau IV.1 : Paramètres par défaut du simulateur WCS.

Notre simulateur fournit plusieurs sortes de résultats. Les paramètres imposés par le cahier des charges sont tous ajustables par l'utilisateur, et ce par l'intermédiaire des fenêtres

de l'interface "WiMAX Capacity" du simulateur WCS (Figure IV.3). Celle-ci a pour vocation de rendre l'utilisation du programme simple et fonctionnelle. La saisie des paramètres se fait par l'intermédiaire des champs que l'utilisateur peut à souhait modifier ou ignorer. Des valeurs par défaut, réglages courants, sont établies (Tableau IV.1).

The interface is divided into several sections for configuring the simulation:

- APPLICATION DISTRIBUTION**

APPLICATION	DATA-RATE	WEIGHT
Interactive gaming	50 kbps	25 %
VoIP and Video Conf.	32 kbps	10 %
Streaming Media	64 kbps	12.5 %
Web Browsing + Email	Nominal kbps	32.5 %
Media Content Downloading	BE kbps	20 %
- MODULATION DISTRIBUTION**

MOD-TYPE	OCR	WEIGHT	K
64-QAM	3/4	40 %	6
64-QAM	2/3	40 %	6
16-QAM	3/4	5 %	4
16-QAM	1/2	5 %	4
QPSK	3/4	2.5 %	2
QPSK	1/2	5 %	2
BPSK	3/4	2.5 %	1
- SERVICE CLASS PARAMETERS**
 - RESIDENTIAL Subscribers**

Data-Rate	1024 kbps
Percentage	60 %
Contention Ratio	20
 - BUSINESS Subscribers**

Data-Rate	4096 kbps
Percentage	40 %
Contention Ratio	10
 - Over Subscription Ratio (OSR): 65
- SYSTEM PARAMETERS**

Channel Bandwidth	5 Mhz
Cyclic Prefix Rate	1/16
DL:UL Subframe Ratio (DL)	7
DL:UL Subframe Ratio (UL)	2
DL/UL Traffic Ratio	4
Avg. Nbr Connx. per PDU	2
Avg. Nbr PDUs per Date	2

At the bottom, there is a logo for "WiMAX Capacity Simulator" and two buttons: "Return" and "Calculate".

Figure IV.3 : Interface "WiMAX Capacity" du simulateur WCS.

IV.2.3.3 Interface "Capacity Result" :

Après avoir choisi les paramètres dans les différentes fenêtres, le lancement de l'exécution de la simulation se fait par un clique sur le bouton "Calculate". Un exemple de simulation est représenté dans la figure IV.4, qui montre les résultats d'estimation de la capacité du système WiMAX mobile.

Les résultats numériques sont groupés dans un seul panneau joints à un graphique de visualisation qui illustre le diagramme de l'évolution de la capacité et de la demande en DL et en UL. Cette interface prise en charge l'afficher des résultats de simulation, à savoir le nombre maximal d'utilisateurs supporté par secteur, le taux de surcharge moyen (OSR) et pour la totalité des abonnés simultanés dans le sens montant (UP) et descendant (DL), le débit maximal (pic), la demande minimale et la bande passante disponible (Débit total).

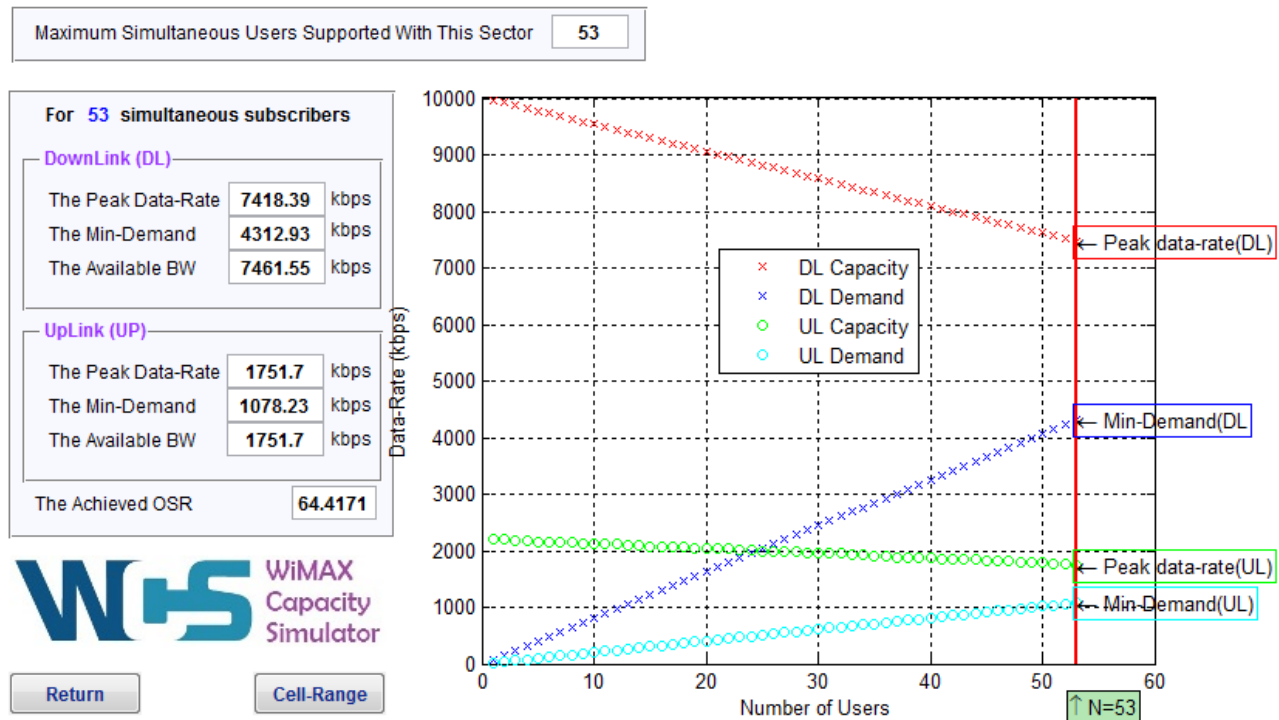


Figure IV.4 : Interface résultat de calcul de la capacité du WiMAX Mobile.

Le simulateur WCS contient un programme défensif, contre un mauvais choix des paramètres. Si vous avez mis des mauvais choix, le simulateur vous affiche une fenêtre "Error Dialog" et vous indique une erreur. La figure IV.5 représente quelques fenêtres de dialogues d'erreurs.

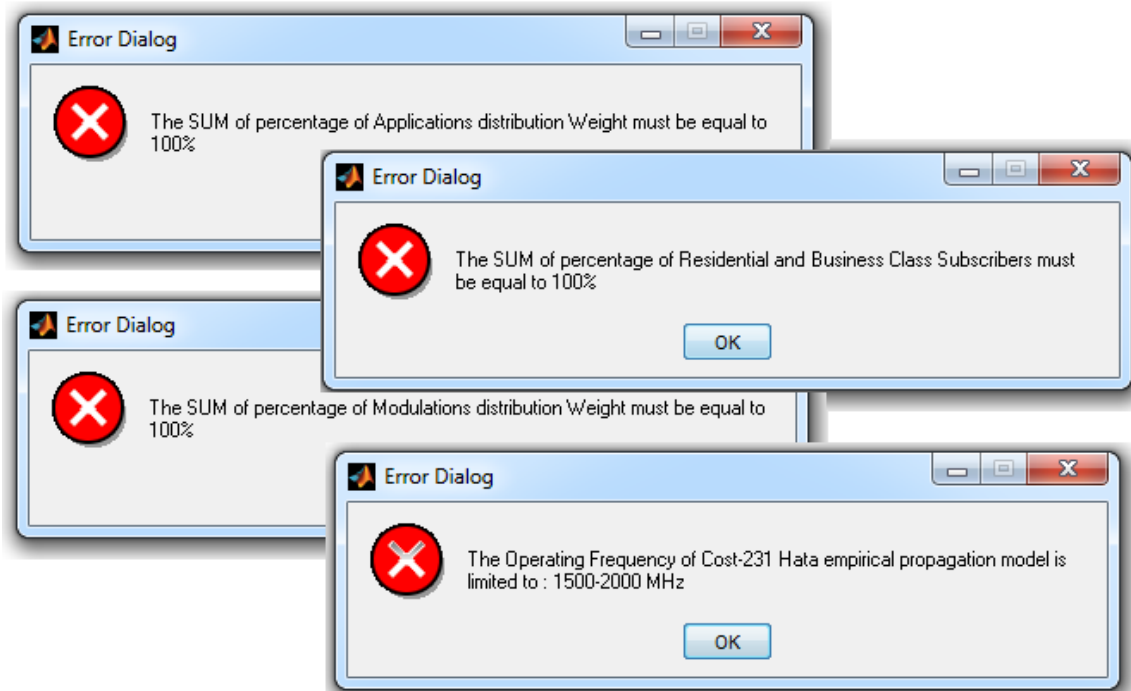


Figure IV.5 : Quelques fenêtres "Error Dialog" du programme défensif.

IV.2.3.4 Interface "Cell Range" :

L'interface "Cell Range" a pour but de résoudre le problème de planification du WiMAX Mobile. Dans cette fenêtre, l'utilisateur doit choisir le modèle de propagation le plus adéquat (SUI ou COST-231 Hata) et il doit encore paramétrer le modèle sélectionné en choisissant le degré d'urbanisation de la zone et le type de terrain, les hauteurs respectives du terminal mobile et la station de base, ainsi que la fréquence de travail, les paramètres de la zone à couvrir et le type d'antennes.

Pour chaque modèle de propagation, notre simulateur calcule numériquement la portée de la cellule "Cell-Range", la surface de couverture d'une station de base, la distance qui sépare chaque deux stations de base et en fin le nombre de stations de base nécessaire pour meilleure couverture de la zone de déploiement. L'interface "Cell-Range" schématise aussi le format de la cellule WiMAX en indiquant les valeurs estimées de la portée et la couverture de cellule.

La figure suivante représente l'interface calculatrice de la portée "Cell Range" et le nombre de stations de base dans le cas du modèle de propagation SUI.

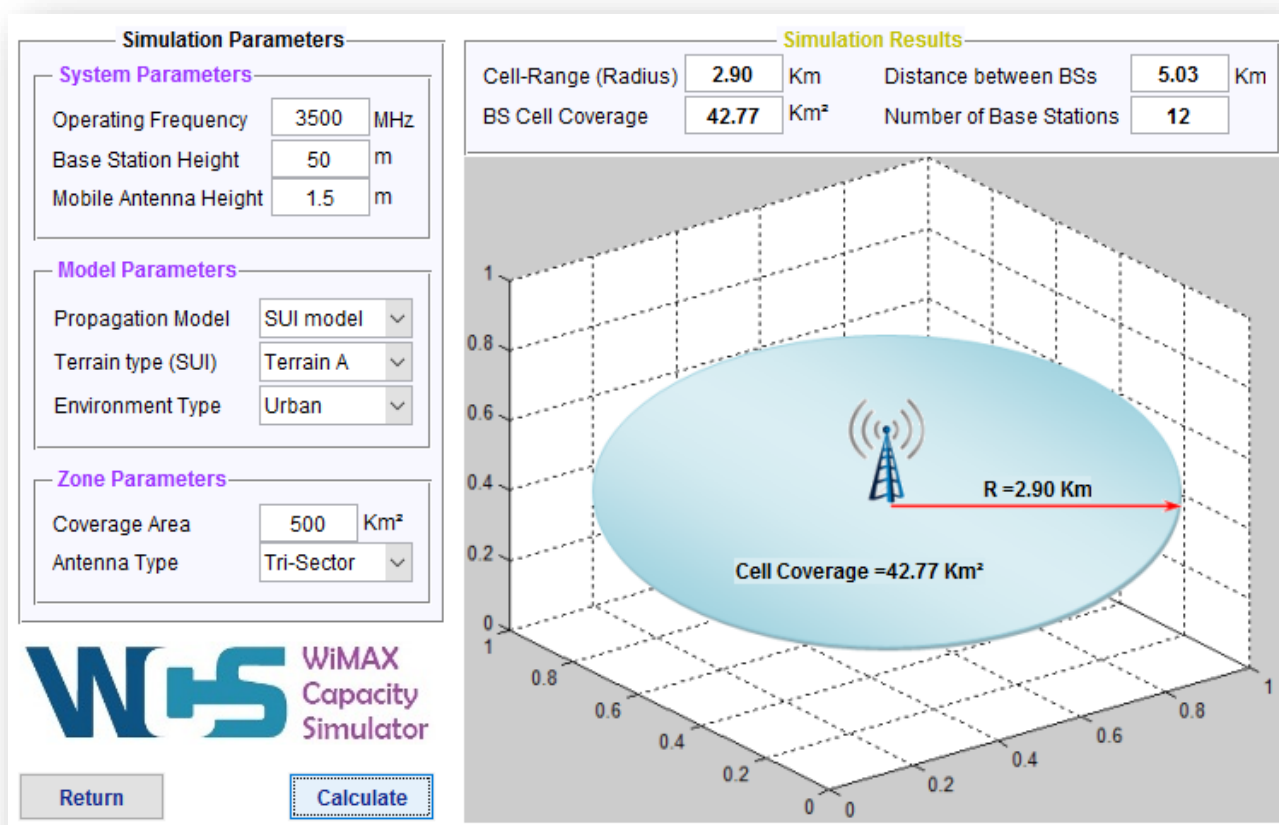


Figure IV.6 : Interface "Cell Range" du simulateur WCS.

IV.3 Simulation et résultats :

Dans les sections suivantes, on exposera les résultats de simulations, ainsi que leurs discussions. Une grande diversité dans le choix des valeurs des paramètres de calcul à utiliser, dépend des besoins des utilisateurs et d'opérateurs de réseau.

IV.3.1 Estimation de la capacité :

Dans cette section, plusieurs études de cas sur la base de différents paramètres de système et de services de trafic seront étudiées. On essayera de choisir les valeurs d'entrée en fonction des situations pratiques.

Les études de cas seront organisées dans un ordre pour arriver à une conclusion optimisée. Le graphique de sortie est également illustré où les résultats importants seront encadrés avec différentes couleurs et expliqués plus en détail. Aussi une étude comparative sera effectuée.

IV.3.1.1 Etude de cas 1 (cas initial) :

Dans cette étude de cas, on laisse toutes les valeurs des paramètres par défaut de simulateur, comme montre la figure de la capture suivante.

The screenshot shows the 'WiMAX Capacity' simulator window. It contains four main sections for parameter configuration:

- APPLICATION DISTRIBUTION:** A table listing applications and their weights.

APPLICATION	DATA-RATE	WEIGHT
Interactive gaming	50 kbps	25 %
VoIP and Video Conf.	32 kbps	10 %
Streaming Media	64 kbps	12.5 %
Web Browsing + Email	Nominal kbps	32.5 %
Media Content Downloading	BE kbps	20 %
- MODULATION DISTRIBUTION:** A table listing modulation types and their weights.

MOD-TYPE	OCR	WEIGHT	K
64-QAM	3/4	40 %	6
64-QAM	2/3	40 %	6
16-QAM	3/4	5 %	4
16-QAM	1/2	5 %	4
QPSK	3/4	2.5 %	2
QPSK	1/2	5 %	2
BPSK	3/4	2.5 %	1
- SERVICE CLASS PARAMETERS:**
 - RESIDENTIAL Subscribers:** Data-Rate: 1024 kbps, Percentage: 60 %, Contention Ratio: 20.
 - BUSINESS Subscribers:** Data-Rate: 4096 kbps, Percentage: 40 %, Contention Ratio: 10.
 - Over Subscription Ratio (OSR):** 65.
- SYSTEM PARAMETERS:**
 - Channel Bandwidth: 5 Mhz
 - Cyclic Prefix Rate: 1/16
 - DL:UL Subframe Ratio (DL): 7
 - DL:UL Subframe Ratio (UL): 2
 - DL/UL Traffic Ratio: 4
 - Avg. Nbr Connx. per PDU: 2
 - Avg. Nbr PDUs per Date: 2

At the bottom, there is a 'WiMAX Capacity Simulator' logo and two buttons: 'Return' and 'Calculate'.

Figure IV.7 : Interface calculatrice de la capacité, paramètres d'étude de cas 1.

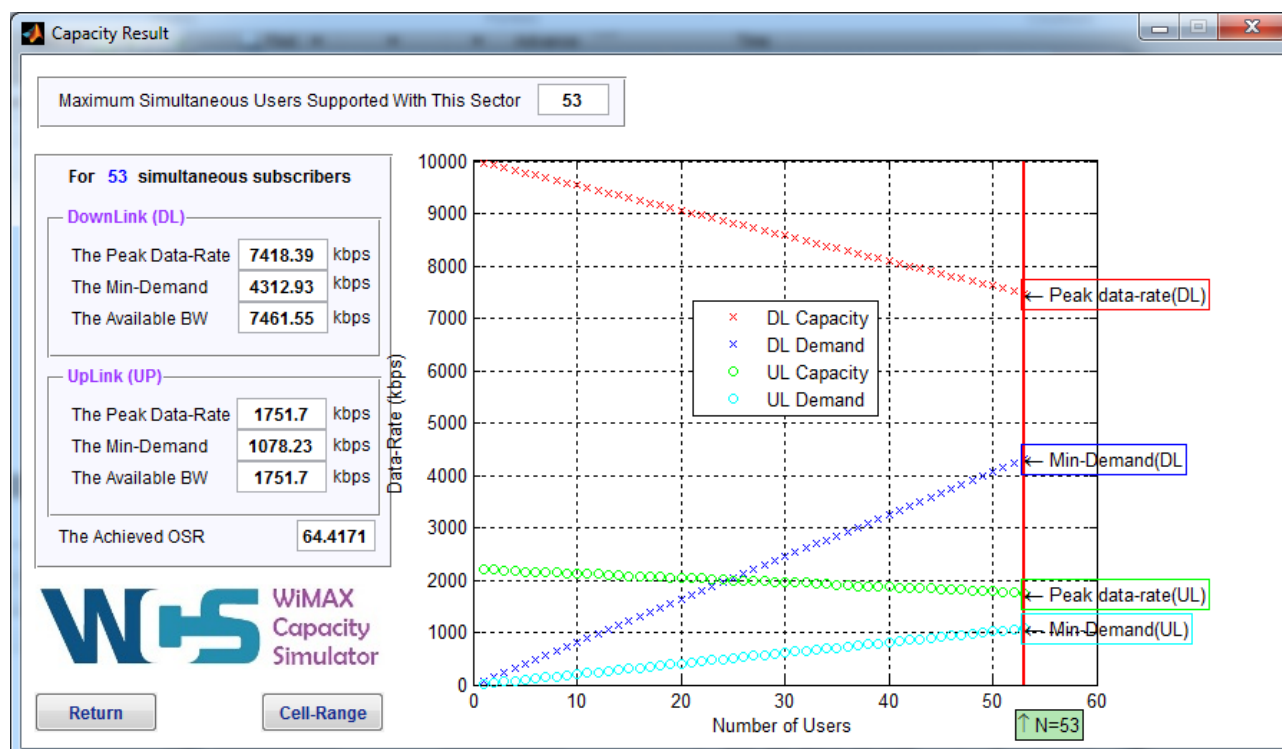


Figure IV.8 : Résultats d'estimation de la capacité (étude de cas 1).

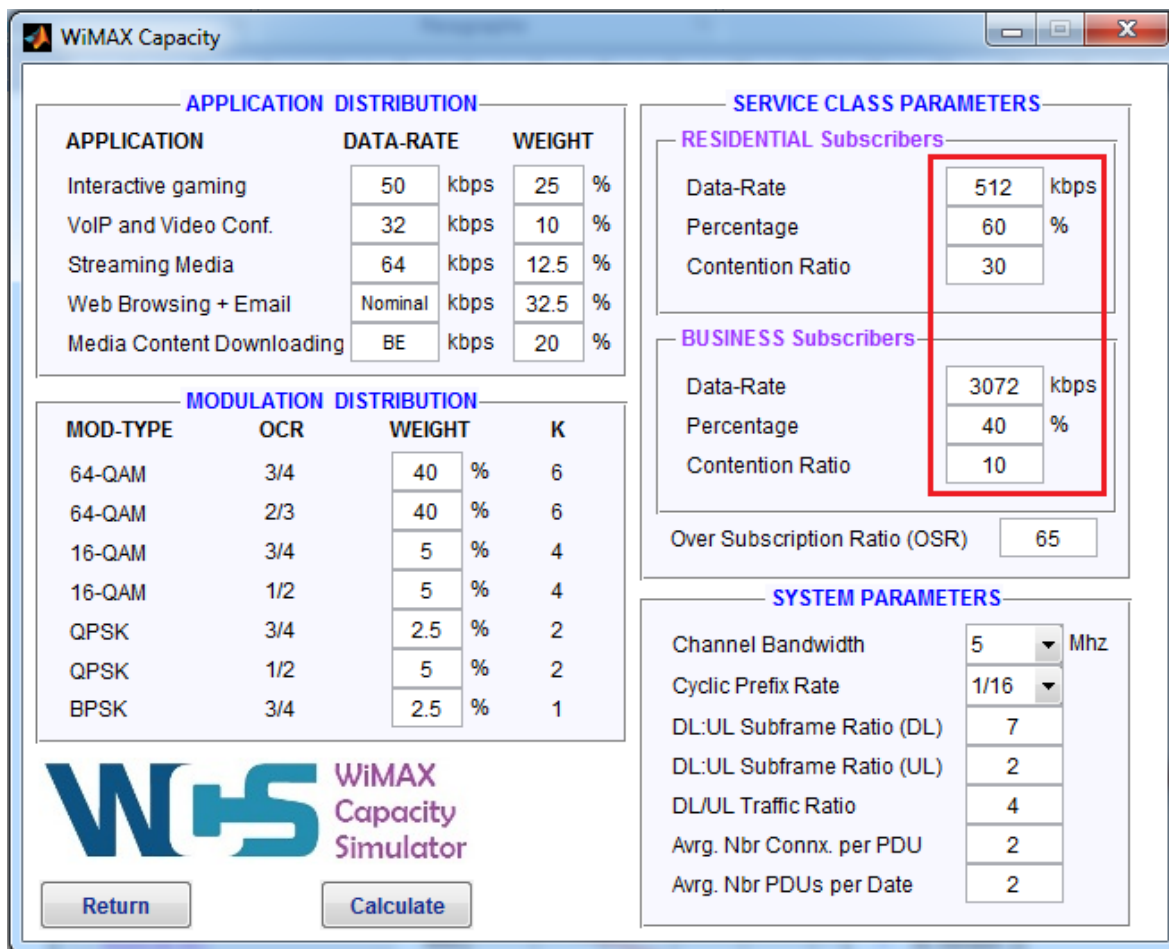
Comme on peut le constater, dans cette étude de cas, sur la base des paramètres d'entrée, 53 utilisateurs peuvent être pris en charge avec le secteur spécifié. C'est là que, selon les données de sortie, la limitation de l'algorithme concerne la capacité de la liaison descendante. En d'autres termes, le secteur avec les paramètres spécifiés peut prendre en charge 53 utilisateurs simultanés de trafic mixte sur la base des hypothèses de modulation et de distribution d'application et de la demande de trafic, tandis que la demande de bande passante du 54^{ème} utilisateur ne peut pas être accordée dans le sens DL.

Le débit de données maximal disponible de pointe dans DL est de 10000 kbps qui diminue à 7418.39 kbps lorsque le nombre d'utilisateurs atteint 53. Le débit de donnée minimal pour 53 utilisateurs se connectant simultanément est de 4312.93 kbps qui peuvent être satisfaits avec la bande passante disponible dans le DL (7461.55 kbps).

IV.3.1.2 Etude de cas 2 (effet des paramètres de classe de service) :

Dans l'étude de cas 2, les paramètres de système sont les mêmes pour l'étude de cas 1. Seuls les paramètres de classe de service seront modifiés, comme indiqué dans la figure IV.9 (rectangle en rouge).

Étant donné que dans le nouveau test, les abonnés des deux classes de services "Residential" et "Business" se voient attribuer des valeurs de débit de données plus basses, le nombre d'utilisateurs qu'un secteur, avec les mêmes paramètres système spécifiés que l'étude du cas 1, peut desservir devrait être supérieur.



WiMAX Capacity

APPLICATION DISTRIBUTION

APPLICATION	DATA-RATE	WEIGHT
Interactive gaming	50 kbps	25 %
VoIP and Video Conf.	32 kbps	10 %
Streaming Media	64 kbps	12.5 %
Web Browsing + Email	Nominal kbps	32.5 %
Media Content Downloading	BE kbps	20 %

MODULATION DISTRIBUTION

MOD-TYPE	OCR	WEIGHT	K
64-QAM	3/4	40 %	6
64-QAM	2/3	40 %	6
16-QAM	3/4	5 %	4
16-QAM	1/2	5 %	4
QPSK	3/4	2.5 %	2
QPSK	1/2	5 %	2
BPSK	3/4	2.5 %	1

SERVICE CLASS PARAMETERS

RESIDENTIAL Subscribers

Data-Rate	512 kbps
Percentage	60 %
Contention Ratio	30

BUSINESS Subscribers

Data-Rate	3072 kbps
Percentage	40 %
Contention Ratio	10

Over Subscription Ratio (OSR) 65

SYSTEM PARAMETERS

Channel Bandwidth	5 Mhz
Cyclic Prefix Rate	1/16
DL:UL Subframe Ratio (DL)	7
DL:UL Subframe Ratio (UL)	2
DL/UL Traffic Ratio	4
Avg. Nbr Connx. per PDU	2
Avg. Nbr PDUs per Date	2

W-S WiMAX Capacity Simulator

Return Calculate

Figure IV.9 : Interface calculatrice de la capacité, paramètres de classe de service (étude de cas 2).

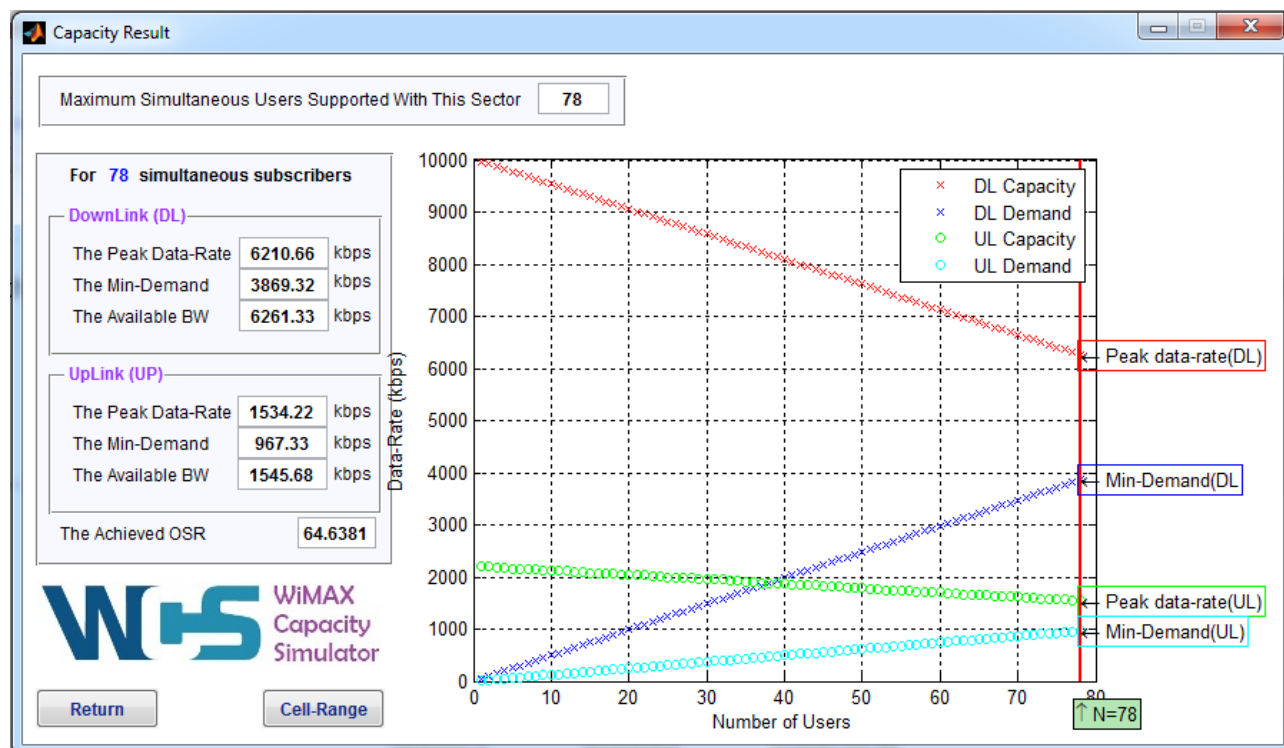


Figure IV.10 : Résultats d'estimation de la capacité (étude de cas 2).

Comme le prouve l'étude de cas 2, le secteur précité peut soutenir une nouvelle demande plus grande pour 78 abonnés. Là encore, le système est limité dans le sens descendant. Notez que puisque les paramètres du système dans les deux expériences sont les mêmes, les débits de données maximaux disponibles sont identiques.

Un autre résultat notable lors de la comparaison des études de cas 1 et 2, est la valeur d'OSR. Comme on peut le voir, la valeur d'OSR obtenue dans l'étude de cas 1 est légèrement inférieure à la valeur correspondante dans l'étude de cas 2. C'est alors que le nombre maximal d'utilisateurs supportables dans le premier test est encore plus petit que celui dans le deuxième test. Le fait est que la valeur OSR est liée à la portion du débit de données offert, qui peut être desservie avec le schéma de modulation le plus bas (BPSK). Étant donné que le test 1 offre plus de débit de données par utilisateur, il souffre davantage du taux OSR. Si la valeur d'OSR souhaitée dans l'étude de cas 2 serait la même que l'étude de cas 1, cette valeur pourrait être le facteur de limitation pour le nombre maximal d'utilisateurs.

IV.3.1.3 Etude de cas 3 (effet des paramètres de système) :

The screenshot displays the 'WiMAX Capacity Simulator' interface. It is divided into several sections for configuring system parameters:

- APPLICATION DISTRIBUTION:** A table listing applications and their weights.

APPLICATION	DATA-RATE	WEIGHT
Interactive gaming	50 kbps	25 %
VoIP and Video Conf.	32 kbps	10 %
Streaming Media	64 kbps	12.5 %
Web Browsing + Email	Nominal kbps	32.5 %
Media Content Downloading	BE kbps	20 %
- MODULATION DISTRIBUTION:** A table listing modulation types and their weights.

MOD-TYPE	OCR	WEIGHT	K
64-QAM	3/4	40 %	6
64-QAM	2/3	40 %	6
16-QAM	3/4	5 %	4
16-QAM	1/2	5 %	4
QPSK	3/4	2.5 %	2
QPSK	1/2	5 %	2
BPSK	3/4	2.5 %	1
- SERVICE CLASS PARAMETERS:**
 - RESIDENTIAL Subscribers:** Data-Rate: 512 kbps, Percentage: 60 %, Contention Ratio: 20.
 - BUSINESS Subscribers:** Data-Rate: 3072 kbps, Percentage: 40 %, Contention Ratio: 10.
 - Over Subscription Ratio (OSR):** 65.
- SYSTEM PARAMETERS:**
 - Channel Bandwidth: 10 Mhz
 - Cyclic Prefix Rate: 1/32
 - DL:UL Subframe Ratio (DL): 5
 - DL:UL Subframe Ratio (UL): 1
 - DL:UL Traffic Ratio: 4
 - Avg. Nbr Connx. per PDU: 2
 - Avg. Nbr PDUs per Date: 2

At the bottom, there is a 'Return' button and a 'Calculate' button. The WiMAX Capacity Simulator logo is also present.

Figure IV.11 : Interface calculatrice de la capacité, paramètres de système (étude de cas 3).

Dans l'étude de cas 3, cette fois, les paramètres de classe de service sont conservés de la même manière que l'étude de cas 2, tandis que nous essayons de modifier les paramètres de système de manière efficace afin de bénéficier d'une capacité plus élevée.

Comme dans la fiche technique d'étude de cas 3, le système est à nouveau basé sur une largeur de canal de 10 MHz et avec un rapport de trafic DL/UL = 4. Fondamentalement, dans ce test, nous essayons de manipuler les paramètres système configurables, afin de maximiser le nombre d'utilisateurs pouvant être couverts par le secteur. L'un de ces paramètres est le rapport DL: UL. Comme dans le test précédent, la limitation concernait la liaison descendante, en affectant une plus grande partie à la sous-trame DL, nous pouvons augmenter la capacité totale. Ainsi, un rapport DL: UL de 5: 1 est attribué dans le cas 3 au lieu de l'ancienne valeur de 7: 2 dans l'étude de le cas 2.

En outre, en choisissant un indice de préfixe cyclique de niveau supérieur, nous pouvons obtenir moins des frais généraux et donc un débit supérieur. Affecter un CP = 1/32 dans l'étude de cas 3, implique que 1/32 de la durée utile du symbole est répété au début de chaque symbole. Ainsi, le système subit moins de frais généraux par rapport à l'étude de cas 3 où le CP = 1/16.

Notez que le préfixe cyclique est utilisé pour éliminer l'interférence inter-symboles. Par conséquent, dans la nouvelle attribution d'indice de préfixe cyclique, l'étalement du retard et les conditionnements d'interférence du canal doivent être considéré.

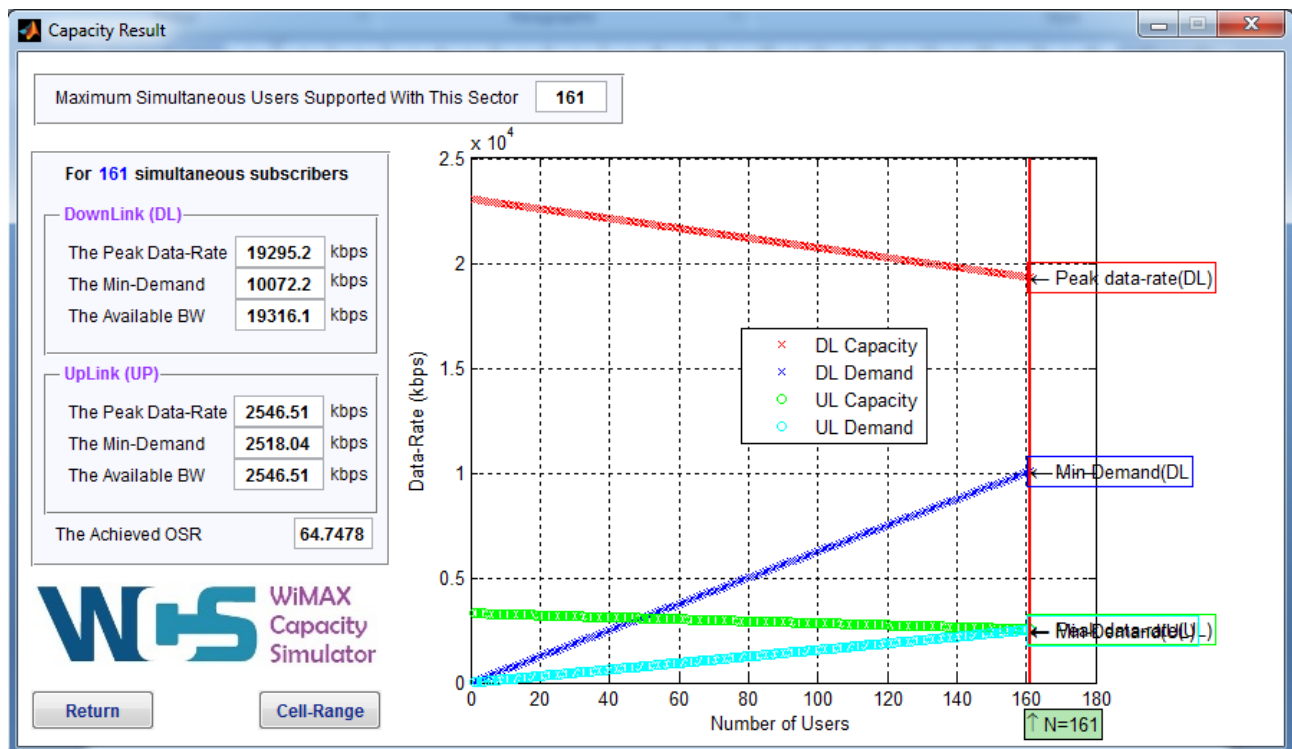


Figure IV.12 : Résultats d'estimation de la capacité (étude de cas 3).

Comme on peut le constater dans les résultats, les nouveaux paramètres de système de l'étude de cas 3 introduisent un débit de données maximal plus élevé dans la liaison descendante, afin que le secteur puisse prendre en charge plus d'utilisateurs dans cette direction. Notez que l'affectation du rapport DL:UL doit être effectuée de manière efficace pour fournir aux deux directions la capacité requise.

Le système basé sur les nouveaux paramètres de l'étude de cas 3 peut prendre en charge 161 abonnés, soit 83 utilisateurs de plus par rapport à l'étude de cas 2. Bien que cette fois, la limitation de l'algorithme concerne la liaison montante, le flux de liaison descendante n'est pas efficacement occupé. En d'autres termes, dans l'étude de cas 3, la capacité et la demande du système sont mises en correspondance de manière optimisée, car les capacités entières en UL sont efficacement remplies avec la demande de trafic.

IV.3.2 Estimation de la portée de cellule (*Cell-Range*) :

Il est très important de déterminer le nombre de stations de base de la zone à couvrir, si on veut vraiment optimiser le réseau et minimiser le coût de l'équipement. Dans cette étape, nous voulons estimer le nombre de stations de base (sites) par le dimensionnement de couverture.

Cette phase doit passer par l'estimation du rayon ou la portée de la cellule (*Cell Range*), La variation de rayon de couverture est due à la topologie de la zone de couverture, comme on a dit précédemment, ainsi que le type de modèle de propagation choisi. Les calculs ont été effectués en utilisant les paramètres présentés dans le tableau suivant :

Couverture de la cellule	Valeurs
Hauteur de l'antenne de la station mobile	1.5 m
Hauteur de l'antenne de la station de base	50 m
Fréquence de porteuse	1900 MHz (Cost-231 Hata) 3500 MHz (modèle SUI)
Surface de la zone à couvrir	500 Km ²
Modèle de propagation	Cost-231 Hata, SUI model
Type de terrain (SUI)	Terrain A
Type de l'environnement	Urbain
Zone à couvrir	500 km ²
Type d'antenne	Tri-sectorielle

Tableau IV.2 : Paramètres de simulation de la portée et nombre de station de base.

IV.3.2.1 Etude de cas 1 (modèle SUI) :

L'usage de modèle SUI (*Stanford University Interim*) peut être étendu pour couvrir la bande des 3.5 GHz avec l'introduction de facteurs de correction. Dans ce modèle de propagation, nous avons trois types différents des terrains. Ceux-ci s'appellent comme terrain A, B et C. Le terrain A est approprié aux environnements ne présentant pas trop de reliefs avec une densité moyenne ou grande d'arbres (milieux urbains). Le terrain B s'applique aussi bien en cas de terrains plats mais présentant une moyenne/grande densité d'arbres qu'en cas de terrains présentant trop de reliefs et à densité faible d'arbres (milieux suburbains). Le terrain C est approprié aux terrains plats à faible densité d'arbres, présentant un minimum d'affaiblissement (zones rurales).

Les champs d'entrées sont paramétrés par défaut, l'utilisateur peut les changer selon la zone considérée, la fréquence utilisée et les hauteurs de mobile et de la station de base choisies. Le modèle SUI possède trois types d'environnements (Terrains A, B et C), donc l'utilisateur a un choix multiple selon la zone à planifier. Dans notre cas, nous choisissons un terrain A avec une hauteur du mobile de 1.5 m, hauteur de station de base de 50 m, une fréquence de 3500 Mhz et zone à couvrir d'une surface de 500 km² (Figure IV.13).

Figure IV.13 : Interface calculatrice de la portée de cellule pour le modèle SUI.

En cliquant sur le bouton "Calculate", on obtient les paramètres de sortie au panneau "Simulation Results" précisant (la portée de la cellule, nombre de station de base, la couverture de cellule et la distance entre stations de base).

D'après le résultat de calcul schématisé par la figure IV.14, on a une portée de la cellule égale à 3.29 km, une surface de couverture d'une station de base de 54.75 Km², une distance qui sépare chaque deux station de base de 5.69 km et en fin 10 stations de base nécessaires pour la couverture de la zone de déploiement de 500 km². Enfin, notre simulateur a la possibilité de tracer et positionner une station de base sur un plan en 3D, qui représente la zone de couverture à planifier, et fournir également les valeurs estimées de la portée et la surface de couverture d'une station de base WiMAX Mobile.

Nous faisons les mêmes démarches pour les autres types de terrains, tout en conservant les mêmes valeurs des autres paramètres de simulation. Le tableau IV.3 récapitule tous les résultats obtenus, pour une comparaison des trois types de terrains de modèle SUI.

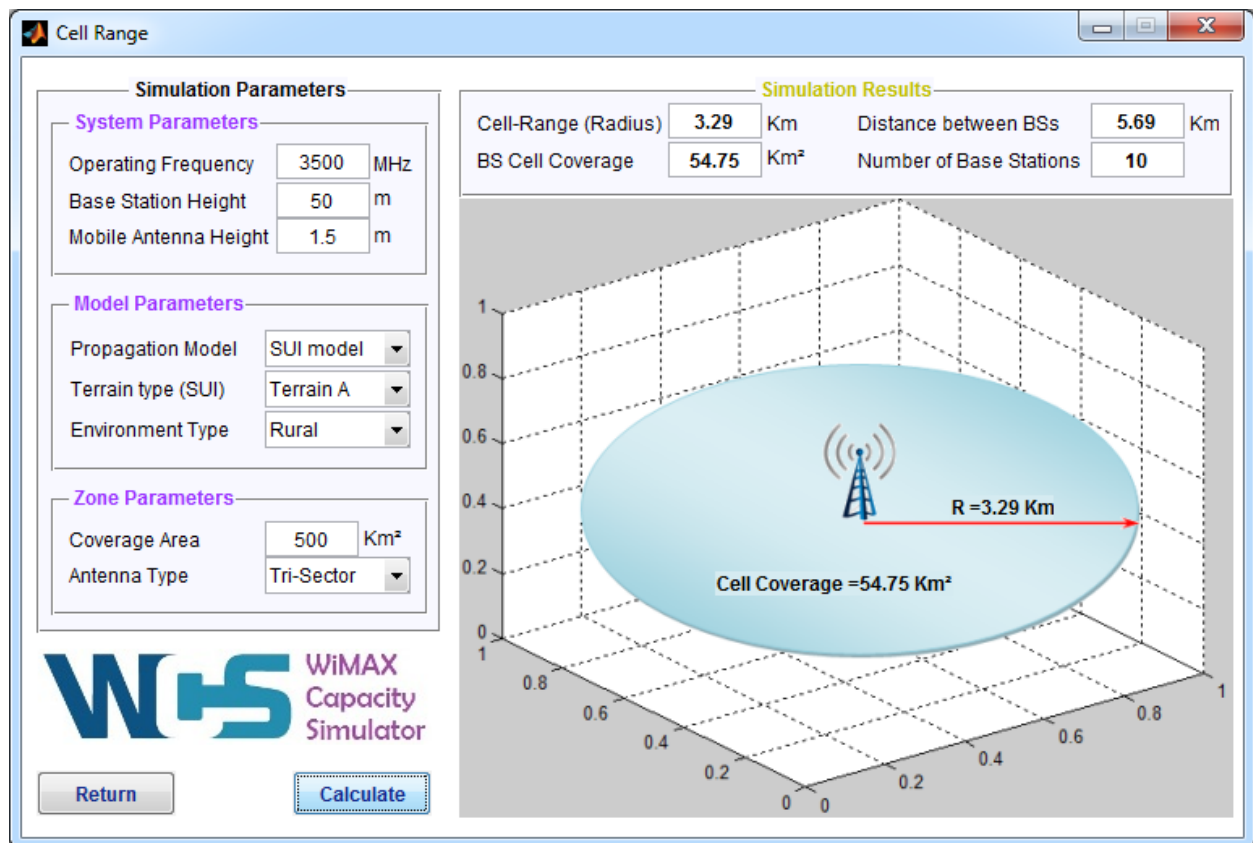


Figure IV.14 : Interface de résultat d'estimation de la portée de cellule pour le modèle SUI.

Paramètres	Type de terrain		
	Terrain A	Terrain B	Terrain C
Portée de la cellule (<i>Cell-Rang</i>) (km)	3.29	2.22	1.56
La surface de couverture (km²)	54.75	25.04	12.26
Distance entre stations de base (km)	5.69	3.85	2.69
Nombre de stations de base	10	20	41

Tableau IV.3 : Résultats de calcul pour différents types de terrain du modèle SUI.

Le modèle SUI est utile pour les systèmes WiMAX avec de petites et moyennes portées de cellules (1.56 à 3.29 km) et des antennes de station de base à faible hauteur, et des hautes fréquences. Ce modèle est optimisé pour une fréquence de 3.5 GHz et de réseaux avec des pourcentages de couverture élevés (80% à 90%).

Par exemple, notre simulateur prévoit qu'il nous faut 10, 20 et 41 stations de base, respectivement pour un terrain de type A, B et C, afin de satisfaire la couverture totale. En fait, il est très important de déterminer le nombre des stations de base pour bien optimiser le réseau et diminuer le coût de l'équipement. Aussi, l'augmentation du rayon est importante pour la minimisation de la cellule de la zone à couvrir.

IV.3.2.2 Etude de cas 2 (modèle Cost-231 Hata) :

Ce modèle est utilisé pour les environnements urbains et sous-urbains. Il est conçu initialement pour les fréquences inférieures à 2 GHz, mais il peut être étendu pour atteindre des fréquences jusqu'à 6 GHz.

De la même manière que le modèle SUI, nous conservant les mêmes valeurs des paramètres de simulation, tout en ajustant la fréquence de travail à 1900 MHz. Le modèle Cost-231 Hata fonctionne pour trois types d'environnements (Urbain, sous-urbain et rural), donc l'utilisateur a un choix diversifié selon la zone à planifier. La figure suivante représente une capture de résultat de calcul du modèle Cost-231 Hata pour l'environnement Urbain.

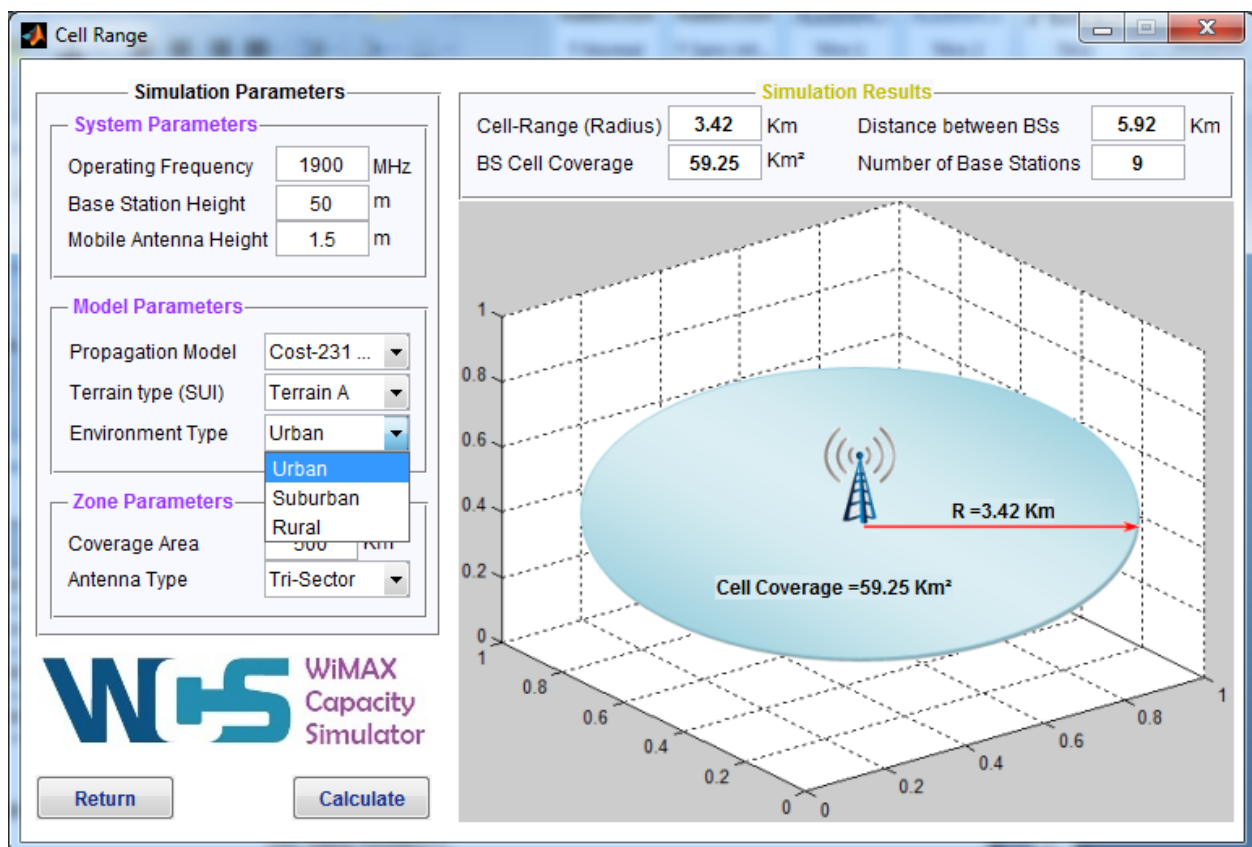


Figure IV.15 : Interface de résultat d'estimation de la portée de cellule pour le modèle Cost-231 Hata.

Le tableau IV.4 regroupe tous les résultats d'estimation planification pour les trois types d'environnement supportés par le modèle Cost-231 Hata.

Paramètres	Type d'environnement		
	Urbain	Suburbain	Rural
Portée de la cellule (Cell-Rang) (km)	3.42	4.21	4.21
La surface de couverture (km²)	59.25	89.76	89.76
Distance entre stations de base (km)	5.92	7.29	7.29
Nombre de stations de base	9	6	6

Tableau IV.4 : Résultats de calcul pour différents types d'environnement du modèle Cost-231 Hata.

Selon le tableau IV.4, lorsqu'on utilise le modèle Cost-231 Hata, la portée d'une cellule diffère pour l'environnement Urbain et les autres types. En effet, la portée est identique dans le cas d'une zone sous-urbaine et rurale où il n'y a pas beaucoup d'obstacles entre station de base et la station mobile.

Pour spécifier le modèle le plus optimal et le plus adéquat pour une meilleure couverture du réseau WiMAX, en se basant sur le nombre minimal de stations de base et la portée de couverture maximale de cellule. Il est clair que le modèle Cost-231 Hata présente les meilleures performances par rapport au modèle SUI, dû que ce dernier nécessite plus de stations de base par rapport au modèle Cost-231 Hata, qui aussi permet de maximiser le rayon de couverture.

IV.4 Conclusion :

Nous avons pu évaluer et étudier, dans ce chapitre l'estimation de la capacité de fourniture de services de la technologie innovante WiMAX mobile et la collecte des connaissances nécessaires au problème de planification des stations de base, ainsi de calculer le débit réel du système et proposer un modèle de trafic pour les utilisateurs des applications mixtes, pour déterminer le nombre maximal d'abonnés pouvant être pris en charge par chaque secteur du WiMAX mobile.

Nous avons évoqué tous les étapes en relation avec la réalisation de notre simulateur. Ainsi, nous avons exposé des aperçus d'écran témoignent les différentes résultats de notre simulations.

Nous avons, enfin, développé un simulateur permettant l'estimation de la capacité et la plage de cellules pour les utilisateurs multi-trafic dans le WiMAX Mobile. En effet, cette application est composée d'un ensemble d'interfaces graphiques, permettant à l'utilisateur ou à l'opérateur de calculer différents paramètres du système et différents cas de trafic, tout en optimisant les ressources et garantissant la qualité de couverture et les besoins en capacité satisfaisants.

Conclusion Générale

Conclusion générale

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

L'objectif de ce mémoire était l'étude de la technologie innovante WiMAX Mobile (IEEE-802.16e-2005) ainsi que l'estimation de la capacité et la plage de cellules de ce standard pour une zone spécifique.

Le WiMAX est une technologie conciliant haut débit, mobilité et accessibilité en terme de coût. Son implémentation, bien que nécessitant une licence auprès des autorités, et une infrastructure radio (transmission et cœur de réseau) ; permet à un opérateur d'accroître son portefeuille client notamment avec la souplesse des coûts des équipements et la diversité des services offerts.

Les versions avancées de WiMAX Mobile implémenteront un nombre considérable de des technologies innovantes telles que; SIMO, MIMO, AAS et formation de poutres. Utilisation de chacune de ces techniques peut affecter la capacité en augmentant le débit total et l'efficacité des ressources, via une procédure de signalisation différente. D'autre part, des nouvelles modifications telles que la prise en charge de vitesse plus élevée est un exemple d'applications qui limite le débit réel du système. Par conséquent, la mise à niveau de l'algorithme de capacité présenté dans ce mémoire basé sur ces fonctionnalités supplémentaires peut être considéré comme un intéressant travail futur.

En outre, le processus de planification et les procédures de gestion de la mobilité peuvent être constamment mis à jour pour répondre à la QoS des applications WiMAX demandées. Par conséquent, le schéma de modélisation du trafic présenté peut être le début de tout développement ultérieur garantir les débits de données des abonnés.

Enfin, développer un outil de planification convivial en explorant les calculs de capacité et la modélisation de la propagation et de la couverture qui couvre les considérations générales du réseau sur une mise en œuvre à l'échelle de la ville serait un grand domaine d'intérêt pour les chercheurs et les développeurs de logiciels.

Bibliographie

Bibliographie

- [1] BELABDELLI Abdelheq, OUKAZ Mokhtar, « *Dimensionnement D'un Réseau Sans Fil Wifi* », Mémoire pour l'obtention du diplôme de Ingénieur d'état en Télécommunications, Université de Tlemcen, 2012.
- [2] BENYAHIA Mohamed, BENTRAR Kamal, « *Dimensionnement d'un réseau sans fil WiMAX* », Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master en Télécommunications, Université de Tlemcen, 2011.
- [3] Nadia ADRAR, « *Les technologies sans fil Le Wi-Fi et la Sécurité* », Mémoire pour l'obtention du diplôme de Licence Académique en Informatique LMD, Université Abderrahmane Mira, Bejaïa, 2009.
- [4] Guy Pujolle, « *Les réseaux* », Librairie Eyrolles, 5^{ème} édition, ISBN : 978-2-212-11987-9, 2006.
- [5] Camille Diou « *WLAN : les réseaux sans fils et WiFi* », LICM - Université de Metz, https://doc.lagout.org/network/4_Telecommunications/Cours.wifi.pdf (Consulté le 18/02/2020).
- [6] GUISSI Yasmine, « *Etude de la technique de gestion d'un réseau sans fil basé sur le standard 802.16* », Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master en Génie Electrique, Université Abderrahmane Mira, Bejaïa, 2012.
- [7] DI GALLO Frédéric, « *WiFi L'essentiel qu'il faut savoir...* », Extraits de source diverses récoltées en 2003. <http://fdigallo.online.fr/cours/wifi.pdf> (Consulté le 16/03/2020).
- [8] BOUAZZAOUI Samira, DEKALI Zahira, « *Conception des réseaux sans fils IEEE 802.11 en modes infrastructure et Ad-Hoc* », Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master en Télécommunications, Université de Tlemcen, 2016.
- [9] ABOURA Wissam, BENHABIB Iman, « *Etude et caractérisation de la couche physique du standard IEEE802.16/WIMAX* », Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master en Télécommunications, Université de Tlemcen, 2010.
- [10] BENHAMZA Aissa, « *Planification d'un réseau WIMAX mobile* », rapport de projet de fin étude, Institut National des Télécommunications set des Technologies de l'Information et de la Communication, 2009.
- [11] WiMAX : définition, fonctionnement et applications possibles, <https://www.jechange.fr/telecom/internet/guides/technologie-wimax-3600> (Consulté le 22/03/2020).
- [12] Selmen Bensaid, Meriem Ferjani, « *Développement d'un outil de planification d'un réseau WiMAX* », mémoire pour l'obtention du diplôme de Master académique En Télécommunications, Université Echahid Hamma Lakhdar d'El Oued, 2018.
- [13] http://www-igm.univ-mlv.fr/~dr/XPOSE2007/dgehanne_wimax/technique.html (Consulté le 22/03/2020).
- [14] Bertrand Petit, « *Architecture des réseaux - Cours et exercices corrigés* », 5^{ème} édition, Ellipses. ISBN: 2340019281, 2017.
- [15] Alban Hounton, « *Etudes des performances des réseaux 4G* », UATM GASA Formation - Licence Professionnelle, 2015.
- [16] « *Avantages et inconvénients de réseaux sans fil* », <https://www.saloninnovationsinc.com/dOEbVo1g/> (Consulté le 25/03/2020).

- [17] « *Inconvénients des réseaux sans fil* », <https://www.saloninnovationsinc.com/MgwLeDY4/> (Consulté le 25/03/2020).
- [18] C. Tata, « *Algorithme de Courtoisie: optimisation de la performance dans les réseaux WIMAX fixes* », Mémoire de maîtrise électronique, Ecole de technologie supérieur, Université de Québec, 2009.
- [19] MERAH Hocine, « *Conception d'un MODEM de la quatrième génération (4G) des réseaux de mobiles à base de la technologie MC-CDMA* », Mémoires de magistère, Université Ferhat Abbas – Sétif, Faculté de Technologie, Département d'électronique, 2012.
- [20] Philippe Ciblat, « *Aperçu de la couche physique de WiMAX* », Formation continue : Lucent Technologies, École Nationale Supérieure des Télécommunications, Paris, France.
- [21] Mérouane Debbah, « *brève introduction aux principes de l'OFDM* », http://www.laneas.com/sites/default/files/media/1/tutorial_ofdm tutorial_french.pdf (Consulté le 03/04/2020).
- [22] Bouhli Khoula, « *Evaluation des mécanismes de QOS du réseau WIMAX* », rapport de projet de fin étude, école supérieur des communications de Tunis, 2006.
- [23] Nicolas Fourty, « *Contribution à l'ingénierie du réseau sans fil WIMAX pour des applications audio d'aide au handicap et aux personnes âgées* », Thèse de doctorat de l'université de Toulouse II, Ecole Doctorale Systèmes, 2008.
- [24] Séminaire, « *Planification et optimisation d'un réseau WiMAX : pour les opérateurs et régulateurs de réseaux de télécommunications* », <https://fr.scribd.com/document/221220395/PRG-O-WIMAX>.
- [25] http://igm.univ-mlv.fr/~dr/XPOSE2007/dgehanne_wimax/technique.html, (Document consulté le 05/04/2020).
- [26] Guy Pujolle, Pascal Urien, « *La sécurité du WiMax mobile (802.16e)* », Rapport de Stage, Master 2 Réseaux et Télécommunications, 2006.
- [27] OULD BAMBA Mohamed, Abdel Fettah, « *Développement d'un Outil de Planification et Dimensionnement de réseau WIMAX* », Rapport de projet de fin étude, Ecole supérieur des communications de Tunis, année 2007.
- [28] Roll Fezzy Mackosso, « *Mémoire fin de cycle portant sur l'étude de WIMAX comme technologie d'accès haut débit à internet* », Rapport de projet de fin étude, Ecole africain de développement, 2008.
- [29] Azzedine DJENNANE, « *La gestion de la mobilité dans les réseaux WIMAX 802.16e* », Rapport de projet de fin étude, Faculté des sciences de l'ingénieur, Université El-Hadj Lakhder - Batna, 2004.
- [30] Marceau Coupe-choux, Philippe Godlewski, Philippe Martins, « *Introduction à WiMAX* », ENST, Département Informatique et Réseaux, <https://marceaucoupechoux.wp.imt.fr/files/2018/02/wimax2005v4.pdf>
- [31] EL HAJJ Paul, DAHBI Nabil, « *Etude de la technologie WiMAX mobile* », Telecom Sud Paris, 3^{ème} année ingénieur, VAP RSM, 2010. <http://www-public.imtbs-tsp.eu/~afifi/wimaxfinalpdf.pdf>
- [32] WIMAX Forum White Paper, « *Mobile WIMAX-Part I: A technical Overview and Performance Evaluation* », Février 2006.
- [33] IEEE 802.16 Working Group on Broadband Wireless Access Standards, WirelessMAN® standards for Wireless Metropolitan Area Networks, www.ieee802.org/16 (Consulté le 20/04/2020).

- [34] Rambir Joon, Sandeep, Manveen Singh Chadha, « *Analysis of WiMAX Handover* », International Journal of Soft Computing and Engineering (IJSCE), Volume-2, Issue-3, July 2012.
- [35] Copyright WiMAX Forum, « *Mobile WiMAX – Part I : A Technical Overview and Performance Evaluation* », 2006. http://www.wimaxforum.org/news/downloads/Mobile_WiMAX_Part1_Overview_and_Performance.pdf
- [36] Jeroen Wigard, « *QoS Policy for RRM : Radio Resource Management* », Presentation – Nokia Siemens Networks.
- [37] *WiMAX Capacity White Paper* – SR Telecom Canada, <http://www.srtelecom.com/en/products/whitepapers/WiMAX-Capacity.pdf> (Consulté le 20/05/2020).
- [38] G.S.V. Radha K. Rao, G. Radhamani, « *WiMAX : A Wireless Technology Revolution* », Chapter 5, 84 Pages, WiMAX Deployment Trends, May 2007.
- [39] Emmanuel Grenier, « *802.16e Radio Planning with ICS Telecom nG - ATDI* », ATDI White Paper, March 2006. https://mafiadoc.com/download/wimax-planning-with-ics-telecom-ng-atdi_5a2cc6bf1723dd2b052ca904.html
- [40] Daniel Lois Thierry Scelles (ATDI Ibérica), « *WiMAX network quality of service* », White Paper based on User bit rate assumption, ATDI White Paper- June 2005. <https://www.scribd.com/document/124684646/WP-WiMAX-Traffic-Analysis-Eng>
- [41] Dean Kitchener, Mark Naden & al, « *Multihop Path Loss Model (Base-to-Relay and Base-to-mobile)* », IEEE C802.16j-06/011, 2005. http://www.ieee802.org/16/relay/contrib/C80216j-06_011.pdf
- [42] Manuel F. Catedra, Jesus Perez Arriaga, « *Cell Planning for Wireless Communications* », Artech House Publishers, Mobile Communications Library, ISBN : 978-0890066010, 1999.
- [43] Stefano Ridolfi, « *WiMAX Business Strategies Conference Documentation* », BT Italy Presentation, Prague 2007.

Résumé :

Les principes fondamentaux de la croissance continue du sans fil à large bande restent solides. Selon les prévisions officielles, le marché mondial de la connectivité Internet à haut débit sans fil dépassera le milliard d'utilisateurs d'ici fin 2020. L'opportunité offerte aux réseaux sans fils, comme WiMAX mobile, de servir ceux qui souhaitent basculer au service large bande est immense et dans nombreuses régions du monde où les technologies filaires ne peuvent pas être réalisables.

Ce projet de fin d'études a pour but d'examiner, plus en détail, les capacités de fourniture de services de la technologie innovante WiMAX mobile. Le travail est consacré à la collecte des connaissances nécessaires au problème de planification du WiMAX, calculer le débit réel du système et proposer un modèle de trafic pour les utilisateurs des applications mixtes, pour déterminer le nombre maximal d'abonnés pouvant être pris en charge par chaque secteur du WiMAX mobile. Enfin, implémenter cet algorithme pour différents paramètres du système et différents cas de trafic, afin de résoudre le problème de planification du WiMAX Mobile.

Mots clés : WiMAX mobile, IEEE 802.16, Estimation, Capacité, Multi-trafic, Portée de cellule, Planification.