

N° d'ordre : .....

N° de série : .....

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



# Mémoire de Fin d'Étude



Présenté à

L'Université Echahid Hamma Lakhdar d'El Oued

Faculté de Technologie

Département de Génie Electrique

En vue de l'obtention du diplôme de

## MASTER ACADEMIQUE

En Télécommunications

Présenté par

**Ahmed Bane**

**Bachir Rouissi**

# Thème

**Etude et dimensionnement d'un réseau WiMAX mobile**

Soutenu le 17 /06/2019 Devant le jury composé de :

Dr. Ghendir Said.

Maitre de conférences Président

Dr. Ajgou Riadh.

Maitre de conférences Rapporteur

Dr. Hettiri Messaoud.

Maitre assistant Examineur

**Année Universitaire 2018/2019**



# Dédicaces

À ma très chère mère : **REGUIA** ..

*Autant de phrases aussi expressives soient-elles ne sauraient montrer le degré d'amour et d'affection que j'éprouve pour toi. Tu m'as comblé avec ta tendresse et affection tout au long de mon parcours. Tu n'as cessé de me soutenir et de m'encourager durant toutes les années de mes études, tu as toujours été présente à mes cotés pour me consoler quand il fallait. En ce jour mémorable, pour moi ainsi que pour toi, reçoit ce travail en signe de ma vive reconnaissance et mon profond estime.*

*Puisse le tout puissant te donner santé, bonheur et longue vie afin que je puisse te combler à mon tour.*

À ma très chère père : **MOHAMMED LAID** ..

*Au tant de phrases et d'expressions aussi éloquentes soit-elles ne sauraient exprimer ma gratitude et ma reconnaissance. Tu as su m'inculquer le sens de la responsabilité, de l'optimisme et de la confiance en soi face aux difficultés de la vie. Tes conseils ont toujours guidé mes pas vers la réussite. Ta patience sans fin, ta compréhension et ton encouragement sont pour moi le soutien indispensable que tu as toujours su m'apporter. Je te dois ce que je suis aujourd'hui et ce que je serai demain et je ferai toujours de mon mieux pour rester ta fierté et ne jamais te décevoir. que Dieu le tout puissant te préserve, t'accorde santé, bonheur, quiétude de l'esprit et te protège de tout mal.*

*Je dédie ce travail à mon chère grand-mère **MASSOUDA** , qui a été toujours dans mon esprit. J'aurais tant aimé que tu sois présent. Que dieu miséricordieux, t'accueille dans son éternel paradis.*

À ma très chère sœur **SAMAH** ..

*En souvenir d'une enfance dont nous avons partagé les meilleurs et les plus agréables moments. Pour toute la complicité et l'entente qui nous unissent ,ce travail est un témoignage de mon attachement et de mon amour.*

*À mon cher petit frère **NADJI** pour toute l'ambiance dont tu m'as entouré, pour toute la spontanéité et ton élan chaleureux, Je te dédie ce travail . puisse Dieu le tout puissant exhausser tous tes vœux.*

*À ma jumelle **HANA** ,ton encouragement et ton soutien étaient la bouffée d'oxygène qui me ressourçait dans les moments pénibles, de solitude et de souffrance. Merci d'être toujours à mes côtés, Je prie dieu le tout puissant pour qu'il te donne bonheur et prospérité.*

*À toute ma famille, mes tantes ,mes oncles ainsi que mes cousins et cousines, en témoignage de ma grande affection et de ma reconnaissance et sans qui je ne serais rien, À tous mes enseignants et à tous ceux qui m'ont aidé, En témoignage de mon amour et de ma reconnaissance.*

**Ahmad** ..





# Dédicaces

*Toutes les lettres ne sauraient trouver les mots qu'il faut, tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude, l'amour, Le respect, la reconnaissance que j'avais eu pendant toutes mes cinq année dans notre formidable université.*

*Je dédie cette Thèse :*

**À MES CHERS PARENTS :**

**REDOUANE NACIRA ET AMMAR ROUSSI :**

*Autant de phrases aussi expressives soient-elles ne sauraient montrer le degré d'amour et d'affection que j'éprouve pour vous. vous m'avez comblé avec votre tendresse et affection tout au long de mon parcours. vous n'avez jamais cessé de me soutenir et de m'encourager durant toutes les années de mes études, vous avez toujours été présents à mes côtés pour me consoler quand il fallait.*

**A MES CHERS FRÈRES ET MES CHÈRES SOEURS :**

*Je ne pourrais jamais exprimer le respect que j'aie 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 CHER GRAND PÈRE ET MA CHÈRE GRANDE-MÈRE :**

**REDOUANE MOHAMED ET HALIMA MAHMOUDI**

*Que ce modeste travail, soit l'expression des vœux que vous n'avez cessé de formuler dans vos prières. Que Dieu vous préserve santé et longue vie, vous étiez toujours dans mon esprit et dans mon cœur, je vous dédie aujourd'hui ma réussite. Que Dieu, le miséricordieux, vous accueille dans son éternel paradis.*

**À MES ONCLES, TANTES, COUSINS ET COUSINES :**

*Avec tous mes sentiments de respect, d'amour et d'appréciation, merci pour tous les sacrifices déployés pour m'élever dignement et de m'assurer une éducation dans les meilleurs conditions, merci pour tous les efforts que vous avez fournis afin de m'assurer une formation solide, merci pour tout ce que vous aviez fait pour moi .*

**A MES AMIS ET COLLÈGUES :**

**AKRAM, AYA, BELGACEM, NAOUFEL, SALAH, AHMED, MOHAMMED, SAMI,  
DJIHANE, DJAMEL, TAKI, DIOUANI, SADEK, TOUFIK, Ch.BALI, AISSA.**

*Merci pour toute l'ambiance dont vous m'avez entouré, pour toute la spontanéité et vos élans chaleureux, Je vous dédie ce travail. Puisse Dieu le tout puissant exhausser tous vos vœux.*

*Bachir ..*





# Remerciement

*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. Riadh Ajgou** , Maitre de conférences à l'université Hamma lakhdar Eloued, qui nous a permis de bénéficier de son encadrement.*

*Les conseils qu'il nous a prodigué, la patience, la confiance qu'il nous a témoignés ont été déterminants dans la réalisation de notre projet de fin d'étude .*

*Nous sommes conscientes de l'honneur que nous a fait Nos remerciements vont aussi à **Dr. Said Ghendir**, Maitre de conférences à l'université Hamma lakhdar Eloued, en étant président du jury et **Dr. Massoud Hettiri**, Maitre assistant et chef de département de génie électrique à l'université Hamma lakhdar Eloued, d'avoir accepté d'examiner ce travail.*

*Nos remerciements s'étendent également à tous nos enseignants durant les années des études.*

*Enfin, nous adressons nos plus sincères remerciements à tous nos proches et amis, qui nous ont toujours encouragées au cours de la réalisation de ce mémoire.*

*Merci à tous et à toutes ..*



# TABLE DE MATIÈRE

Dédicaces.....	I
Remerciement .....	II
Table de matière.....	III
Liste des figures .....	IV
Liste des tableaux .....	V
Liste des abréviations.....	VI
Introduction générale .....	1

## **CHAPITRE I. Généralités sur le réseau WiMAX**

I.1 Introduction.....	3
I.2 Historique du WiMAX.....	3
I.3 Objectif de WiMAX.....	3
I.4 Normes de standards.....	4
I.5 Architecture du réseau WiMAX .....	5
I.5.1 Sous système radio : Accès Service Network (ASN) .....	5
I.5.2 CSN: Connectivity Service Network .....	5
I.6 Principe de fonctionnement du WiMAX .....	6
I.7 Types du WiMAX.....	6
I.7.1 WiMAX fixe .....	6
I.7.2 WiMAX mobile.....	7
I.8 Applications du WiMAX .....	8
I.9 Desserte avec WiMAX .....	9
I.10 Topologies WiMAX .....	10
I.10.1 Mode PMP .....	10
I.10.2 Mode Mesh .....	10
I.11 WiMAX face à Wifi.....	11
I.12 Conclusion .....	13

## **CHAPITRE II : Technique du réseau WiMAX mobile**

II.1 Introduction .....	15
II.2 Etude technique de WiMAX .....	15

II.2.1 Couche MAC .....	15
II.2.2 Sous-couches .....	16
II.2.3 Couche physique .....	16
II.3 Techniques de multiplexage .....	17
II.3.1 Multiplexage par répartition orthogonale de fréquence .....	17
II.3.2 Avantages de l'OFDM .....	18
II.3.3 Inconvénients de l'OFDM .....	19
II.3.4 OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) .....	19
II.3.5 MIMO : Multiple Input Multiple Output .....	20
II.3.6 Modulation adaptative .....	21
II.4 Techniques de Duplexage .....	22
II.5 Qualité de service .....	23
II.6 Sécurité .....	24
II.7 Gestion de la mobilité .....	24
II.7.1 Contrôle de puissance .....	24
II.7.2 Technique de Hand Over .....	25
II.8 Conclusion .....	26

**CHAPITRE III : Dimensionnement et planification du réseau WiMAX mobiles**

III.1 Introduction .....	28
III.2 Dimensionnement d'un réseau WiMAX .....	28
III.2.1 Processus de dimensionnement du réseau WiMAX.....	28
III.2.2 Choix de la bande de fréquence .....	28
III.2.3 Choix du type de Dimensionnement .....	29
III.3 Modèles de propagation .....	29
III.3.1 Rôle des modèles de propagation .....	29
III.3.2 Types de modèles de propagation .....	30
III.3.2.1 Modèle de propagation (Espace libre) .....	30
III.3.2.2 Modèle COST 231 Hata .....	31
III.3.2.3 Modèle d'Erceg .....	31

III.3.2.4 Model WLL .....	33
III.4 Bilan de Liaison .....	33
III.4.1 Puissance émise .....	34
III.4.2 Sensibilité de réception .....	35
III.5 Choix du type de dimensionnement .....	36
III.5.1 Dimensionnement suivant la couverture .....	36
III.5.2 Dimensionnement de couverture par niveau du signal .....	36
III.5.3 Dimensionnement de la couverture par rapport signal à bruit (C/I) .....	36
III.6 Interférences .....	37
a) Interférences sur canal adjacent .....	37
b) Interférences Co-canal .....	38
III.7 Conclusion .....	38

### **CHAPITRE IV : Simulation et analyse des résultats**

IV.1 Introduction .....	40
IV.2 Présentation de l’outil ATOLL.....	40
IV.2 .1 Matériels de base .....	40
IV.3 Paramètres et configurations ..	41
IV.3.1 Procédure de la planification.....	42
IV.3.2 Interfaces de logiciel.....	42
IV.3.3 Systèmes de coordonnées.....	43
IV.3.4 Importer les cartes numériques.....	44
IV.3.5 Zone géographique à planifier.....	45
IV.4 Ajout des sites.....	46
IV.4.1 propriétés des sites.....	47
IV.4.2 Analyse des tronçons.....	48
IV.5 Etude des prédictions.....	48
IV.6 Prédications de la couverture par niveau de signal.....	49
IV.6 .1 Simulation orientée débit de navigation (trafic).....	50
IV.6 .2 Simulation orienté rapport signal/bruit et Interférences (C/N+I).....	51
IV.6 .3 Simulation orienté par la zone de recouvrement.....	52

IV.6 .4 Simulation orienté par secteur (Emetteur).....	53
IV.7 Hand-over dans le WiMAX mobile.....	54
IV.8 Abonnés (Subscribers).....	55
IV.9 Résultat de la simulation.....	57
IV.10 Conclusion .....	57
Conclusion générale .....	58
Annexe .....	59
Bibliographie .....	63
Webographie.....	65

## **LISTE DES FIGURES**

Figure I.1 : Architecture du réseau Wimax.....	5
Figure I.2 : Principe de fonctionnement du WiMAX.....	6
Figure I.3 : Desserte avec WiMAX .....	9
Figure I.4 : Architecture PMP .....	10
Figure I.5 : Architecture Mesh .....	11
Figure II.1 : Couches protocolaires d'IEEE 802.16 .....	15
Figure II.2 : Le multiplexage par répartition orthogonale de fréquence .....	17
Figure II.3 : Transmission des données par bloc dans l'OFDM.....	18
Figure II.4 : Différence entre les signaux SC et OFDM reçus.....	18
Figure II.5 : Description fréquentielle de l'OFDMA.....	19
Figure II.6 : Schéma simplifié d'un système MIMO.....	21
Figure II.7 : Couche physique adaptative .....	21
Figure II.8: Duplexage TDD .....	22
Figure II.9: QoS dans le Wimax Mobile .....	23
Figure III.1: Equilibrage des liens montants et descendants.....	33
Figure III.2 : bilan de liaison WiMAX mobile .....	34
Figure III.3: Interférences canaux adjacents .....	37
Figure III.4 : Interférences co-canal .....	38
Figure IV.1 : Interface de démarrage d'ATOLL.....	42
Figure IV.2 : Choix du projet.....	43

Figure IV.3 : Choix du système de coordonnées.....	43
Figure IV.4 : Liste des systèmes de coordonnées. ....	44
Figure IV.5 : Importation de la carte numérique de la ville de GUEMAR.....	44
Figure IV.6 : Carte avec niveaux d'altitude.....	45
Figure IV.7 : Tableau représente la niveaux d'altitude de guemar.....	45
Figure IV.8 : Emplacement des sites WIMAX mobile sur la Map.....	46
Figure IV.9 : Choix de couverture by signal level.....	46
Figure IV.10 : Paramètres des sites.....	47
Figure IV.11 : Couverture la ville par niveau de signal.....	47
Figure IV.12: Test de la liaison site 0 – site 1.....	48
Figure IV. 13 : Choix de type de prédiction.....	48
Figure IV.14 : Prédiction de la couverture par niveau du signal.....	49
Figure IV.15 : Histogramme de la prédiction de couverture.....	50
Figure IV.16 : Simulation du zone orienté débit DL (throughput).....	50
Figure IV.17 : Histogramme coverage by DL throughput.....	51
Figure IV.18 : Simulation du zone par rapport signal sur bruit et interférences .....	51
Figure IV.17 : Simulation du zone par rapport la recouvrement entre les cellules WIMAX .....	52
Figure IV.18 : Statistiques des zones de recouvrement entre les cellules WIMAX mobile.....	53
Figure IV.19 : Prédiction de la couverture par secteur (Émetteur).....	53
Figure IV.20 : Onglet « Profile » de la simulation.....	54
Figure IV.21 : Test Hand-over par la point d'analysis.....	54
Figure IV.22 : Résultat d'analyse de la position1.....	55
Figure IV.23 : Résultat d'analyse de la position2.....	55
Figure IV.24: Ajouter d'utilisateurs .....	56
Figure IV.25: Table du paramètre d'utilisateurs .....	56
Figure IV.26: Résultat final de la simulation.....	57

# LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.1 : Différentes normes 802.16.....	4
Tableau I.2 : Paramètres techniques d'IEEE 802.16d.....	7
Tableau I.3 : Paramètres techniques d'IEEE 802.16e.....	8
Tableau I.4 : Comparaison entre WiMAX et Wifi.....	12
Tableau III.1 : Spécificités techniques des différentes normes IEEE 802.16x .....	29
Tableau III.2 : Paramètres de validité du modèle Hata-Okumura .....	32
Tableau III.3: Valeurs des paramètres en fonction du type de terrain .....	33
Tableau IV.1 : Paramètres de notre réseau WiMAX mobile .....	41

# LISTE DES ABRÉVIATIONS

**3G:** 3ème Génération.

**4G:** 4ème Génération.

**AAA:** *Authentication Authorization Accounting*

**ACP:** *Automatic Cell Planinig*

**ADSL:** *Asymmetric Digital Subscriber Line*

**AES:** *Advanced Encryption Standard*

**ASN:** *Access Service Network*

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

**ACK:** *Acquittement Crypted Key*

**ATM :** *Asynchronous Transfer Mode*

**BS:** *Base Station (station de base)*

**CPE:** *Customer Premise Equipement*

**CPS:** *Common Part Sub-layer*

**CS:** *Convergence Sub-layer*

**CSN:** *Connectivity Service Network*

**DL:** *Downlink*

**DSL:** *Digital Subscriber Line*

**FDD:** *Frequency Division Duplex*

***FUSC:** Full Usage of Subchannels*  
***GSM:** Global System for Mobile communication*  
***GPS:** Global Positioning System*  
***Hiper MAN:** High Performance Metropolitan Area Network*  
***IEEE:** Institute of Electrical and Electronics Engineer*  
***IP:** Internet Protocol*  
***ITU:** International Telecommunications Union*  
***LAN:** Local Area Network*  
***LOS:** Line of Sight*  
***MAC:** Media MAccess Control*  
***MAN:** Metropolitan Area Network*  
***MAP:** Mobile Application Part*  
***MIMO:** Multiple Input Multiple Output*  
***MS:** Mobile Station*  
***NLOS:** Non Line-of-Sight*  
***OFDM:** Orthogonal Frequency Division Multiplex*  
***OFDMA:** Orthogonal Frequency Division Multiple Access*  
***PIRE:** Puissance Isotrope Rayonnée Equivalente*  
***PUSC :** Partial Usage of Subchannels*  
***QoS:** Quality of Service*  
***QPSK:** Quadrature Phase Shift Keying*  
***QAM:** Quadrature Amplitude Modulation*  
***RSSI:** Received Signal Strength Indicator*  
***SC:** Signal Carrier*  
***SNR:** Signal to Noise Ratio*  
***SS:** Subscriber Station*  
***TDD:** Time Division Duplex*  
***TDMA:** Time Division Multiple Access*  
***UL:** Uplink*  
***WLL:** Wireless local loop*  
***WIFI:** Wireless Fidelity*  
***WIMAX:** Worldwide Interoperability for Microwave Access*  
***WMAN:** Wireless Metropol Area Network*

# Introduction générale

---

Aujourd'hui, on est mis en face à une forte demande de connexion à internet d'haut débit et les accès de type ADSL se grandissent, mais toutes ces technologies sont limitées par leur débit et leur portée et ne permettent pas la souplesse d'utilisation que offre un réseau sans fil comme le Wifi (Wireless fidelity).

Cependant, l'utilisation excessive des câbles à tendance est à être remplacée par le sans-fil dont le dernier a été révolutionné par le Wifi, on parle alors du " WiMAX ".

Le WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) offert par Le standard IEEE802.16 est l'une des technologies récemment utilisées grâce à ses multiples paramètres et bonne performance.

Notre projet étudie la densification du réseau WiMAX mobile de la ville de Guemar dont l'application demande une planification et un dimensionnement de la couverture du réseau WiMAX en diminuant les interférences.

Notre présente étude est divisée en quatre chapitres :

Le premier chapitre est basé sur la description générale du réseau sans fil WiMAX, son fonctionnement, ses points positifs et négatifs.

Le deuxième chapitre étudie le standard IEEE 802.16e et aussi bien la description de différentes techniques de multiplexages.

Le troisième chapitre est consacré au processus de planification et de dimensionnement d'un réseau WiMAX mobile.

Le dernier chapitre traite l'expérience effectuée à la ville de Guemar et l'interprétation des résultats obtenus.

Enfin nous avons terminé notre travail par une conclusion générale.

# **Chapitre I**

## **Généralité sur le WIMAX**

## I.1 Introduction

Le WiMAX qui est basée sur le standard de transmission radio 802.16 met en lumière plusieurs standards tels que la grande couverture, efficacité spectrale et un débit important, le WIMAX représente une vraie alternative des systèmes nécessitant des connections câblées, comme l'ADSL.

Ce chapitre étudie en détails le WiMAX et ses différentes technologies en le comparant à son premier concurrent (Wifi) pour élargir de plus nos connaissances sur le bien et le mal de ce dernier.

## I.2 Historique du WiMAX

La norme IEEE 802.16 - publiée en 2001 et baptisée commercialement WiMax (Worldwide interoperability for Microwave Access) - fournit des liens de 5 km avec ligne de vue, dans la bande des 10 à 66 GHz. La largeur des canaux retenue pour l'Europe (28 MHz) autorise un débit de 132 Mbit/s.

« Il n'y a pas encore de déploiement, et les tests de compatibilité sont tout juste définis », indique Roger Marks, président du groupe de travail 802.16 à l'IEEE.

L'amendement 802.16a, publié en janvier 2003, étend le standard à la bande des 2 à 11 GHz. Si le débit est moins important, les distances sont supérieures, et on s'affranchit de la ligne de vue.

C'est une norme qui en est encore à l'état de développement. Basée sur le standard de transmission radio 802.16, ses spécifications définitives devraient être connues au quatrième trimestre 2004, voire 2005. Suivront ensuite les premiers équipements certifiés WiMax, probablement dans le courant de l'année 2005.

Enfin, après les liaisons fixes point à point, le WiMax devrait évoluer vers la mobilité. Le 802.16a n'intègre pas le « roaming ». Il ne s'agit donc que d'une liaison point à point, d'une antenne fixe vers une autre antenne fixe. En revanche le 802.16e intègrera le « roaming ». Le WiMax sera alors complémentaire du WiFi ou de la 3G pour les réseaux mobiles. [W1].

## I.3 Objectif de WiMAX

Le standard IEEE802.16 vise à offrir un moyen de communication sans-fil rapide à déployer et à bas coût. En plus de cela, il entretient une interopérabilité complète avec l'ensemble des produits existants chez tous les constructeurs respectant les normes de l'IEEE. Ce type de standard est un outil puissant facilitant la compétition des fournisseurs d'accès à

l'internet sans-fil en fournissant une connexion a haut débit. Ainsi, le standard IEEE802.16 cherche principalement à combler l'écart existant entre les solutions de communication sans-fil haut débit et celles de bien plus faible débit, mais qui assurent une gestion efficace de la mobilité [1].

#### I.4 Normes de standards

Les différents standards de cette norme peuvent être regroupés dans le tableau (I.1):

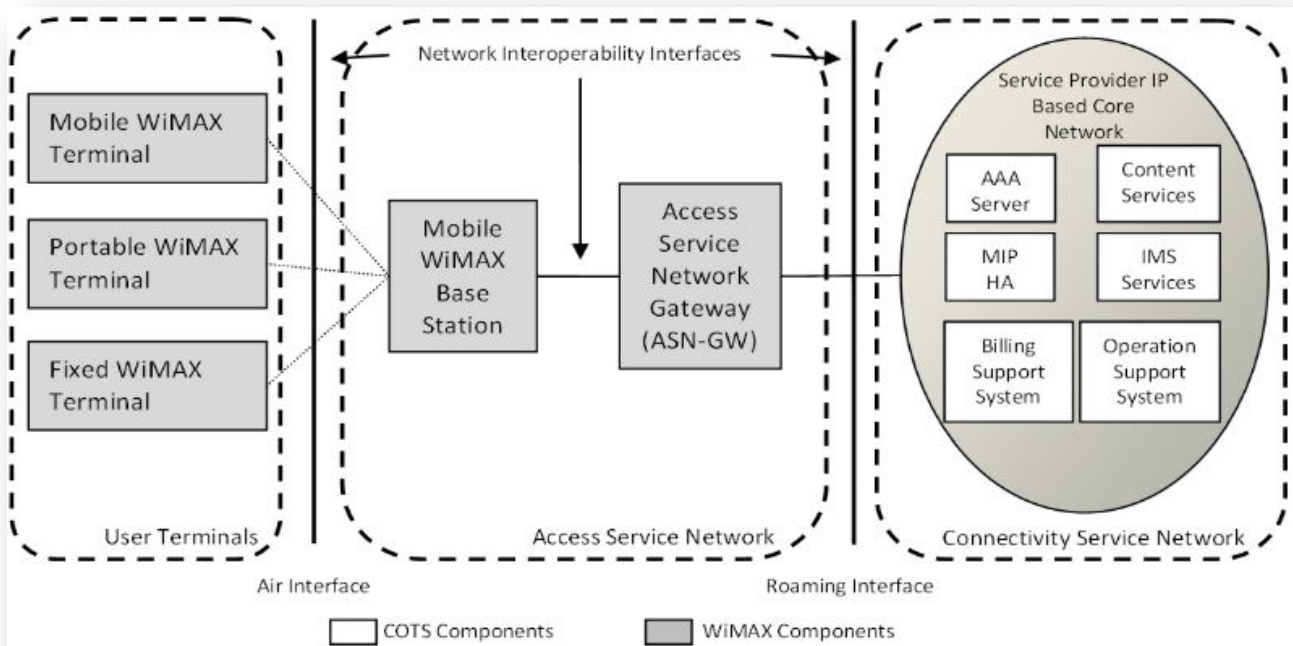
Standard	Description	Publié	Statut
IEEE std 802.16-2001	<b>définit des réseaux métropolitains sans fil utilisant des fréquences supérieures à 10 GHz (jusqu'à 66 GHz)</b>	<b>8 avril 2002</b>	<b>Obsolètes</b>
IEEE std 802.16c-2002	<b>définit des réseaux métropolitains sans fil utilisant des fréquences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

*Tableau I.1 : Les différentes normes 802.16 [2]*

## I.5 Architecture du réseau WiMAX

Elle se compose principalement de stations de base (*BS, Base Station*), et des stations mobiles (*SS, Subscriber Station*). La station de base joue le rôle d'une antenne centrale chargée de communiquer et de desservir les stations mobiles qui servent les clients utilisant le WIFI ou l'ADSL.

La figure (I.1) représente l'architecture générale d'un réseau d'accès à large bande :



*Figure I.1 : Architecture du réseau Wimax [3]*

### I.5.1 Sous système radio : Accès Service Network (ASN)

C'est le réseau d'accès radio du WiMAX, il regroupe un ou plusieurs passerelles et des stations de base BS. L'ASN assure la couverture radio et la gestion des fonctionnalités d'accès MAC comme le paging, la gestion des ressources radio (RRM Radio Resource Management) et la mobilité entre les BS (pour la norme 802.16 e). Les passerelles ASN-GW assurent l'interconnexion avec le CSN.

### I.5.2 CSN: Connectivity Service Network

C'est un ensemble de fonctionnalités assurant la connectivité IP aux stations d'abonnés WiMAX. Le CSN regroupe des passerelles pour l'accès Internet, des routeurs, des serveurs et des « proxy »

de sécurité ainsi que des bases de données. Il permet également le contrôle d'admission et gère la mobilité inter-ASNs (pour la norme 802.16e).

## I.6 Principe de fonctionnement du WiMAX

Le fonctionnement du WiMAX est simple : une antenne centrale, reliée en fibre optique au réseau des fournisseurs d'accès à Internet, Le WiMAX est classé parmi les réseaux de type WMAN (Wireless Metropolitan Area Network).

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. [W2]



Figure I.2 : Le principe de fonctionnement du WiMAX

## I.7 Types du WiMAX

### I.7.1 WiMAX fixe

Egalement appelé IEEE 802.16d-2004, le WiMAX fixe est prévu pour un usage fixe avec une antenne montée sur un toit. Il a été conçu pour un usage fixe avec une petite antenne

d'abonné placée sur un point d'une certaine hauteur, tel qu'un toit, de la même manière qu'une antenne TV, ou directement sur le PC. Ce type de réseau opère dans une bande de fréquence allant de 2 à 11 GHz. Son débit théorique est de l'ordre de 70 Mb/s et son rayon de couverture est de 50 km. Le Tableau I.2 représente les paramètres techniques d'IEEE 802.16d : [4]

Mode	Nomade
Distance d'émission théorique	5km en ville et jusqu'à 50km (zone rurale) 22km
Distance d'émission testée	1Km en ville et jusqu'à 20 km en campagne
Débit théorique	70 Mbits / sec Débit pratique : 40 Mbits / sec
Couche Physique	OFDM (max: 256)
Couche MAC	TDMA
Fonctionnement optimal	en LOS
Bandes de fréquences	2,5GHz et 3,5GHz (licences), 5GHz (sans licence)
Duplexage	FDD et TDD
Modulation possible	BPSK, QPSK, 16 QAM, 64 QAM
Nombre de terminaux raccordés simultanément:	1 000

*Tableau I.2 : Paramètres techniques d'IEEE 802.16d [4]*

### I.7.2 WiMAX mobile

Egalement appelé IEEE 802.16e, le WIMAX mobile prévoit la possibilité de connecter des clients mobile au réseau internet. Ainsi il ouvre la voie à la téléphonie mobile sur IP ou plus largement à des services mobiles hauts débit. Le WIMAX mobile permettrait de se déplacer tout en restant connecté à Internet, ceci par l'intermédiaire d'un appareil mobile équipé d'une carte WIMAX. Autrement dit, de se déplacer dans l'intégralité d'une zone couverte par l'intermédiaire d'une antenne centrale sans déconnexion. Par la suite le WIMAX permettra de passer d'une zone de couverture à une autre sans déconnexion.

Le Tableau I.3 représente les paramètres techniques d'IEEE 802.16e : [4]

Mode	<b>mobilité (Hand Over) jusqu'à 120Km/h</b>
Distance d'émission théorique	3.5 Km
Distance d'émission testée	3.5Km
Débit théorique	30 Mbits / sec
Débit pratique	15 Mbits/sec
Couche Physique	OFDM (max: 1024 sous canaux)
Couche MAC	TDMA
Bandes de fréquences	2,5GHz et 3,5GHz (licences), 5GHz (sans licence)
Fonctionnement optimal	en LOS et NLOS
Modulation possible	BPSK, QPSK, 16 QAM, 64 QAM
Duplexage	TDD
Nombre de terminaux raccordés simultanément :	250

*Tableau I.3 : Paramètres techniques d'IEEE 802.16e [4].*

## I.8 Applications du WiMAX

Ce sont nombreuses et multiples ayant comme but de réaliser et recouvrir de plus les besoins distincts des clients. Citons-en quelques-unes :

- ✓ Desservir la boucle locale radio.
- ✓ Collecter les données entre des réseaux locaux sans fil (réseau maillé).
- ✓ Offrir la VoIP, qui est un des leviers de croissance des accès haut-débit fixe, et qui le devient pour le Wi-Fi, est également attendue dans le WiMAX.
- ✓ Offres triple *Play* : Télévision, Téléphone et Internet.
- ✓ Couvertures classiques de hot zones : zones d'activité économique, parcs touristiques.
- ✓ Déploiements temporaires : chantiers, festivals, infrastructure de secours sur une catastrophe naturelle.
- ✓ Gestion des transports intelligents.
- ✓ Sécurité maritime et civile.

## I.9 Desserte avec WiMAX

WiMAX est envisagé à la fois pour les réseaux de transport et de desserte, et pour les réseaux de collecte.

Dans le cas de la desserte, c'est l'idée, et notamment pour les aspects mobilité de WiMAX, que des hotspots (des hotzones, en fait) soient déployées sous technologie WiMAX

Dans le cas de la collecte, il s'agit du backhauling (le maillage) de hotspots, c'est-à-dire la liaison des hot spots Wi-Fi à Internet non pas par des dorsales filaires (ADSL notamment), mais par une dorsale hertzienne.

Dans le premier cas (desserte), on doit imaginer des terminaux (ordinateurs, PDAs, téléphones) WiMAX, et en particulier des puces à la fois Wi-Fi et WiMAX. Dans le deuxième cas (collecte), seuls les équipements de réseau sont WiMAX, et le marché est orienté vers les opérateurs. L'avantage du WiMAX réside dans sa simplicité de mise en œuvre. Il ne faudra que deux antennes pour relier deux réseaux distants, là où il aurait fallu des kilomètres de fibre optique en filaire [W2].

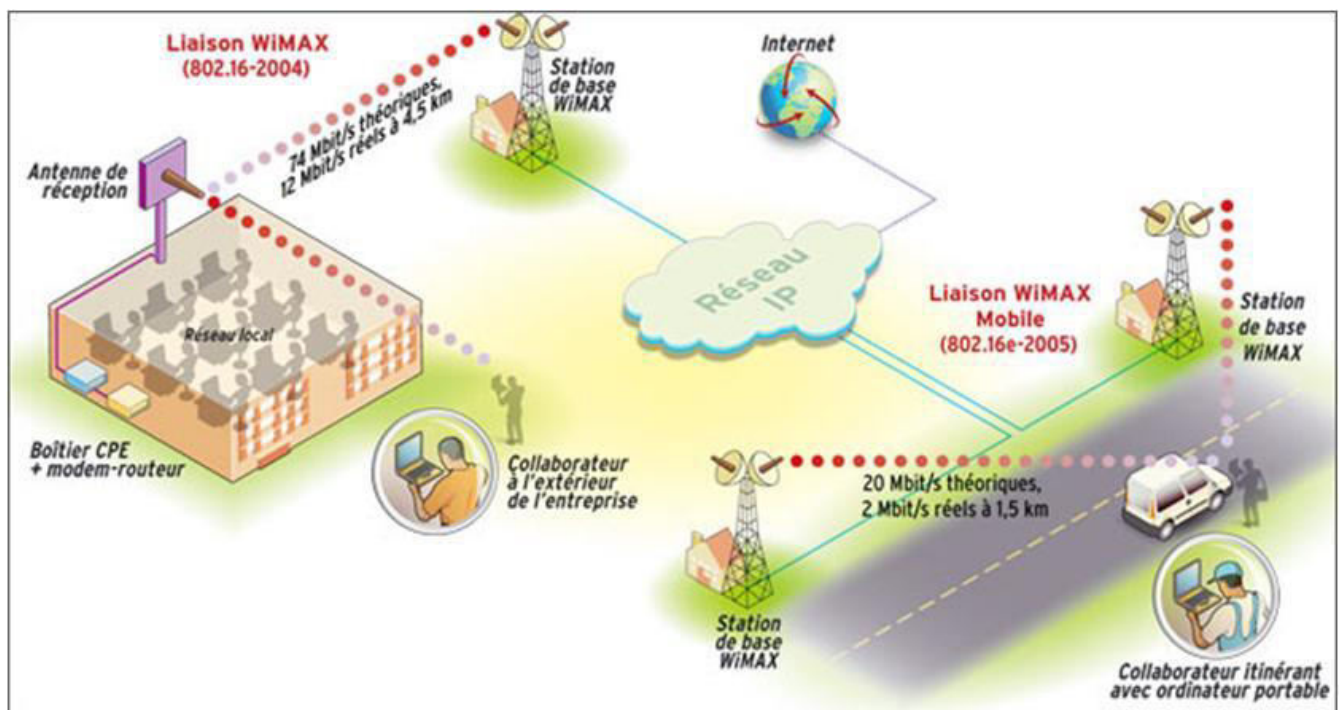


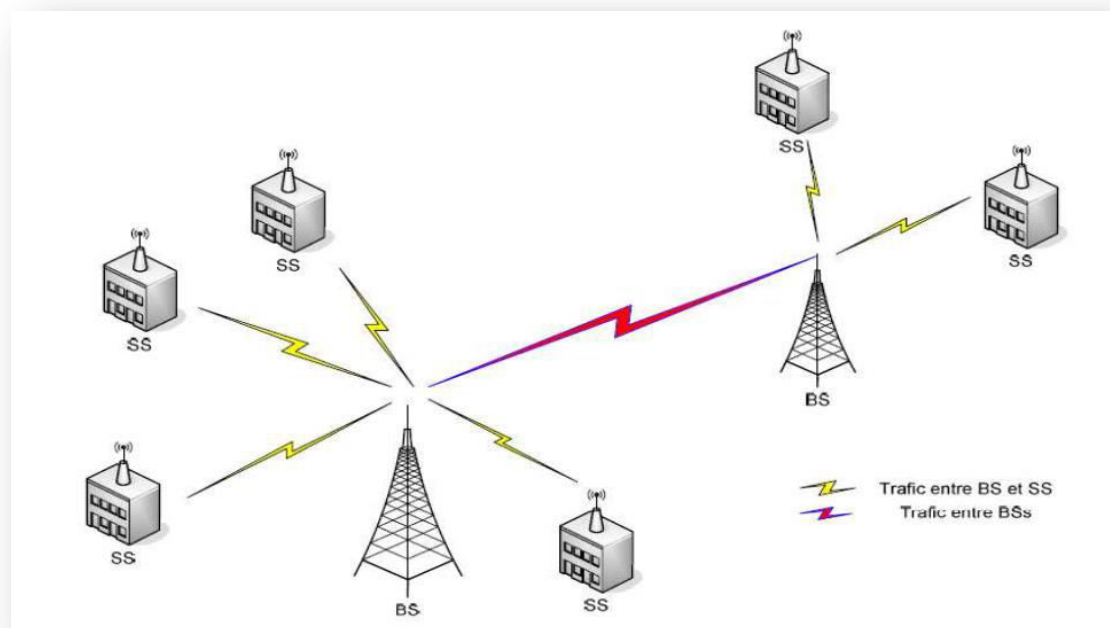
Figure I.3 : La desserte avec WiMAX.

## I.10 Topologies WiMAX

Le WiMAX définit deux modes de topologie possible : Le mode PMP (Point to Multi Point) et le mode MESH. Nous détaillons ces deux modes dans ce qui suit :

### I.10.1 Mode PMP

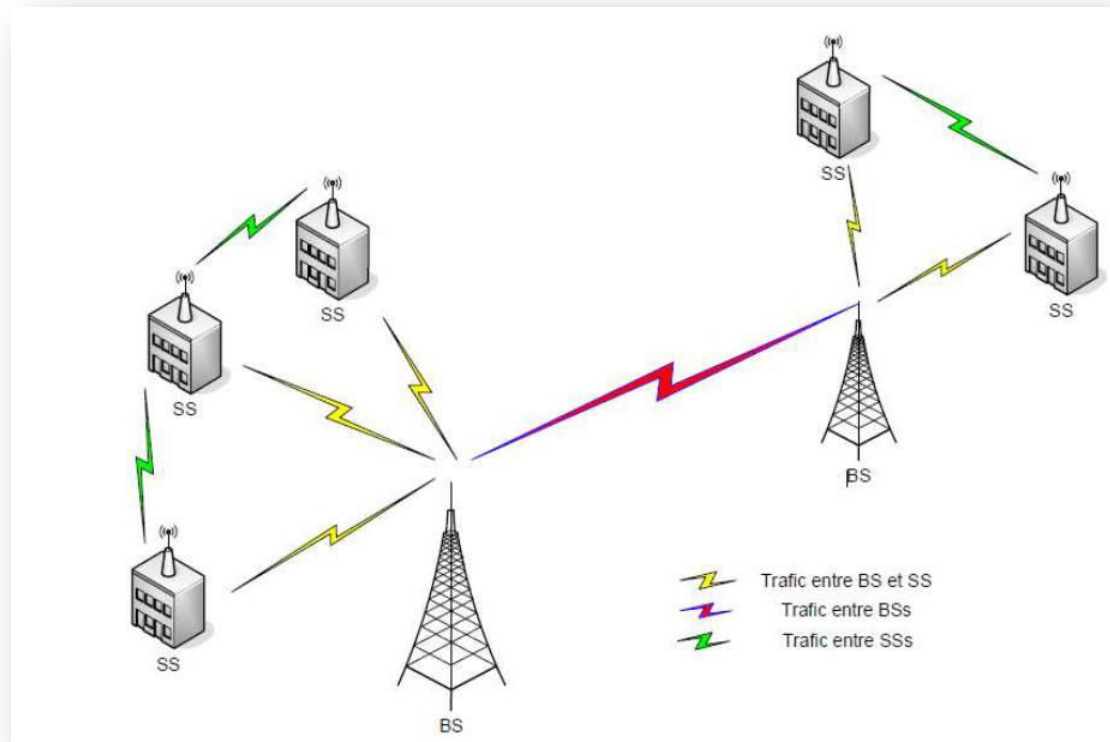
Il s'agit du mode de communication de base pour le 802.16. Comme son nom l'indique, il s'agit d'une transmission d'un point central vers plusieurs points dans le réseau, ce concept est présenté dans la Figure I.4. Dans cette configuration, le lien descendant DL (Down Link), depuis la BS (Base Station) vers l'utilisateur SS (Subscriber Station) fonctionne en mode PMP : la BS est l'élément qui contrôle les transmissions dans sa zone de couverture sans coordination avec les autres stations (BS ou SS) [5].



*Figure I.4 : Architecture PMP*

### I.10.2 Mode Mesh

La différence majeure entre le mode PMP et le mode Mesh (Figure I.5) est détaillée dans ce qui suit. En mode PMP, le trafic se fait uniquement depuis ou vers la BS, alors que dans le cas du Mesh, les SS peuvent communiquer directement entre elles sans passer par la BS.



*Figure I.5 : Architecture Mesh*

### I.11 WiMAX face à Wifi

Le Wifi ou Wireless LAN est le nom sur lequel le standard IEEE 802.11 a basé ses produits, à la fin des années 1990. Il inclut la spécification 802.11a, capable d'offrir des débits de 54 Mb/s fonctionnant dans la bande de fréquence des 5GHz, les spécifications 802.11b, g et n, dans la bande de fréquence des 2,4 GHz qui fournissent aux utilisateurs des débits de 11 à 150 Mb/s et la nouvelle norme IEEE 802.11ac, dans la bande de fréquence des 5 GHz, offrant un débit théorique pouvant atteindre 1,3 Gbit/s.

La technologie Wifi couvre souvent une zone de 20 à 50m de rayon et parfois jusqu'à 100 mètres en terrain libre, pour une bande passante fixée à 20 MHz par canal (80 MHz pour la nouvelle norme 802.11ac). Le WiMAX fournit l'accès sans fil pour les réseaux MAN de plus grande taille. Il a été conçu afin d'offrir des services « large bande » à ses utilisateurs, dans les zones métropolitaines et pour des surfaces couvertes plus étendues que le Wifi. Ce système pourrait connecter des utilisateurs installés dans une zone de 50 kilomètres avec une visibilité directe par rapport à la station de base et de 1 à 7 kilomètres sans une visibilité directe avec des débits de 70 à 240 Mb/s. Le WiMAX ne fait pas de conflit avec le Wifi, c'est une technologie complémentaire fournissant à prix

réduit un hot-spot capable potentiellement de remplacer le Wifi ou permettre une prolongation sans fil sur le dernier kilomètre pour le câble et les infrastructures DSL (Digital Subscriber Line). Le tableau I.3 représente une comparaison entre WiMAX et Wifi [6].

	802.11	802.16	Différence
Portée	Environ 300 mètres maximum	Jusqu'à 45Km cellules de 5 à 10Km	La couche physique de 802.16 tolère les délais d'expiration (réflexion) grâce à l'implémentation de 256 FFT contre 64 pour 802.11
Covertures	Courte portée optimisée pour l'intérieur	Longue portée optimisée pour l'extérieur	802.16 à une meilleure pénétration a travers les obstacles des plus longues distances
Adaptabilité	Prévu pour des réseaux locaux LAN fait pour une dizaine d'utilisateurs taille des bandes de fréquences fixes (20 Mhz)	Prévu pour supporter jusqu'à 100 utilisateurs taille des bandes de fréquences variables de 1.5 à 20 Mhz	Le protocole MAC 802.11 utilise un protocole CSMA/CA alors que 802.16 utilise TDMA 802.16 peut utiliser toutes les fréquences disponibles alors que 802.11 est limité
Qualité de service (QoS)	Pas de support de qualité de service	Intégrée dans MAC différents niveaux	802.11 : évite les collisions des messages via CSMA/CA 802.16 : même fréquences mais répartie dans le temps

**Tableau I.4 :** Comparaison entre WiMAX et Wifi

## I.12 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons examiné le WiMAX qui est un standard émergent d'IEEE donnant de bonnes et impressionnantes performances afin de satisfaire les besoins actuels sans aucune connexion à fil.

On peut notamment relever que la norme 802.16d a connu nombreuses évolutions au fur et à mesure qu'elle gagne en popularité, cette norme s'oriente de plus en plus vers la mobilité notamment dans la version 802.16e.

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 télécommunication.

Dans le chapitre suivant, nous nous intéresserons à l'étude de la technique du réseau WiMAX mobile.

## **Chapitre II**

**Technique du réseau**

**WiMAX mobile**

## II.1 Introduction

Le standard WiMax permet une connexion Internet à haut débit entre une station de base et des milliers d'abonnés sans nécessiter une ligne visuelle directe (LOS, Line Of Sight ou NLOS : Non Line Of Sight). Donc ce standard a été développé en suivant une architecture en couches. Ce chapitre présente une vue détaillée sur cette architecture ainsi que les techniques de Multiplexage et de modulation utilisées dans ce réseau.

## II.2 Etude technique de WiMAX

La figure II.1 représente l'architecture en couches de la norme IEEE 802.16. Elle est constituée de deux couches : La couche physique (PHY) et la couche MAC (Media Access Control).

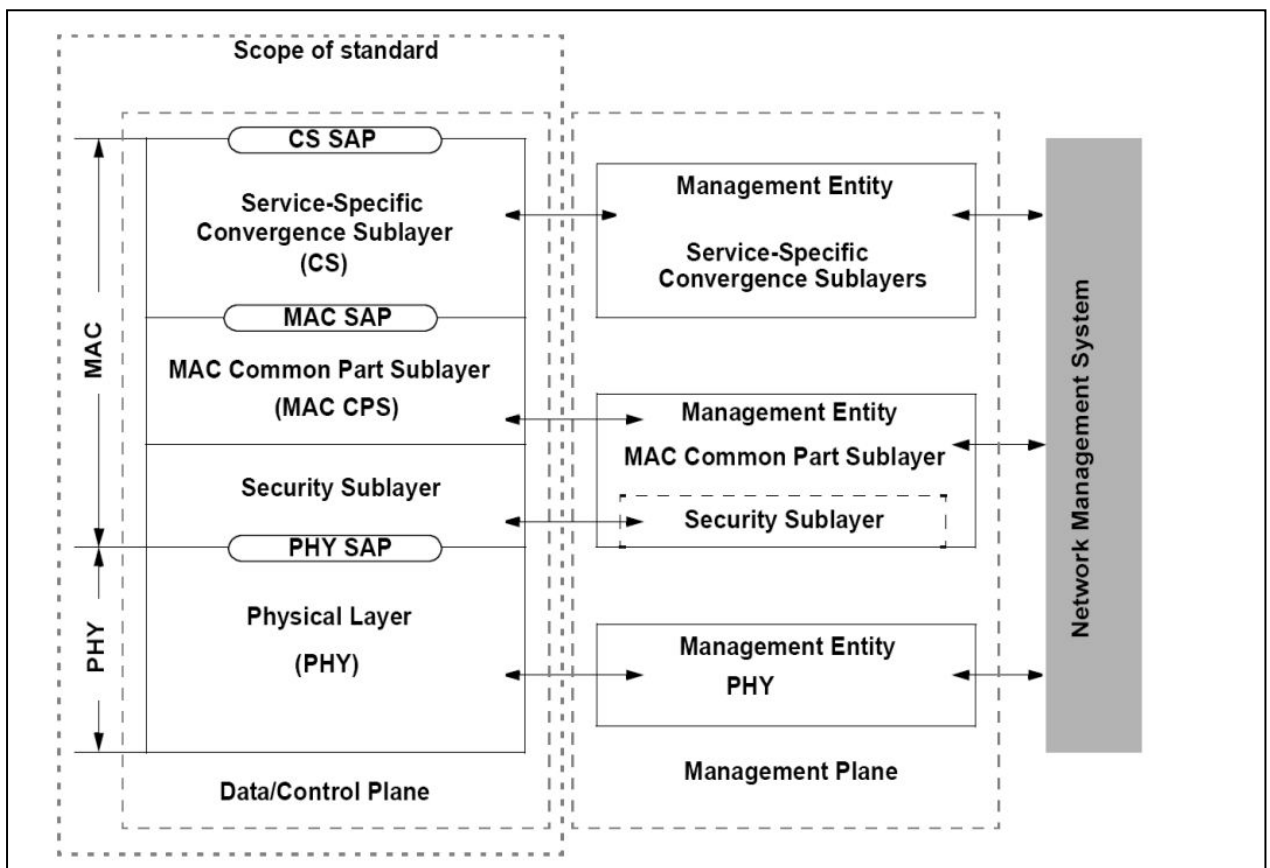


Figure II.1 : Couches protocolaires d'IEEE 802.16 [7]

### II.2.1 Couche MAC [8]

L'IEEE 802.16e a été conçue pour des applications sans fil à large bande de type pointmultipoint. Elle prend en charge le transport des cellules ATM mais aussi celui des paquets IP, et joue un rôle important dans la gestion de la qualité de service (QoS). La couche MAC s'appuie sur 3 sous-couches : une couche de convergence spécifique (*Service*

*Specific Convergence Sublayer* : SSCS), une couche commune (*MAC Common Part Sublayer* : CPS), et une couche sécurité (*Privacy Sublayer* : PS)

## II.2.2 Sous-couches

### ◆ Couche SSCS

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

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

### ◆ La couche CPS

La CPS fournit les règles et les mécanismes d'accès, l'allocation de la bande passante, et la maintenance de la connexion. Elle reçoit les données des sous couches de convergence. De plus, elle gère également la partie qualité de service (QoS).

### ◆ La couche PS

La PS est le lien qui réunit la couche MAC à la couche PHY. Elle fournit la sécurité à travers le réseau sans fil à large bande en cryptant la connexion entre la station de base et l'abonné au service. De plus, la PS est utilisée pour l'authentification et l'échange de clefs de sécurité.

## II.2.3 Couche physique[9]

La couche physique pour la spécification 11-66 GHZ se base sur une propagation « en ligne de vue » (LOS) c'est-à-dire les stations qui communiquent ensemble sont visible l'une de l'autre directement sans obstacles. Pour la spécification 2-11 GHZ, la couche physique a été implémentée pour répondre au cas où les stations communiquent « en non ligne de vue » (NLOS), dans le cas des environnements urbains avec la présence d'obstacles entre deux stations.

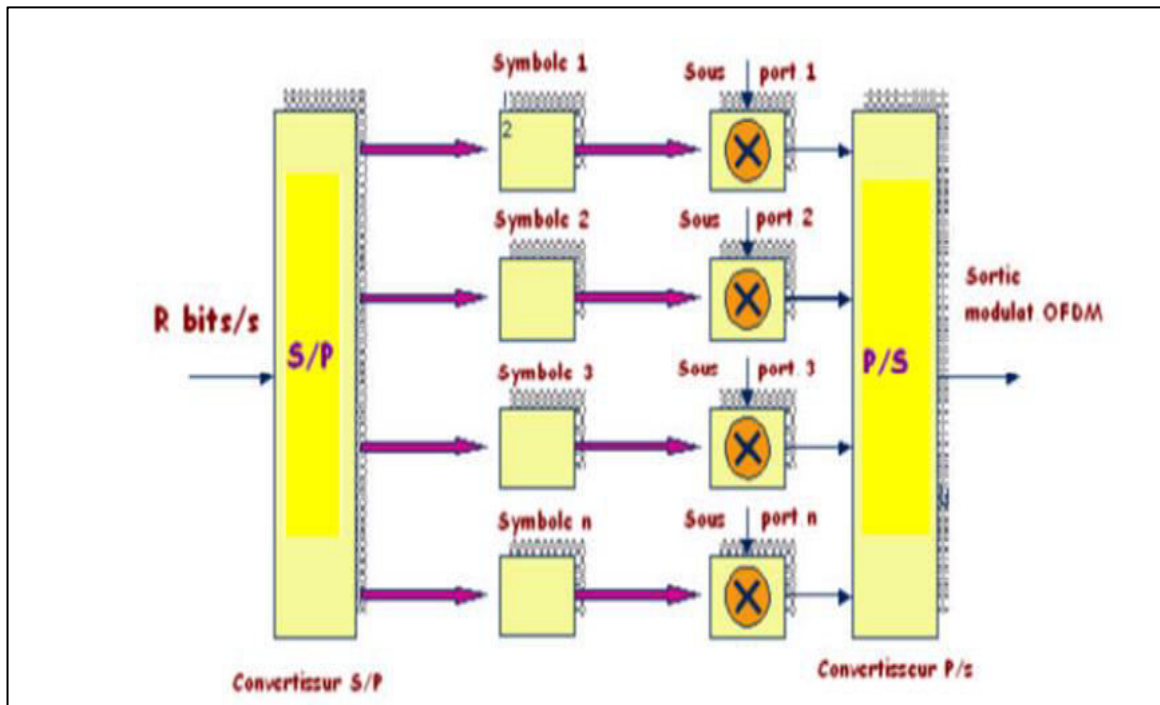
Pour répondre à ces spécifications, trois types d'interfaces de transmission ont été définies :

- ◆ **SC (Single Carrier)**: elle définit une transmission sur un seul canal de fréquence.
- ◆ **OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)** : cette interface utilise plusieurs bandes de fréquence qu'elle divise en plusieurs porteuses pour la transmission d'un signal. Chaque bande est utilisée à des fins différentes.
- ◆ **OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access)** : similaire à l'OFDM, cette interface offre un plus grand nombre de porteuses du fait du multiplexage effectué sur la fréquence. Dans ce qui suit, nous allons aborder les différentes techniques de multiplexage et duplexage qui peuvent être mises en œuvre au niveau de la couche physique de la norme 802.16.

## II.3 Techniques de multiplexage

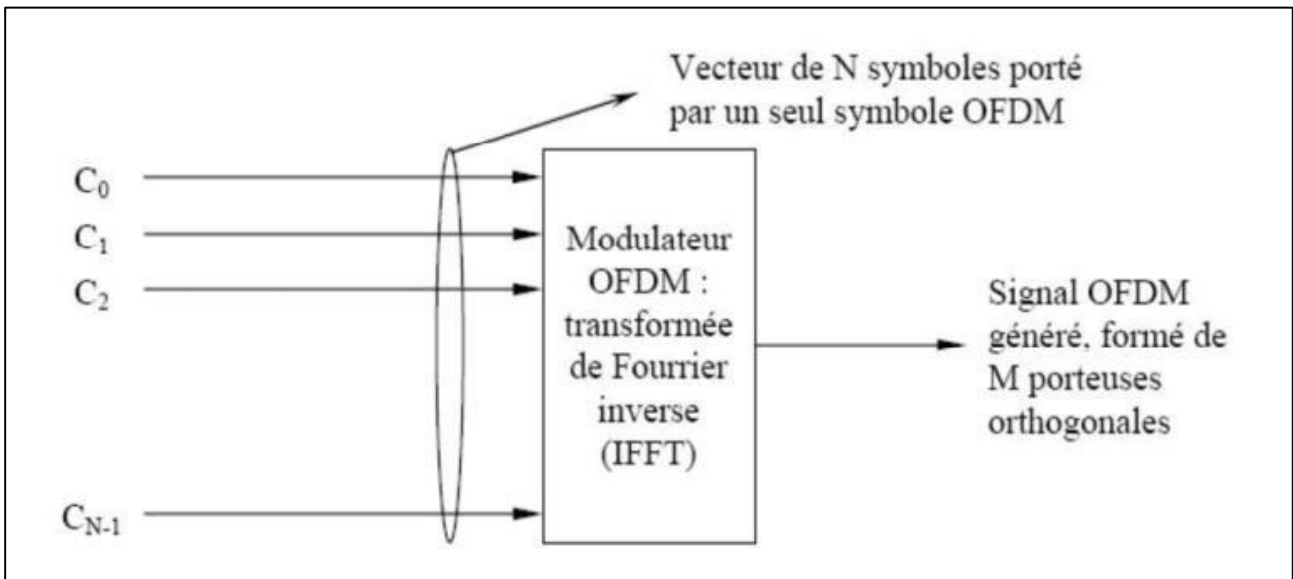
### II.3.1 Multiplexage par répartition orthogonale de fréquence

La norme 802.16-2004 utilise le multiplexage par répartition orthogonale de la fréquence (Orthogonal Frequency Division Multiplexing ou OFDM). C'est une technique de modulation multi-porteuses à base de transformée de Fourier rapide. Autrement dit, cette modulation emploie beaucoup de sous porteuses orthogonales et chacune de ces sous porteuses sera modulée avec une partie des données.



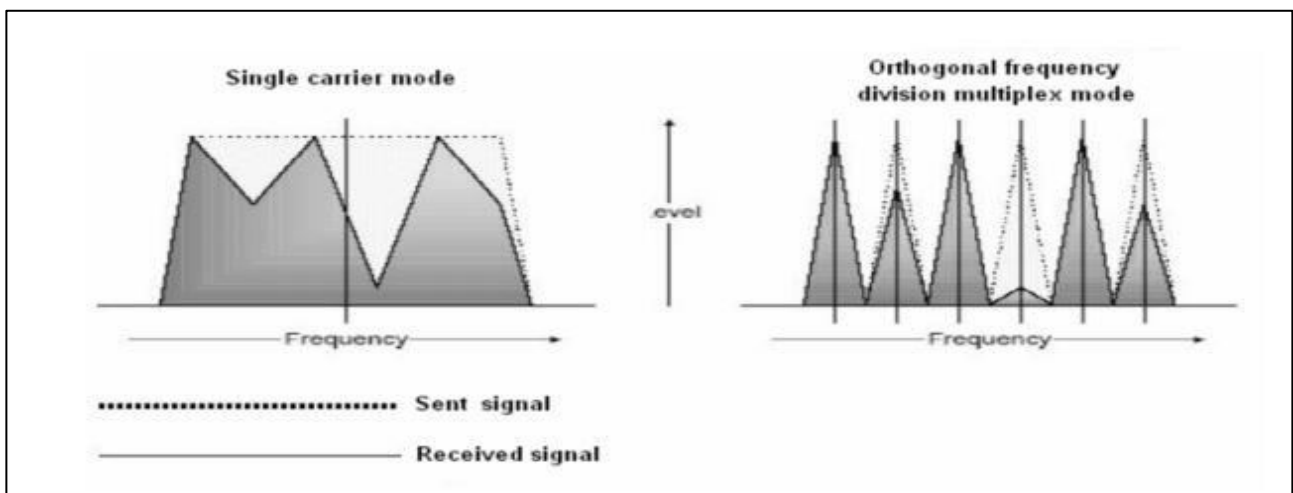
*Figure II.2: Le multiplexage par répartition orthogonale de fréquence [W3]*

D'un point de vue implémentation numérique (figure II.2), les systèmes OFDM transmettent les données par blocs. 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  $N$  canaux différents. 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 [8]



*Figure II.3 : 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.



*Figure II.4 : Différence entre les signaux SC et OFDM reçus [10]*

### II.3.2 Avantages de l'OFDM

Les avantages de la technique OFDM sont nombreux :

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

### II.3.3 Inconvénients de l'OFDM

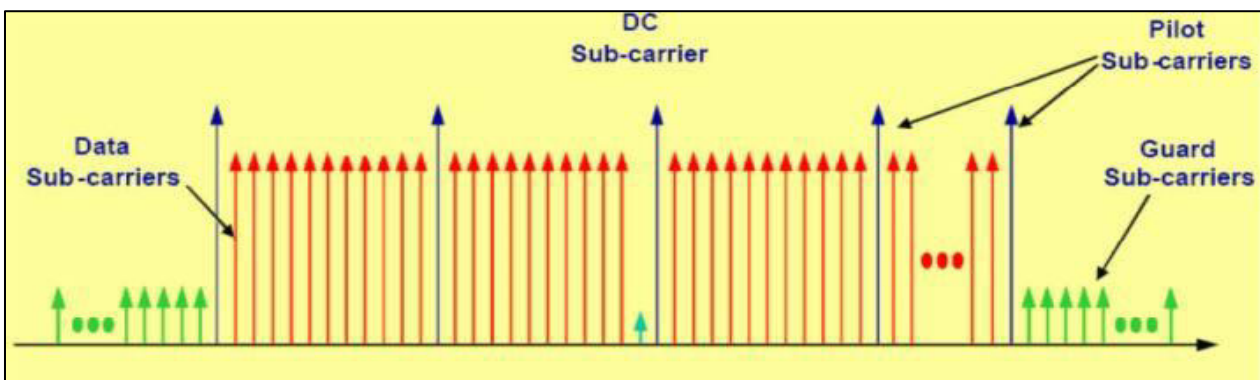
Les principaux inconvénients de l'OFDM sont :

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

### II.3.4 OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access)

Cette technique de modulation -comme l'OFDM- utilise l'IFFT (Transformée de Fourier Inverse) pour générer un symbole OFDMA contenant : des porteuses de données, des porteuses pilotes, et des porteuses nulles pour la bande de garde et la fréquence DC. Dans la technique OFDMA, les sous porteuses actives sont divisés en des sous ensembles de sous porteuses (subchannels). Dans le sens descendant (downlink), un subchannel peut être prévu pour différents groupes de récepteurs ; dans le sens montant (uplink), un émetteur peut attribuer un ou plusieurs subchannels, et plusieurs émetteurs peuvent transmettre simultanément.

Les sous porteuses formant un seul subchannel, mais n'ont pas besoin d'être adjacents. Le concept est illustré dans la Figure II.5.



*Figure II.5: Description fréquentielle de l'OFDMA [11]*

Le symbole OFDMA est divisé en des sous canaux (subchannels) logiques afin d'attribuer les ressources radio aux utilisateurs d'une manière dynamique, de supporter l'accès multiple, et pour une meilleure adaptation aux techniques avancées des antennes. Pour le downlink on dispose de deux modes d'utilisation des subchannels :

♣ **FUSC (*Full Usage of Subchannels*)** : tous les subchannels sont attribués à l'émetteur, dans ce mode on attribue d'abord les porteuses nulles de la bande de garde et les pilotes, ensuite on fait la partition des porteuses restantes en des subchannels (La partition des porteuses en des subchannels est nommée permutation), cela signifie qu'on a un seul ensemble des pilotes commun à toutes les porteuses du symbole.

♣ **PUSC (*Partial Usage of Subchannels*)** : quelques subchannels sont attribués à l'émetteur. Dans ce mode la partition se fait de la façon suivante : d'abord on fait attribuer les porteuses nulles de la bande de garde, ensuite on fait la partition des sous porteuses restantes en des subchannels (permutation), et dans chaque subchannel on fait l'attribution des pilotes et des porteuses des données, cela signifie que chaque subchannel a son propre ensemble de porteuses pilotes.

Pour l'uplink, on fait la permutation premièrement (partition en des subchannels), ensuite on fait l'attribution des porteuses pilotes et des porteuses données dans chaque subchannel.

### II.3.5 MIMO : Multiple Input Multiple Output

MIMO est un type de multiplexage spatial, c'est une technique très puissante pour les systèmes multiple-antenna. En principe, MIMO augmente le débit des données dans la proportion du nombre d'antennes de transmission du fait que chaque antenne porte un flux unique des symboles de données. Par conséquent, si le nombre des antennes de transmission est  $M$  et le débit des données par chaque flux est  $R$  alors le débit total du système est  $M \cdot R$ . MIMO fournit un accroissement multiplicatif du débit, en comparaison avec l'architecture Single Input Single Output (SISO), tout en codant soigneusement le signal transmis à travers les antennes, les symboles OFDM, et les fréquences.

Il existe plusieurs types de récepteurs pour le MIMO, mais une restriction pour tous ces récepteurs est que le nombre des antennes de réception doit être plus grand, ou au moins égal, au nombre des antennes de transmission, mais pas plus petit, sinon les données ne peuvent être décodées correctement au niveau de la réception.

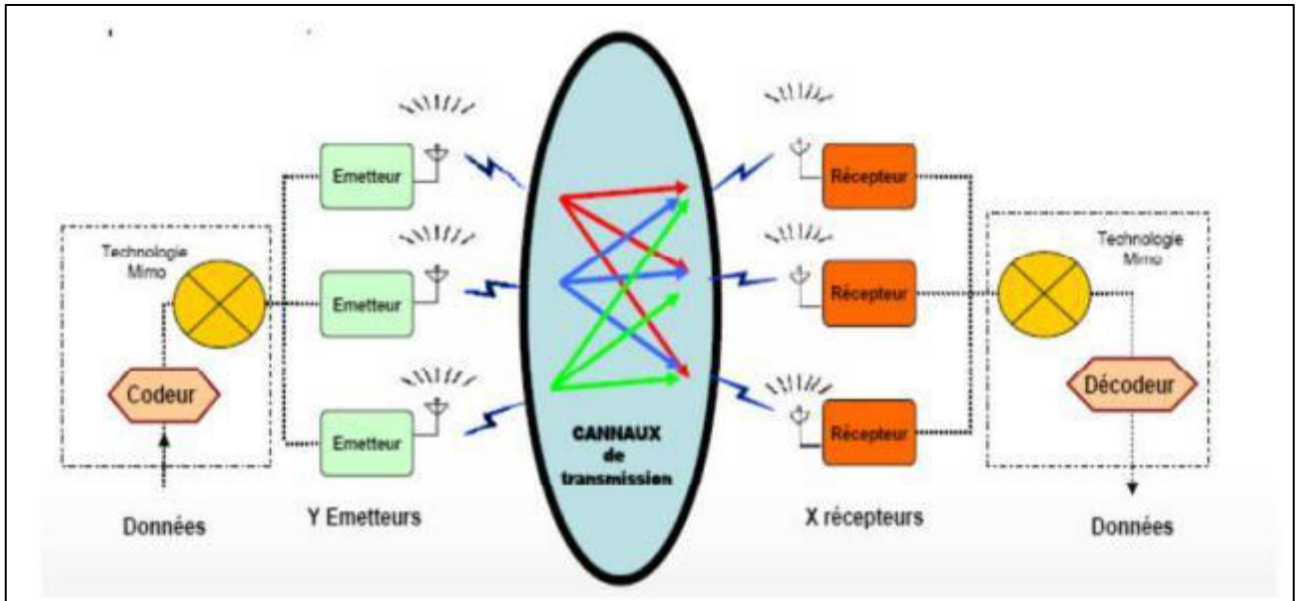


Figure II.6 : Schéma simplifié d'un système MIMO [12]

### II.3.6 Modulation adaptative

La modulation adaptative est adoptée dans le standard 802.16. Il s'agit d'ajuster la modulation du signal par rapport au SNR (rapport signal sur bruit) du signal radio. Quand le lien radio est de très bonne qualité, le plus haut plan de modulation est utilisé. Ce qui augmentera la capacité du système. Si non, on dégrade la qualité de la modulation pour garder la même qualité de connexion et la stabilité de lien.

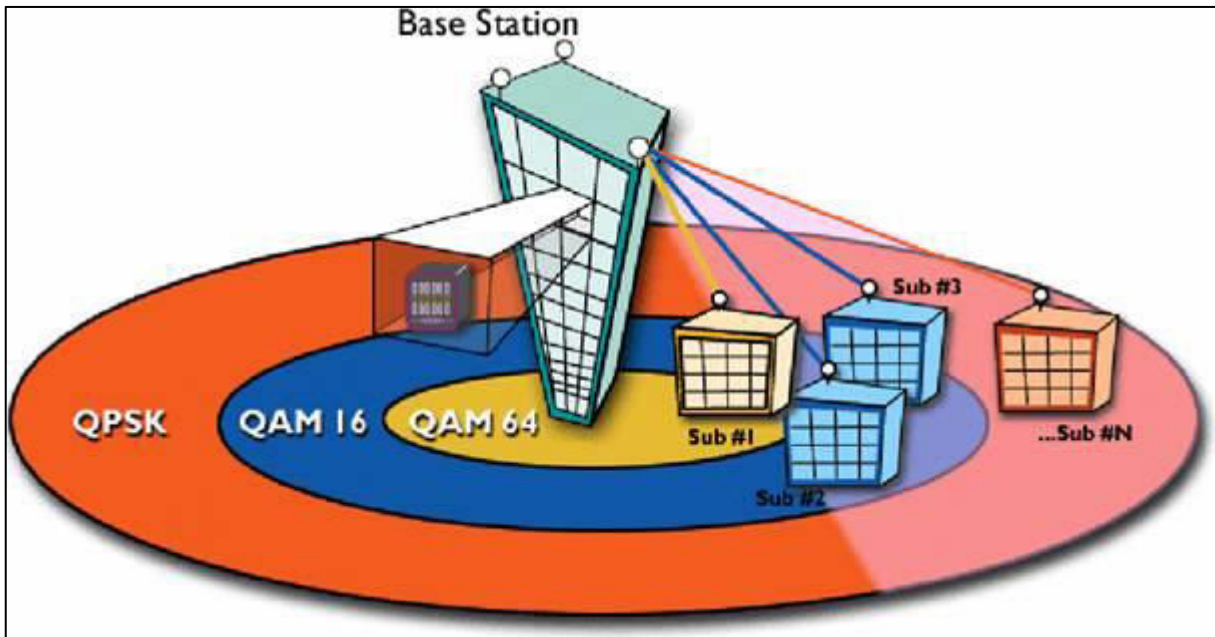


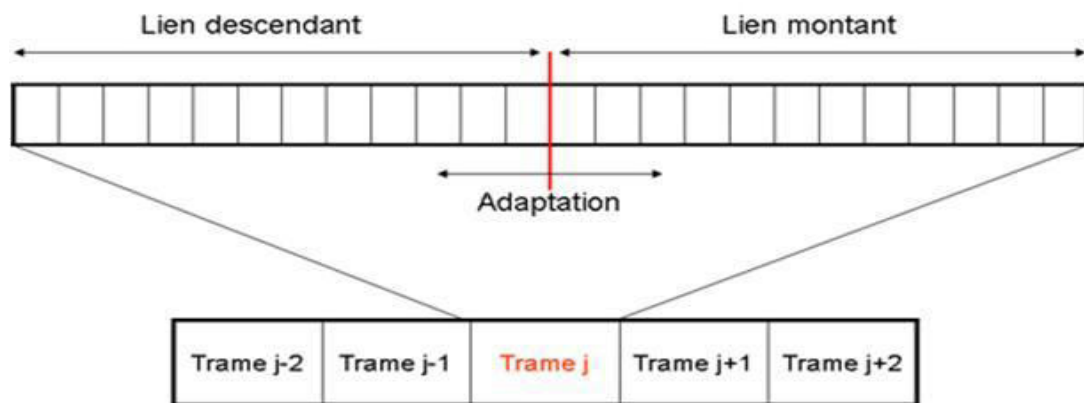
Figure II.7 : Couche physique adaptative[13]

- ◆ QAM-64 (Quadrature Amplitude Modulation) : 6 bit/ baud, pour les abonnés proches.
- ◆ QAM-16 : 4 bit/ baud, pour les abonnés moyennement distants.
- ◆ QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) : 2 bit/ baud, pour les abonnés éloignés.

## II.4 Techniques de Duplexage [14]

Le duplexage est le processus utilisé pour créer des canaux bidirectionnels pour la transmission des données en uplink et downlink. Le WiMAX utilise deux types de duplexage :

**1- TDD (Time Division Duplexing) :** les transmissions downlink et uplink se font sur le même canal (même fréquence porteuse), mais à des périodes temporelles différentes. La trame utilisée pour l'échange des données est d'une durée fixe et contient 2 sous trames, l'une est utilisée pour le downlink, et l'autre pour l'uplink. Elle est formée d'un nombre entier de PSs (Physical Slot : unité de temps, dépendant de la spécification PHY, utilisée pour l'allocation du canal), ce qui facilite la partition du canal. Un système TDD peut diviser le canal entre les 2 sens downlink et uplink d'une façon adaptative, selon la quantité du trafic échangé. Ce transfert asymétrique est approprié au trafic Internet où de grandes quantités de données peuvent être tirées à travers le downlink. La Figure II.8 résume le principe de TDD.



*Figure II.8: Duplexage TDD, (figure extraite de la norme) [15]*

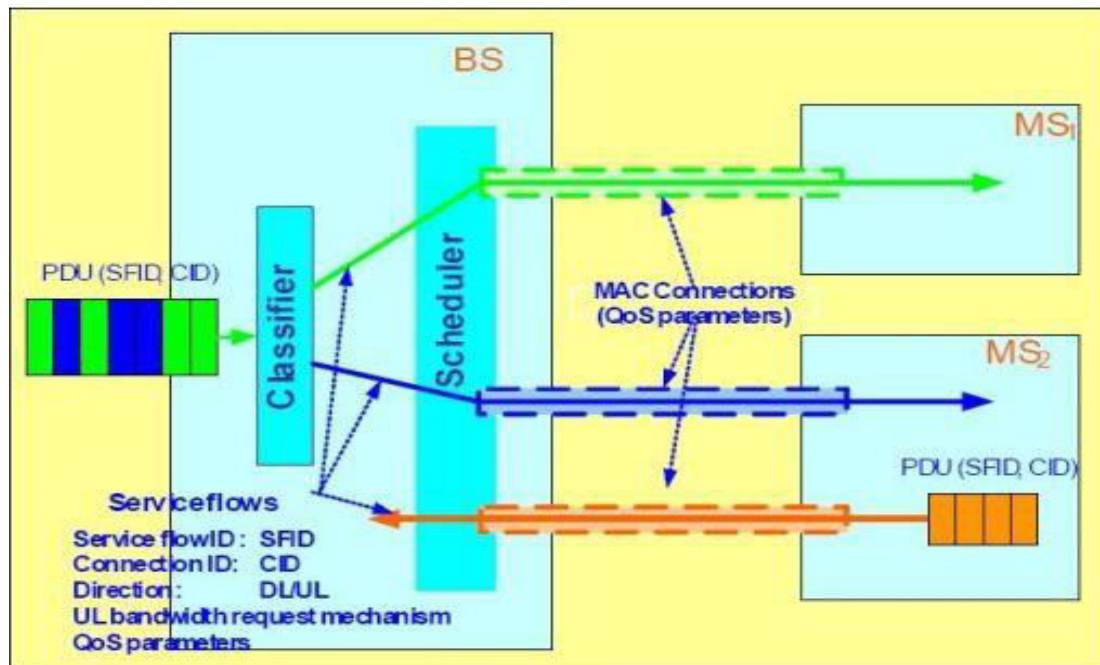
**2- FDD (Frequency Division Duplexing) :** dans FDD les canaux uplink et downlink sont localisés dans 2 bandes de fréquence différentes. Une durée fixe de trame est utilisée pour le downlink et l'uplink, ce qui facilite l'utilisation des différents types de modulation, et simplifie l'algorithme d'allocation des canaux. Deux types de duplexage FDD sont prévus dans 802.16-2004 [15]

**a) FDD full-duplex :** une full-duplex SS (Subscriber Station) est capable d'écouter continuellement le canal downlink, ce qui lui permet de transmettre et de recevoir simultanément.

**b) FDD half-duplex :** une half-duplex SS peut écouter le canal downlink seulement lorsqu'elle ne transmet pas sur le canal uplink, donc elle n'est pas capable de transmettre et de recevoir simultanément. Une half-duplex SS est moins couteuse, moins complexe qu'une full-duplex SS, mais elle n'a pas la même efficacité qu'une full-duplex SS.

## II.5 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 ... Dans la couche MAC, la QoS est fournie par l'intermédiaire des flots de service comme illustré dans la figure suivante :



*Figure II.9: QoS dans le Wimax Mobile [16]*

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.

## II.6 Sécurité [17]

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

- **Key Management Protocol** : Privacy and Key Management Protocol Version 2 (PKMv2) est la base de la sécurité du Wimax Mobile comme défini dans la norme 802.16e. Ce protocole gère la sécurité au niveau de la couche MAC en utilisant des messages de type PKM-REQ/RSP PKM EAP authentication, Traffic Encryption Control, Handover Key Exchange et Multicast/Broadcast.
- **Device/User Authentication** : Supporté grâce au protocole EAP en fournissant des supports SIM-based, USIM-based ou Digital Certificate ou UserName/Passwordbased.
- **Traffic Encryption** : L'AES-CCM est l'algorithme de chiffrement utilisée pour protéger les données des utilisateurs à travers l'interface MAC du Wimax Mobile. Les clés sont générées par l'authentification EAP.
- **Control Message Protection** : Les données de contrôle sont protégées suite à l'utilisation de l'AES ou du MD5.
- **Fast Handover Support** : L'authentification dans le fast handover est optimisé grâce au mécanisme du 3-way Handshake. De même, ce mécanisme permet de lutter contre les attaques de man-in-the-middle.

## II.7 Gestion de la mobilité

Le handover et la vie de la batterie sont deux problèmes très importants dans le monde du mobile. Le Wimax mobile supporte le Sleep Mode et le Idle Mode pour assurer un bon fonctionnement du terminal mobile. De plus, cette version du Wimax supporte le handover d'une façon transparente vis-à-vis de l'utilisateur et cela en basculant d'une station de base à une autre sans avoir de coupure au niveau de la communication [10].

### II.7.1 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 » .

- **Le mode « sleep »** est un état au cours duquel le MS mène des périodes, pré négociées, d'absence par rapport à l'interface air de la station de base. Ces périodes sont caractérisées par l'indisponibilité du MS en point de vue trafic ascendant ou descendant. Ce mode vise à économiser la puissance au niveau du MS ainsi que les ressources au niveau de la BS (Base Station). 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 ».
- **Le mode « idle »** fournit un mécanisme de disponibilité périodique pour le trafic «downlink » en diffusion, sans que le MS soit inscrit au niveau d'une station de base spécifique [W4].

### II.7.2 Technique de Hand Over [W5]

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 au sein du 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.

### **II.8 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. Donc, 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 au dimensionnement et planification du réseau WiMAX mobiles.

**Chapitre III**  
**Dimensionnement et**  
**planification du réseau**  
**WiMAX mobiles**

### III.1 Introduction

Le dimensionnement d'une zone quelconque nécessite en premier lieu l'analyse d'un bilan de liaison afin d'estimer l'affaiblissement maximal du parcours entre abonné et station de base. Ce chapitre décrit les fondements du dimensionnement des réseaux large bande WiMAX mobile. En effet, il détermine la portée maximale en utilisant les modèles de canaux (modèles de propagation) conformément au type de terrain d'étude pour prédire la couverture d'une station de base, le bilan de liaison est aussi examiné. Enfin, le chapitre se termine par le dimensionnement par rapport à la capacité.

### III.2 Dimensionnement d'un réseau WiMAX

#### III.2.1 Processus de dimensionnement du réseau WiMAX

Le but de dimensionnement d'un réseau sans fil est, étant donné une répartition d'abonnés, une situation géographique et des données de propagation, d'assurer la minimisation du coût de la liaison radio et de l'infrastructure du réseau, en tenant compte de la couverture radio, de la taille des cellules et de la topologie du réseau sous réserve de contraintes de la QoS.

L'étape de dimensionnement constitue une étape primordiale dans la conception d'un tel réseau cellulaire. Cette phase permet aux concepteurs de trouver une disposition optimale des sites radio. Etant donné les caractéristiques de l'environnement à couvrir, les caractéristiques des abonnés à desservir en termes de densité et de demande en trafic, les spécifications des équipements et la bande de fréquence, notre objectif c'est de dimensionner le réseau en essayant de concilier le coût et les contraintes de QoS.

L'opération de dimensionnements se base sur des données de départ obtenues suite à des statistiques et estimations pour aboutir à des résultats permettant au réseau de couvrir la totalité de la zone considérée en divers services.

#### III.2.2 Choix de la bande de fréquence

La sélection de la bande de fréquence à utiliser a une influence capitale sur le dimensionnement et la planification d'un tel réseau. A basses fréquences, les caractéristiques de propagation du signal sont meilleures, seulement la bande passante disponible est limitée. Le choix entre les bandes avec et sans licence n'est pas facile à faire. La nature des bandes sous licence 2.3GHz, 2.5GHz , 2.7GHz , 3.3GHz et 3.5 GHz, avec la bande sans licence 5.8GHz et

26 GHz protège le réseau des interférences inter systèmes et limite le nombre d'opérateurs à une certaines zone géographique. Les bandes sans licence présentent des niveaux d'interférences difficilement prédictibles pouvant constituer des problèmes dans certaines zones [18]

Date d'emission	Janvier 2003	Juin 2004	2005
	802.16a	802.16/revd	802.16e
Bande	10-66GHz		2-6GHz
Application et condition de propagation du canal	Backhaul LOS	Backhaul NLOS	Internet Mobile NLOS
Largeur du canal	20.25 et 28MHz	1.5 à 20MHz	1.25 à 20 MHz
Mobilité	Fixe	Fixe	Mobilité piéton
Débit	Jusqu'à 134 Mbits/s	Jusqu'à 70 Mbits/s	Jusqu'à 15 Mbits/s

*Tableau III.1 : Spécificités techniques des différentes normes IEEE 802.16x [18].*

### III.2.3 Choix du type de Dimensionnement

Le déploiement du réseau peut être limité par la capacité, ou par la portée. Pour les services mobile , dû aux attributions licenciées avec un spectre limité, la plupart des déploiements seront limites par la capacité plus que la portée, a l'exception des zones rurale où on a une faible densité, et surtout les zones où on a une grande perte de propagation.

Cependant, généralement les opérateurs à la première phase du réseau essayent d'assurer la couverture la plus complète possible vue le nombre faible d'abonnés et le non pertinence des prédictions faites. Une fois, la demande en trafic augmente, l'opérateur passe à l'étape de densification et ce en ajoutant des canaux (si le spectre le permet) ou des stations de bases supplémentaires.

## III.3 Modèles de propagation

### III.3.1 Rôle des modèles de propagation

Les modèles de propagation simulent la manière avec laquelle les ondes radio se propagent dans l'environnement d'un point à l'autre. Afin de modéliser exactement le comportement des ondes radio,

les caractéristiques de l'environnement telles que la topologie du terrain (par exemple, colline ou appartement) doivent être prises en considération. La couverture au sol telle que des bâtiments et des arbres doit également être expliquée (connue en tant que « sursol » ou « clutter ») : Un modèle de propagation modélise la manière avec laquelle les ondes radio réagissent aux changements d'altitude et au sursol (réflexion, diffraction, et dispersion) [19].

### III.3.2 Types de modèles de propagation

Dans ce paragraphe, nous commençons par rappeler plusieurs modèles de propagation applicables à l'architecture multi cellules. Typiquement, le scénario est le suivant :

- ✓ Les cellules < 10 Km de rayon, différents types de terrains et de densité des arbres.
- ✓ Des antennes directionnelles ou omnidirectionnelles sont installées, au dessous des toits (2-10 m), au récepteur.
- ✓ 15 – 40 m antennes de BS.
- ✓ Condition d'une grande couverture de cellule (80-90%).

le canal sans fil est caractérisé par :

- ✓ Perte due au chemin (effet de masque inclus).
- ✓ Caractéristiques d'évanouissement.
- ✓ Interférence Co-canal et entre les canaux adjacents.

#### III.3.2.1 Modèle de propagation (Espace libre)

Le modèle de l'affaiblissement du parcours espace libre est habituellement le point de référence du quel tout les modèles de propagation prennent origine, il est employé pour déterminer l'affaiblissement de parcours en espace libre. Ce modèle se base sur l'équation de Friis qui montre que la puissance reçue chute beaucoup et elle est calculée comme étant la carré de la distance séparent émetteur et récepteur (20dB/decade).

En environnement LOS ; le modèle Free Space ou modèle de Friis est spécifié. L'équation suivante montre le path loss en fonction de la distance :

Avec :

$$PL(d) = 20 \log_{10} \frac{4\pi d}{\lambda} \quad (\text{III.1})$$

**d** : distance entre deux antennes dans l'espace libre (m)

$\lambda$  : Longueur d'onde (m)

Ou encore [19] :

$$PL(d) = 32.4 + 20\log_{10}(d) + 20\log_{10}(fc) \quad (\text{III.2})$$

Avec :

**d** : distance en Km.

**fc** : fréquence en MHz.

### III.3.2.2 Modèle COST 231 Hata

Ce modèle est utilisé pour les macros cellules. Il est essentiellement fait pour les fréquences inférieures à 2 GHz. Dans le but de l'utiliser pour des fréquences supérieures (jusqu'à 6GHz), on lui a introduit des corrections. Le résultat est donné par l'équation suivante [20] :

$$Lh(d) = 46.3 + 33.9\log_{10}(fc) - 13.2\log_{10}(h_{BS}) - A(h_{ss}) + (44.9 - 6.55\log_{10}(h_{BS}))\log_{10}(d) + Cm \quad (\text{III.3})$$

Avec:

**fc**: fréquence porteuse du signal en MHz

**hbs** : hauteur de la BS en mètres

**hss** : hauteur de la SS en mètres

**d** : distance entre la BS et SS en Km

**C** : terme constant (C=0 dB pour les zones sous urbaines, C=3 dB pour les zones urbaines)

**A(hss)** : est un terme correctif dépendant de la hauteur de l'antenne de SS.

→ Pour les villes de taille moyenne ou petite :

$$A(h_{ss}) = (1.1\log_{10}(fc) - 0.7) \times h_{ss} - (1.56\log_{10}(fc) - 0.8)dB \quad (\text{III.4})$$

→ Pour les villes de grande taille :

$$A(h_{ss}) = 3.2\log_{10}(11.75 \times h_{ss}) - 4.97dB \quad (\text{III.5})$$

### III.3.2.3 Modèle d'Erceg (SUI)

En environnement NLOS, le modèle adéquat pour prédire ce qu'advientra au signal lors de sa transmission vers le récepteur au niveau d'un réseau WiMAX est le modèle d'Erceg connu sous le nom « SUI model ».

Le modèle d'Erceg est utilisé pour les zones urbaines, sous urbaines et rurales. Il représente une modification du modèle de Hata-Okumura. Ce dernier est le modèle de perte de chemin le plus utilisé pour la prédiction de l'intensité du signal et la simulation dans des environnements macros cellulaires.

Le modèle de Hata-Okumura est valide pour les valeurs des paramètres du tableau suivant :

Paramètres	Valeur
Fréquence	500-1500 MHz
Distance de l'antenne de BS	>1 Km
Hauteur de l'antenne de BS	>30 m

*Tableau III.2 : Paramètres de validité du modèle Hata-Okumura.*

La modification proposée au modèle de Hata-Okumura donne un nouveau modèle, souvent avec des corrections concernant le type de terrain. Trois catégories de terrain sont définies :

→ Catégorie A : perte de chemin maximal, terrain avec collines, et une densité d'arbres variable (modérée à grande densité).

→ Catégorie B : perte de chemin intermédiaire entre A et C.

→ Catégorie C : perte de chemin minimal, terrain plat, avec une faible densité d'arbres.

Pour une distance proche de  $d_0$ , la perte du chemin est donné par (fréquence=1.9 GHz) :

$$L = A + 10 \times \gamma \times \log_{10} \left( \frac{d}{d_0} \right) + s \quad \text{pour } d > d_0, d_0 = 100 \text{ m} \quad (\text{III.6})$$

Avec :  $A = 20 \log \left( \frac{4\pi d_0}{\lambda} \right)$

$\lambda$  est la longueur d'onde en m

$\gamma$  est l'exposant de perte de chemin.

$$\gamma = \left( a - b \times h_{BS} + \frac{c}{h_{BS}} \right)$$

Avec:  $h_{BS}$  est la hauteur de la BS entre 10 et 80 m, et a, b, c sont des constants dépendant de la catégorie du terrain, dont les valeurs sont données dans le tableau suivant :

Paramètres du modèle	Terrain de type A	Terrain de type B	Terrain de type C
A	4.6	4	3.6
B	0.0075	0.0065	0.005
C	12.6	17.1	20

*Tableau III.3: Valeurs des paramètres en fonction du type de terrain*

L'effet de masque est donné par le paramètre  $s$ , qui suit une distribution log normale. La valeur typique de l'écart type de  $s$  est entre 8.2 et 10.6, dépendant du type de terrain et densité d'arbres.

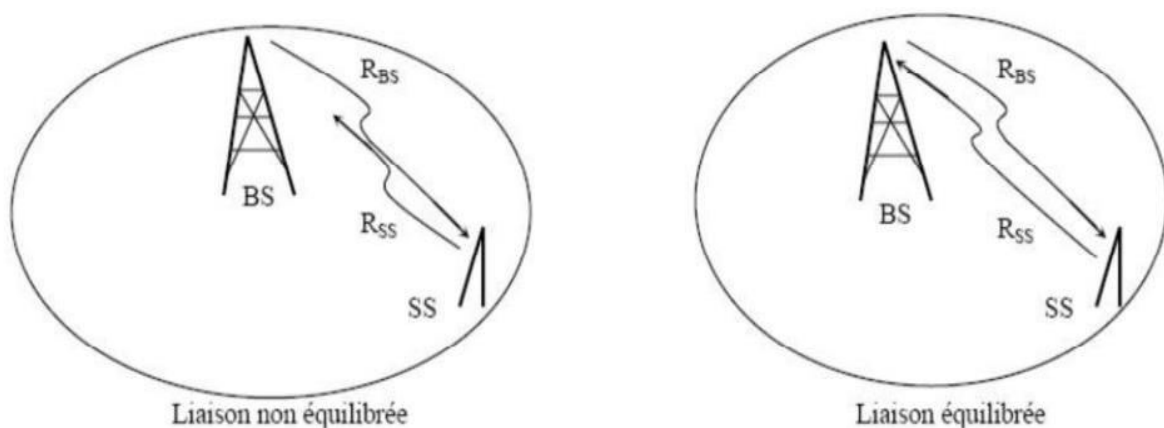
### III.3.2.4 Model WLL

Le modèle de propagation WLL est conçu pour les applications par radio de boucle locale dans la bande de 30-10,000 Mhz. Le modèle est dérivé du modèle d'UIT 526-5 [19]. Sous l'équation suivante :

$$L = 32.4 + 20 \log_{10} f + 20 \log_{10} (d_{km}) \quad (\text{III.7})$$

### III.4 Bilan de Liaison [21]

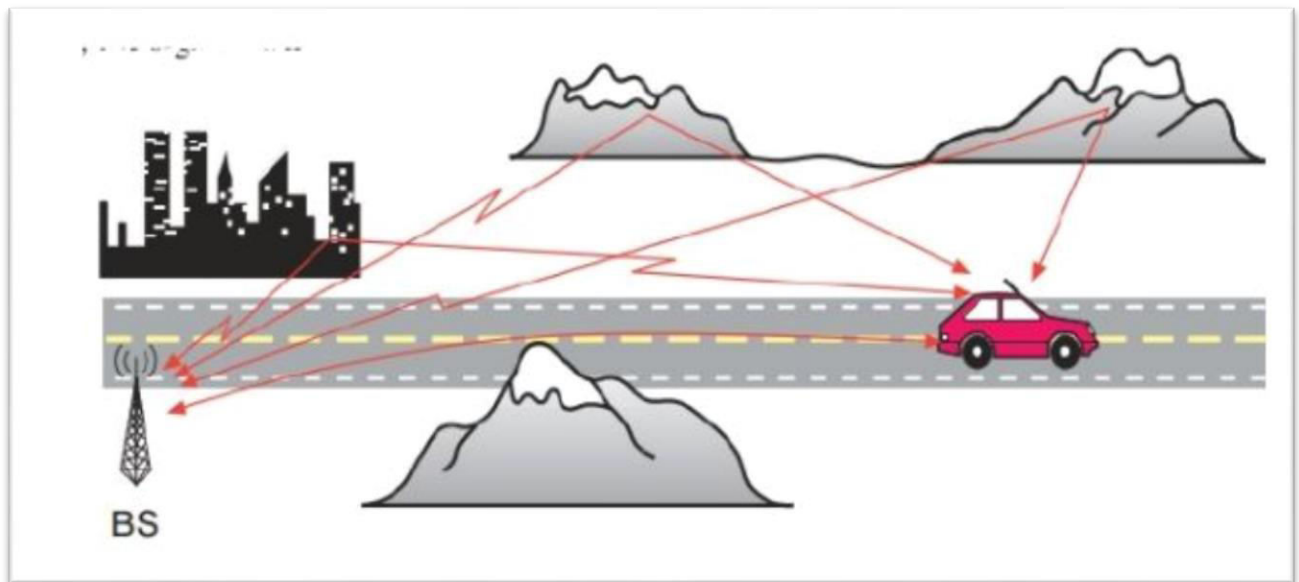
Un équilibrage de puissance est nécessaire pour les liaisons montantes et descendantes, pour cela un ajustement des paramètres des liaisons est nécessaire pour les équilibrer. Une liaison équilibrée signifie un fonctionnement symétrique du système en tout point de la couverture, comme il est illustré dans la figure suivant :



**Figure III.1:** Equilibrage des liens montants et descendants.

L'objectif d'un bilan de liaison est d'obtenir un résultat par des calculs qui représente l'état de la qualité de liaison. Les composants permettant de déterminer ces résultats varient selon la nature du média qui peut être hertzien, optique, les types de signaux, mais surtout de la technique de modulation utilisée .

Généralement un bilan de liaison WIMAX mobile peut se résumer par la figure ci-dessous :



*Figure III.2 : bilan de liaison WiMAX mobile*

### III.4.1 Puissance émise

L'élément de base qui doit être calculé pour le bilan de liaison du côté de l'émetteur est la Puissance Isotrope Rayonnée Equivalente ou (PIRE), elle dépend de la chaîne appareil câble-antenne. Donc, l'appareil émetteur émet le signal avec une certaine puissance notée  $P_e$ , le câble reliant l'appareil à l'antenne en perd une partie notée  $L$ , et l'antenne fournit elle aussi une puissance supplémentaire notée  $G_e$ .

En exprimant ces puissances en dB, la PIRE s'obtient par simple addition :

$$\text{PIRE} = \text{Puissance d'émission} - \text{Perte de câble} + \text{Gain d'antenne émettrice}$$

$$\text{Soit : } \quad \text{PIRE} = P_e - L + G_e \quad (\text{III.8})$$

Dans des systèmes de radiocommunication, le PIRE est la qualité de puissance qui devrait être émise par une antenne isotrope (qui distribue de façon égale la puissance dans toutes les directions) pour

produire la densité de puissance maximale observée dans la direction du gain maximum d'antenne. Pour le décibel c'est une unité exprimant un rapport, autrement dit un gain. Pour des puissances, le calcul est le suivant :

$$G = 10 \log_{10} \left( \frac{P_2}{P_1} \right) \text{dB} \quad (\text{III.9})$$

Pour l'appareil émetteur, il s'agit de décibel par rapport au milliwatt (dBm) : dans la formule précédente,  $P_2 = 1 \text{ mW}$  et  $P_1$  est la puissance d'émission doit être aussi transformée en mW de l'appareil.

Pour l'antenne, il s'agit de décibel par rapport à un isotrope (dBi). L'isotrope est une antenne théorique parfaite qui émet de façon homogène dans toutes les directions. Le dBi est donc le gain de l'antenne par rapport à un isotrope qui émet la même quantité d'énergie. Les pertes câbles sont exprimées en décibel par mètre (dB/m), donc les pertes totales dues au câble sont calculées ainsi :

$$\text{Pertes câble} = \text{longueur câble} \times \text{perte par mètre.}$$

### III.4.2 Sensibilité de réception [22]

Pour que le signal reçu soit intelligible par le récepteur, il faut que celui-ci ait une sensibilité suffisante. Là encore, c'est l'ensemble appareil-câble-antenne qu'il faut prendre en compte. La sensibilité effective Rx est une addition de la sensibilité de l'appareil Sx (une autre caractéristique avec la puissance) et du gain de l'antenne Gs, auxquels on retranche les pertes de câble L. Le gain de l'antenne et les pertes de câble sont ceux utilisés dans les calculs de puissance précédents. La puissance effective du signal reçue doit être supérieure à la sensibilité de l'ensemble, faute de quoi le signal ne pourra pas être utilisé.

Donc, l'élément de base qui doit être calculé pour le bilan de liaison du côté du récepteur est la puissance ou la sensibilité minimum reçue de récepteur. La sensibilité du récepteur est définie comme la quantité de puissance en dBm qu'un détecteur doit recevoir pour réaliser une performance spécifique en bande de base, comme un taux d'erreurs sur les bits spécifié ou un ratio du signal sur bruit.

Cette sensibilité de récepteur (en dBm) sera calculée en utilisant la formule suivante:

$$\text{Avec:} \quad R_x = \left( \frac{E_b}{N_0} \right) - 10 \log_{10} \left( \frac{W}{R_b} \right) + NW + NF \quad (\text{III.10})$$

$R_x$  : La sensibilité du récepteur.

$E_b/N_0$  : Ratio du signal sur bruit (en dB)

$W$  : Bande passante du système (MHz)

$R_b$  : débit symbole (bps)

$NW$  : Puissance de bruit thermique ; et  $NF$  : Bruit au niveau du récepteur.

## III.5 Choix du type de dimensionnement

### III.5.1 Dimensionnement suivant la couverture

Un autre scénario de déploiement est de déployer un nombre minimum des BS nécessaires pour créer une couverture sur une surface particulière, et on ajoute des capacités si on a besoin, Les capacités ajoutées peuvent être des nouveaux canaux dans chaque BS dans le cas où on a une disponibilité spectrale, ou on va installer des nouvelles BS si on n'a pas un spectre disponible. Il est clair qu'il est moins cher d'ajouter des nouveaux canaux, au lieu d'ajouter des nouvelles BS, cela revient aux coûts élevés des équipements des BS.

### III.5.2 Dimensionnement de couverture par niveau du signal

L'indicateur de la couverture par niveau du signal c'est la puissance du signal reçus c'est-t-dire une mesure de qualité du signal, Il est valable de noter que les mesures de signal reçu n'exigent pas la démodulation de récepteur ; donc, elles fournissent l'évaluation fiable de canal-signal même aux niveaux bas du signal. Les stations de base doivent rassembler les mesures de signal reçu .

### III.5.3 Dimensionnement de la couverture par rapport signal à bruit (C/I)

Lors de l'implantation d'un réseau WIMAX qui est un système radio, la planification des fréquences est l'une des tâches les plus importantes.

Le client va recevoir non seulement un signal utile provenant de la BS à laquelle il est rattaché, mais des signaux interférents provenant des BSs utilisant la même fréquence. Un abonné peut recevoir un signal de puissance  $C$  de sa propre BS et des signaux perturbateurs de deux types : de même fréquence (interférence co-canal) et des fréquences voisines (interférences de canaux adjacents). Si on désigne  $I$  la puissance totale de ces interférences et  $N$  la puissance du bruit, alors la qualité du système sera appréciée par le rapport  $C/(I+N)$  reçu .

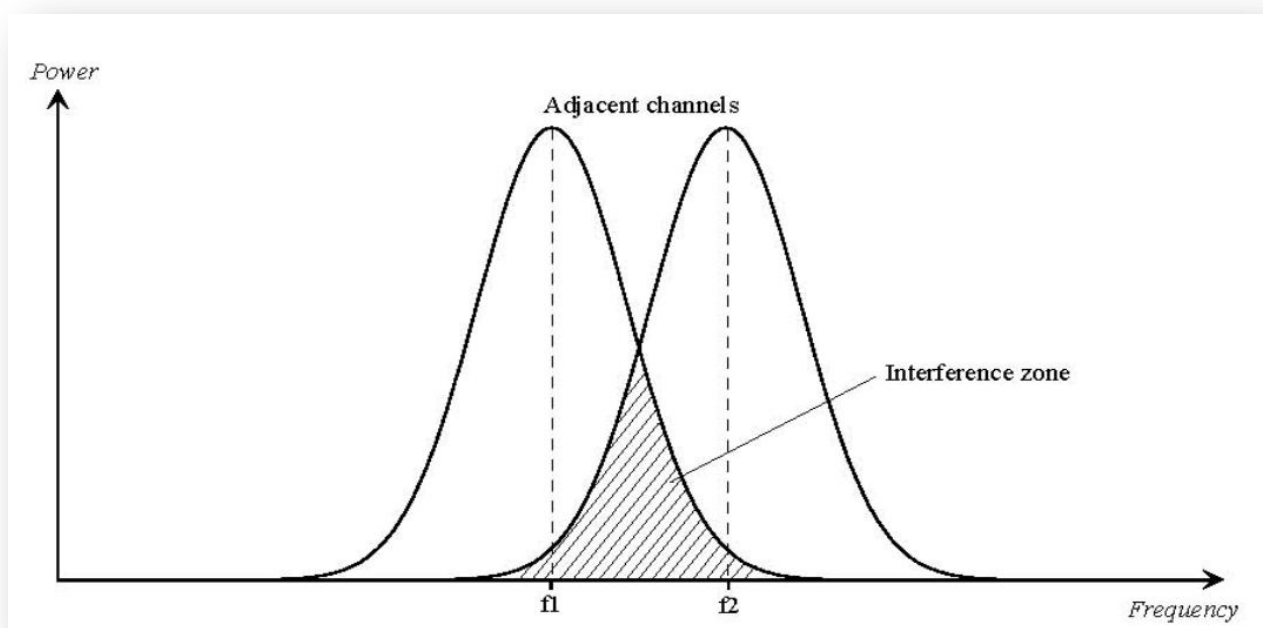
### III.6 Les interférences

On parle d'interférence lorsqu'un point donné de l'espace de couverture reçoit en plus du signal utile (assurant le service) un signal dit interférent de puissance relativement élevée et porté sur une fréquence identique ou adjacente.

Il existe deux grands types d'interférences: celles qui sont dues à la réutilisation d'une même fréquence (interférence Co-canal) et celles qui sont dues à l'utilisation de fréquences adjacentes (interférence canal adjacent). [W7]

#### a) Interférences sur canal adjacent

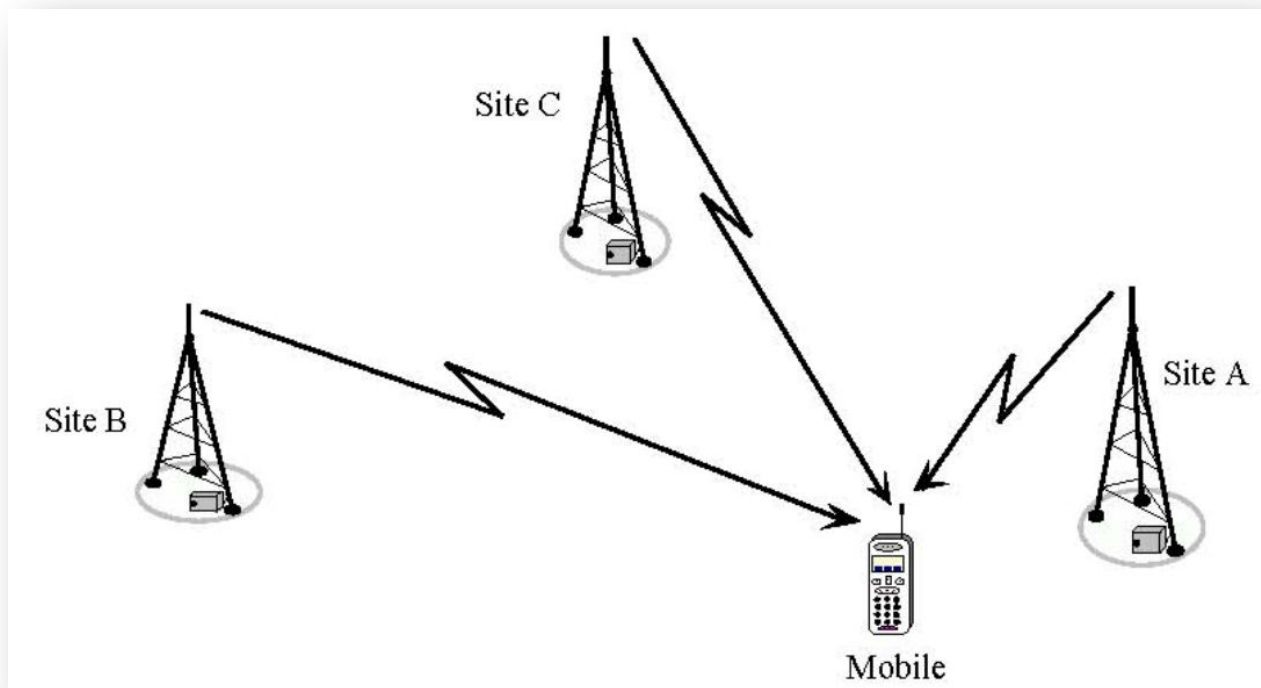
L'interférence sur canal adjacent se produit de façon importante lorsque des canaux fréquentiels voisins dans le spectre des fréquences sont utilisés sur les mêmes sites ou sur des sites peu distants entre eux. Le signal émis sur un canal est toujours reçu avec une puissance non nulle par les récepteurs décalés sur les canaux adjacents, ceci est inévitable compte tenu de la limitation des performances des équipements utilisés. [W7]



*Figure III.3: Interférences canaux adjacents.*

## b) Interférences Co-canal

Ce sont des interférences induites par des signaux émis sur la même porteuse. Ceci se produit quand un point de la zone de couverture reçoit plusieurs signaux provenant de différents BTS et émis sur la même fréquence.



*Figure III.4 : Interférences co-canal*

## III.7 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons étudié les processus de planification et du dimensionnement en ayant choisis un modèle de propagation car sa bande de fréquence est compatible avec celle du WiMAX mobile pour recouvrir le maximum possible de la couverture du signal et du débit et aussi bien afin d'éviter les différentes interférences.

Toutes ces notions seront adoptées par la suite pour la spécification et l'implémentation de l'outil " ATOLL " dans le quatrième chapitre.

**Chapitre IV :**  
**Simulation et analyse**  
**des résultats**

## IV.1 Introduction

Dans ce dernier chapitre, nous allons vous exposer les étapes de planification d'un réseau wimax mobile basé sur la norme IEEE 802.16e. Pour cela, nous utilisons l'outil de planification et d'optimisation des réseaux cellulaires « Atoll » pour déployer un nouveau réseau WIMAX mobile de la ville de GUEMAR, tout en basant sur les résultats de calcul obtenus par notre outil de dimensionnement développé dans le chapitre précédent. Pour répondre à nos besoins, le présent chapitre focalise sur l'utilisation du logiciel Atoll qui permet de planifier le réseau WIMAX mobile et qui peut être utilisé sur tout le cycle de vie des réseaux pour garantir une meilleure qualité de service aux clients en termes de capacité et de couverture. Nous commençons, ce chapitre, par une présentation générale de l'outil Atoll, puis nous décortiquons les étapes de d'implémentation et la simulation de notre réseau ainsi que l'étude des différentes prédictions fournies par notre simulateur. Cette étude va nous permettre d'aborder et d'analyser la partie planification qui nous intéresse dans notre projet de planification WIMAX mobile.

## IV.2 Présentation de l'outil ATOLL

Atoll est un outil logiciel multi-technologies de planification radio et dimensionnement fait pour supporter les travaux d'un opérateur de radiocommunication mobile, il peut être utilisé sur tout le cycle de vie des réseaux (du design à l'expansion et l'optimisation). Le logiciel exploite différentes données en entrée à savoir le modèle de propagation, les paramètres des antennes, les paramètres des sites selon la technologie adoptée au niveau du projet à réaliser. Atoll permet de créer des projets avec les technologies GSM, GPRS, EDGE, UMTS, HSPA, CDMA2000, WiMAX et dernièrement le Wifi. L'outil intègre un grand nombre de modèles de propagation adaptés à de nombreux environnements et prenant en compte les phénomènes de réflexion, diffraction par le sol, et de diffusion, d'atténuation par l'atmosphère [W8].

### IV.2.1 Matériels de base

Les différentes étapes de réalisation de notre projet sont réalisées sur une machine présentant les caractéristiques suivantes :

- Processeur Intel (R) Core (TM) i5 -7200 U CPU @ 2.50GHz -2.70 GHz.
- Disque dur de capacité : 1000 Go.
- Mémoire RAM : 4 Go.
- Système d'exploitation : Windows 10 Professionnel avec 64 bits.

### IV.3 paramètres et configurations

Les paramètres et les configurations mises en jeu lors de la réalisation de notre projet sont définis dans le tableau ci-dessous.

Paramètre	Valeur / Type choisi
Étendu	Guemar 15.89 km <sup>2</sup>
La norme	IEEE802.16.e 2005 (mobile )
Le MNT	2 cartes : Altitude et population.
Modèle de propagation	Cost 231 Hata
Perte de pénétration	10 dB
Multiple Access Technique	OFDMA
Mode de duplexage	TDD
La fréquence de travail	3.3 GHz
La bande de fréquence	10 MHz
Preamble Power	40 dB
Longeur de BS	30 meters
Longeur de MS	1.5 m
Types d'antennes	Horizontale et verticale ; Angle = 70 °; Gain = 17 dBi ;3Tilt (SA Broadcast)
Gian l'antenne MS	-1 dBi

*Tableau IV.1 : Paramètres de notre réseau WiMAX mobile*

### IV.3.1 Procédure de la planification

Les étapes de configuration d'Atoll sont :

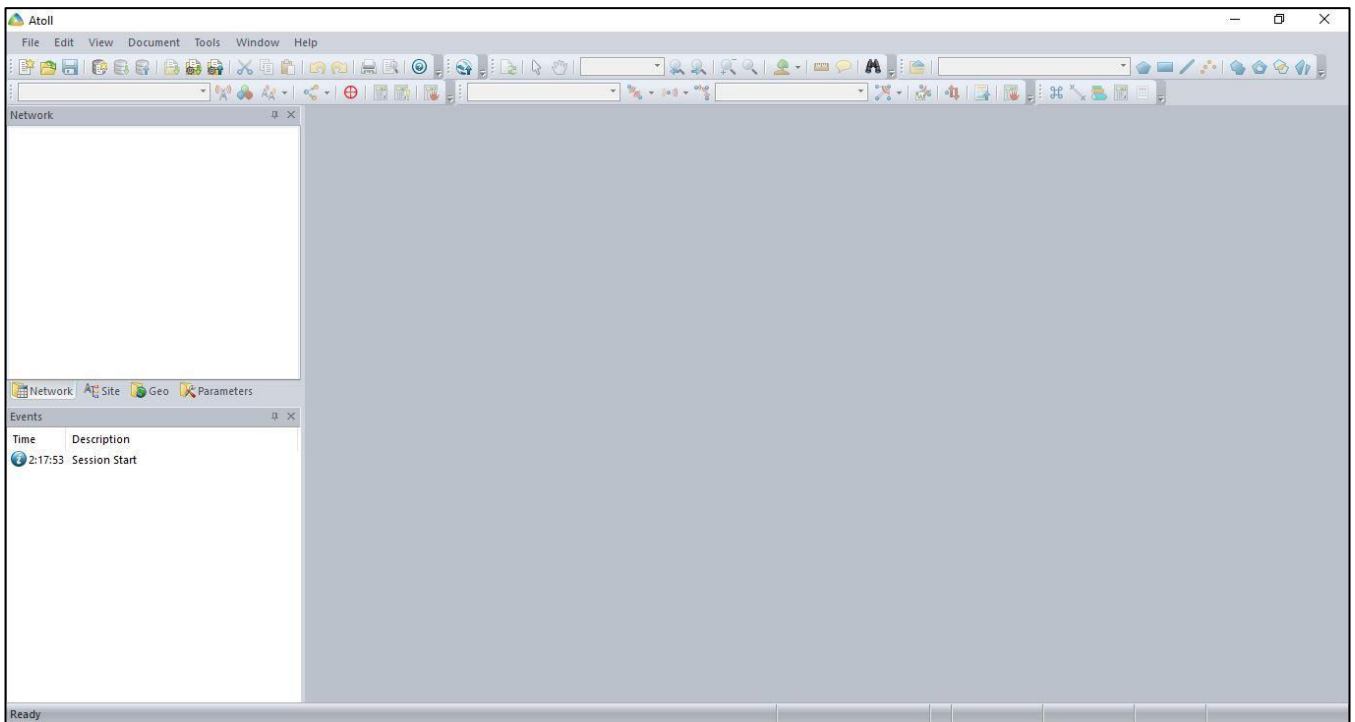
- Création d'un projet IEEE 802.16.e (Wimax mobile).
- Importer la carte de GUEMAR (.grd).
- Le système de coordonnées choisi est WGS84.

Nous avons créé les paramètres radios suivants :

- Site (un nom, une position et une hauteur).
- Transmetteur (contient une ou plusieurs antennes).
- Cellule.

### IV.3.2 Interfaces de logiciel

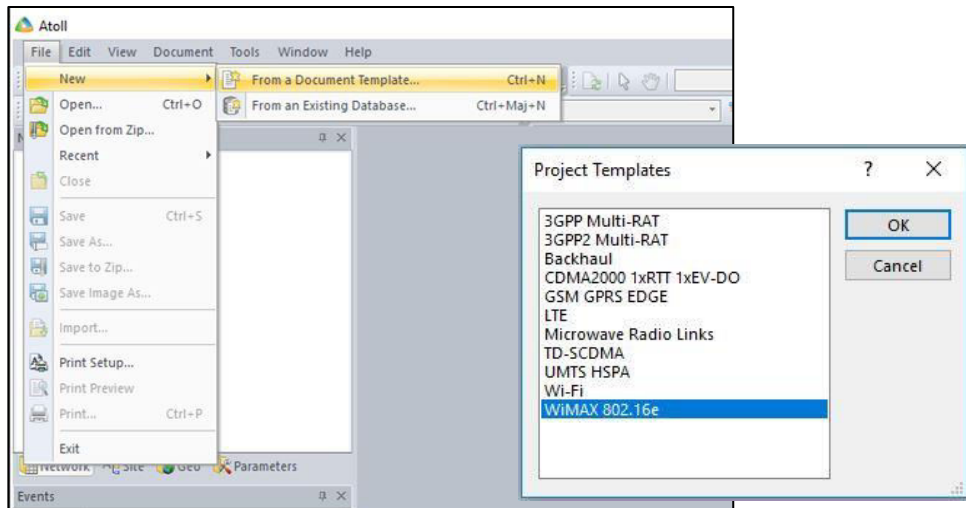
L'interface de démarrage de l'outil de planification lance l'observateur d'événements montrant l'état d'exécution de l'outil comme montre la figure suivante :



*Figure IV.1 : L'interface de démarrage d'ATOLL.*

Pour commencer la planification sous l'outil Atoll, il faut tout d'abord créer un nouveau projet. La figure IV.2 montre comment créer un nouveau projet à partir d'un document Template.

Pour notre projet, nous choisissons IEEE802.16e. Notons ici qu'Atoll ne possède pas, parmi les différentes Templates prédéfinies, une Template pour le système WIMAX mobile, nous étions ajouter les caractéristiques techniques de cette norme, comme les fréquences de travail, les largeurs de bande passante, le nombre de canaux, le type d'antennes et ses caractéristiques (Type, gain, largeur d'ouverture, puissance d'émission... etc.) ainsi que le type des cellules.

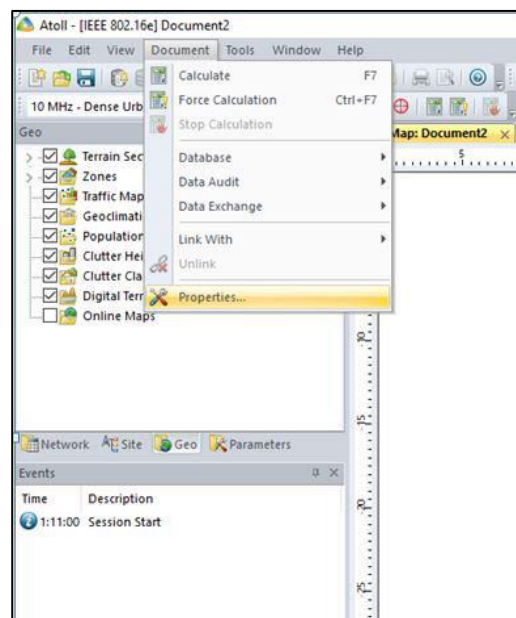


*Figure IV.2 : Choix du projet.*

### IV.3.3 Systèmes des coordonnées

Le système de coordonnées WGS84 est le système géodésique standard mondial, notamment utilisé par le système GPS ; il s'est rapidement imposé comme une référence pour la cartographie numérique. Un système géodésique est un système de référence permettant d'exprimer les positions au voisinage de la Terre.

Les deux figures IV.3 et IV.4 expliquent les étapes à suivre pour le choix du système de coordonnées convenable a notre projet.



*Figure IV.3 : Choix du système de coordonnées.*

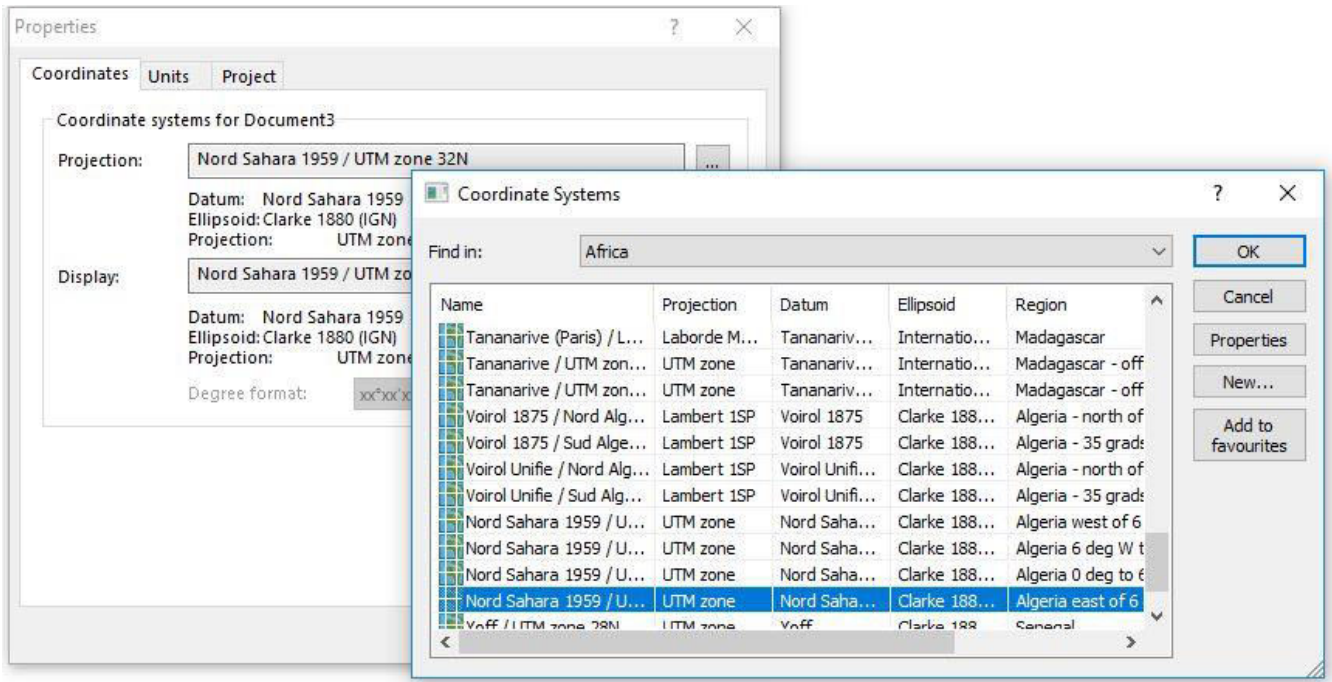


Figure IV.4 : Liste des systèmes de coordonnées.

### IV.3.4 Importer les cartes numériques

Tous d’abord, nous allons importer la carte de la ville de GUEMAR comme le montre la figure suivante.

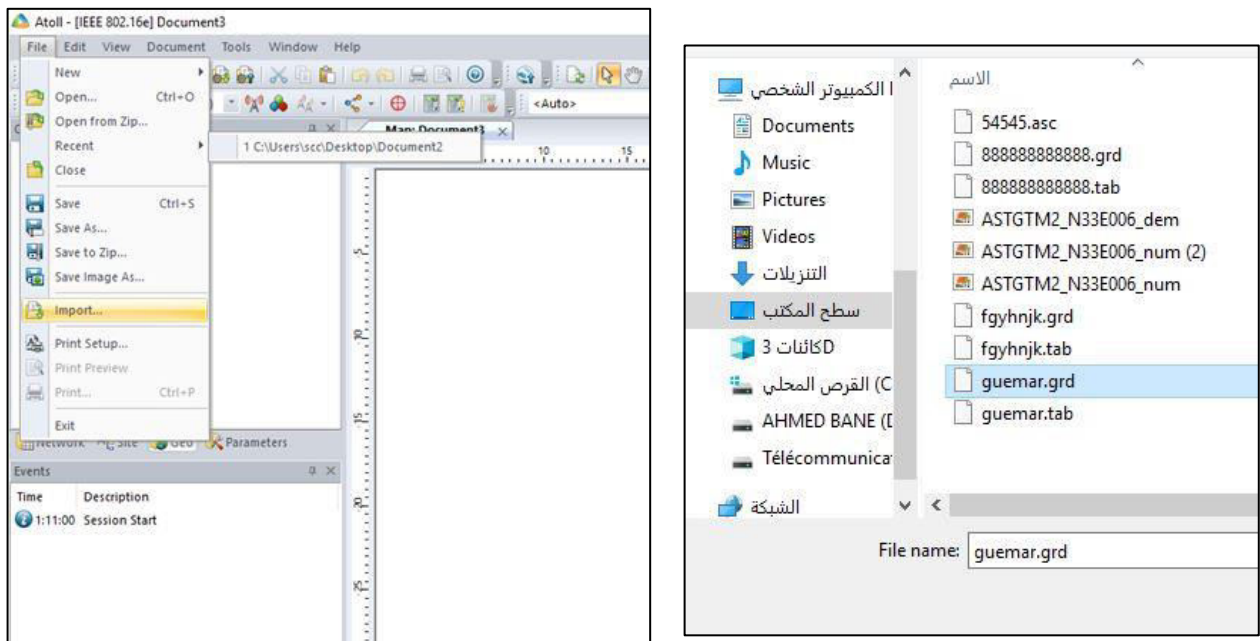


Figure IV.5 : Importation de la carte numérique de la ville de GUEMAR.

### IV.3.5 Zone géographique à planifier

La zone géographique couvre une partie de Wilaya d' eloued (Figure IV.6) (la ville de guemar). La ville se situe à Sud-est de l'Algérie, elle présente beaucoup de zones d'habitation. On trouve de nombreux immeubles, plusieurs quartiers résidentiels, quelques espaces vides,(Figure IV.7). Pour préciser la zone géographique et l'environnement sur lesquels nous allons travailler, nous avons besoin de niveaux d'altitude

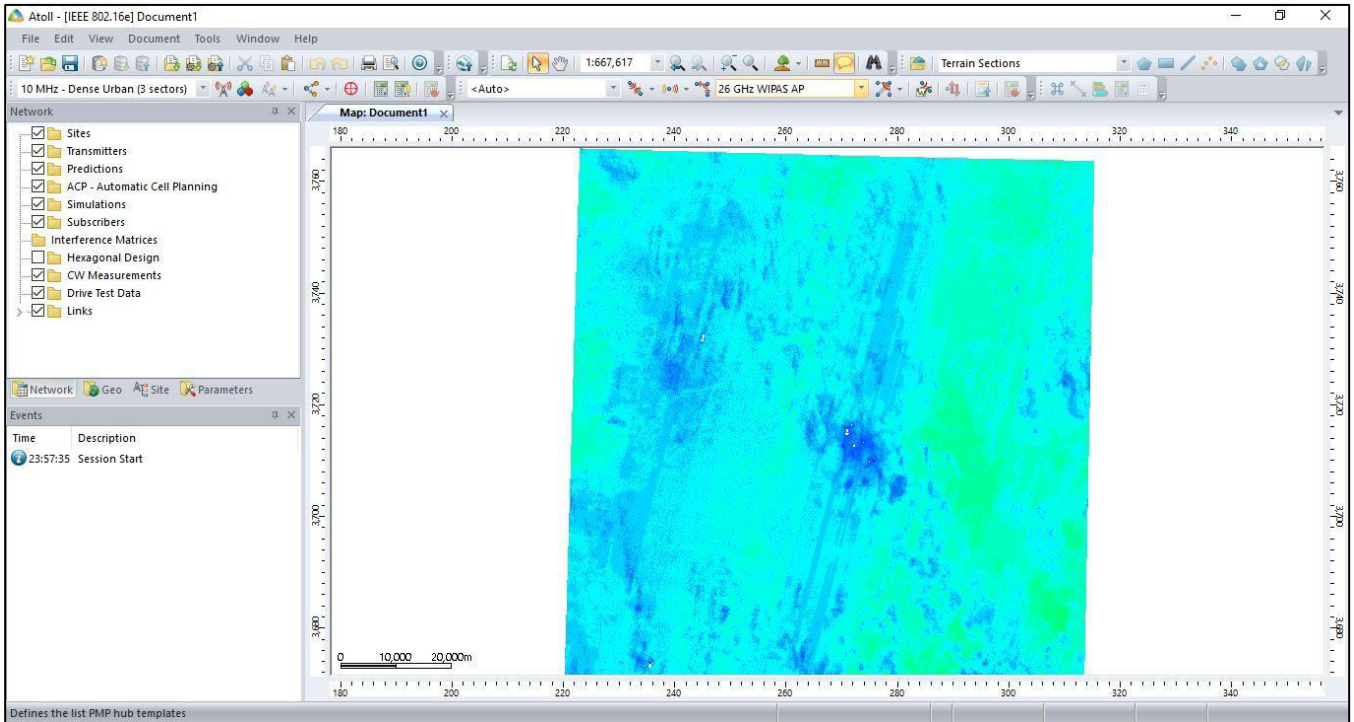


Figure IV.6 : Carte avec niveaux d'altitude.

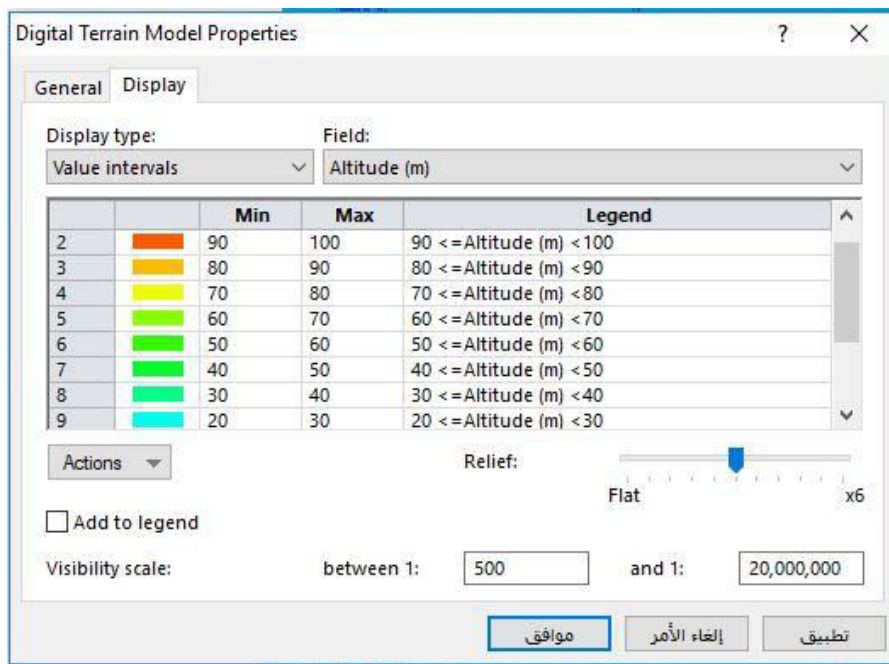
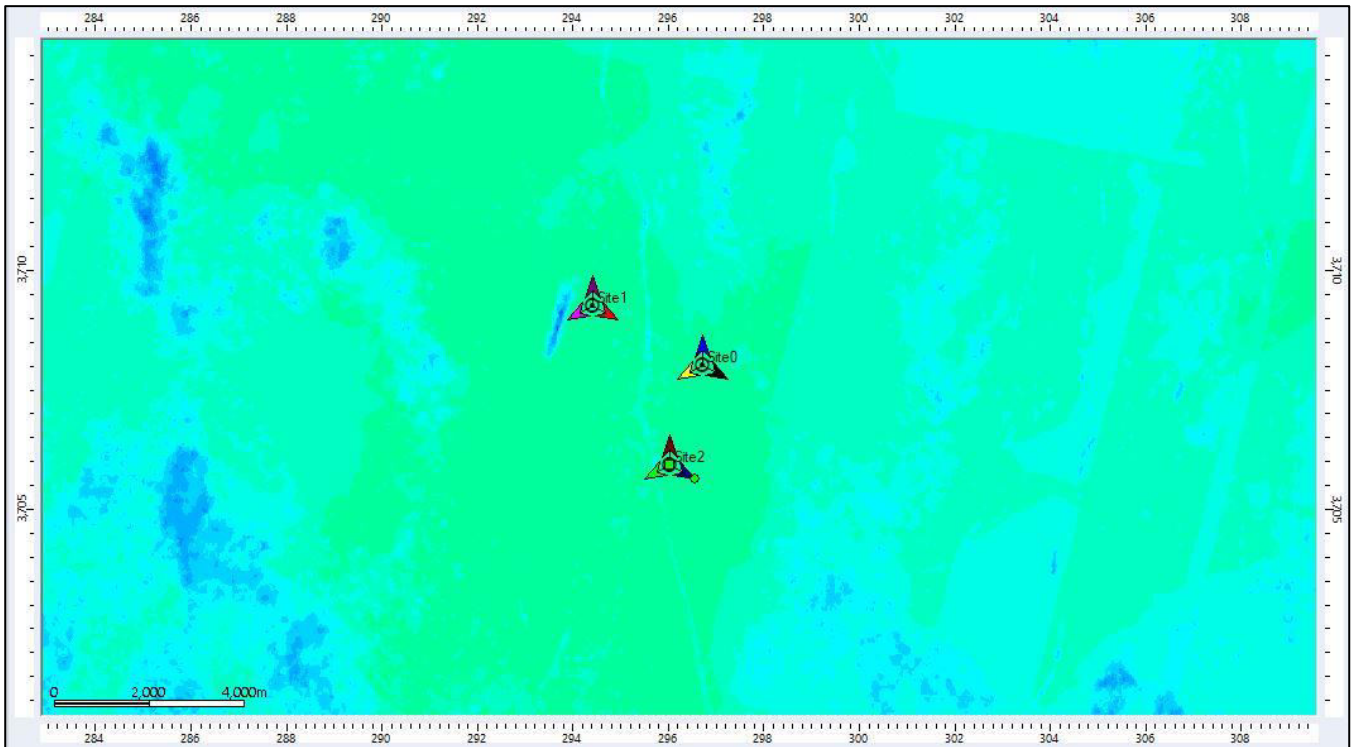


Figure IV.7 : Tableau représente la niveaux d'altitude de guemar.

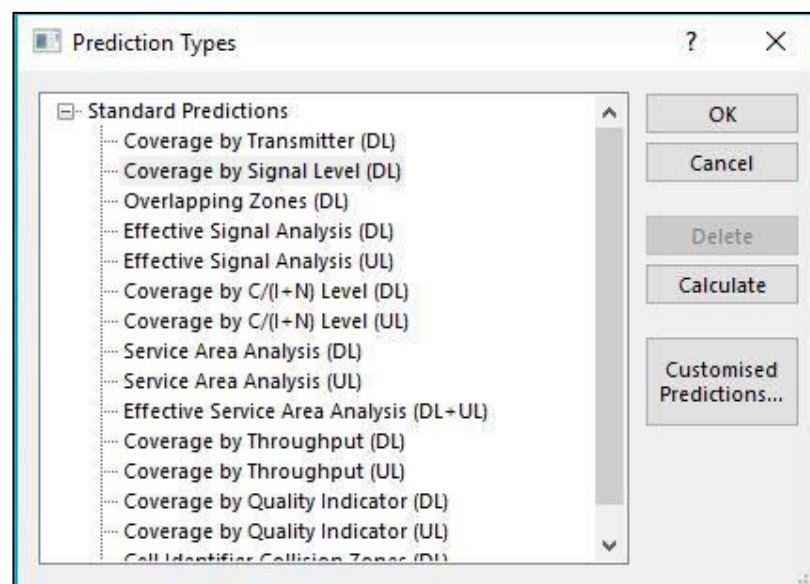
## IV.4 Ajout des sites

Pour introduire les sites, nous avons choisi la méthode du motif hexagonal. Atoll calcule de façon automatique le nombre des sites nécessaires pour couvrir notre zone. Le logiciel Atoll propose un outil qui cherche automatiquement le(s) meilleur(s) emplacement(s) à donner au site pour les optimiser.



*Figure IV.8 : Emplacement des sites WIMAX mobile sur la Map.*

Faisons une couverture préliminaire de la ville, nous avons mis trois sites comme le résultat principal de l'étude ; nous exploitons les sites pour couvrir par niveau de signal.



*Figure IV.9 : choix de couverture by signal level.*

### IV.4.1 propriétés des sites

Dans la Bande de fréquence choisir 3.3-10Ghz et dans le nombre de canal choisir 8 et dans propagation choisir Cost 231Hata et On clique sur Emetteur\ Site 0\_1\ Emetteur et on choisit le nombre d'antenne Mimo=4 (pour le cas Emission et réception)

Cliquer sur Appliquer.

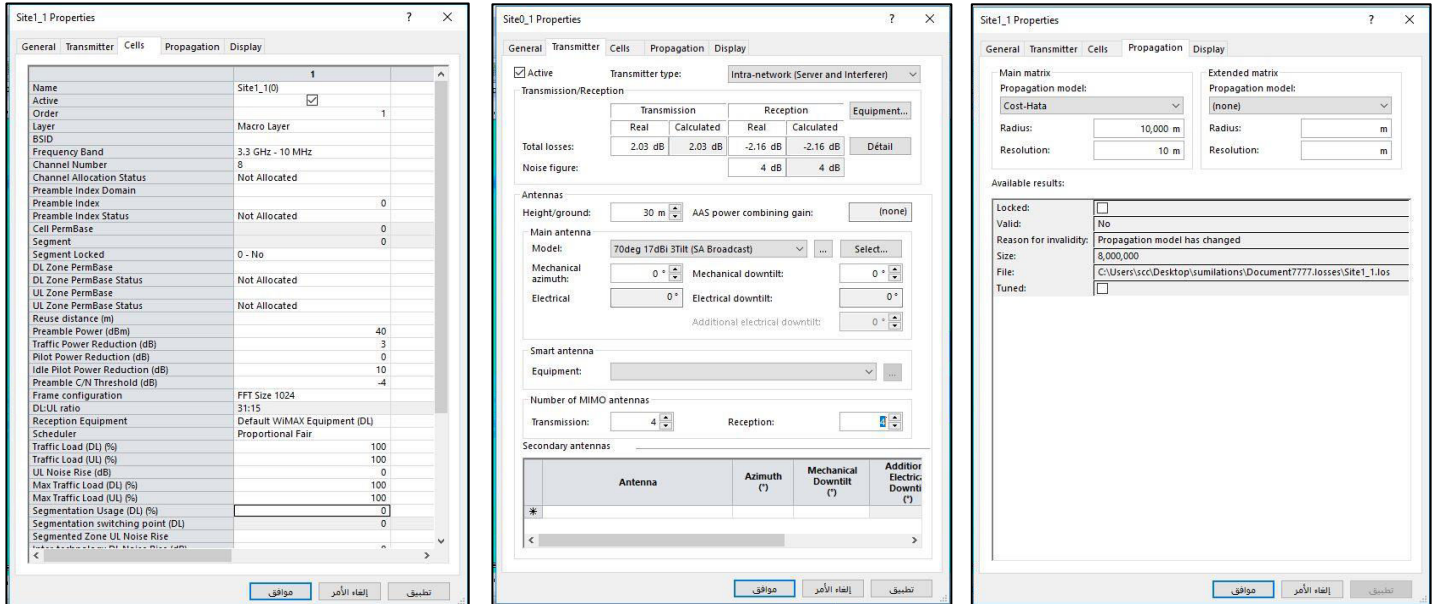


Figure IV.10 : paramètres des sites.

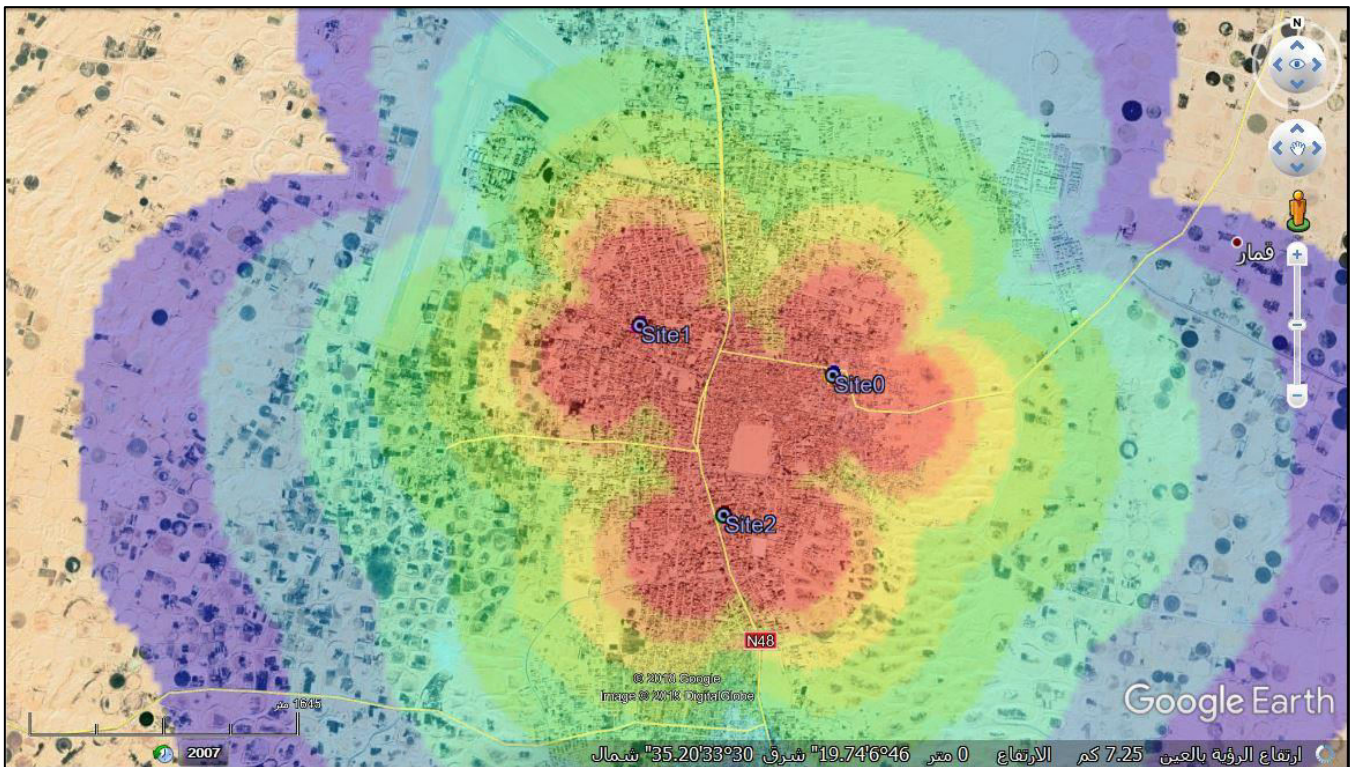


Figure IV.11 : couverture la ville par niveau de signal.

### IV.4.2 Analyse des tronçons

Il est impératif de bien connaître le profil terrain de la zone en question pour voir si ces sites proposés vont assurer une bonne couverture ou non. Nous procédons par des études élémentaires des tronçons qui séparent chaque deux site successif. Si on prend l'exemple du tronçon entre le site 0 et le site 1. Le résultat d'analyse des tronçons entre les sites est schématisé par la figure IV.12.

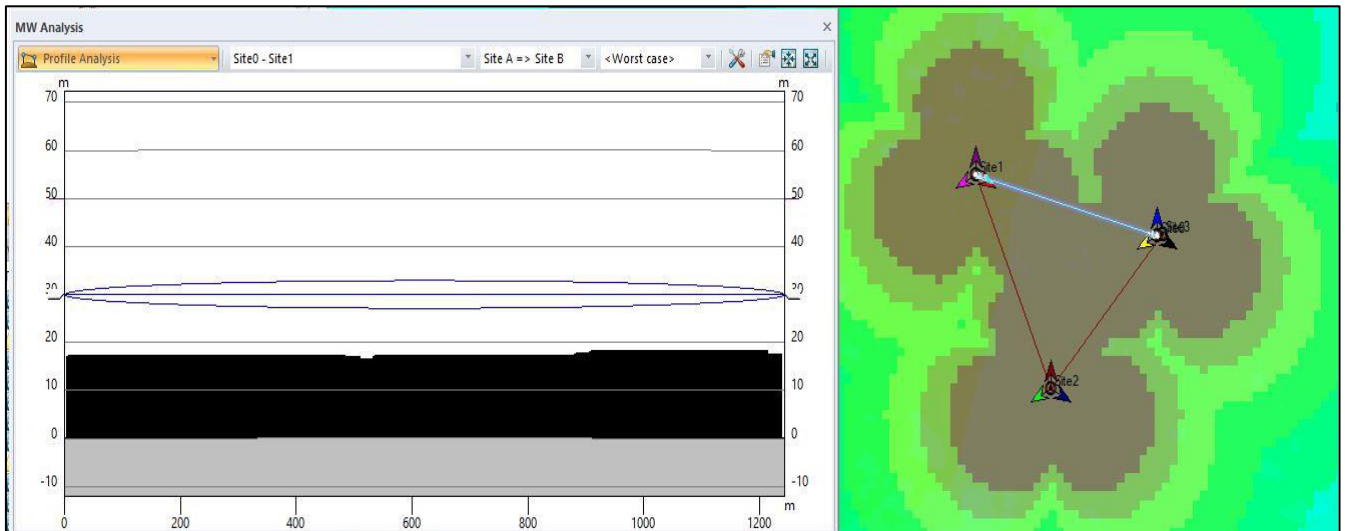


Figure IV.12: Test de la liaison site 0 – site 1.

### IV.5 Etude des prédictions

Atoll permet de réaliser de multiples prédictions ;

- Couverture par niveau de champ,
- Couverture par niveau de C/I .

La figure IV.13 représente le menu de choix de type de prédictions standards existants dans Atoll.

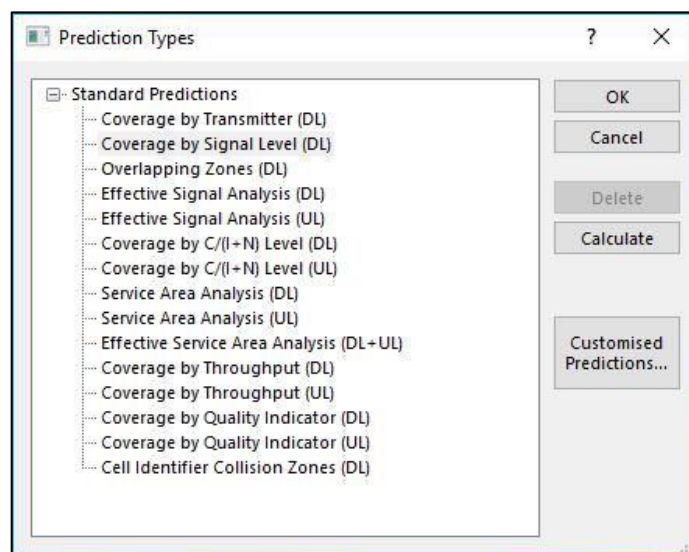


Figure IV. 13 : Choix de type de prédiction.

### IV.6 Prédiction de la couverture par niveau de signal

Cette prédiction permet d'estimer la puissance reçue par un mobile en chaque point de la zone de calcul. L'objectif de cette étude est de détecter d'éventuelles zones aveugles et essayer de les éliminer en procédant à des modifications de la configuration des sites et des émetteurs comme un déplacement de site, un changement de l'azimut d'un émetteur, un réglage de puissance ou une inclinaison (tilt) d'une antenne.

La figure IV.12 montre la prédiction de la couverture par niveau de signal. Cette simulation présente la couverture par niveau de réception du signal conformément à une palette de couleur et les zones colorées en rouge montrent un niveau de signal très élevé autour de chaque cellule.

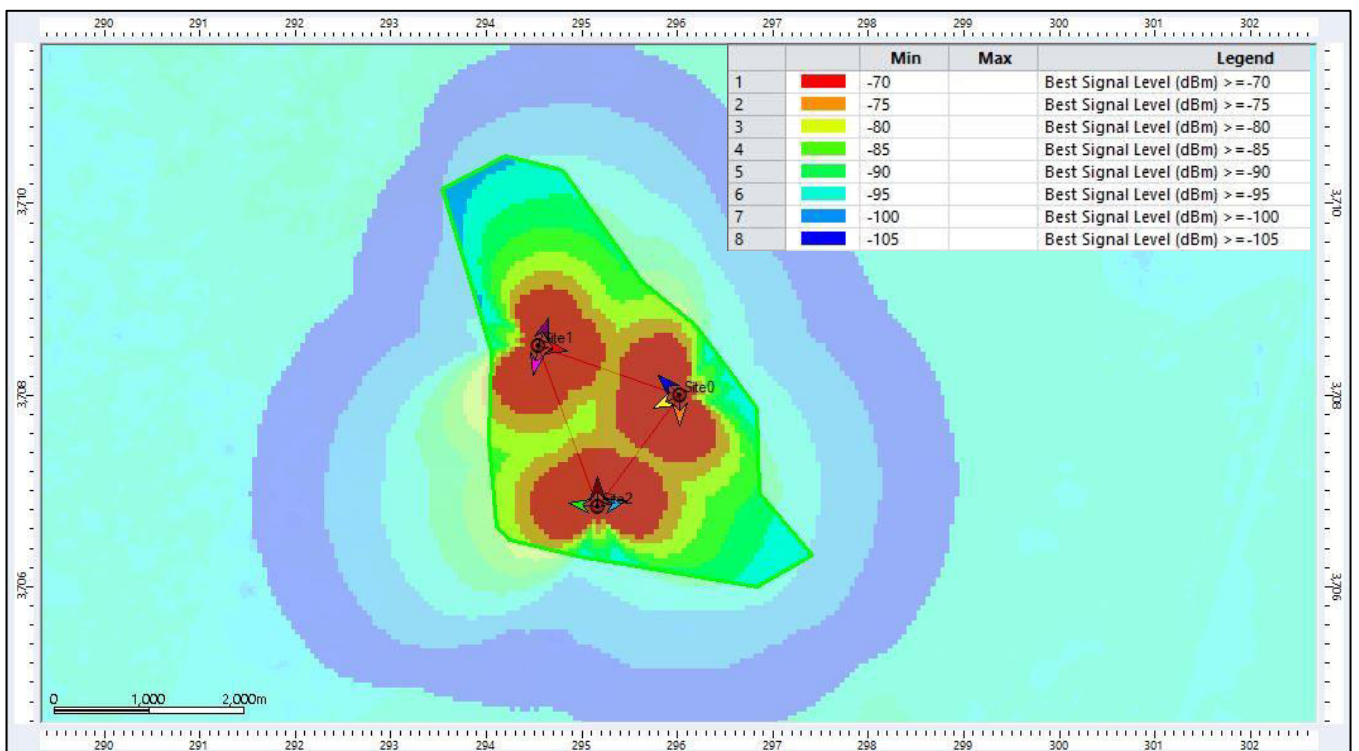


Figure IV.14 : Prédiction de la couverture par niveau du signal.

On distingue ici que la plupart de la zone est couverte avec un haut niveau de signal (signal level < 70 dbm en rouge). Donc la répartition des sites est bien planifiée.

Nous remarquons que les valeurs de puissance du signal les plus élevées sont concentrées autour des sites, et ces valeurs diminuent en s' éloignant des émetteurs à cause des atténuations.

L' histogramme suivant démontre le pourcentage de zones couvertes en fonction du niveau du signal.

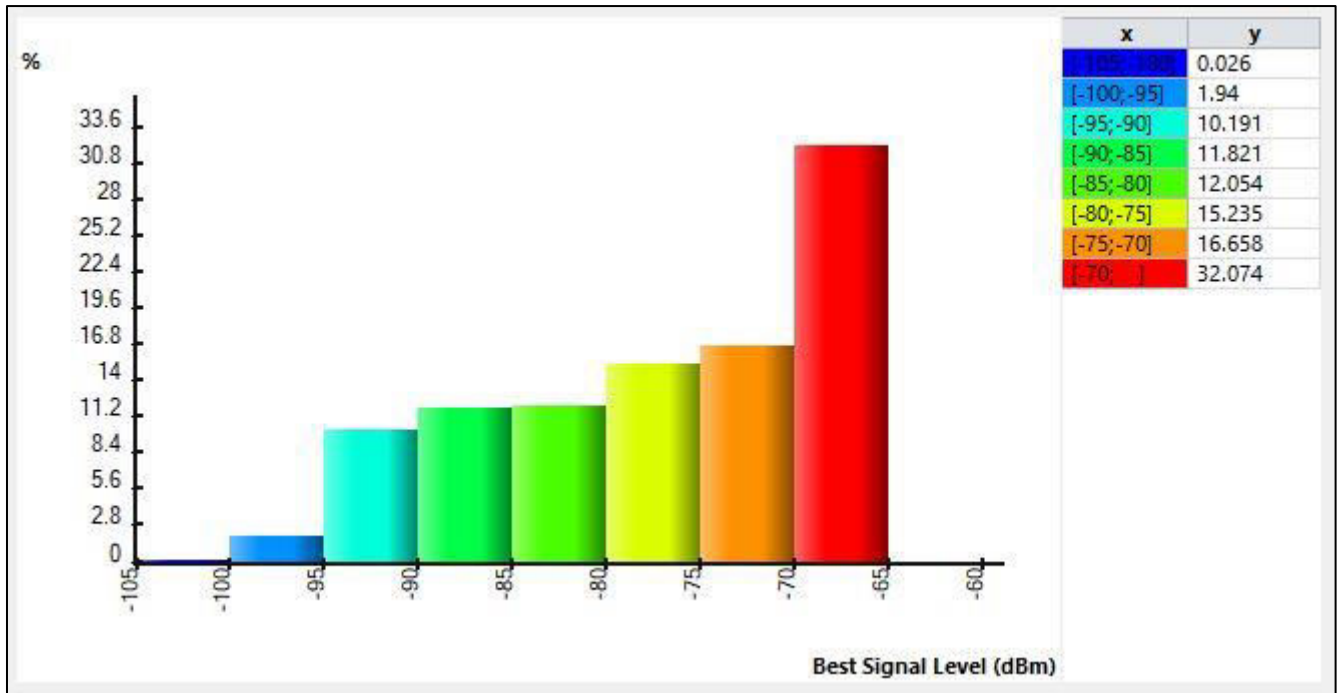


Figure IV.15 : Histogramme de la prédiction de couverture.

Nous remarquons que notre réseau WIMAX mobile offre un pourcentage de couverture très important (autour de 32,07%) représentant les excellents niveaux de champ (supérieur à -70 dBm) et un faible pourcentage (inférieur à 12,15% = 0,026+1.94+10.191) représentant le faible niveau de champ (inférieur à -90 dBm).

- **Simulation orientée débit de navigation (trafic)**

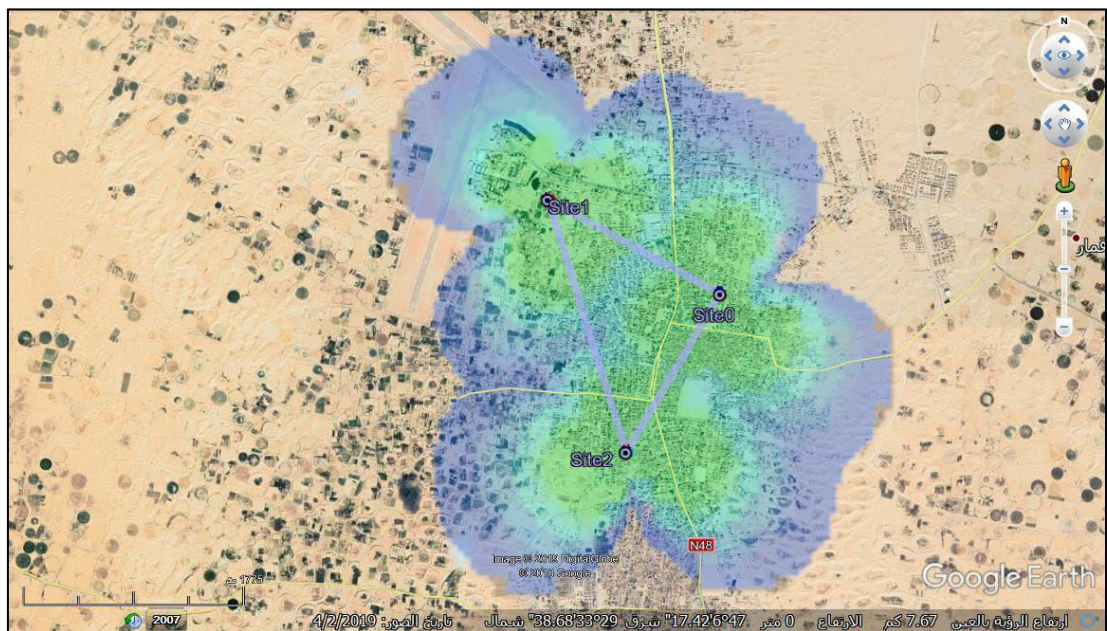


Figure IV.16 : Simulation du zone orientée débit DL (throughput).

La plupart de la ville possède un débit d'accès élevé (20 Mbps) indiqué par la couleur vert dans la carte. L'histogramme suivant (Figure IV.15) montre les débit de zones couvertes en fonction du surface du zone planifiée.

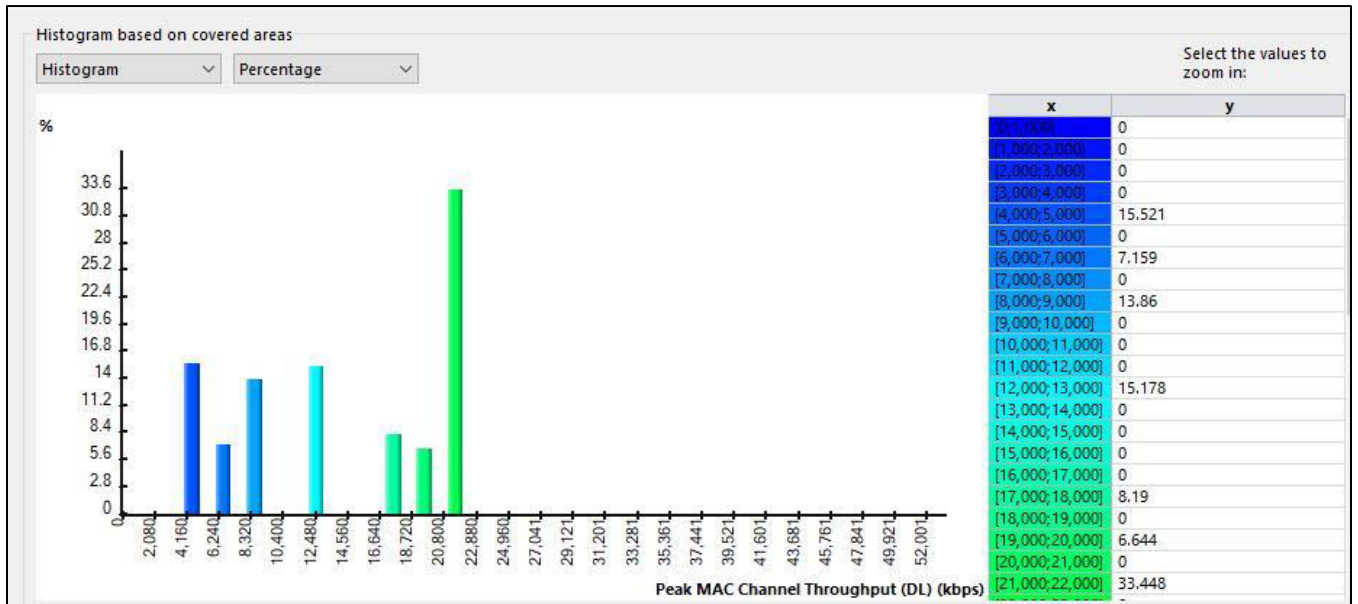


Figure IV.17 : Histogramme coverage by DL throughput.

- Simulation orienté rapport signal/bruit et Interférences (C/N+I)

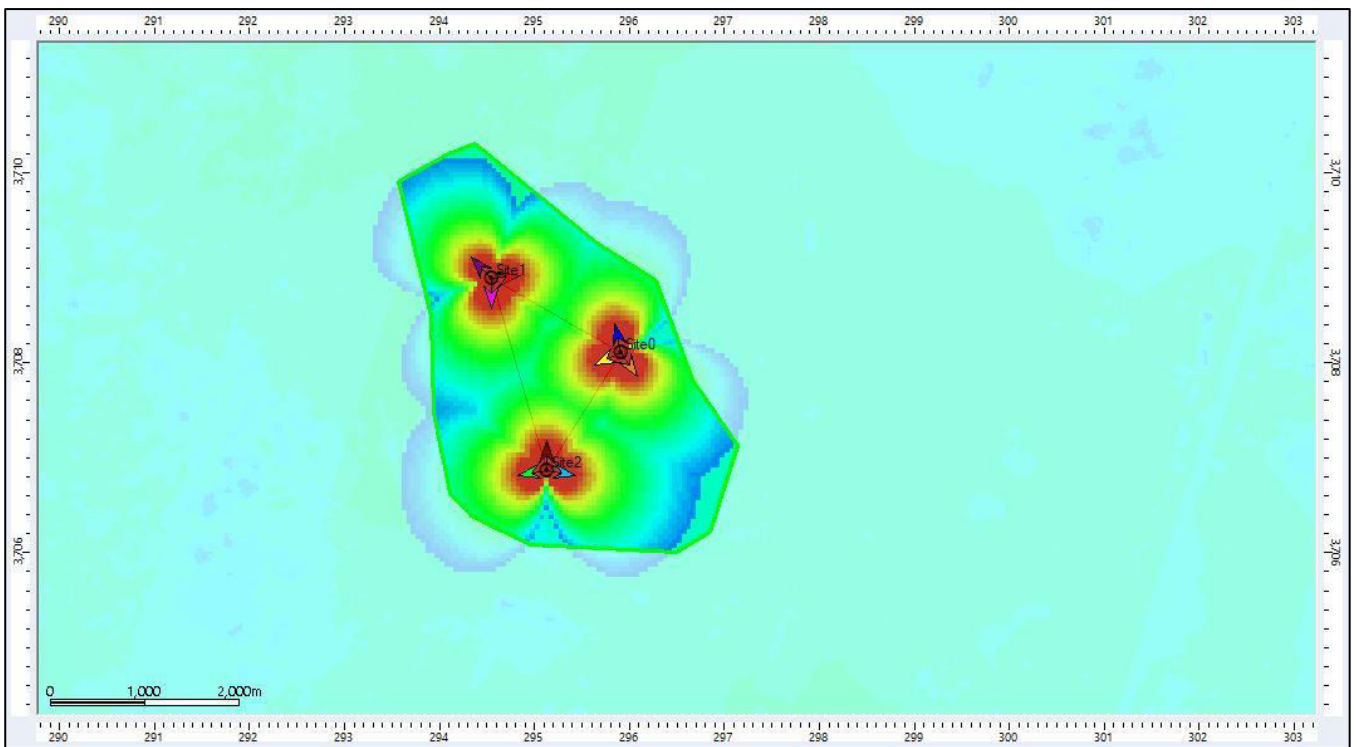


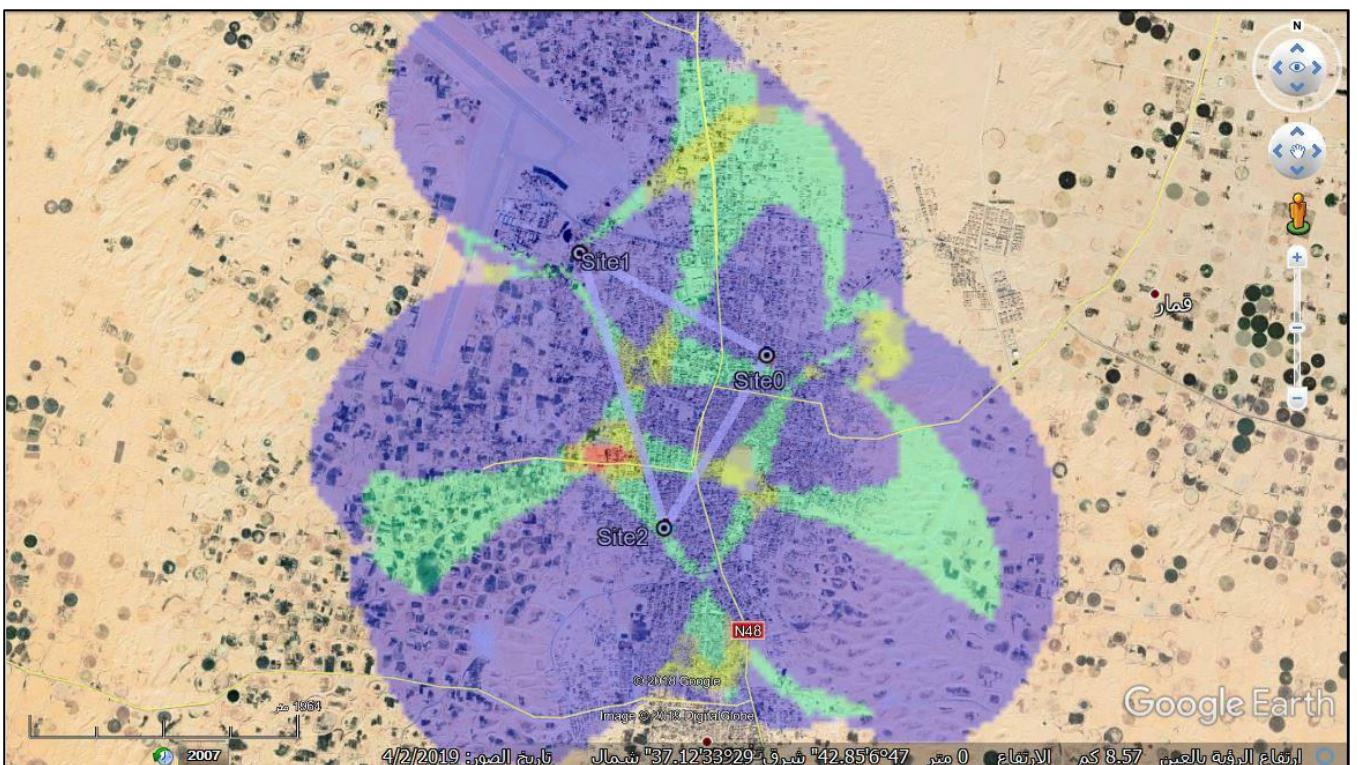
Figure IV.18 : Simulation du zone orienté rapport signal sur bruit et interférences .

Nous remarquons que le niveau du rapport signal sur bruit et interférences C/N+I autour des sites est satisfaisant réduisez la limite inférieure de la couleur bleue qui présente le signal bruité.

### • Simulation orienté par la zone de recouvrement

Le problème posé par l'interférence entre les cellules est dû à la présence de zones de recouvrement entre des secteurs utilisant le même canal WIMAX mobile ou entre les canaux de même cellule qui se recouvre (figure IV.17).

Dans cette simulation, les zones colorées en rouge montrent un chevauchement important dû à l'émission de 4 signaux issus de 4 cellules qui desservent la même zone.



*Figure IV.17 : Simulation du zone orienté rapport la recouvrement entre les cellules WIMAX mobile.*

Selon les statistiques de la figure suivante, le résultat obtenu après le calcul qui est fait par ce type de prédiction montre une surface très importante de 15.89 Km<sup>2</sup> (qui représente 70,21% de la surface totale de la zone) sans aucune interférence entre cellules et des zones de recouvrement entre des secteurs de surface très faible utilisant le même canal WIMAX mobile.

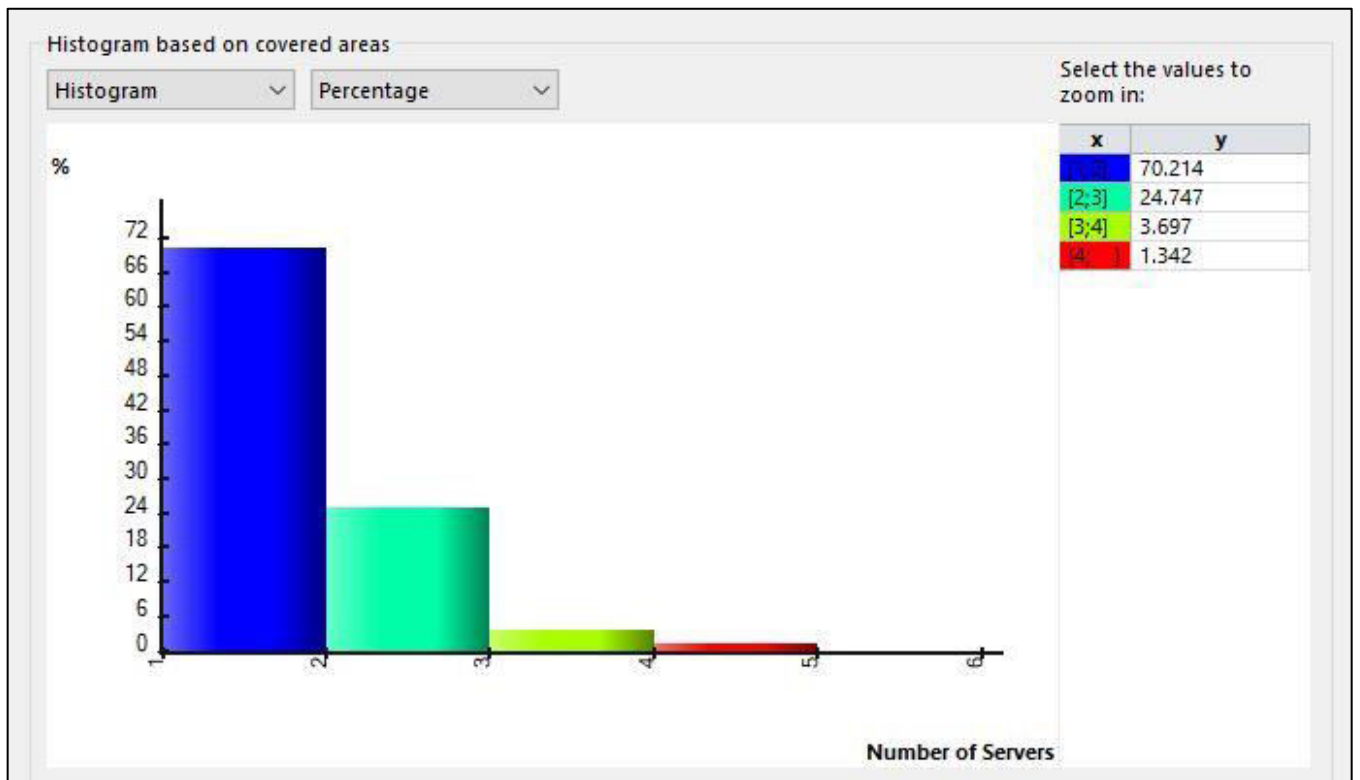


Figure IV.18 : Statistiques des zones de recouvrement entre les cellules WIMAX mobile.

- **Simulation orienté par secteur (Emetteur)**

Cette prédiction nous permet de déterminer les limites des différents secteurs de cellules du réseau pour chaque site. La figure suivante montre la prédiction de transmission de chaque site avec ces 3 secteurs.

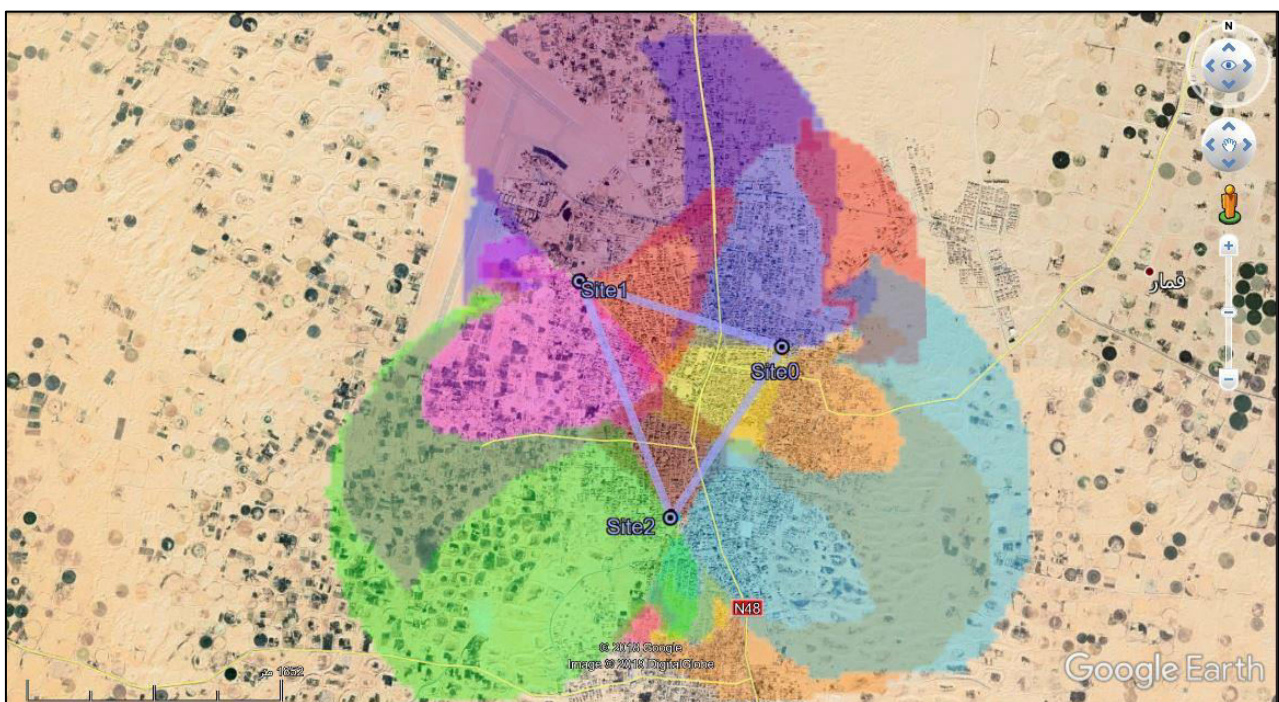


Figure IV.19 : Prédiction de la couverture par secteur (Emetteur).

**Remarque :** Pour le test de la couverture à n'importe quel point de la carte, nous utilisons un outil de "point d'analysis" qui vous donne:

- ✓ Le profile de terrain.
- ✓ La réception (la quantifier les puissances à la réception).

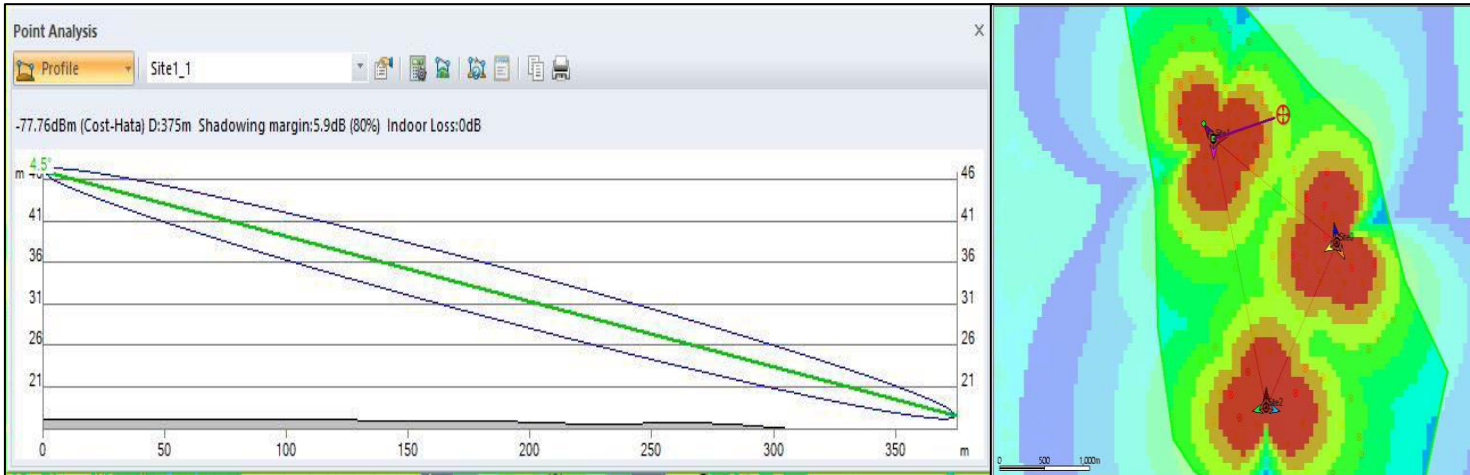


Figure IV.20 : Onglet « Profile » de la simulation.

A titre d'exemple, nous avons choisi le site 1\_1 dont la bonne qualité du signal revient à l'absence d'obstacles entre les deux terminaux, comme la figure le montre.

### IV.7 Hand-over dans le WiMAX mobile

La moyenne de base de Hand-over dans le WiMAX mobile est de fournir la connexion continue quand une station mobile (MS) se déplace d'un emplacement (cellule) à un autre avec vitesse variable sans interruption du réseau.

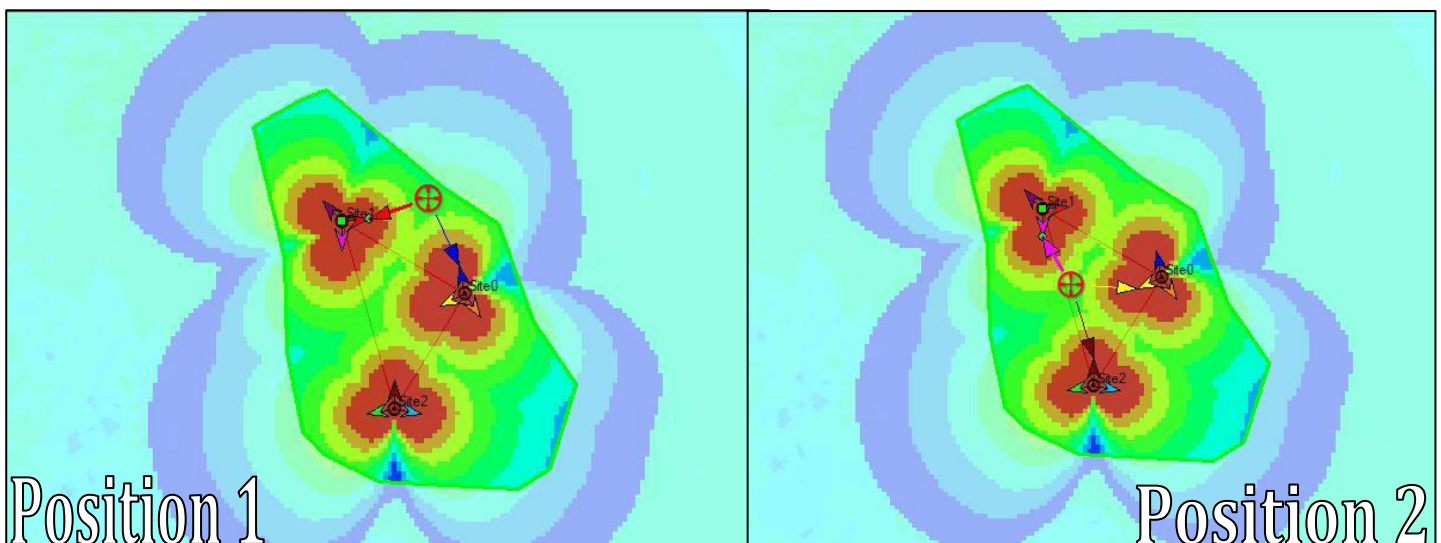


Figure IV.21 : test Hand-over par la point d'analysis.

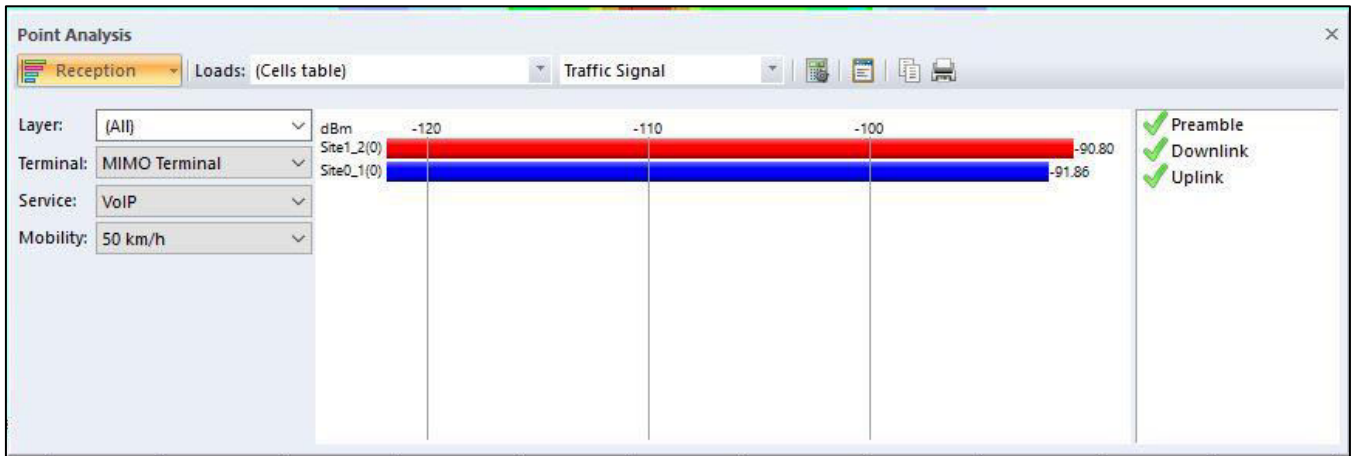


Figure IV.22 : résultat d'analyse de la position1.

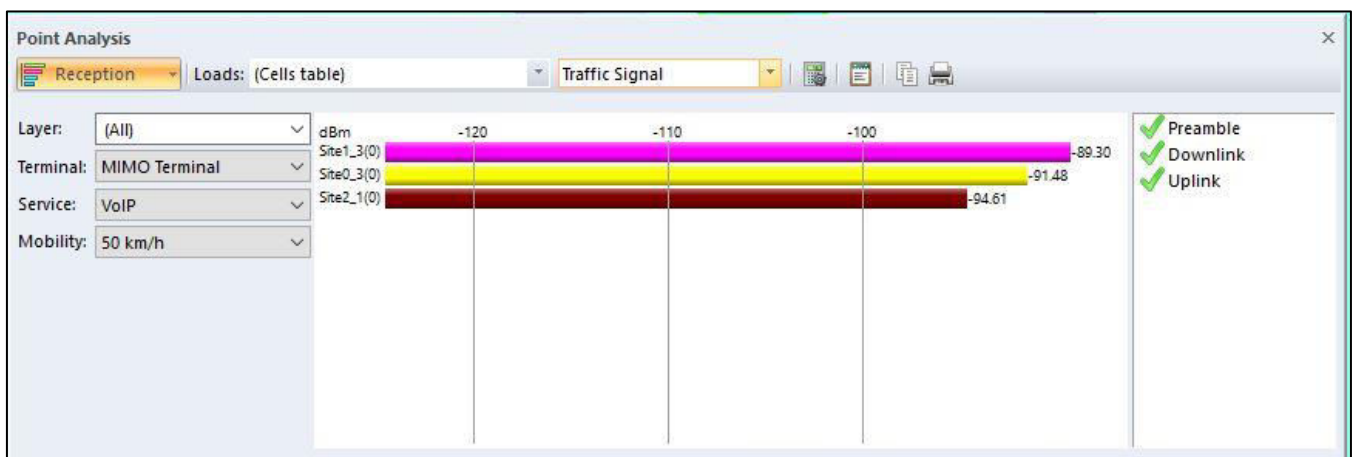


Figure IV.23 : résultat d'analyse de la position2.

### IV.8 Les abonnés (Subscribers)

Le nombre d'abonnés est une estimation, basée sur des études marketing, donnée par l'opérateur au fournisseur chargé de faire les calculs du dimensionnement. Dans notre cas, nous avons estimé le nombre d'abonnés aux alentours de 200 utilisateurs.

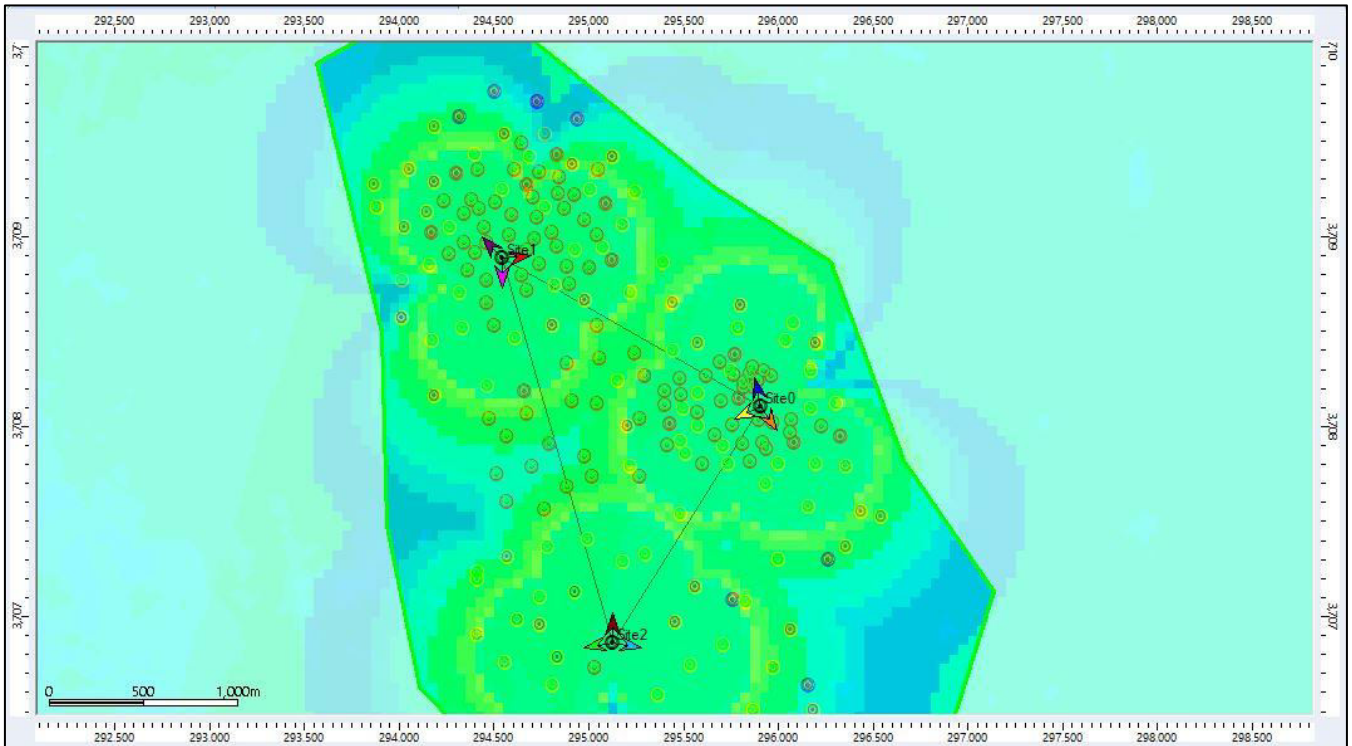


Figure IV.24: ajouter d'utilisateurs .

Subscriber List 0 Properties

Server Allocation for Subscribers

Condition:  
 Shadowing taken into account      Cell edge coverage probability: 80 %

Results:

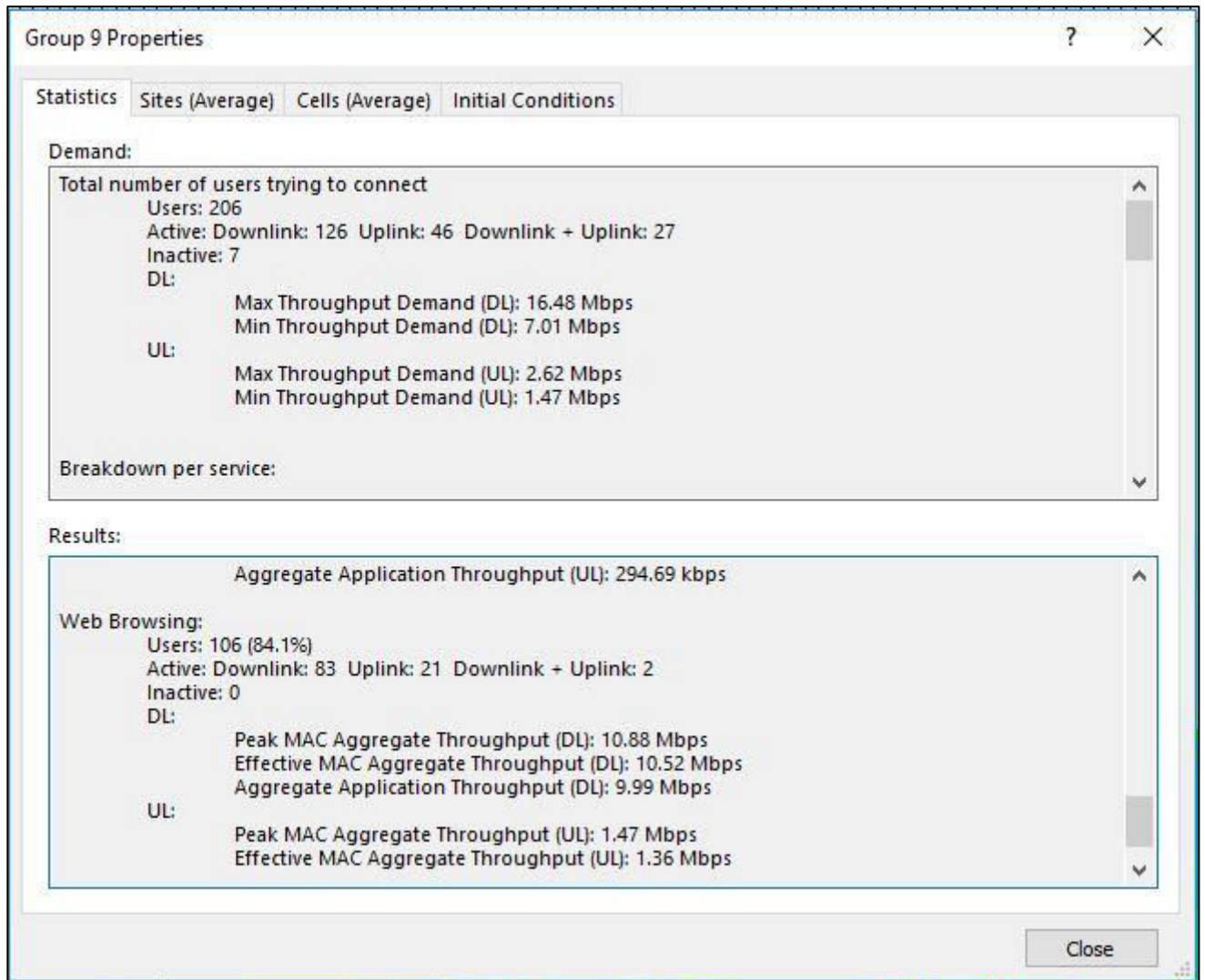
Terminal	Mobility	Activity Status	Subscriber ID	Subscriber List	Indoor	Best Server	Serving cell	Layer	Clutter class	Path Loss (DL) (dB)	Received Preamble Power (DL) (dBm)	Received Traffic Power (DL) (dBm)	Azimuth (°)
MIMO Terminal	50 km/h	Active DL+UL	197	Subscriber List 0	<input checked="" type="checkbox"/>	Site0_1	Site0_1(0)	Macro Layer	0 - ?	143.36	-90.45	-93.45	312.9
MIMO Terminal	50 km/h	Active DL+UL	39	Subscriber List 0	<input checked="" type="checkbox"/>	Site0_1	Site0_1(0)	Macro Layer	0 - ?	159.39	-106.48	-109.48	117.3
MIMO Terminal	50 km/h	Active DL+UL	191	Subscriber List 0	<input checked="" type="checkbox"/>	Site0_1	Site0_1(0)	Macro Layer	0 - ?	109.86	-59.95	-62.95	169
MIMO Terminal	50 km/h	Active DL+UL	44	Subscriber List 0	<input checked="" type="checkbox"/>	Site0_1	Site0_1(0)	Macro Layer	0 - ?	140.44	-87.53	-90.53	72.2
MIMO Terminal	50 km/h	Active DL+UL	188	Subscriber List 0	<input checked="" type="checkbox"/>	Site0_1	Site0_1(0)	Macro Layer	0 - ?	131.53	-78.62	-81.62	56.2
MIMO Terminal	50 km/h	Active DL+UL	43	Subscriber List 0	<input checked="" type="checkbox"/>	Site0_1	Site0_1(0)	Macro Layer	0 - ?	130.74	-77.83	-80.83	101.3
MIMO Terminal	50 km/h	Active DL+UL	186	Subscriber List 0	<input checked="" type="checkbox"/>	Site0_1	Site0_1(0)	Macro Layer	0 - ?	128.26	-75.35	-78.35	7.4
MIMO Terminal	50 km/h	Active DL+UL	198	Subscriber List 0	<input checked="" type="checkbox"/>	Site0_1	Site0_1(0)	Macro Layer	0 - ?	149.82	-96.91	-99.91	356.2
MIMO Terminal	50 km/h	Active DL+UL	210	Subscriber List 0	<input checked="" type="checkbox"/>	Site0_1	Site0_1(0)	Macro Layer	0 - ?	150.95	-98.04	-101.04	45
MIMO Terminal	50 km/h	Active DL+UL	206	Subscriber List 0	<input checked="" type="checkbox"/>	Site0_1	Site0_1(0)	Macro Layer	0 - ?	150.91	-98	-101	291
MIMO Terminal	50 km/h	Active DL+UL	31	Subscriber List 0	<input checked="" type="checkbox"/>	Site0_1	Site0_1(0)	Macro Layer	0 - ?	135.78	-82.87	-85.87	145.6
MIMO Terminal	50 km/h	Active DL+UL	32	Subscriber List 0	<input checked="" type="checkbox"/>	Site0_1	Site0_1(0)	Macro Layer	0 - ?	142.06	-92.15	-95.15	135
MIMO Terminal	50 km/h	Active DL+UL	33	Subscriber List 0	<input checked="" type="checkbox"/>	Site0_1	Site0_1(0)	Macro Layer	0 - ?	145.76	-92.85	-95.85	141.7
MIMO Terminal	50 km/h	Active DL+UL	214	Subscriber List 0	<input checked="" type="checkbox"/>	Site0_1	Site0_1(0)	Macro Layer	0 - ?	140.71	-90.8	-93.8	98.6
MIMO Terminal	50 km/h	Active DL+UL	207	Subscriber List 0	<input checked="" type="checkbox"/>	Site0_1	Site0_1(0)	Macro Layer	0 - ?	150.44	-97.53	-100.53	318.2
MIMO Terminal	50 km/h	Active DL+UL	208	Subscriber List 0	<input checked="" type="checkbox"/>	Site0_1	Site0_1(0)	Macro Layer	0 - ?	151.79	-98.88	-101.88	352.8
MIMO Terminal	50 km/h	Active DL+UL	61	Subscriber List 0	<input checked="" type="checkbox"/>	Site0_1	Site0_1(0)	Macro Layer	0 - ?	136.58	-86.67	-89.67	273
MIMO Terminal	50 km/h	Active DL+UL	57	Subscriber List 0	<input checked="" type="checkbox"/>	Site0_1	Site0_1(0)	Macro Layer	0 - ?	148.49	-95.58	-98.58	57.6
MIMO Terminal	50 km/h	Active DL+UL	48	Subscriber List 0	<input checked="" type="checkbox"/>	Site0_1	Site0_1(0)	Macro Layer	0 - ?	159.99	-107.08	-110.08	305.2
MIMO Terminal	90 km/h	Active DL+UL	45	Subscriber List 0	<input checked="" type="checkbox"/>	Site0_1	Site0_1(0)	Macro Layer	0 - ?	142.37	-89.46	-92.46	43
MIMO Terminal	50 km/h	Active DL+UL	37	Subscriber List 0	<input checked="" type="checkbox"/>	Site0_1	Site0_1(0)	Macro Layer	0 - ?	156.1	-103.19	-106.19	130.5
MIMO Terminal	50 km/h	Active DL+UL	194	Subscriber List 0	<input checked="" type="checkbox"/>	Site0_2	Site0_2(0)	Macro Layer	0 - ?	160.52	-107.61	-110.61	136.7
MIMO Terminal	50 km/h	Active DL+UL	192	Subscriber List 0	<input checked="" type="checkbox"/>	Site0_2	Site0_2(0)	Macro Layer	0 - ?	132.42	-79.51	-82.51	199.7
MIMO Terminal	50 km/h	Active DL+UL	190	Subscriber List 0	<input checked="" type="checkbox"/>	Site0_2	Site0_2(0)	Macro Layer	0 - ?	151.27	-98.36	-101.36	138.9

Calculate    Commit    Close

Figure IV.25: table du paramètre d'utilisateurs .

## IV.9 Résultat de la simulation :

L'impression d'écran suivante illustre le résultat de la simulation (couverture + capacité).



*Figure IV.26: résultat final de la simulation.*

## IV.10 Conclusion

Dans ce chapitre de réalisation et de planification, nous avons suivi toutes les étapes de réalisation de notre application. Ainsi, nous avons effectués des impressions d'écran dans lesquelles nous démontrons les différentes étapes de l'application. Enfin, une partie de planification finale sert à entériner les résultats obtenus.

# Conclusion générale

---

Notre objectif principal dans ce mémoire est d'étudier un outil de dimensionnement d'un réseau WIMAX mobile en utilisant le logiciel ATOLL Forsk de manière profonde afin de l'implémenter pour la ville de Guemar.

Dans le premier chapitre de ce travail, on a commencé par une présentation des généralités sur la technologie WiMAX principe de fonctionnement, les Types du WiMAX , nous avons aussi illustré l'architecture de ce réseau et ses différents composants et enfin la topologie.

Par la suite nous avons entamé le second chapitre où nous avons présenté le WIMAX mobile du point de vue technique et détaillé sur les différentes couches protocolaires, les techniques de multiplexage et de modulation de la norme IEEE 802.16e.

Aussi dans le chapitre trois, nous avons abordé le processus de dimensionnement et les différents paramètres correspondants pour un réseau WIMAX mobile et abordé ces principes, (modèles de propagation, bande de fréquence, couverture ,bilan de liaison ...), présenté les concepts de base de la prédiction de la couverture et le dimensionnement du trafic d'une zone donnée.

Enfinement au dernier chapitre nous avons simulé le modèle de la norme IEEE 802.16e , et mis en place ce outil de dimensionnement de ce réseau, il s'agit de déployer un réseau WIMAX mobile pour la ville de Guemar, Ainsi, nous avons étudié l'effet de certains paramètres radio tels que la distance émetteur/récepteur, la hauteur de station de base et la hauteur de l'antenne réceptrice. Cette partie pratique nous a permis de mettre en évidence les règles d'ingénieries citées au niveau des chapitres précédents.

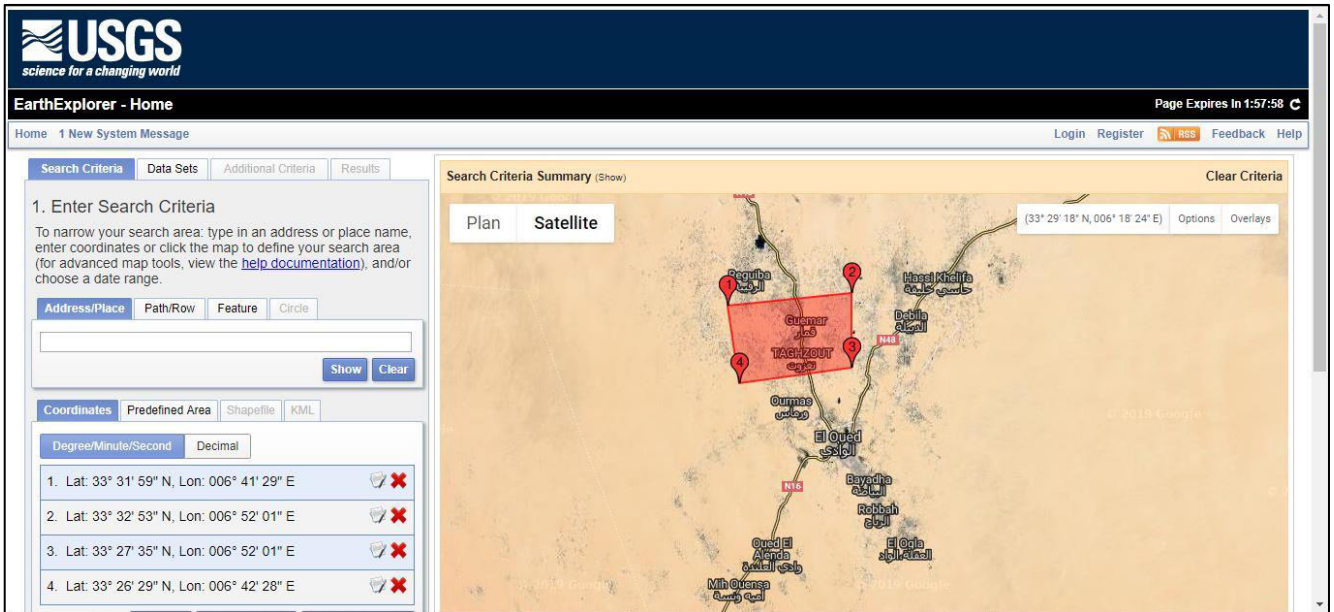
Ce travail nous a permis de mieux cerner cette technologie, de comprendre son dimensionnement qui est lié au processus de planification de la couverture. Il nous a aussi permis de travailler dans des conditions de précision et de rigueur où toutes les décisions doivent suivre une certaine logique.

# **Annexe**

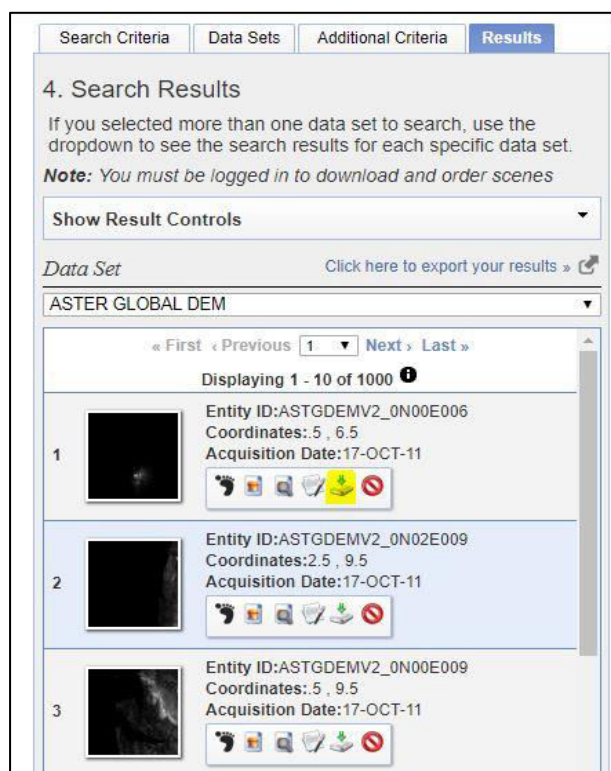
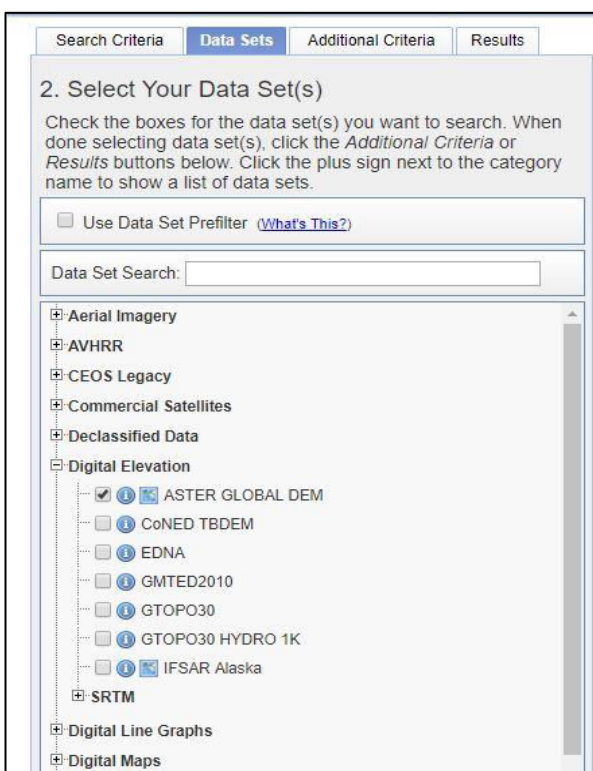
# Annexe

→ Pour télécharger la carte géographique de l'endroit où nous voulons étudier, il y a plusieurs étapes à prendre en premier.

→ D'abord, nous obtenons dans un site " www.earth explorer.com " connectez-vous au site et inscrivez-vous par e-mail ; Ce site affiche la carte du monde et nous mettons le siège des zone de la géographie étudiée :

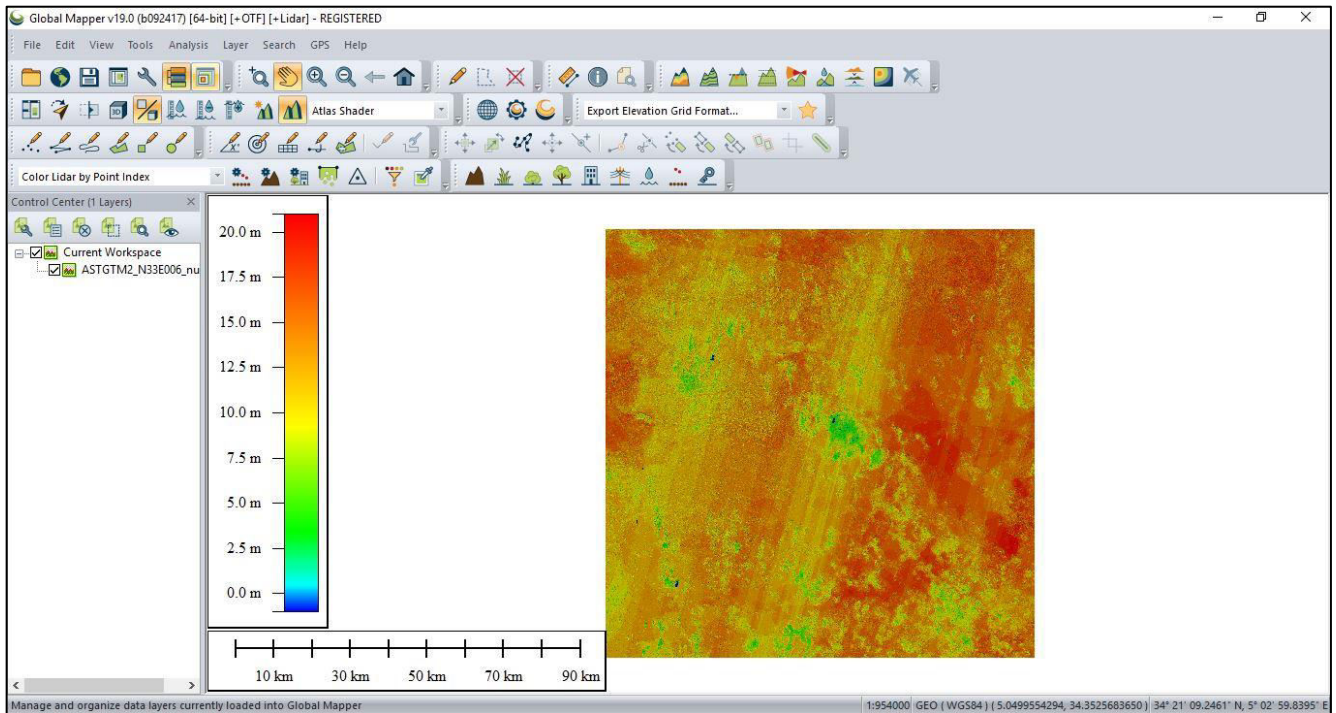


→ Pour télécharger la carte à partir du site, nous Appuyez sur " DATA SETS " et ouvrir " Digital élévation " et coucher sur "ASTER GLOBAL DEM " cliquer sur "Résultat " et télécharger la carte .

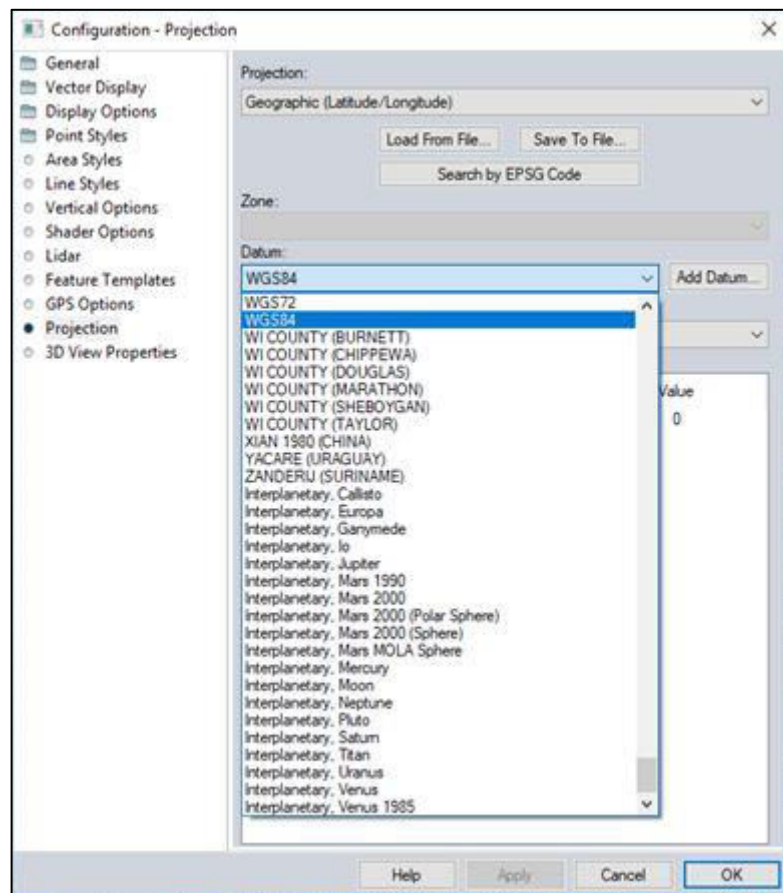


# Annexe

→ Prochaine étape Connectez-vous au logiciel " GLOBAL MAPPER " et insérez la carte téléchargée et convertissez-la en (.grd)



→ Cliquer " Tools" → " Configurer " → " Projection " → Sélectionnez dans la liste " WGS84 " → "OK".





## Bibliographies

---

- [1] Thierry PEYRE, « *Évaluation de performances sur le standard IEEE802.16e WiMAX* », Thèse de Doctorat, Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse, 2008.
- [2] A. Benhamza, "Planification d'un réseau WIMAX mobile," These de magister, Institut National des Télécommunications et des Technologies de l'Information et de la Communication, 2009.
- [3] "WiMax Network Planning", Master Thesis COM Research Center Technical, University of Denmark August 31, 2005.
- [4] C. Tata, "Algorithmes de Courtoisie: optimisation de la performance dans les réseaux WIMAX fixes," Ecole de technologie superieur, université de Québec, Aout 2009.
- [5] Alaeddine ABDALLAH, « Mécanismes Cross-Layer pour le streaming vidéo dans les réseaux WiMAX », Thèse de Doctorat, Université de Bordeaux I, École Doctorale de Mathématiques et d'Informatique, 2010.
- [6] Youssoupha CASSE « Etudes et mise en place d'un réseau WiMAX dans la région de DAKAR » Rapport de Projet de Fin d'Étude pour l'obtention du diplôme de Master en Télécommunications, Ecole de technologie supérieur, université de Québec, Aout 2009.
- [7] Syed AHSON, Muhammad ILYAS, «WiMax: applications », Edition CRC Press 2008.
- [8] WiMAX Forum White Paper : "WiMAX's technology for LOS and NLOS environments", August2004.
- [9] Selmen BENSALIM, Meriem FERJANI, « Développement d'un outil de planification d'un réseau WiMAX », Rapport de Projet de Fin d'Étude pour l'obtention du diplôme de Master en Télécommunications, Université Virtuelle de Tunis, Juillet 2011.
- [10] WiMAX Forum White Paper: "Mobile WiMAX-Part I: A technical Overview and Performance Evaluation", Février 2006.
- [11] Kwang-Cheng CHEN, J.Roberto B. de Marca, « Mobile WiMax», Eds Wiley, 2008.
- [12] HUANG, Hui- Fen; XIAO, Shu- Guang. Compact MIMO antenna for Bluetooth, WiMAX, WLAN, and UWB applications. *Microwave and Optical Technology Letters*, 2016, 58.4: 783-787.
- [13] HWAS MOHAMED WAJJIH, 'Étude et dimensionnement d'un réseau WiMAX dans un concept IMS', Rapport de projet de fin d'étude, école supérieur des télécommunication de tunis, 2007.

## Bibliographies

---

- [14] Syed AHSON, Muhammed ILYAS, « WiMax: Standards and security », Edition CRC Press 2008.
- [15] Mathieu GARCIA, « Le WiMax», rapport, université de Montpellier II DESS TNI.
- [16] EL HAJJ Paul , DAHBI Nabil ;« ETUDE DE LA TECHNOLOGIE WIMAX MOBILE", Article, Telecom Sud Paris 3eme année ingénieur ,2010.
- [17] Yan ZHANG, Hsiao-Hwa CHEN, « Mobile WiMax: Toward broad band Wireless metropolitan Area Network”, EdsAuerbach Publications, 2008.
- [18] Harry R. Anderson, Fixed Broadband Wireless System Design,2005.
- [19] HWAS MOHAMED WAJIH, ”Etude et dimensionnement d’un réseau WiMAX dans un concept IMS”, Rapport de projet de fin d’étude, école supérieur des télécommunication de tunis,2007.
- [20] Frank Ohrtman, ”Building 802.16 Wireless Networks”,2006
- [21] Amitabh KUMUR, « Mobile broadcasting with WiMax», Eds Elsevier, 2008.
- [22] AYADI, Dorra, Skandar DOUSS, and Mourad LOULOU. "Spécification d’un Récepteur Radio Fréquence Dédié au Standard IEEE 802.16."
- [23] KOROWAJCZUK, Leonhard. LTE, WiMAX and WLAN network design, optimization and performance analysis. John Wiley & Sons, 2011.
- [24] ANDREWS, Jeffrey G., GHOSH, Arunabha, et MUHAMED, Rias. *Fundamentals of WiMAX: understanding broadband wireless networking*. Pearson Education, 2007.
- [25] ANDREWS, Jeffrey G., GHOSH, Arunabha, et MUHAMED, Rias. *Fundamentals of WiMAX*. Pearson India, 2007.
- [26] GHOSH, Arunabha, WOLTER, David R., ANDREWS, Jeffrey G., *et al.* Broadband wireless access with WiMax/802.16: current performance benchmarks and future potential. *IEEE communications magazine*, 2005, vol. 43, no 2, p. 129-136.

# Webographies

---

[W1] <http://wapiti.enic.fr>

[W2] [http://www-igm.univ-mlv.fr/~dr/XPOSE2007/dgehanne\\_wimax/technique.html](http://www-igm.univ-mlv.fr/~dr/XPOSE2007/dgehanne_wimax/technique.html)

[W3] <http://www.futura-sciences.com/>

[W4] [www.ieee802.org/16](http://www.ieee802.org/16)

[W5] [https://www.researchgate.net/publication/229049396\\_Handovers\\_in\\_the\\_Mobile\\_WiMAX](https://www.researchgate.net/publication/229049396_Handovers_in_the_Mobile_WiMAX)

[W6] [https://www.memoireonline.com/07/11/4628/m\\_Gestion-des-ressources-radios-dans-les-reseaux-sans-fils--cas-dun-reseau-wimax15.html](https://www.memoireonline.com/07/11/4628/m_Gestion-des-ressources-radios-dans-les-reseaux-sans-fils--cas-dun-reseau-wimax15.html)

[W7] <http://fr.scribd.com/doc/123981601/Architecture-Planification-WIMAX>

[W8] <https://fr.scribd.com/doc/116947020/intro-au-logiciel-ATOLL>

### *Résumé*

Le WIMAX qui a pour acronyme : **Worldwide Interoperability for Microwave Access** est une norme basée sur le standard de transmission radio IEEE 802.16 valide par l'organisme mondial de normalisation IEEE. Il est développé par le WIMAX forum qui rassemble une soixantaine d'industriels dont Intel, NOKIA, SIEMENS... Le standard 802.16 possède comme premier sous ensemble le 802.16 valide en 2001, qui opérait dans la bande de fréquence de **10 à 66 GHz**. Cette version du standard fonctionnait en visibilité directe entre l'émetteur et le récepteur. Elle a été améliorée en 2003 et a été appelée le 802.16a qui a introduit une extension de la bande de fréquence de **2 à 11 GHz** et permet une communication sans nécessité de ligne de vue. Le standard IEEE 802.16 est aussi appelé mobile Wireless MAN. Elle offre la possibilité aux utilisateurs nomades de se connecter aux fournisseurs de service internet mobile (WISP). Elle supporte une mobilité avec des vitesses pouvant aller jusqu'à 120 Km/h pour une transmission de données. Son débit maximal théorique est de **15 Mbps** en **NLOS** et une largeur de bande flexible allant de **1.25 MHz** à **20 MHz**. L'étude et le dimensionnement d'un réseau WiMAX se fait en utilisant le logiciel Atoll [24] [25].

**Mots clés:** WiMAX, LOS NLOS, couverture, dimensionnement, planification.

### Abstract

The WIMAX acronym: **worldwide interoperability for microwave access** is a standard based on the IEEE 802.16 radio transmission standard valid by the global IEEE standards organization. It is developed per the WIMAX forum that brings together some sixty industrialists including Intel, NOKIA, SIEMENS... The 802.16 standard has as its first subset the 802.16 valid in 2001, which operated in the frequency band from 10 to 66 GHz. This version of the standard functioned in direct visibility between the transmitter and the receiver. It was upgraded to 2003 and was called 802.16 a which introduced an extension of the frequency band from 2 to 11 GHz and allows communication without the need for a line of sight. The IEEE 802.16 standard is also called mobile wireless MAN. It provides the ability for nomadic users to connect to mobile Internet service providers (WISPS). It supports mobility with speeds of up to 120 km/h for data transmission. Its theoretical maximum throughput is 15 Mbps in NLOS and a flexible bandwidth ranging from 1.25 MHz to 20 MHz.. The study and sizing of a WiMAX network is done using the atoll software .

**Keywords :** WiMAX, LOS ,NLOS, coverage, sizing, planning.

### مُلخَص

الواي ماكس أو البنية التشغيلية العالمية للعبور بالموجات الدقيقة هي عبارة عن تقنية اتصال حديثة تهدف إلى توفير بيانات لاسلكية عبر مسافات طويلة عن طريق نقل البيانات بتدفق عالي جداً و بدون تقطعات وهي متوافقة مع المعيار القياسي العالمي و إسم الواي ماكس جاء من تسمية منتدى واي ماكس الذي انعقد في 2001 والذي خلص إلى تحديد و تعريف هذه التقنية على أنها تقنية مبنية على معيار تسمح بالوصول اللاسلكي الواسع النطاق و بهذا يحل مكان الكابل الرقمي DSL و غيره من الطرق الكلاسيكية و يتم تطويره في المنتدى واي ماكس الذي يجمع بين 60 مُصنِع بما في ذلك شركات انتل ، نوكيا ، سيمنز وغيرهم ... المعيار واي ماكس يعمل في نطاق التردد من 10 إلى 66 جيجاهيرتز في الرؤية المباشرة بين جهاز الإرسال و المُتلقي وقد تم تطويره سنة 2003 وكان يسمى بالإصدار 802.16 a التي أدخلت عليه امتدادات للنطاق الترددي من 2 إلى 11 جيجاهيرتز و يسمح الاتصال دون الحاجة إلى خط الرؤية المباشرة و يسمى معيار IEEE 802.16e أيضا بالشبكة اللاسلكية المحمولة أو ما يُسمى بالـ MAN وهي توفر القدرة للمستخدمين التنقل و عدم انقطاع الاتصال بمقدمي خدمات الإنترنت المتنقلة (WISPS) , وهو يدعم التنقل مع سرعات تصل إلى 120 كم/ساعة بالموازاة مع نقل البيانات المُستمر و التدفق العالي الذي يصل الى أعلى قيمة له نظرياً هو 15 ميجابيت/الثانية في إصدار الرؤية الغير مُباشرة بين جهاز الإرسال و المُستقبل و طول تردد النطاق المرن من 1.25 إلى 20 ميجابيت , الدراسة التي قمنا بها هي تجسيد شبكة الواي ماكس المحمول على مدينة قمار ( ولاية الوادي) بواسطة برنامج المحاكاة المسمى Atoll و الوصول الى حلول منطقية ناجعة للمشاكل التطبيقية المطروحة و تحليل النتائج المتحصل عليها .

**الكلمات المفتاحية:** الواي ماكس, بيانات لاسلكية , الكابل الرقمي , الرؤية المباشرة , الرؤية الغير مباشرة , التدفق , تردد النطاق المرن .

ahmed.bane2012@gmail.com

bachirazerty994@gmail.com