
*Chapitre : Introduction au réseau
WiMAX*

I.1 Introduction

Le WiMAX ou Worldwide Interoperability for Microwave Access, est une norme technique développée par le consortium WiMAX Forum. Celle-ci est basée sur le standard de transmission radio 802.16, et fut validée en 2001 par l'organisme international de normalisation IEEE. En effet, le WiMAX ressemble au Wifi mais avec des performances nettement supérieures en de nombreux points.

Plusieurs standards relèvent du terme WiMAX, les plus avancés concernent les usages en situation fixe (le client ne bouge pas), mais une version mobile (connexion à haut débit en situation de mobilité) fut introduite et qui a pour objectif d'étendre le WiMAX à des machines terminales mobiles, impliquant donc la possibilité de réaliser des connexions xDSL sans fil vers des mobiles

Le WiMAX décrit des technologies hertziennes destinées principalement à des architectures point-multipoint : à partir d'une antenne centrale, on cherche à toucher de multiples terminaux. Le but est de transmettre des données à haut débit pour l'accès à Internet et la téléphonie.

I.2 Évolution des standards

Le WiMAX est synonyme de la norme 802.16, apparu en 2001 et qui ne cesse de se développer en offrant plus de choix et de bénéfices pour l'utilisateur au niveau des réseaux d'accès à large bande sans fil. Les principales normes connues et utilisées sont les normes 802.16a, 802.16d et 802.16e.

À l'origine, le standard IEEE 802.16 comprenait les domaines de fréquences de 10-66 GHz. Consécutivement, le standard IEEE 802.16a, prenant en compte les domaines de fréquences de 2-11 GHz, a été publié. Cette diminution de la plage des fréquences est liée principalement à la nécessité de dépasser le problème de NLOS c'est-à-dire que si l'utilisateur n'est pas dans le champ de vue directe à cause des obstacles, il est apte d'accéder au réseau, ainsi que le besoin d'une mobilité pour les réseaux d'accès sans fil et la consommation des ressources utilisées. En juillet 2004, un nouveau standard regroupant des spécificités différentes a été publié sous le nom de IEEE 802.16-2004. Il est défini donc comme une réponse aux problèmes de connexions sans-fil sur des zones de couverture de plusieurs kilomètres. [1]

Les principales caractéristiques de la norme originale étaient:

- Une porteuse < 11 GHz.
- La technique de modulation utilisée est l'OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex).
- Un débit minimum de l'ordre de 10 Mbit/s avec une espérance d'atteindre les 100 Mbit/s.
- Une distance de couverture jusqu'à 50 km, en théorie.

I.2.1 les 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)	Définit des réseaux métropolitains sans fil utilisant des fréquences à 10 GHz jusqu'à 66 GHz	8avril 2002	Obsolètes
IEEE std 802.16c (2002)	Définit les options possibles pour les réseaux Utilisant les fréquences entre 10 et 66 GHz	15 janvier 2003	
IEEE std 802.16a (2003)	Amendement au standard 802.16 pour les fréquences entre 2 et 11 GHz	1 avril 2003	
IEEE std 802.16(2004) Également désigné 802.16d	Il s'agit de l'actualisation (la révision) des standards de base 802.16, 802.16a et 802.16c	1 ^{er} octobre 2004	Obsolète /active
IEEE 802.16e (également désigné IEEE std 802.16e - 2005)	Apporte les possibilités d'utilisation en situation mobile du standard, jusqu'à 122 km/h.	7décembre 2005	active
IEEE 802.16f	Spécifie la MIB (Management Information Base), pour les couches MAC (Media Access Control) et PHY(Physical)	22janvier 2006	
IEEE 802.16m	Débits en nomade ou stationnaire jusqu'à 1 Gbit/2 et 100 Mbits/s en mobile grande vitesse convergence de technologies WIAMX, Wi-Fi et 4G		En cours

Table I. 1 : Les différentes normes du WiMAX [2]

La configuration 802.16 était d'avoir des antennes à l'extérieur des domiciles et des antennes émettrices externes pour les fournisseurs de service opérant sur la plage de

fréquence entre 10 à 66 GHz. Puisque les ondes à haute fréquence ne pénètrent pas bien les édifices, il est nécessaire de ne pas avoir d'obstruction entre les deux antennes; c'est ce qui est défini comme LOS (Line-Of-Sight).

Une seconde configuration de type point à point « Backhaul » est réservée aux communications entre antennes émettrices lorsqu'il est nécessaire de parcourir des plus grandes distances. Par exemple, pour desservir une antenne de quartier qui retransmettra ensuite le signal aux résidents à proximité. Mais ces types d'installations sont assez dispendieuses et demandent un niveau élevé de compétences techniques.

Un amendement vient alors, permettant l'utilisation de la plage de fréquence entre 2 à 11 GHz formant ainsi la norme 802.16a qui peut opérer sans nécessité l'installation d'antennes extérieures. Cette configuration NLOS « Non-Line-Of-Sight » permet d'avoir des antennes réceptrices dans des appareils portables ou dans un édifice pour communiquer directement avec une centrale. Des usagers peuvent recevoir des signaux de plusieurs antennes directement. Ce sont des communications dites point à multipoints. Ce type de configuration est souvent qualifié de « Last mile » puisque c'est la dernière étape avant de rejoindre le client. C'est également l'opération qui est la plus onéreuse pour les entreprises.

La version 802.16-2004 était certainement très utile, remplaçant un ensemble de documents tous décrivant différentes parties de la même technologie. Cependant, après sa publication, il y a eu toujours besoin d'une mise à niveau, principalement pour l'ajout des dispositifs mobiles ainsi que la correction de quelques erreurs. Ceci a mené à la norme 802.16e, approuvée décembre 2005 et publiée en février 2006. [3]

I.2.2 Le WiMAX et La mobilité

WiMAX envisage quatre scénarios d'utilisation liés à la mobilité:

Nomadic: L'utilisateur est autorisé à prendre un poste d'abonné fixe et se reconnecter à un autre point de fixation.

Portable: L'accès nomade est fourni à un appareil portatif, tel qu'une carte PC, avec l'attente d'un best-effort Handover.

La mobilité simple: L'abonné peut se déplacer à des vitesses jusqu'à 60 km / h avec de brèves interruptions (moins de 1 sec) au cours de transfert.

Mobilité complète: Jusqu'à 120 km/h et la mobilité sans couture transfert (moins de 50 ms de latence et <1% de perte de paquets) est pris en charge.

La norme IEEE 802.16e-2005 définit un cadre pour soutenir la gestion de la mobilité. En particulier, la norme définit les mécanismes de signalisation pour le suivi des stations d'abonnés qui passent de la zone de couverture d'une station de base à une autre lorsqu'elle est active ou, comme on passer d'un groupe d'échange à l'autre en cas d'inactivité (ce qu'on appelle hand over).

La norme a également des protocoles pour permettre un transfert sans heurt des connexions en cours d'une station de base à l'autre. Le WiMAX Forum a utilisé le cadre défini dans la norme IEEE 802.16e-2005 pour développer davantage gestion de la mobilité dans un cadre de bout en bout l'architecture réseau. L'architecture prend également en charge la mobilité de la couche IP en utilisant IP mobile.

Le tableau suivant illustre les comparaisons les plus marquantes entre ces normes :

	802.16	802.16d	802.16e
Spectre	10-66 GHz	<11 GHz	< 6.11 GHz
Conditions canal	Uniquement LOS	NLOS	NLOS
Débit	32-134Mbps à 128MHz	Jusqu'à 75 Mbps à 20MHz	Jusqu'à 16Mbps à 5 MHz
Modulation	QPSK, 16-QAM et 64-QAM	256-OFDM, QPSK, 16-QAM, 64-QAM	256-OFDMA, QPSK, 16-QAM, 64-QAM
Mobilité	Fixe	Fixe	mobile
Portée	50 Km	7 Km	3.5Km
Débit	70 Mb/s	75 Mb/s	30 Mb/s
Bandes passantes	20 ,25 et 28MHz	Au choix entre 1.25 et 20 MHz	Comme 802.16a avec sous canaux montantes pour conserver la puissance.
Rayon de cellule typique	1.61-4.83Kms	4.83-8.05 Kms, max pour 48.28Kms	1.61 – 4.86Kms

Table I. 2 : Comparaison entre les différentes normes de WiMAX (fixe et mobile) [4]

I.3 Architecture d'un réseau WiMAX

L'architecture du réseau WIMAX se compose de stations de base et des stations mobiles ou clientes SS (Subscriber Station).

La station de base est constituée de deux modules :

- Module << indoor >> qui contient le processeur, le modem, l'interface Ethernet et un module radio.
- Module << Outdoor >> qui contient un module radio et une antenne d'émission-réception.

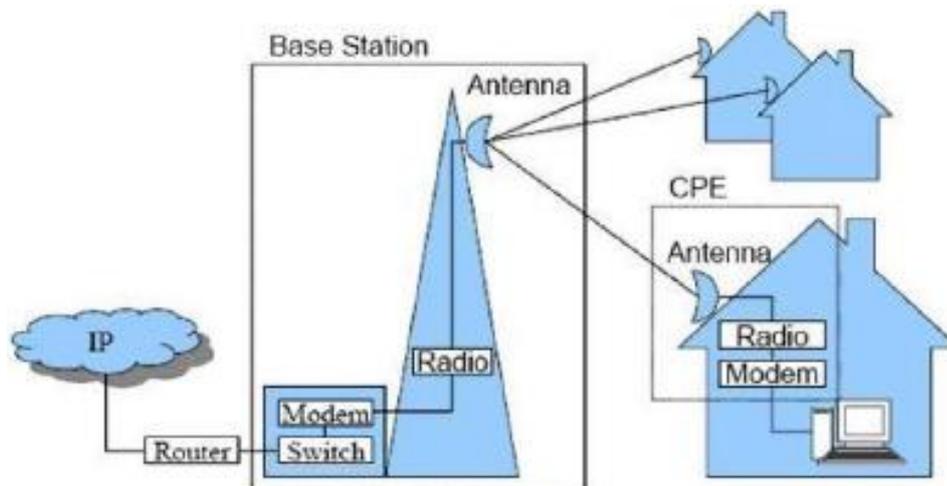


Figure I. 1 : Schéma d'architecture générale du réseau WiMAX [5]

En plus de la station cliente qui contient les deux modules avec les mêmes rôles que pour la BS, il faudra avoir un terminal similaire au modem ADSL pour assurer la connexion.

Les principaux équipements du réseau :

I.3.1 La station de base BS

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

I.3.2 Les stations terminales

A la différence des réseaux mobiles, où tous les terminaux ont des antennes omnidirectionnelles, les réseaux WiMAX combinent des équipements indoor et des équipements Outdoor à antennes souvent directionnelles.

Un modèle de référence a été développé pour servir de cadre d'architecture pour les déploiements WiMAX et pour assurer l'interopérabilité entre les différents équipements WiMAX et les opérateurs.

Le modèle de référence du réseau prévoit une architecture de réseau unifié pour soutenir fixes, nomades et les déploiements mobiles et est basé sur un modèle de service IP.

I.4 La desserte avec WiMAX

Le but de la desserte est de relier le client final à un réseau donné afin qu'il puisse accéder à Internet.

Pour cela, le client doit posséder un récepteur WIMAX (une puce intégrée ou un CPE : Customer Premise Equipment) et se trouver dans le champ d'action d'un émetteur. La transmission entre le client et son hot spot WIMAX est dite en "non ligne de vue" (NLOS), c'est-à-dire que le client ne se trouve pas en vue directe avec l'antenne. En effet, les bâtiments ou la végétation que l'on trouve dans les villes "forcent" le signal à être détourné grâce à l'utilisation de la modulation de fréquence OFDM. [10]

Le tableau suivant montre l'avantage et l'inconvénient de la technologie WiMAX

Avantages	Inconvénients
La possibilité de réutilisation d'une fréquence dédiée à une BTS pour augmenter la capacité du système, ainsi le système peut supporter des centaines d'utilisateurs.	Pour avoir des distances et des débits optimaux, l'émetteur et le récepteur doivent être en « ligne de vue ». Hors « ligne de vue », les débits chutent rapidement.
L'allocation de fréquences se fait de façon sectorielle quand le nombre d'utilisateurs augmente.	Le débit est partagé entre les usagers d'une même antenne centrale et Nécessite de desservir les stations de base WIMAX par un réseau de collecte (fibre optique, faisceau hertzien....).
Coût faible, le WIMAX permet un déploiement plus rapide sans nécessiter de gros travail de génie civil.	Nécessite de disposer d'un point haut : afin d'assurer la meilleure couverture possible, l'émetteur doit être placé sur un point haut (pylône, château d'eau, etc.).

Table I. 3 : Les avantages & les inconvénients du WiMAX. [13]

I.5 Les différentes topologies

Deux topologies peuvent être définies pour un réseau WIMAX : La topologie en étoile (Figure I.2) ou Point-MultiPoints (PMP), et la topologie maillée (Figure I.3).

La différence principale entre les deux modes, est que dans la topologie PMP le trafic ne peut avoir lieu qu'entre la station de base (BS) et ses stations réceptrices (SSs), alors que dans la topologie maillée, les SSs peuvent également échanger de l'information entre elles.

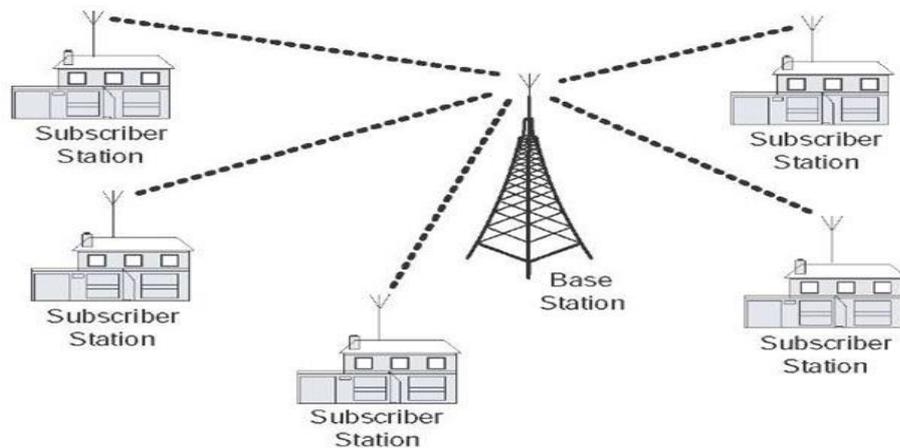


Figure I. 2 : Topologie PMP (Point à MultiPoint) [6]

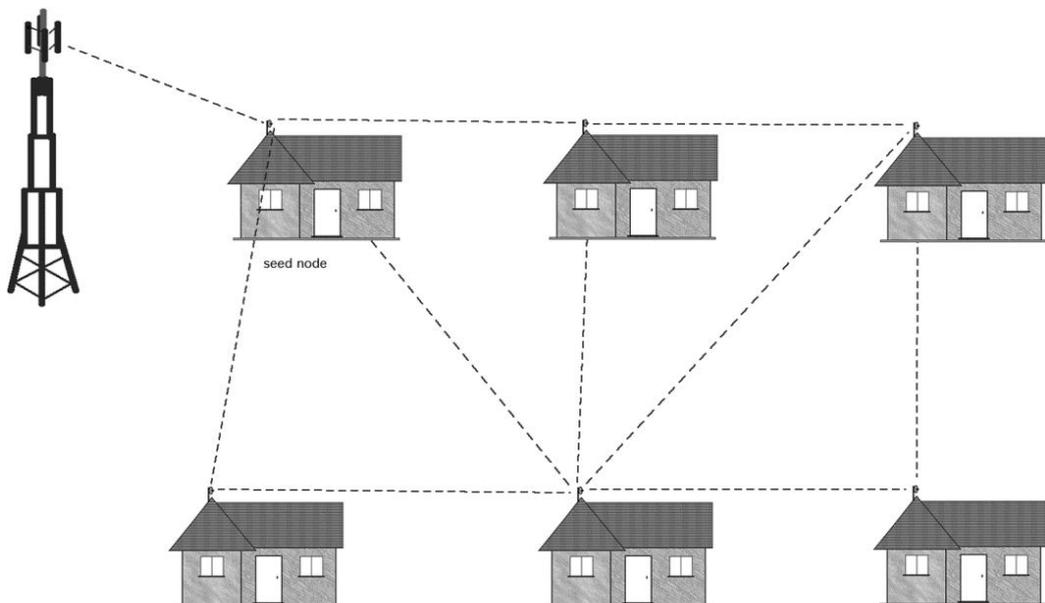


Figure I. 3 : Topologie Maillée [6]

Dans la topologie maillée, chaque station peut créer sa propre communication avec n'importe quelle autre station dans le réseau, sans qu'elle soit obligatoirement une station de base. Ainsi, la couverture de cette dernière peut devenir plus importante, selon le nombre de sauts permis menant vers la dernière station réceptrice du réseau.

Il existe deux types de réseau maillé : le réseau maillé complet (Full Mesh), où chaque nœud a une liaison avec tous les autres nœuds du même réseau, et le réseau maillé partiel (Partial Mesh) où quelques nœuds seulement ont des liaisons avec tous les autres nœuds du réseau, alors que les autres nœuds ont seulement un ou deux liaisons dans tout le système. [6]

I.6 Caractéristique technique de WiMAX

La norme IEEE 802.16 a été développée selon une architecture en couches au nombre de deux qui sont par PHY (physique) et MAC (media access control) du modèle OSI (open system interface).

Il existe une couche physique et trois sous-couches MAC.

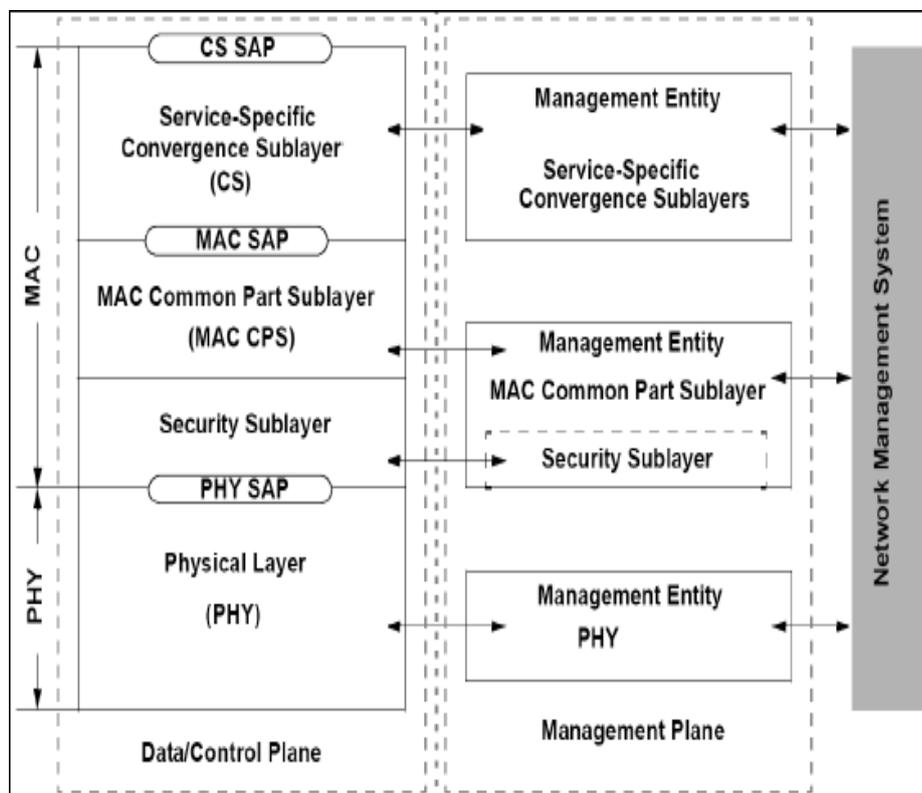


Figure I. 4 : Couches protocolaires de l'IEEE 802.16 [7]

I.6.1 La couche MAC

La couche MAC prend en charge le transport de l'ATM mais aussi celui des paquets IP, et joue un rôle important dans la gestion de la qualité de service (QoS). Elle s'appuie sur trois sous couches : une couche de convergence spécifique SSCS (Service Specific Convergence Sublayer), une couche commune CPS (MAC Common Part Sublayer) et une couche sécurité PS (Privacy Sublayer). [10]

I.6.1.1 La sous couche SSCS

La SSCS est destinée pour faire la correspondance de service entre les connexions MAC. Elle définit deux service de convergence de sous couches de convergence:

- Pour les réseaux ATM : définie pour les services ATM.
- Pour les réseaux à base de paquets : il est utilisé pour faire la correspondance des services par paquets, tels que IPv4, IPv6, Ethernet ou les VLAN.

I.6.1.2 La sous couche CPS

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

I.6.1.3 La sous couche PS

Cette couche représente l'interface entre la couche MAC et la couche PHYSIQUE. 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, elle est utilisée pour l'authentification et l'échange de clefs de sécurité.

I.6.2 Couche physique

Les caractéristique de la couche physique changent en fonction de la fréquence .la Norme 802.16/2004 spécifie cinq interfaces radio différentes .une pour la bande 10-66GHz ou la transmission et de type LOS (ligne of sight).et quatre pour la bande 2-11GHz ou la transmission est de type NLOS (non ligne of sight).

I.6.2.1 Couche Physique pour les fréquences entre 10-66GHz

C'est dans cette configuration que les performances du WiMAX sont les meilleurs. Cette fréquence requiert la propagation en LOS .La couche physique qui est utilisée encore appelé <Wireless Man-SC>.Elle supporte deux types de duplexage FDD (Frequency Division Duplexing) et TDD (Time Division Duplexing).

I.6.2.2 Couche Physique pour les fréquences entre 2-11GHz

Les couches physiques pour ces fréquences sont adaptées à la propagation NLOS dont il faudra ainsi prévoir la gestion du multi trajet .On distingue quatre types de couches physiques :

- Le Wireless MAN-SC : utilise la modulation SC (single Carrier) comme technique de transmission. L'accès est fait par la technique TDMA et supporte les duplexages TDD et FDD.
- Le Wireless MAN-OFDM : utilise l'OFDM à 256 sous porteuses comme technique de transmission. l'accès est fait par TDMA et supporte les duplexages TDD et FDD.
- Le Wireless MAN-OFMDA : utilise un multiplexage orthogonal à division de fréquence d'accès multiple OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) avec 2048 sous porteuses lui permettant de tolérer de multiples récepteurs. L'accès se fait par TDMA supporte les duplexages TDD et FDD.
- Le Wireless HUMAN (High Speed Unlicensed Metropolitan Area Network) : la norme ne spécifie pas une technique de transmission propre à elle puisque n'importe quel technique de transmission NLOS (SC, OFDM, OFMDA) peut être utilisée .Seul le duplexage TDD est autorisé.

Grace aux performances, l'OFDM peut assurer :

- L'immunité contre l'effet multi trajets causé par la propagation NLOS.
- Facilité de synchronisation et d'estimation du canal grâce aux sous porteuses pilotes.
- Efficacité de l'utilisation du spectre et de puissance (utilisation de N porteuses orthogonales très proche l'une de l'autre. [8])

I.6.3. Technique de Multiplexage

I.6.3.1 Symbole OFDM

Le WMAN – OFDM utilise l'OFDM multi porteuses, allant de 128 jusqu'à 2024 porteuses.

Les symboles sortant de la constellation attaquent l'IFFT (Transformée de Fourier Inverse) et le premier symbole qui sort de la modulation numérique doit être porté par la sous porteuse de données ayant le plus petit indice d'offset. Chaque sous porteuse est référenciée par un indice d'offset indiquant sa position dans le symbole.

Pour notre exemple, nous prendrons une OFDM à 256 porteuses, nous distinguerons 3 types de sous porteuses :

- Sous porteuses de données (192 sous porteuses)
- Sous porteuses pilotes : pour des buts d'estimation (8 sous porteuses)
- Sous porteuses nulles : (56 sous porteuses) pas de transmission, pour les bande de garde (55 sous porteuses), et la sous porteuse DC. [9]

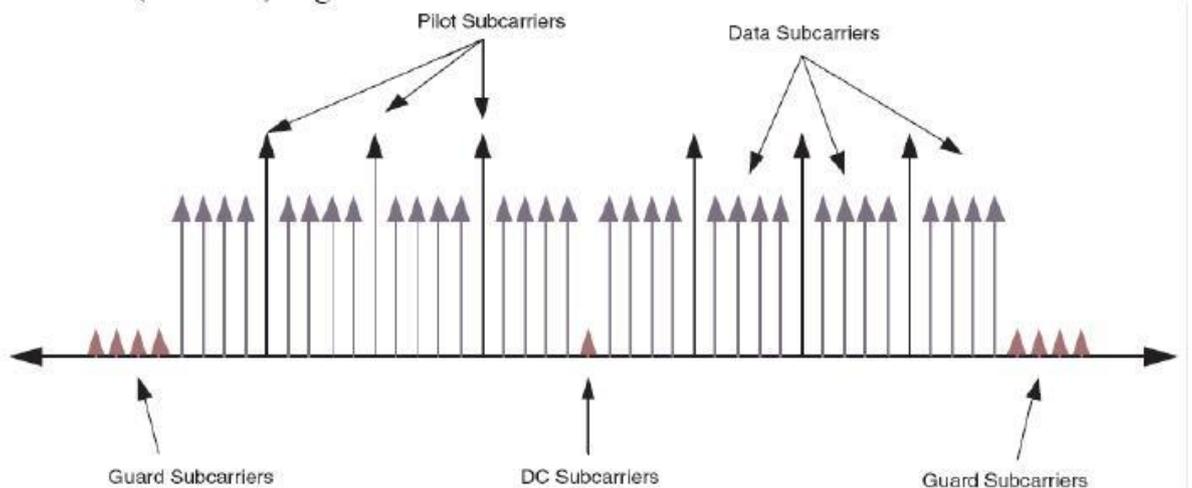


Figure I. 5 : Composants fréquentiels (ou sous porteuses) du symbole OFDM-256

Il est facile à la réception, grâce à la séparation orthogonal des porteuses, de faire l'égalisation des sous-porteuses chacune à part, au lieu de faire l'égalisation d'un signal à une porteuse unique.

I.6.3.2 La technique OFDMA

Cette technique, comme l'OFDM, utilise l'IFFT pour générer un symbole OFDMA contenant des porteuses des données, des porteuses pilote et des porteuses nulles pour la bande de garde et la fréquence DC.

Dans la technique OFDMA, les sous porteuses actives sont divisés en dessous ensembles de sous porteuses (subchannels). Dans le sens descendant (downlink), un subchannel peut être prévu pour différents récepteur ; dans le sens montant (uplink) un émetteur pour attribuer un ou plusieurs subchannels , et plusieurs émetteurs peuvent transmettre simultanément .

Les sous porteuse formant un seul subchannel peuvent, main n'ont pas besoin d'êtres adjacents. Le concept est illustré dans la figure suivante : [9]

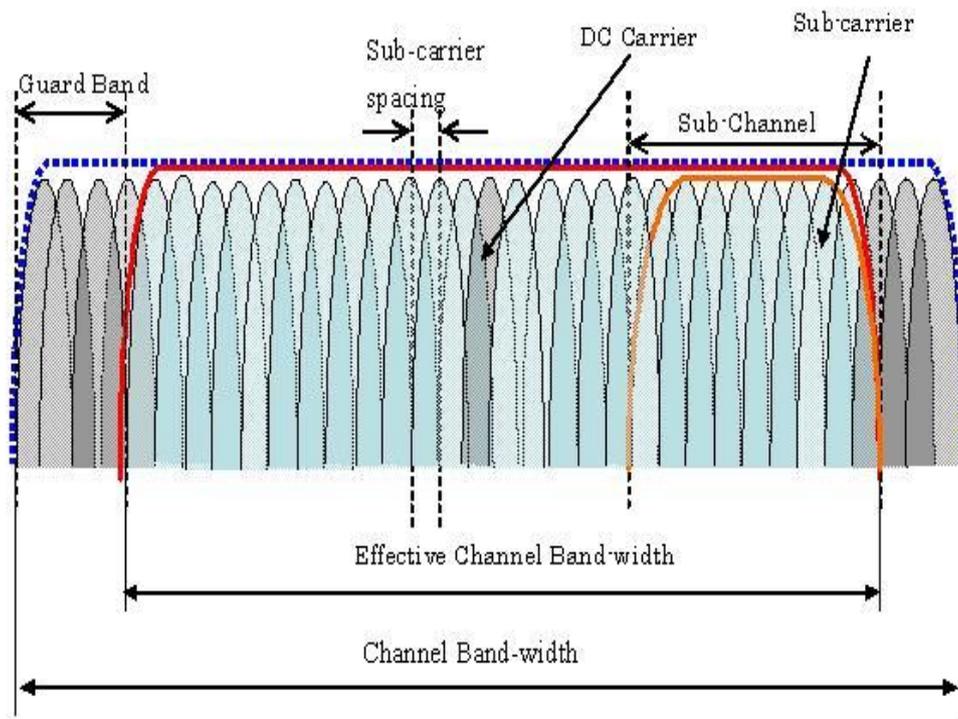


Figure I. 6 : Description fréquentielle de l'OFDMA [9]

I.6.3.3 La différence entre l'OFDM et l'OFDMA

OFDMA est une technique qui dérive de l'OFDM en utilisant le même principe de division de la bande passante en plusieurs sous- porteuses.

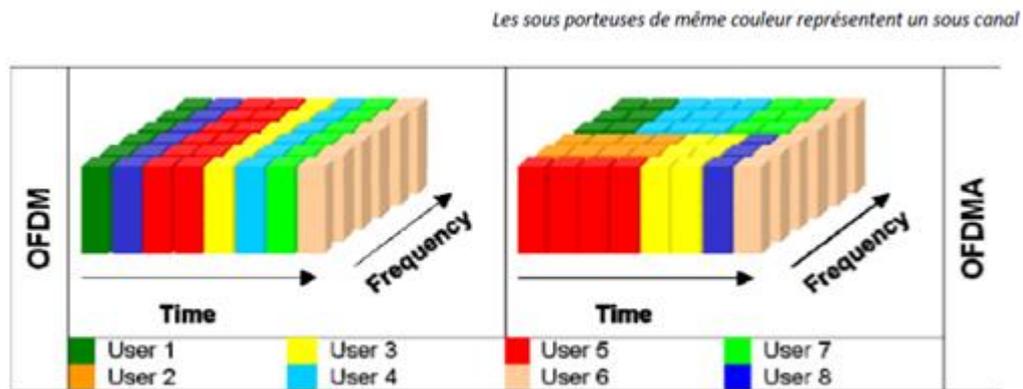


Figure I. 7 : La différence entre l'OFDM et l'OFDMA [12]

La différence entre l'OFDM et l'OFDMA c'est que la première sert à un usager dans un intervalle de temps, par contre OFDMA elle peut servir plusieurs usagers dans un même intervalle de temps, comme montrer dans la figure ci-dessus.

I.6.4 La modulation adaptative

La modulation adaptative est adoptée dans le standard 802.16. Selon le rapport signal à bruit (SNR) à la réception, la station de base négocie les types de codage et de modulation les plus appropriés, parmi les options disponibles (BPSK, QPSK, 16QAM ET 64QAM).

Le schéma suivant représente une approche qui maximise le débit et la connectivité dans une cellule, comme elle permet au système de choisir entre la modulation la plus performante (64QAM) et la modulation la plus robuste (BPSK), pendant la variation de distance entre la station de base et la station d'abonné. [10]

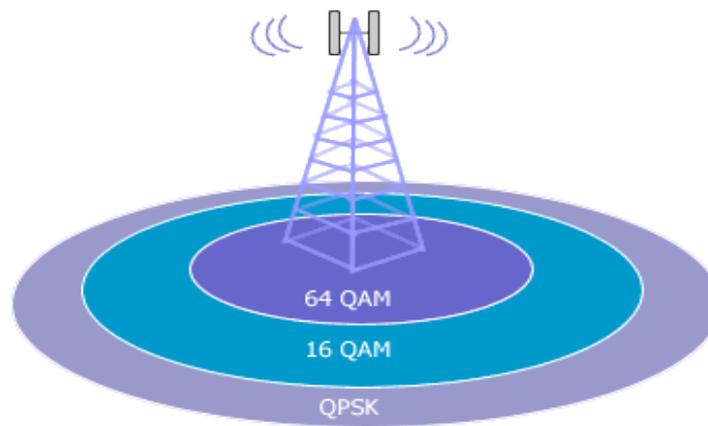


Figure I. 8 : Modulation adaptative

- 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.

I.6.5 Structure de la trame

I.6.5.1 La structure de la sous trame en voie descendante

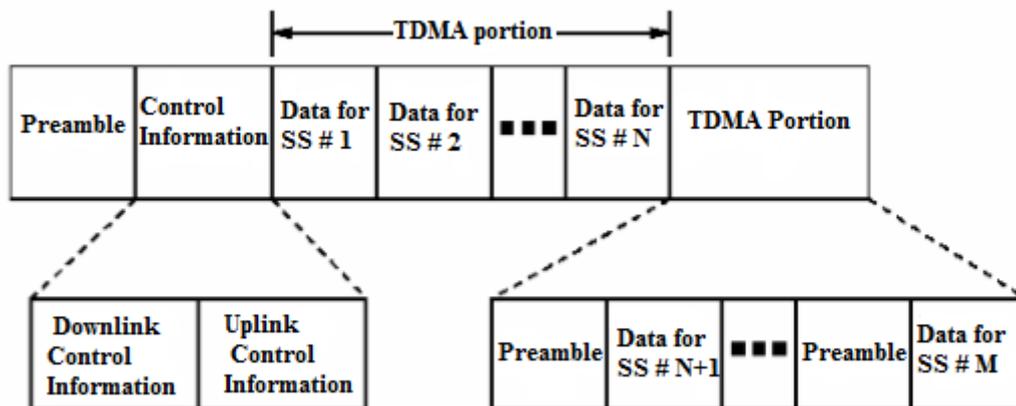


Figure I. 9 : La structure de la sous trame en voie descendante [8]

Comme montre la figure ci-dessus, une sous trame en voie descendante débute par un préambule utilisé pour la synchronisation, suivi par une section de contrôle qui contient le DL-MAP (Downlink MAP) pour la trame courante et UL-MAP pour une autre trame en voie montante à être envoyée dans un temps ultérieur. Cette section contient aussi les

messages DCD (Downlink Channel Descriptor) et UCD (Uplink Channel Descriptor) qui définissent les caractéristiques des canaux en voie descendante et en voie montante respectivement.

Le message DL-MAP doit contenir les informations suivantes : la durée de la trame, l'indice de la trame, l'identificateur de canal utilisé en voie descendante, ainsi que le type de modulation utilisée. Le message UL-MAP doit avoir les informations suivantes:

L'identificateur du canal utilisé en voie montante, le temps de commencement de la sous trame et la bande passante attribuée à chaque flux. La bande passante est accordée aux différents flux provenant de plusieurs SS en termes de mini-slots. La section de contrôle est suivie par les données qui sont envoyées de la station de base vers les SS. Ces données sont envoyées en rafales (ou Bursts). Le transfert de données vers un SS se fait selon des critères de qualité de service négociés à l'avance. Chaque SS reçoit la trame provenant du BS et décode les informations dans la section de contrôle, afin de localiser où doivent se trouver les données désignées à ce SS dans la partie restante de la sous trame

I.6.5.2 La structure de la sous trame en voie montante

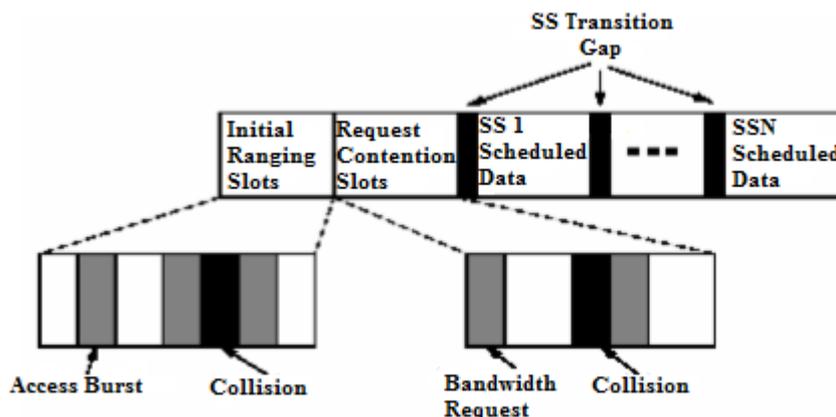


Figure I. 10 : La structure de la sous trame en voie montant [8]

3 types de Burst sont envoyés par le SS vers la station de base, cités ci-dessous :

- Les requêtes envoyées dans les mini-slots de contention réservées pour la synchronisation.

- Les requêtes de demande de bande passante envoyées dans les mini-slots de contention ou dans les slots unicast réservés pour demander de la bande passante.
- les données envoyées par le SS au BS dans des slots unicast alloués de façon spécifique à certains SS, dans l'UL-MAP, pour qu'ils envoient leur flux de données.

La sous trame en voie montante peut contenir tous les types de Burst cités, dans n'importe quel ordre mais leur nombre est limité par la quantité maximale de bande passante attribuée pour la transmission en voie montante. La station de base détermine la quantité de bande passante, en le partageant de façon équitable entre les canaux de voie montante et ceux de voie descendante.

Les SS transmettent leur Bursts, dans les slots prédéterminés dans l'UL-MAP. Pendant la transmission en voie montante, les Gaps de transition séparent les Bursts de différents SS, suivi d'un préambule, afin que le BS se synchronise avec le nouveau SS.

I.6.6. Technique de Duplexage

Duplexage se réfère à la liaison descendante et la voie de données de liaison montante est agencée dans une transmission sans fil bidirectionnelle. La liaison descendante transporte des informations à partir d'une station de base à un abonné.

Le WIMAX utilise deux types de duplexage: Time Division Duplex (TDD) et Frequency Division Duplex (FDD).

- TDD (Time Division Duplexing) : Consiste à utiliser un seul canal pour transmettre les informations aussi bien sur le lien descendant que sur le lien montant. L'émission des données utilisera la même fréquence, la distinction entre le lien montant et le lien descendant est effectuée grâce au temps.
- FDD (Frequency Division Duplex) : nécessite deux canaux distincts pour la transmission de la sous-trame de liaison descendante et de sous-trame de liaison montante dans le même intervalle de temps. FDD est adapté pour le service de voix bidirectionnel car il occupe une liaison descendante symétrique et paire de canaux de liaison montante. [9]

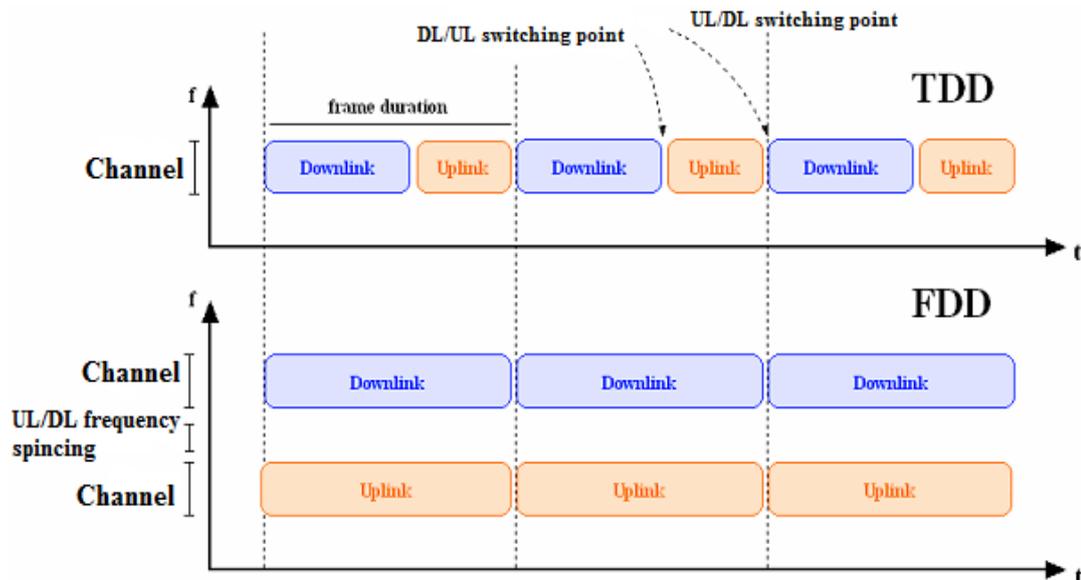


Figure I. 11 : Duplexage TDD FDD [9]

I.6.7 MIMO (Multiple Input Multiple Output)

MIMO est un type de multiplexage spatial, c'est une technique très puissante pour les systèmes multiple-antenne. En principe, MIMO augmente le débit des abonnés dans la proportion du nombre d'antennes de transmission du faite que chaque antenne porte un flux unique des symboles de donnés. 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. [10]

I.6.8 FEC (Forward Error Correction)

Le mécanisme de correction d'erreur FEC est une caractéristique commune pour toutes les transmissions numérique, où les erreurs peuvent être corrigées par l'information redondante porté par le même signale (information). Les bits de FEC peuvent être des

bits de parité ou une répétition de l'information elle-même. Cependant, pour une meilleure efficacité les bits de FEC doivent être adaptés avec les caractéristiques du système de transmission. Le code de convolution et le code correcteur d'erreur REED-SOLOMON (RS), sont utilisés par le FEC de WiMAX.

I.6.9 Gestion de la qualité de service (QoS)

La notion de Qualité de Service veut rendre compte, de façon chiffrée, du niveau de performances que l'utilisateur attend du réseau. Le contenu de cette notion dépend évidemment du service envisagé. Ainsi le service va-t-il des exigences de temps de réponse ; quelle est sa sensibilité aux erreurs de transmission, etc. La gestion de la qualité de service est la procédure qui détermine l'allocation de bande et l'interrogation des stations d'abonnés sur l'état de leur file d'attente. Dans la norme 802.16, différents types de services sont utilisés, à savoir :

I.6.9.1 Unsolicited Grant Service (UGS)

Ce type de service est utilisé pour supporter des flux temps réel générant des paquets de taille fixe et de façon périodique comme de la transmission de voix sans suppression des silences. Il offre une fenêtre de manière systématique et périodique ce qui évite les temps de latence dus aux mécanismes de requête. Le WiMAX préconise, pour les connexions utilisant ce service, de ne pas utiliser les autres afin qu'il puisse fonctionner correctement.

I.6.9.2 Real-Time Polling Service (rtPS)

Ce service supporte les flux temps réel générant périodiquement des paquets de taille variable. Il permet à chaque abonnée, de transmettre des requêtes indiquant la taille de la fenêtre voulue, permettant ainsi de transmettre des paquets de longueur variable. Pour cela, la station de base accorde une fenêtre d'interrogation périodiquement à la station de l'abonné, permettant à cette dernière de transmettre une requête.

I.6.9.3 Non-Real-Time Polling Service (nrtPS)

Ce service est désigné pour supporter les flux ne nécessitant pas de temps réel, utilisant des paquets de taille variable, comme du transfert de fichiers en haut débit. Il permet aux stations des abonnés de transmettre des requêtes environ toutes les secondes de manière périodique.

I.6.9.4 Best Effort (BE)

Ce service est le plus simple de tous, il est utilisé pour tous les flux ne nécessitant pas de qualité de service particulière. Les stations des abonnés utilisant ce service peuvent transmettre leurs requêtes aussi bien dans une fenêtre de contention que d'interrogation. Les paramètres de ce service sont le débit minimum et maximum accordé, et la priorité de ce trafic.

I.6.10 La Sécurité

Les systèmes WIMAX ont été conçus au départ avec une sécurité robuste. La norme inclut des méthodes de dernière génération pour assurer la protection des données utilisateur et empêcher l'accès non autorisé. La sécurité est gérée par la sous-couche MAC PS. Les aspects clés de la sécurité dans le WIMAX sont les suivants:

I.6.10.1 Chiffrement des données

Les données d'utilisateur sont chiffrées en utilisant des algorithmes cryptographiques d'une robustesse prouvée. Tel qu'AES (Advanced Encryption Standard) et 3DES (norme à triples chiffreage des données). La plupart des systèmes WIMAX emploieront AES, car il est approuvé par la Federal Information Processing Standard (FIPS) est plus facile à implémenté. Les 128 bits ou 256 bits utilisés pour le chiffrement sont produits pendant la phase d'authentification et sont périodiquement régénérés pour une protection additionnelle.

I.6.10.2 Authentification

WIMAX fournit des moyens flexibles pour authentifier la station abonné et les utilisateurs pour empêcher l'utilisation non autorisée. Il existe trois différentes possibilités d'authentifications :

- Authentification matérielle basique (adresse mac par exemple).
- Authentification au niveau matériel, basée sur x .509 (c'est-à-dire sur les certificats, stockés dans le matériel lui-même).
- Authentification basée sur EAP (extensible Authentication Protocol) protocole d'authentification générique déjà utilisée dans le cadre de wifi, au niveau logiciel.

I.6.10.3 Protocole de Management de Clé

Les stations clientes utilisent le PKM (Protocol Key Management) afin d'obtenir l'autorisation de se connecter, récupérer les clefs de cryptage auprès de la station mère, et pouvoir refaire ces opération régulièrement. On utilise pour cela des certificats X 509 et les algorithmes RSA. Le PKM est un modèle client-serveur : la station cliente demande à la station mère ses clés, et la station mère en tant que serveur PKM envoie les bonnes clés à la station cliente, en vérifiant de n'envoyer ses clefs qu'aux bonnes stations clientes. Toutefois l'absence d'authentification de la station de base, risque de posé un problème. La station mère identifie la station cliente mais pas le contraire.

I.7 Comparatif WiMAX / Wifi

Ces 2 normes ne sont pas conçues pour le même usage mais elles sont basées sur le même principe. Wifi est fait pour les réseaux locaux dont les distances s'expriment en centaines de mètres, alors que WiMAX est fait pour les réseaux de plusieurs kilomètres de distance. Voici un tableau récapitulatif des principales différences qu'il y a entre ces 2 normes :

	WIFI	WIMAX
Portée	Max 100m en intérieur	Max 50 Km en extérieur de 7 à 10 Km en pratique de 2 à 5Km en 802.16e
Couverture	Courte portée, optimisé pour l'intérieur	Longue portée, optimisée pour l'extérieur (NLOS)
Application	Réseaux locaux sans fils	Accès sans fils à bande large
Mobilité	Hot Spot	Fixe norme 802.16a Mobile (50 Km/h) norme 802.16e
Bande de fréquence	2.4 GHz ISM norme 802.11g 5 GHz U-NII norme 802.11a	Licenciée / non licenciée de 2 GHz à 11 GHz
Largeur de bande	20MHz	De 1.25 MHz à 20LHz
Half / Full duplex	HALF	FULL
Technologie radio	OFDM 64 canaux	OFDM 512 canaux
vitesse	Inférieurs à 207bps/Hz	Inférieure à 5bps/Hz
Protocole d'accès	CSMA/CA	Request / Grant
-best effort	Oui	Oui
-data priority	802.11e WME	Oui
-consistent delay	802.11e WSM	Oui
FEC	Convolution code	Convolutional code Reed-Solomon
QoS	Pas de soutien, utilisation de CSMA/CA	QoS intégré à la couche MAC. Allocation d'une largeur de bande sur demande

Table I. 4 : comparaison WiMAX/ WiFi [11]

Wifi utilise les clés WEP (Wired equivalent privacy) ET WPA (Wi-Fi protected access), (64 ou 128 bits) alors que WIMAX utilise Triple-DES (128 bits) et RSA (1024 bits). Il y a donc une sécurité accrue sur le WIMAX. De plus, les fréquences utilisées par WIMAX et Wifi ne sont pas les mêmes.

On peut donc dire que Wifi et WIMAX sont complémentaires et peuvent coexister sans problème.

I.8 Conclusion

La technologie WiMAX est une technologie utilisée pour fournir une connexion sans fil à Internet à très haut débit. Le WiMAX est particulièrement adapté pour résoudre les problèmes des régions avec les réseaux filaires complexes, où les coûts de mises à niveau sont trop élevés et où le passage des câbles nécessite un très grand investissement de temps et d'argent. Cette technologie est aussi exploitée pour créer des liaisons spécialisées.

Dans le chapitre suivant, nous allons nous intéresser au déploiement et l'optimisation d'un réseau WiMAX

*Chapitre II : Dimensionnement et
planification*

II.1 Introduction

Dans le premier chapitre nous avons décrit l'évolution de la norme IEEE 802.16x, ainsi que les caractéristiques techniques de cette technologie.

L'étape de planification joue un rôle crucial dans l'orientation des stratégies adoptées par les opérateurs. Dans ce chapitre on va étudier le dimensionnement et la planification d'un réseau WiMAX

Ce dimensionnement mettra le point sur :

- Les fréquences à utiliser ainsi que leurs assignations
- Le model de propagation numérique adéquat
- Les équipements à utiliser et leurs paramétrages
- L'importance d'un outil de planification
- Les débits attendus

II.2 Dimensionnement et planification du réseau WiMAX

II.2.1 Dimensionnement du réseau WiMAX

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.

Il permet principalement de mieux répartir les abonnés, dans une situation géographique avec des données de propagation bien spécifiée, en tenant compte de la couverture radio, de la taille des cellules et de la topologie du réseau en présence des contraintes de la QOS, tout en assurant la minimisation du coût de la liaison radio et de l'infrastructure du réseau.

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

Le dimensionnement fournit une première et rapide évaluation des éléments du réseau ainsi que les capacités associées à ces éléments. Son but est d'estimer la densité nécessaire et la configuration des sites pour la zone en question. Il faut commencer par

estimer les paramètres du lien radio comme le débit de données et le rapport E_b/N_0 requis pour chaque service et déterminer les paramètres des équipements comme la classe de puissance du mobile et la sensibilité du récepteur, les meilleures positions où les stations de bases doivent être mises pour assurer une couverture et une capacité maximales. Ensuite, déduisant la marge d'interférence à partir du facteur de charge, il faut passer au calcul du bilan de liaison qui donne comme résultat le MAPL (Maximum Allowable Path Loss). Ce MAPL ainsi que les différents paramètres de l'environnement sont utilisés enfin de calculer la portée de la cellule et par suite le rayon maximale de la cellule par zone, tout en gardant un bon compromis qualité/cout.

II.2.2 La planification d'un réseau WiMAX

La planification d'un réseau WiMAX est une tâche considérable, dont le résultat conditionne la réussite du déploiement. Celui-ci doit répondre aux besoins des usagers en garantissant une qualité de service optimale, en assurant tout autant flexibilité et facilité d'adaptation pour assurer d'éventuelles extensions futures.

Pour bien cadrer cette étape, l'opérateur doit évaluer en premier lieu les caractéristiques de la zone à couvrir (relief et milieu), les caractéristiques radios de l'environnement de propagation, et les caractéristiques des abonnés à desservir qui (densité, mobilité, et besoins en trafic).

Toutes ces mesures doivent garantir l'aboutissement à un ensemble de décisions pour l'établissement des plans suivants :

- Un plan des stations de base qui va déterminer leurs emplacements, leurs élévations, leurs capacités et les puissances.
- Un plan de fréquences affectées à chaque station.
- Un plan des équipements du réseau fixe.
- Un réseau de connexion entre les différentes entités du réseau.

II.2.3 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 du 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 3.5 GHz, 10.5 GHz et 26GHz 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.

II.2.4 Ressources fréquentielles et interférences

L'utilisation du WiMAX par un opérateur suppose qu'il lui ait été alloué une bande de fréquence propre sur laquelle il sera le seul à opérer. Il n'est toutefois pas rare que d'autres fournisseurs opèrent sur ces fréquences, soit par méconnaissance de la loi, soit délibérément.

Ces situations provoquent des interférences radio qui dégradent les capacités des systèmes.

Dans ce cas, seul le régulateur gouvernemental peut être le garant du bon respect de la Réglementation. Il doit ainsi s'engager à tenir à jour une base des fréquences allouées, disposer du matériel de surveillance pour contrôler l'utilisation des fréquences et identifier les contrevenants et enfin, disposer des moyens d'agir dans le cadre de la loi pour assurer le bon respect des régulations.

La validation de la bande de fréquence est liée au Ministère de la poste et des technologies de l'information et de la communication (MPTIC) composé de l'ARPT (Autorité de Régulation de la poste et des Télécommunications) et de l'ANF (Agence Nationale des Fréquences)

Parmi leur mission principale :

- Veiller à fournir-dans le respect du droit de propriété-le partage d'infrastructures de télécommunications
- Assurer la planification, la gestion et le contrôle de l'utilisation du spectre des fréquences radio électriques
- Assigner les fréquences dans les bandes communes

- Assurer le contrôle des émissions radioélectriques sur l'ensemble du territoire national et participer au contrôle international organisé par l'Union Internationale des télécommunications. [12]

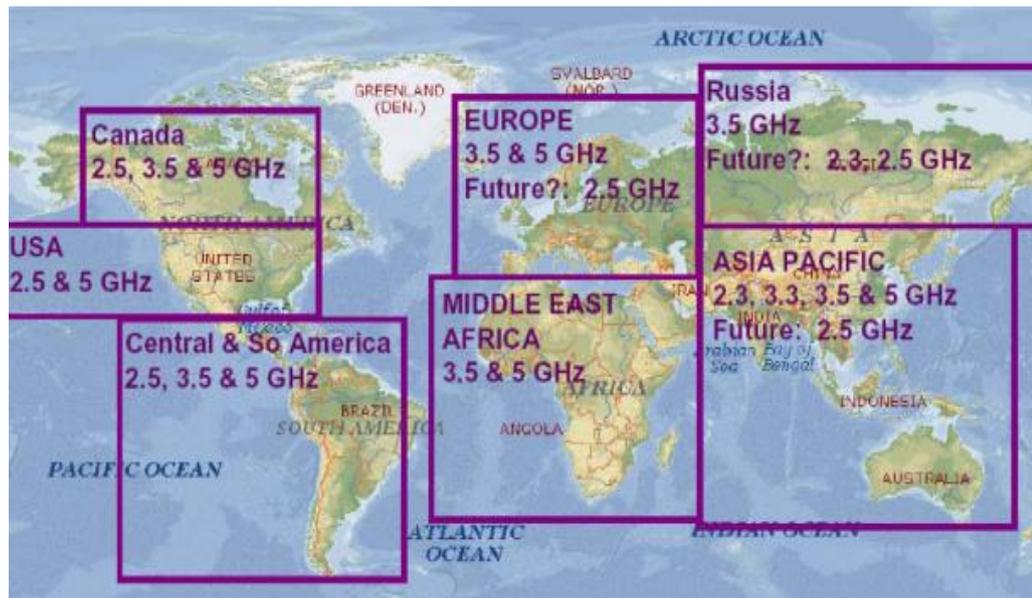


Figure II. 1 : Gestion des ressources radios dans les réseaux sans fils cas d'un réseau WiMAX [12]

La figure ci-dessus montre l'allocation mondiale des fréquences pour l'usage des réseaux WiMAX. Cette allocation est faite par l'union International des Télécommunications UIT.

II.2.5 réutilisation des fréquences et conséquences

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.

Cependant, le nombre de fréquence alloué étant limité, l'opérateur se retrouve contraint de réutiliser cette même fréquence dans une zone réduite, ce qui pose un ensemble de problèmes.

En effet, le client va recevoir non seulement un signal utile provenant de la BTS à laquelle il est rattaché, mais des signaux interférents provenant des BTS utilisant la même fréquence.

Un abonné peut recevoir un signal de puissance C de sa propre BTS 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.

II.2.5.1 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 calés sur les canaux adjacents, ceci est inévitable compte tenu de la limitation des performances des équipements utilisés. Le mécanisme d'interférence sur canal adjacent est représenté dans la figure suivante. [14]

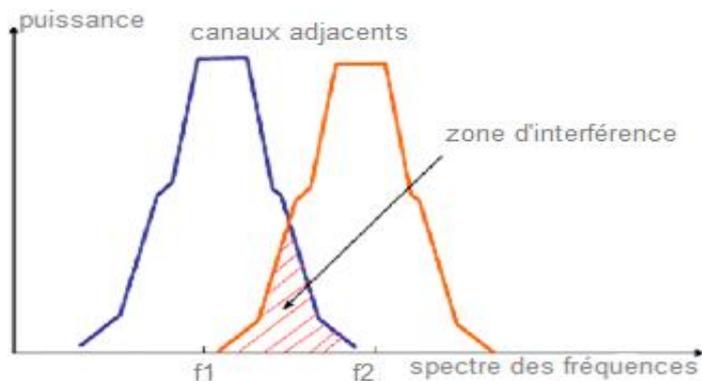


Figure II. 2 : Interférence canaux adjacents

II.2.5.2 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.

Ce phénomène se rencontre de façon important dans les systèmes à réutilisation de fréquences comme les systèmes cellulaires. La figure suivante illustre ce mécanisme d'interférence.

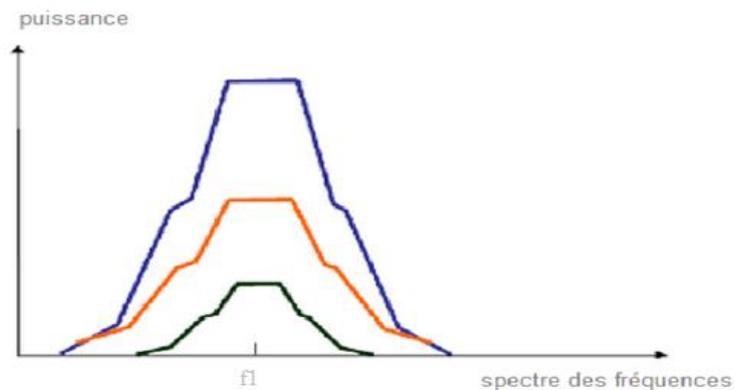


Figure II. 3 : Interférence Co-canal

II.2.6 Choix d'équipement

Depuis le cœur du réseau et en descendant vers l'utilisateur, on trouve les éléments suivants :

- Une liaison à très haut débit, par fibre optique ou faisceau hertzien, alimentant l'émetteur WiMAX.
- Station de base (BS), constituée d'une antenne et d'un matériel radio contenant le dispositif électronique.
- Entre l'antenne et l'utilisateur, plusieurs kilomètres de transmission sans fil.
- Chez l'abonné, une antenne WiMAX assure la liaison entre l'émetteur de la zone et l'équipement connecté (ordinateur ou autre).

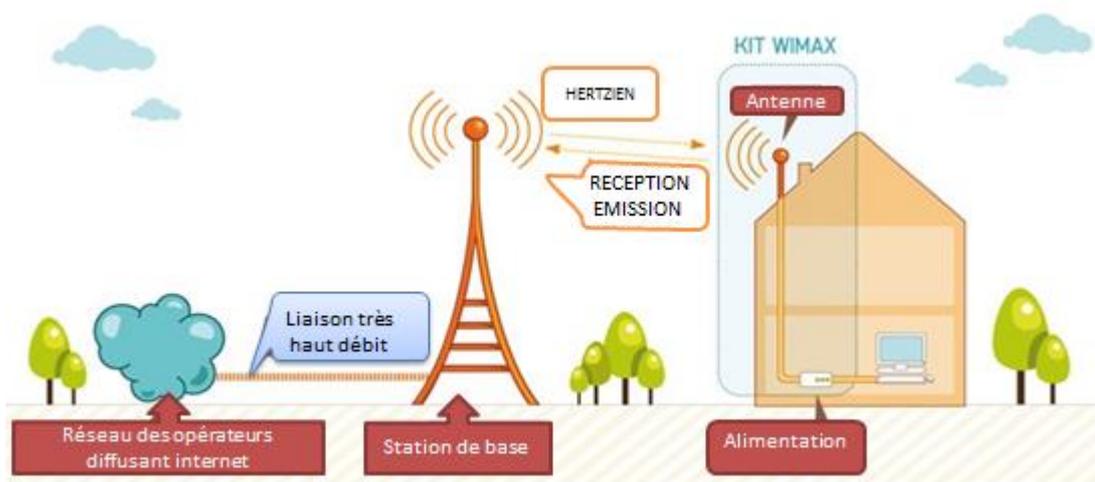


Figure II. 4 : Les différents équipements de WiMAX

II.2.6.1 La station de base

Elle est le cœur du réseau, c'est le point d'accès principale parce que tout trafic de connexion passe par elle.

La station de base WiMAX est constituée d'une armoire ou boîtier contenant les cartes ou modules électroniques qui exécutent les fonctions radio, réseau et sécuritaires ; et d'une ou plusieurs antennes. L'emplacement des stations de base est stratégique, elles sont généralement installées sur des pylônes, châteaux d'eau, tours hertziennes, ou toit des immeubles.

Chaque station de base assure, entre autre :

- la couverture radio et la gestion des fonctionnalités d'accès MAC comme le paging.

- la gestion des ressources radio
- regroupe des passerelles pour l'accès à Internet, des routeurs, des serveurs et des proxys de sécurité, des bases de données.
- la connectivité à Internet et à d'autres réseaux publics
- authentification, autorisation des équipements d'abonnés
- la configuration automatique des paramètres IP

II.2.6.2 Antennes

Un équipement conforme à la norme 802.16d, équipé des antennes de 60° ou 90°, 120°, suffit dans la grande majorité des cas à couvrir une ville. Pour une capitale, deux ou trois stations de base permettent de couvrir le centre-ville et les banlieues.

On trouve différents types d'antennes (directionnelles, omnidirectionnelles...Etc.), caractérisés par ce qui suit :

- Impédance d'entrée
- Diagramme de rayonnement
- Gain
- Polarisation (directivité)
- Fréquence de fonctionnement (Fonctionne en 1.4 à 1.8 GHz, 2.3 à 2.7 GHz, 3.3 à 3.6 GHz et de 4,9 à 5 GHz bandes de fréquences)

La figure ci-dessus illustre les trois principaux types d'antennes utilisées dans les déploiements WiMAX.

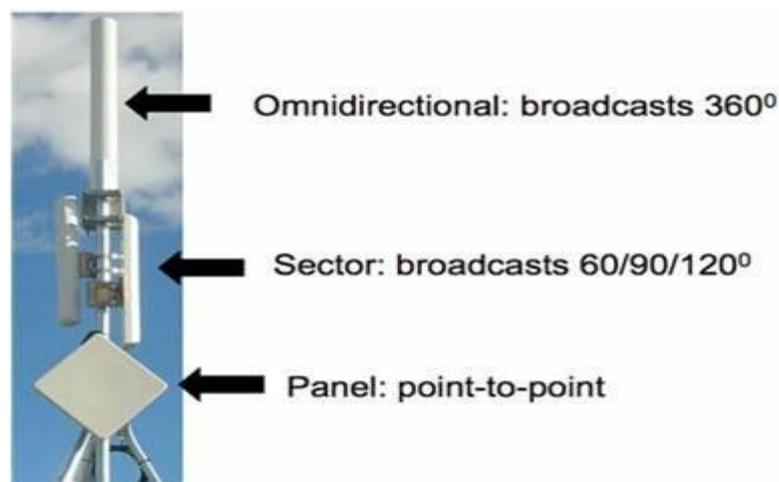


Figure II. 5 : Les différents types d'antennes

II.2.6.2.1 antenne omnidirectionnelle

Ce type d'antenne est utilisé pour des configurations point à multi point. Leurs principales inconvénients est que leur énergie est fortement diffusée dans une large coulée de 360°, ce qui limite leurs portées et donc la force de leurs signales. Les antennes omnidirectionnelles sont préconisées dans les cas où les abonnés sont situés très près de la station de base.

II.2.6.2.2 Secteur antenne

Une antenne du secteur, offre une plus grande portée et de débit avec moins d'énergie. De nombreux opérateurs utilisent des antennes de secteur pour couvrir une zone de service à 360 degrés plutôt d'utiliser une antenne omnidirectionnelle en raison de leurs qualités.

II.2.6.2.3 Les récepteurs WiMAX

À la différence des réseaux mobiles où tous les terminaux ont des antennes omnidirectionnelles, les réseaux WiMAX combinent des équipements indoor et des équipements outdoor à antennes souvent directionnelles. Les unités indoor présentent un gain d'antenne plus faible afin de réduire la taille de l'équipement et les coûts, ce qui aboutit à une diminution du gain du système de 6 dB.

II.3 Modèles de propagation**II.3.1 Rôle des modèles de propagation**

Dans un processus de planification ou d'optimisation et afin d'être proche de la réalité on a besoin de modéliser le canal de transmission, ce qu'on appelle communément modèle de propagation. Ce modèle définit la manière avec laquelle les ondes se propagent dans un environnement donné. Les facteurs qui définissent un modèle de propagation sont : [9]

- L'élévation du terrain : colline, vallée, montagne, etc.
- La couverture au sol : arbres, zone urbaine, zone rurale, mer, forêt.
- Les conditions climatiques : zone pluvieuse (facteur de pluie), zone sèche, etc.
- La longueur d'onde ou la fréquence avec laquelle les ondes sont émises est un modèle de propagation qui permet de tenir compte des phénomènes connus de réflexion, réfraction, diffraction, absorption et trajets-multiples que peuvent subir les ondes électromagnétiques en se propageant.

Un autre paramètre important dans la définition du modèle de propagation est le choix entre :

- Un modèle de type LOS dont l'ellipsoïde de Fresnel est dégagé,
- Un modèle de type NLOS (Near Line Of Sight) dont l'ellipsoïde de Fresnel est partiellement obstrué par un obstacle,
- Un modèle de type NLOS (Non Line Of Sight) où il n'y a aucune visibilité entre l'émetteur et le récepteur (comme pour des CPE's à l'intérieur des bâtiments).

II.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.

À noter que ces paramètres sont arbitraires, et seulement une caractérisation statistique est possible. Uniquement, la moyenne et la variance des paramètres sont spécifiées.

Les paramètres des modèles de propagation ci-dessus dépendent du :

- Terrain
- densité des arbres
- hauteurs d'antennes et largeur du faisceau
- vitesse du vent
- saison (été ou hiver).

Cette partie de notre projet, nous aidera par la suite à choisir le model de propagation adéquat pour le déploiement de notre réseau.

II.3.2.1 Le modèle de propagation Free-space

Le modèle de l'affaiblissement du parcours Free Space est employé pour déterminer l'affaiblissement de parcours en espace libre (situation de LOS sans obstructions au niveau de la zone de Fresnel). Il est habituellement le point de référence à partir duquel tous les modèles de propagation prennent origine. Ce modèle se base sur l'équation de Friis qui montre que la puissance reçue chute beaucoup et elle est calculée comme étant le carré de la distance séparant émetteur et récepteur.

L'équation suivante montre le path loss en fonction de la distance:

$$L_p = 20 \log_{10} [4\pi d / \lambda]$$

Avec:

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

λ = longueur d'onde (m)

II.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 6 GHz), on lui a introduit des corrections, le résultat est donné par l'équation suivante :

$$LH \text{ (dB)} = 46.3 + 33.9 \log_{10}(f_c) - 13.2 \log_{10}(h_{BS}) - A(h_{SS}) + (44.9 - 6.55 \log_{10}(h_{BS})) \log_{10}(d) + C$$

f_c : fréquence porteuse du signal en MHz.

h_{BS} : hauteur de la BS en mètres.

h_{SS} : 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, et $C = 3$ dB pour les zones urbaines).

$A(h_{SS})$ est un terme correctif dépendant de la hauteur de l'antenne de SS.

- Pour les villes de taille moyenne ou petite :

$$A(h_{SS}) = (1.1 * \log_{10}(f_c) - 0,7) * h_{SS} - (1,56 * \log_{10}(f_c) - 0,8) \text{ dB.}$$

- Pour une ville de grande taille :

$$A(hSS) = 3,2 * \log(11.75 * hSS) - 4,97 \text{ dB.}$$

II.3.2.3 Le modèle d'Erceg

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 macro cellulaires. Le modèle d'Okumura-Hata est valide pour les valeurs indiquées dans le tableau suivant :

Paramètres	Valeurs
Fréquence	500-1500 MHz
Distance entre Récepteur et BS	> 1 Km
Hauteur de l'antenne	> 30 m

Table II. 1 : Paramètre de validité du modèle Okumura-Hata

La modification et l'extension proposée au modèle de Okumura-Hata donne un nouveau modèle, connu sous le nom de modèle d'Erceg. La bande de fréquences est prolongée jusqu'à 2 GHz, avec des corrections qui prennent en considération le type de terrain. En effet trois catégories de terrains sont définies :

- Catégorie A : perte de chemin maximal, terrain avec des collines, et une densité d'arbres variables, modérées à grande densité. Certaines études utilisent ce modèle pour les zones urbaines
- Catégorie B : perte de chemin intermédiaire entre A et C.
- Catégorie C : perte de chemin minimal, terrain plat, avec une faible densité d'arbres.

Certaines études utilisent ce modèle pour les zones rurales.

Pour une distance proche de d_0 , la perte du chemin est donné par :

$$L = A + 10 * \beta * \log(d / d_0) + s, \text{ Pour } d > d_0 \text{ et } d_0 = 100\text{m}$$

$A = 20 \log_{10}[4\pi d_0 / \lambda]$, λ est la longueur d'onde en m, β est l'exposant de perte de chemin :

$$\beta = (ab * hb + c/hb)$$

Avec :

hb est la hauteur de la BS entre 10 et 80 m,

a, b, c sont des constantes dépendantes de la catégorie du terrain, et sont données par le tableau II.

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

Table II. 2 : Valeurs des paramètres en fonction du type de terrain

L'effet de masque est donné par le paramètre s. La valeur typique de l'écart type de s est comprise entre 8.2 et 10.6, dépendant du type de terrain et de la densité d'arbres.

Dans le but d'utiliser ce modèle pour la bande de fréquences 2-5 GHz et pour des hauteurs d'antennes comprises entre 2 et 10 m, le WIMAX Forum ajoute les corrections suivantes :

$$L_p = L + \Delta L_f + \Delta L_h$$

Avec :

- L est la perte de chemin.
- ΔL_f est le terme de correction fréquentielle (en dB) donné par : $\Delta L_f = 6 * \log (f / 2000)$, où f est la fréquence en MHz.
- $\Delta L_h = -10.8 * \log (h / 2)$, pour les catégories A et B.
- $\Delta L_h = - 20 * \log (h / 2)$, pour la catégorie C. (h est la hauteur de l'antenne entre 2m et 10m).

II.3.2.4 Le modèle ECC-33

En réalité, l'usage du modèle COST-231 s'étend jusqu'à la bande des 2 GHz .Il a été conçu pour les systèmes mobiles utilisant des antennes omnidirectionnelles et pour des hauteurs des CPE ne dépassant pas 3 m. Une approche différentes a été introduite afin d'adapter le modèle de Okumura aux systèmes radio fixe à haut débit, cette approche

s'intéresse particulièrement aux milieux urbains et les subdivisent en deux catégories : les grandes villes (large cities) et les villes de taille moyenne (medium cities). Le modèle d'affaiblissement présenté se définit comme suit :

$$L = A_{fs} + A_{bm} - G_b - G_r$$

Avec

A_{fs} : Atténuation d'espace libre

A_{bm} : Atténuation moyenne

G_b : Facteur de gain dû à la hauteur de la BS

G_r : Facteur de gain dû à la hauteur du terminal

$$A_{fs} = 92.4 + 20 \log(d) + 20 \log(f)$$

$$A_{bm} = 20.41 + 9.83 \log(d) + 7.894 \log(f) + 9.56 [\log(f)]^2$$

$$G_b = \log(h_b / 200) \{ 13.958 + 5.8 [\log(d)]^2 \}$$

$$G_r = [42.57 + 13.7 \log(f)] [\log(h_r) - 0.585]$$

f: la fréquence en GHz

d : distance en km

h_b : Hauteur de la station de base en m

h_r : Hauteur du CPE en m

II.4 Bilan de liaison

Le but du bilan de liaison est de calculer l'atténuation de parcours maximale permise entre la station de base et le récepteur pour un service donné. L'atténuation de parcours maximale est alors employée pour choisir des antennes et des configurations pour les stations de base, et pour la planification de la puissance de sortie sur les différents canaux des stations de base.

L'atténuation de parcours maximale détermine la portée de chaque BS et ainsi sa couverture et le nombre requis de station de base pour couvrir une zone donnée.

Un équilibrage de puissance est nécessaire pour les liaisons montante et descendante, pour cela un ajustement des paramètres des liaisons est nécessaire pour équilibrer. Une

liaison équilibrée signifie un fonctionnement symétrique du système en tout point de la couverture, comme il est illustré dans la figure suivante : [10]

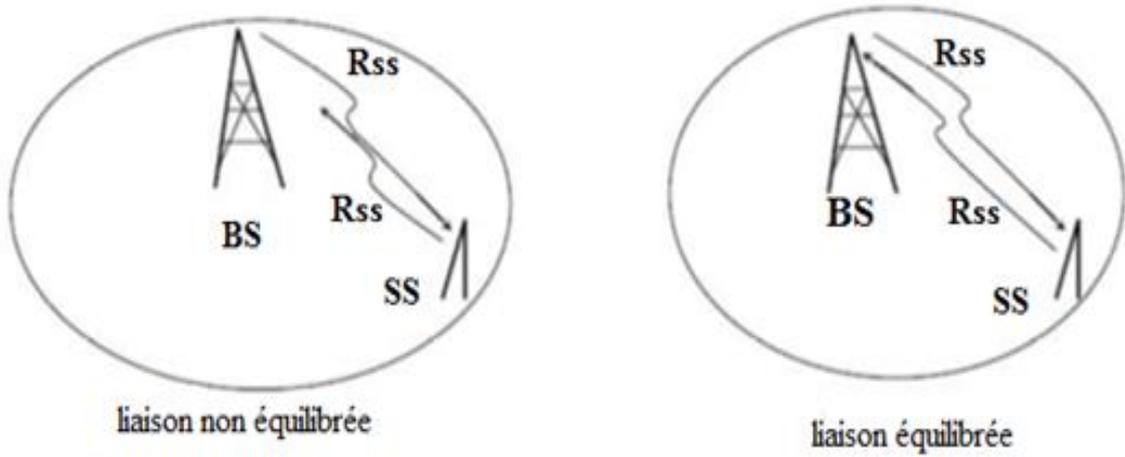


Figure II. 6 : Équilibrage des liaisons montantes et descendantes

La puissance reçue à chaque récepteur doit être \geq sensibilité du récepteur. Et la puissance transmise par chaque émetteur doit être \leq Min (puissance max autorisée, puissance nominale).

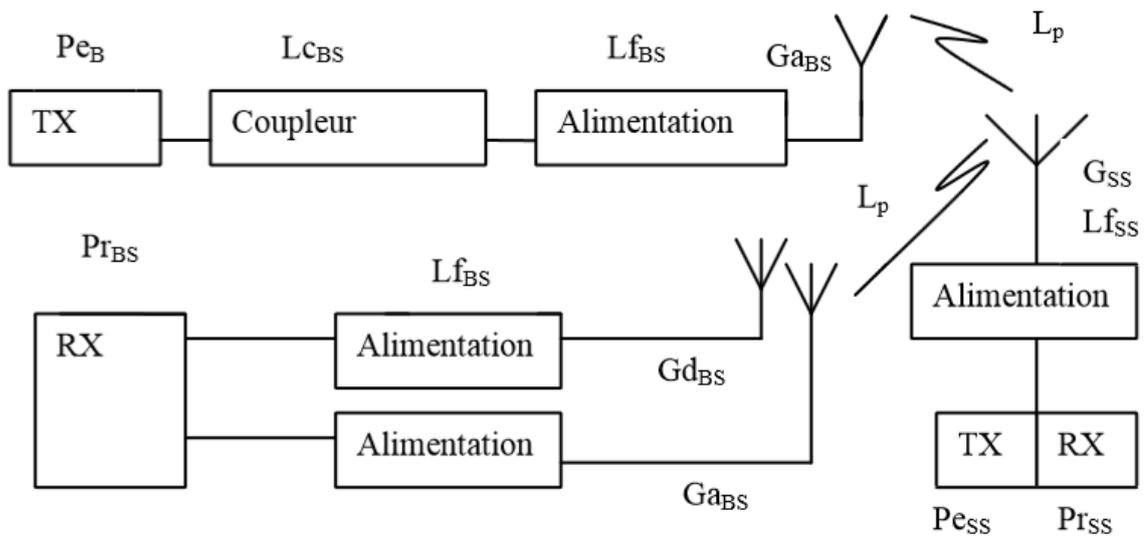


Figure II. 7 : Schéma du bilan des liaisons

Le Signal reçu à la SS provenant de la BS :

$$Pr_{SS} = Pe_{BS} - Lc_{BS} - Lf_{BS} + Ga_{BS} - Lp + G_{SS} - Lf_{SS}$$

Le Signal reçu à la BS provenant de la SS :

$$Pr_{BS} = Pe_{SS} - Lf_{SS} + G_{SS} - Lp + Gd_{BS} + Ga_{BS} - Lf_{BS}$$

En exprimant Lp en fonction des autres paramètres :

$$Lp = Pe_{BS} - Lc_{BS} - Lf_{BS} + Ga_{BS} + G_{SS} - Lf_{SS} - Pr_{SS}$$

$$Lp = Pe_{SS} - Lf_{SS} + G_{SS} + Gd_{BS} + Ga_{BS} - Lf_{BS} - Pr_{BS}$$

$$D'où: Pe_{BS} - Lc_{BS} - Pr_{SS} = Pe_{SS} + Gd_{BS} - Pr_{BS}$$

$$\text{Finalement : } Pe_{BS} = Pr_{SS} + Gd_{BS} + Lc_{BS} + Pe_{SS} - Pr_{BS}$$

Le tableau ci-dessous résume les différentes puissances utilisées lors du calcul de ce bilan de puissance :

Paramètre	Description
Pr_{SS}	Puissance reçue à la SS (en dBm)
Pr_{BS}	Puissance reçue à la BS (en dBm)
Pe_{SS}	Puissance émise de la SS (en dBm)
Pe_{BS}	Puissance émise de la BS (en dBm)
Lf_{SS}	Perte de câble d'alimentation à la SS (en dB)
Lf_{BS}	Perte de câble d'alimentation à la BS (en dB)
Lc_{BS}	Perte du combineur de la BTS (en dB)
$L_{total} = Lf_{BS} +$	Lf_{BS} Perte totale du côté BS
Lp	Perte de propagation entre la SS et la BS (en dB)
G_{SS}	Gain de l'antenne de la SS (en dBi)
Ga_{BS}	Gain de l'antenne de la BS (en dBi)
Gd_{BS}	Gain de diversité de l'antenne de la BS (en dB)

Table II. 3 : Paramètres du bilan de liaison

II.4.1 Puissance émise

La puissance du signal émis est appelée Puissance Isotrope Rayonnée équivalente (PIRE), Elle dépend de la chaîne appareil-câble-antenne : 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 décibel (dB), la PIRE s'obtient par simple addition :

PIRE = Puissance d'émission - Pertes de câble + Puissance antenne, soit :

$$PIRE = P_e - L + G_e.$$

Les pertes câbles sont exprimées en déciBel¹¹ par mètre (dB/m), donc les pertes totales dues au câble sont calculées ainsi :

Pertes câble = longueur câble * perte par mètre.

II.4.2 Sensibilité de réception

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 R_x est une addition de la sensibilité de l'appareil S_x (une autre caractéristique avec la puissance) et du gain de l'antenne G_s , 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 du récepteur.

La sensibilité du récepteur peut, donc, être 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 :

¹ Le déciBel est une unité exprimant un rapport, autrement dit un gain. Pour des puissances, le calcul est le suivant : $dB = 20\text{Log}_{10}(P_1 / P_2)$.

Avec $R_x = (E_b/N_0) - 10\text{Log}(W/R_b) + N_w + N_F$

R_x : La sensibilité du récepteur ;

E_b/N_0 : Ratio du signal sur bruit [dB] ;

W : Bande passante du système (MHz) ;

R_b : débit symbole (bps) ;

N_w : Puissance de bruit thermique ; et N_F : Bruit au niveau du récepteur.

II.4.3 Affaiblissement maximum tolérable

La différence entre la puissance de l'émetteur et la sensibilité du récepteur donne l'affaiblissement maximum qu'on peut tolérer. Comme il y a 2 stations qui sont à la fois émettrices et réceptrices, on fait ce calcul pour les 2 cas, et on prend le plus petit des deux.

On prend en considération la marge de liaison M_{Glink} , la marge de fading M_{Gfade} , l'affaiblissement dû au shadowing L_{SH} , et l'affaiblissement dû aux caractéristiques de l'environnement L_{env} , qu'on retranche à l'affaiblissement maximum tolérable, et on obtient l'affaiblissement en ligne déterminant PL, pour "Pertes en Ligne".

$$PL = PIRE - R_x + GSS - L_{SH} - L_{env} - L_r - M_{Glink} - M_{Gfade}$$

II.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons abordé les principes de la planification radio (modèles de propagation, bilan de liaison...). Nous avons présenté, aussi, les concepts de base de dimensionnement d'un trafic d'une zone donnée. Nous pouvons déduire à partir de ce chapitre que la prédiction de la couverture et le dimensionnement du trafic sont deux étapes essentielles et complémentaires pour la détermination du nombre des équipements nécessaires pour le déploiement d'un réseau WiMAX

Toutes ces notions seront adoptées dans le chapitre suivant.

Chapitre III : Simulation et analyse des résultats

III.1 Introduction

Nous avons démontré dans le chapitre précédent, l'importance de la planification lors du déploiement d'un réseau WiMAX

Dans un processus ou chaque décision (choix de l'équipement, du site, fréquence, puissance ...etc.), toutes erreurs pourraient entraîner des défaillances de l'équipement ou immobilisation de la production. Chaque plan généré (cité précédemment) permettra d'amoindrir ces risques

Les calculs et les probabilités étant fastidieux et devant être précis, un programme de planification devient nécessaire.

Dans ce chapitre, nous entamerons la partie pratique de notre projet. Il s'agira principalement d'effectuer une étude pour répondre au cahier de charge fourni par la société et auquel nous devons apporter des résultats

III.2 Périmètres du cahier de charge

III.2.1 Objectif

Pour ses besoins futurs et afin de remédier aux problèmes de saturations rencontrés, ICOSNET souhaite densifier son réseau déjà existant sur la zone d'Alger, tant en terme de capacité qu'en terme de couverture signal avec en prime un faible taux d'interférence.

L'objectif à atteindre par ICOSNET pourrait se quantifier par les paramètres suivants :

- **Couverture signal** : > 85%
- **Couverture CINR** : > 90%
- **Taux d'interférence** : < 1.2
- **Densification de la capacité** : rajout d'une station sur le centre d'Alger et la région Ouest (Oued Smar).

Notre tâche consistait à effectuer une étude détaillée qui permettra d'intégrer toutes les modifications.

III.2.2 Contraintes et problématiques

La problématique majeure que nous avons rencontrée lors de notre étude fut le nombre limité des fréquences dont dispose ICOSNET. En effet, l'entreprise ne dispose que de deux fréquences déployées sur les deux plans : vertical et horizontal.

La densification du réseau actuel en couverture ou en capacité ne pourrait s'effectuer qu'en rajoutant des stations dans les endroits stratégiques, et donc en réutilisant les fréquences déjà déployées. Une telle opération, avec le réseau déjà présent, ne pourrait être réalisée sans que cela n'entraîne une très nette augmentation dans le taux d'interférence, réduisant ainsi la qualité des signaux clients voir même une immobilisation quasi-total de toute la production actuelle.

Ce qui devait être un processus d'extension se transforme en une lourde opération du redéploiement de tous le réseau avec pour condition primordiale aucune perte client.

III.3 Méthodologie de réalisation

Les conditions et les contraintes citées précédemment ont orientées notre approche, de sorte que pour éviter les pertes clients et pour que la transition du réseau actuel vers le futur s'effectue sans impact ; nous avons préféré garder l'emplacement des sites actuels tout en apportant des modifications sur leurs paramètres d'installations (puissance, tilt, azimut). Ce procédé pouvait nous garantir une marge de manœuvre lors de l'intégration des stations futures.

Notre approche, aussi, consistait à choisir des sites assez bas afin d'éviter la coalition entre les stations et donc interférence lors de la réutilisation des fréquences.

Comme déjà cité précédemment, l'étude à réaliser devait être détaillée et minutieuse, un programme était donc requis et qui nous a été fournit.

III.3.1 Présentation de l'outil :

Il existe plusieurs outils de planification, mais le choix d'ICOSNET s'est porté sur le logiciel Atoll Forsk pour sa flexibilité et la fiabilité de ses résultats.

Ce logiciel intègre un Modèle Numérique de Terrain (MNT), une carte géographique de types de sursols et une carte de hauteurs de sursols permettant d'avoir le profil d'une zone : reliefs, différents obstacles (montagnes, immeubles) et leurs hauteurs.

Atoll intègre deux très importants modules :

- ACP : qui permet la planification et l'optimisation de tout le réseau selon les caractéristiques choisies : tilt, azimut, antenne, puissance ...etc.
- AFP : assignation automatique des fréquences sur tout le réseau en gardant un taux d'interférence des plus bas.

Il permet aussi tout un ensemble de prédiction, dont :

- Couverture par niveau de champ.
- Couverture par émetteur.
- Étude du trafic.
- Zone de recouvrement.
- Couverture par niveau de C/I.
- Débit moyen.

III.3.2 Paramétrage de l'outil

III.3.2.1 Les fréquences attribuées

ICOSNET est bénéficiaire de deux fréquences autour de la **3.5 GHz** : la **3483.5 MHz** et la **3583.5 MHz**. Pour résoudre le problème d'interférences entre les secteurs on a pris en considération la propagation des ondes sur les deux plans l'horizontal H et le vertical V, on aura par la suite 4 fréquences : **3483.5 V**, **3483.5 H**, **3583.5 V** et **3583.5 H**.

ATOLL divise la bande de fréquence entre **3483.5 MHz** et **3583.5 MHz** sur 16 canaux (bande de 7 MHz), et les canaux utilisés sont les suivants : **1, 6, 11 et 16**

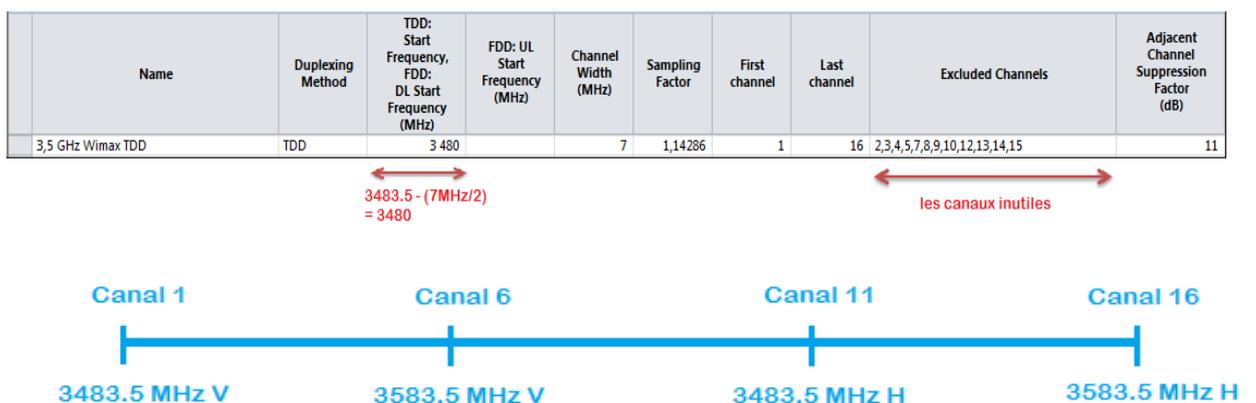


Figure III. 1 : Création et répartition des fréquences

III.3.2.2 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.

<i>Paramètre</i>	<i>Valeur / Type choisi</i>
Étendu	ALGER (1029 Km ²)
La norme	WIMAX 802.e (fixed)
Le MNT	3 cartes : reliefs, lignes (vecteurs) et classes (commercial, industriel, ...)
Modèle de propagation	WLL
Mode de duplexage	TDD
La fréquence de travail	3.5 GHz
Les fréquences attribuées	3483.5 MHz et 3583.5 MHz
La bande de fréquence	7 MHz
Preamble Power	40.5 dBm*
Preamble C/N	7 dB
Types d'antennes	Horizontale et verticale (lobe de rayonnement = 15 Km ; Gain = 16.1 dBi et 16.2 dBi ; Angle = 120°)
Hauteur des BS	Entre 20 et 25 m

Table III. 1 : Paramètres de notre réseau WIMAX

III.4 Étude et Planification

Pour notre étude, nous avons suivi les étapes suivantes :

- Délimitation des zones couvertes actuellement (réseau actuel en RSSI et CINR)
- Analyse des zones non couvertes et des zones à densifier
- Réflexion sur les sites à ajouter et étude de simulation
- Validation du nouveau réseau en comparaison avec les objectifs fixés

III.4.1 Réseau actuel

Le réseau actuel d'ICSONET est composé de 7 sites répartis sur toute la région.

Grace à l'outil Atoll, nous avons pu déterminer avec exactitude les limites du réseau présent ainsi que sa couverture signal et qualité.

Atoll nous démontre que sur 73% de la région d'Alger, ICOSNET garantie un niveau de signal $> -78\text{dbm}$. Ces résultats, par contre, sont nettement moindre en terme de qualité, tout comme l'illustre les figures suivantes :

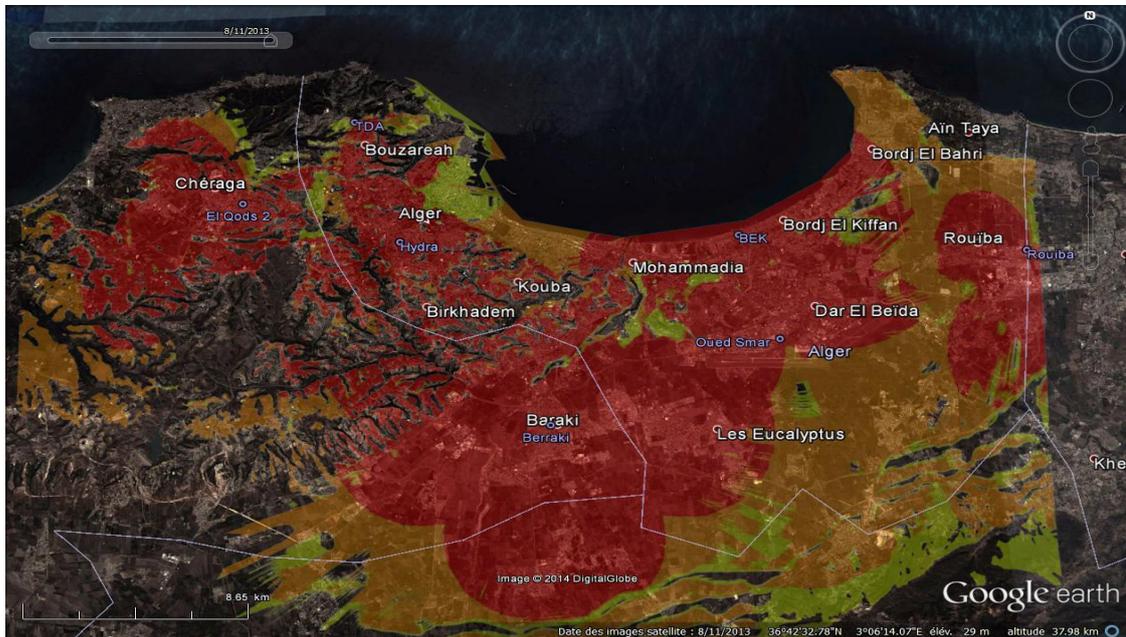


Figure III. 2 : Illustration de la couverture actuelle (RSSI) de la zone d'Alger par Atoll

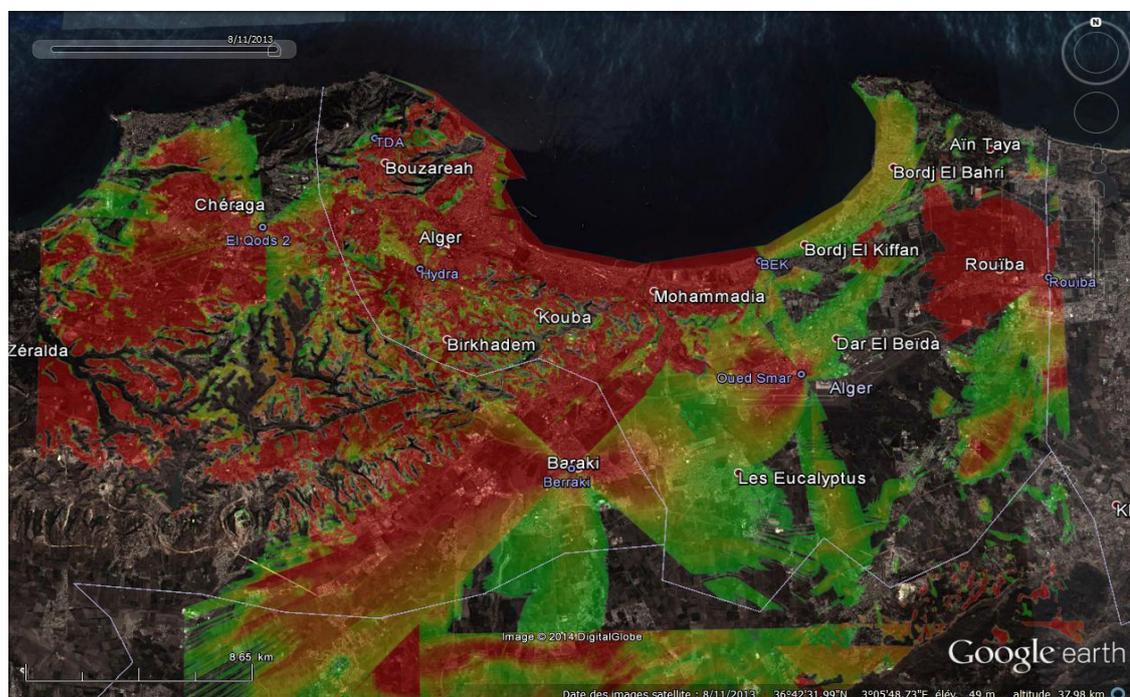


Figure III. 3 : Illustration de la couverture actuelle (CINR) de la zone d'Alger par Atoll

III.4.2 Analyse et constat

Afin de mieux analyser les couvertures obtenues, nous avons préféré les départager en petite zone, cela nous permettait de mieux cibler notre étude et de choisir donc les sites en fonctions des conditions existantes sur lesdites zones.

III.4.2.1 Couverture en Niveau de signal RSSI

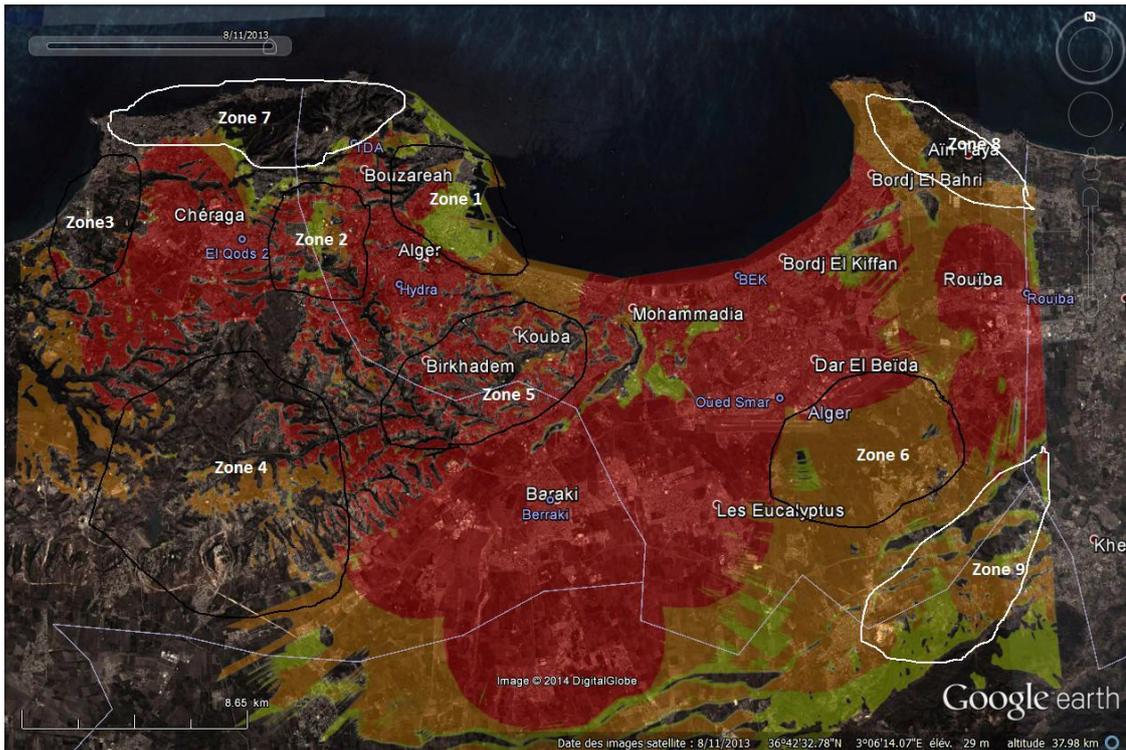


Figure III. 4: Prédiction couverture par niveau de signal (RSSI)

Zone 1 : cette zone est couverte partiellement grâce au site BEK, elle doit être densifier en couverture et en capacité.

Zone 2 : zone couverte par les sites El QODS, Hydra et TDA mais qui reste relativement faible en taux de couverture, ceci est principalement due aux reliefs de la capitale caractérisé par de fréquences pentes. Toutefois la zone doit être densifier en capacité vu son potentiel commerciale.

Zone 3 : non couverte vu qu'aucun site n'y est déployé. Zone à couvrir.

Zone 4 et 5 : partiellement couverte par les sites Beraki et Hydra à cause des creux et de hauteurs présents sur Alger. Ces zones doivent être densifiées en couverture.

Zone 6 : zone couverte par le site Oued Smar mais qui reste à densifier en capacité.

Zone 7, 8, 9 : zone non couvertes par aucun site mais qui ne feront pas partie de notre étude (ces zones ne figurent pas dans le cahier de charge transmis).

III.4.2.2 Couverture en qualité de signal CINR

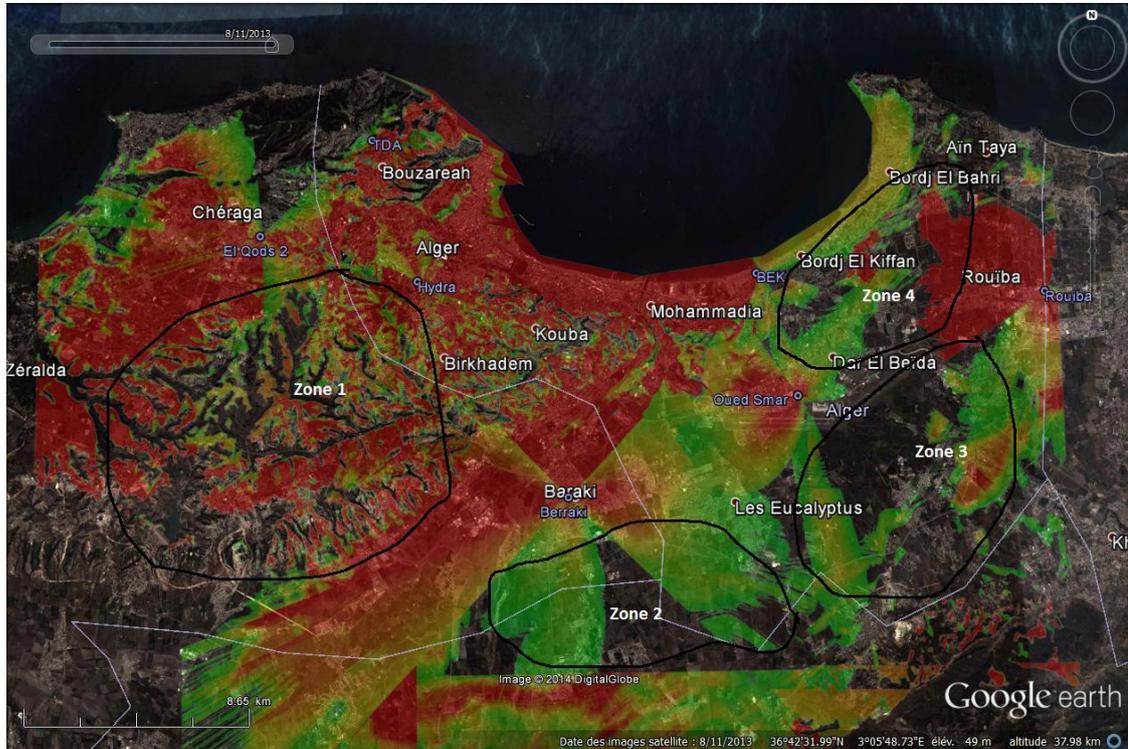


Figure III. 4 : Prédiction de couverture par niveau de signal (CINR)

Zone 1 : faible qualité de signal puisque la zone est non couverte, elle doit être d'abord densifiée en couverture.

Zone 2 : zone couverte mais la qualité de signal y est très faible d'autant qu'il existe des zones d'ombres, ceci est due aux interférences entre les secteurs de la même station et avec les secteurs de la station Oued Smar. Ces interférences sont causées par la réutilisation des fréquences. Une réassignation des fréquences doit être étudiée.

Zone 3 : toute comme pour la zone 2, cette zone présente d'importantes zones d'ombres causées par les interférences entre les sites Rouïba et Oued Smar.

Zone 4 : présente une faible qualité de signal principalement due aux interférences entre les sites BEK, Rouïba, Oued Smar.

III.4.3 Implémentation des nouvelles stations

D'un point de vue opérateurs, nous devons d'abord choisir les sites sur lesquels placer les Stations de bases. Le choix se fera en fonction des prévisions de propagation dans les zones citées précédemment.

Même grâce à l'outil de planification et à ces modules, cette tâche ne fut pas facile. En effet, toute zone ciblée de la région d'Alger fut explorée pour trouver le site adéquat. Ce site pouvait être assez bas lorsque nous suspicions visibilité avec les sites existants ou élevé pour contourner les obstacles physiques, d'autant que la région d'Alger est assez dense en immeuble.

Chaque site choisi devait permettre une densification de la couverture et un très faible taux d'interférence. Nous lançons, ensuite, une simulation avec l'outil pour confirmer notre prédiction, ou le cas contraire, refaire toute l'opération.

Nous sommes, donc, parvenu à trouver la combinaison qui nous permettrait de garder presque tous les sites existants en densifiant la couverture et la capacité grâce à de nouvelles stations à déployer, tout comme schématisé ci-dessous :



Figure III. 6 : Implémentation des nouvelles stations

III.4.3.1 Réseau futur en RSSI

En implémentant les nouveaux sites, le réseau futur d'ICOSNET pourrait être quantifié en couverture RSSI selon la figure suivante :



Figure III. 7 : Couverture réseau futur en RSSI

Nous pouvons constater que les sites proposés vont grandement améliorer la couverture du réseau actuel en niveau de signal, d'autant qu'ils permettent de densifier tout autant la capacité des zones cités précédemment.

III.4.3.2 Réseau futur en CINR

Une fois les sites intégrés, nous nous sommes tourné vers un plan d'assignation de fréquences de tous les sites.

Ce plan mis en place, nous avons pu démontrer grâce à Atoll que le taux d'interférence fut réduit à 1, comme la montre la figure ci-dessous :

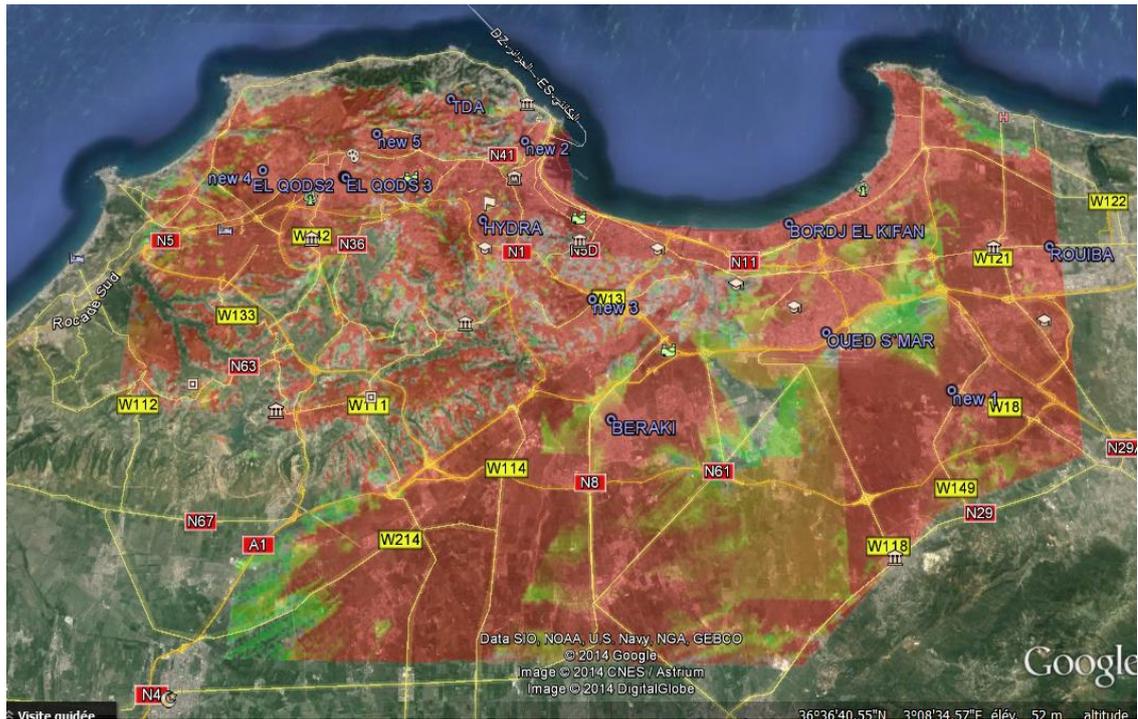


Figure III. 8 : Couverture réseau futur en CINR

Ainsi, nous avons pu cette couverture du futur réseau de la capitale, démontrant une nette amélioration de la qualité de signal dans toutes les zones ciblées.

III.4.4 Optimisation des résultats

Une fois les sites trouvés et les simulations effectuées jugées concluantes, il nous était important de quantifier nos résultats pour les valider.

Un des modules important d'Atoll est l'ACP, ce module permet de trouver la meilleure configuration des paramètres d'installation qui résulterait un réseau performant, il vise à élargir la zone de couverture et à améliorer la qualité du signal dans certaines régions défavorisées au départ.

Les données tel que tilt , azimut, puissance, hauteur , seront introduites pour trouver la meilleure combinaison qui suivrait une meilleure couverture en signal et en qualité.

Pour la création d'une ACP, nous devons préciser les objectifs et cocher seulement les paramètres que l'on souhaite changer lors de l'optimisation.

Les objectives et les paramètres choisis sont illustrés sur le tableau suivant :

<i>Onglets de l'ACP</i>	<i>Paramètres / Objectives</i>	<i>Valeurs</i>
Optimisation	Nombre d'itérations : La résolution :	20 20 mètres
Objectives	WIMAX Coverage: WIMAX Preamble CINR : Signal Level: Service : Terminal :	85% 90% >-78 dBm Web Browsing Rooftop Terminal
Reconfiguration	Tilts : Azimuths :	De 0° à 5° par pas de 1° ± 20° par pas de 5°

Table III. 2 : Réglage de paramètres pour l'optimisation

III.4.4.1 Résultats issus de l'optimisation

Les résultats obtenus sont illustrés dans ce qui suit :

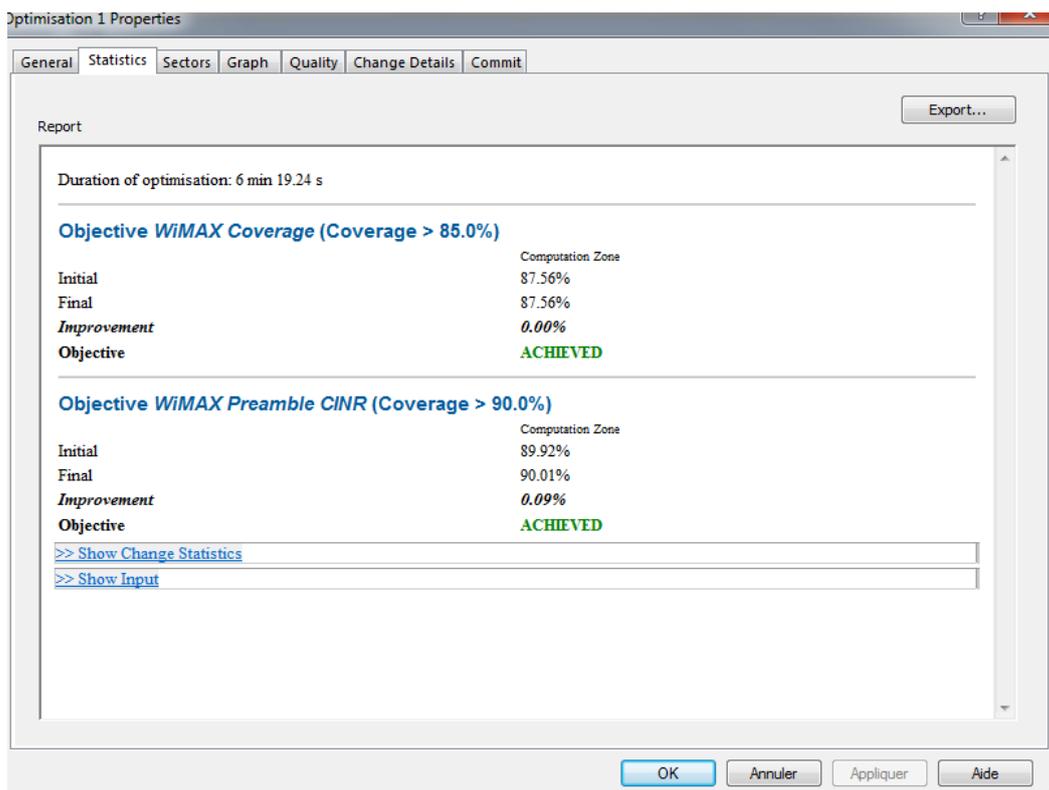


Figure III. 9 : Illustration des résultats obtenus grâce à l'ACP

Nous pouvons constater que nos efforts ont pu nous mener à réaliser une couverture en RSSI de plus de 87 % et en CINR de 89%

L'ACP a permis d'améliorer ces résultats en proposant le changement d'un azimuth et nous avons pu obtenir un taux de 90% en qualité de signal CINR.

Avec ces résultats :

- Un taux de couverture RSSI > 87% (pour un objectif de 85%)
- Un taux de couverture CINR > 90% (pour un objectif de 90%)
- Un taux d'interférence =1 (pour un objectif <1.2)

Nous pouvons conclure que nous avons relevés ce défi et atteint notre but.

III.5 Simulation d'un client

L'outil intègre une autre fonction qui permet de simuler toute connexion client, comme nous le montre la figure suivante :

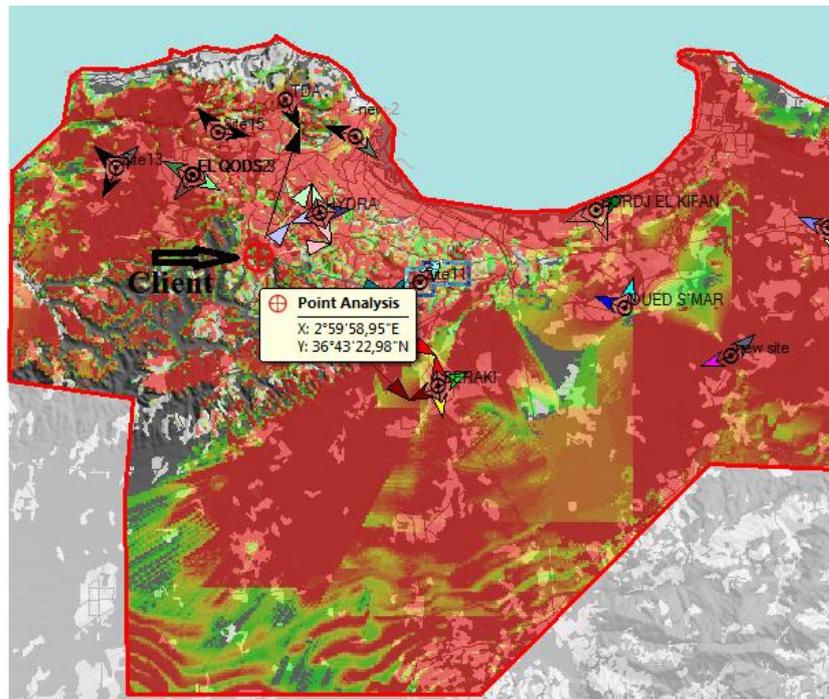


Figure III. 10 : Illustration d'une simulation client avec le logiciel Atoll

En se focalisant sur les coordonnées GPS du client, le logiciel Atoll prend en charge la selection de la meilleure BS avec laquelle le client accédera au réseau cœur

Un client peut se connecter à une seule et unique station de base qui peut lui fournir une connexion avec un QOS élevé et moins d'interférences (telle est la devise de travail du Fournisseur d'Accès à Internet).

La situation géographique d'un client (voir figure III.11) lui permet de se connecter avec sept secteurs qui lui fournissent un niveau de signal différent. Les transmetteurs avec lesquelles le client peut se lier sont classés par ordre décroissant selon la qualité de signal qu'ils peuvent garantir. En effet la qualité sera optimale avec le *Sec9.1* et moindre avec les autres secteurs. Cela on peut le voir dans l'onglet réception.

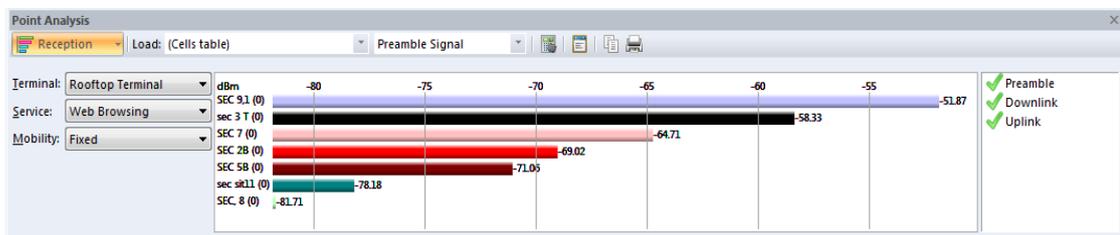


Figure III. 11 : Onglet « réception » d'une simulation d'un client

L'onglet « Profile » justifie le LOS entre les sept secteurs sélectionnés et notre abonné.

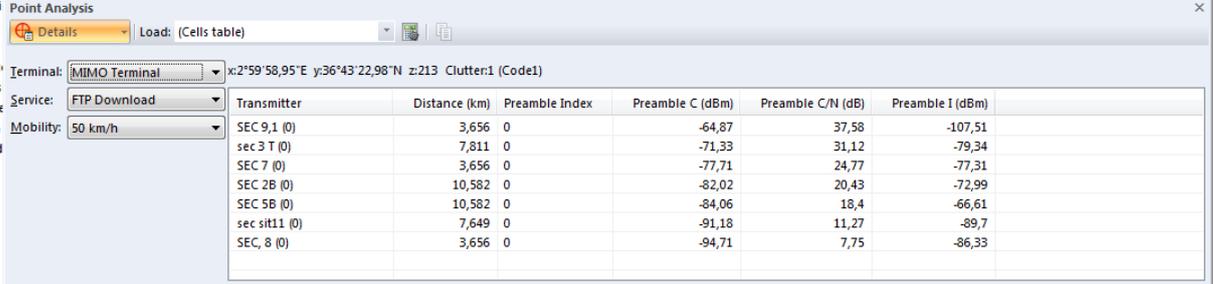


Figure III. 12 : Onglet « Profile » de la simulation

A titre d'exemple, nous avons choisi le secteur *9.1* dont la bonne qualité du signal revient à l'absence d'obstacles entre les deux terminaux, comme la figure montre.

Après les résultats obtenus lors de la simulation, la station de base convenable pour que notre CPE qui se situe à $x:2^{\circ}59'58.96''E$ / $y:36^{\circ}43'22.96''N$ peut se connecter tout en assurant une bonne qualité du signal est le secteur *9.1*.

Pour plus d'information, on peut voir l'onglet « Detail » qui donne les information sur la distance qui separe le terminaux entre eux et les valeurs de preamble ($C, C/N, C/(I+N)$) en unité de dB.



Transmitter	Distance (km)	Preamble Index	Preamble C (dBm)	Preamble C/N (dB)	Preamble I (dBm)
SEC 9,1 (0)	3,656	0	-64,87	37,58	-107,51
sec 3 T (0)	7,811	0	-71,33	31,12	-79,34
SEC 7 (0)	3,656	0	-77,71	24,77	-77,31
SEC 2B (0)	10,582	0	-82,02	20,43	-72,99
SEC 5B (0)	10,582	0	-84,06	18,4	-66,61
sec silt11 (0)	7,649	0	-91,18	11,27	-89,7
SEC, 8 (0)	3,656	0	-94,71	7,75	-86,33

Figure III. 13 : Onglet « détails » pour tous les types de preamble

III.6 Conclusion

Ce chapitre présente la partie la plus importante du projet. En effet, la planification et l'optimisation d'un réseau WIMAX sur l'ensemble de la région d'Alger n'était pas facile.

Au cours de cette opération, on a rencontré plusieurs problèmes (le nombre limite de fréquences, le débit, le type des antennes, la nature de la région d'Alger...) dont on a essayé de les détourner de façon à garantir une large couverture et une bonne qualité du signal.

Néanmoins, nos efforts ont récolté leurs fruits et nous avons pu atteindre notre objectif avec un niveau de couverture supérieur à 85% et de 90% de qualité, en garantissant un taux d'interférence de 1, avec **uniquement 2 fréquence**.

Résumé

Le **WIMAX** est une technologie radiofréquence pour les réseaux métropolitains, fondée sur les spécifications de la norme **IEEE 802.16**. Elle est conçue pour fournir une connexion Internet à haut débit avec une large couverture accessible par des abonnés fixe ou mobiles.

Le projet d'implémentation d'un réseau **WIMAX** commence toujours par une planification logistique et se termine par une mise en œuvre sur le terrain.

Notre projet consiste à planifier ce réseau (**WIMAX fixe**) dans la zone d'Alger à l'aide du simulateur **ATOLL** et d'optimiser sa qualité signale ainsi que sa couverture tout en minimisant les interférences dans le but de satisfaire les besoins des utilisateurs.

Mots clés : WIMAX, haut débit, planification, couverture, qualité, interférences, optimisation...

Abstract

WIMAX is a radiofrequency technology for metropolitan area networks, elaborated by **IEEE** under the **802.16**. It is designed to provide a high broadband Internet access and a wide coverage for fixed or mobile subscribers.

The implementation's project of **WIMAX** network always starts with logistical planning and ends with exploitation in site's area.

Our project consists of planning and optimization of this network (**WIMAX fixed**) using **ATOLL** tool. Our objective is to cover the most of Algiers area with a better quality of signal.

Keywords: WIMAX, broadband, planning, coverage, quality, costs, optimization...

ملخص

يعتبر ال **WIMAX** تكنولوجيا للشبكات واسعة النطاق , موحدة من طرف **IEEE** تحت الاسم **IEEE 802.16**, توفر تدفق عالي للانترنت بالنسبة للمستخدمين الثابتين والمتنقلين.

كل مشروع يدور حول تغطية شبكة **WIMAX** في منطقة ما يسبق دائما بتخطيط و ينتهي بتجسيده على أرض الواقع.

يتمثل مشروعنا في تخطيط تغطية شبكة **WIMAX** ثابت في منطقة الجزائر رغم تضاريسها الصعبة, و ذلك باستعمال برنامج **ATOLL** و محاولة تحسين نوعية و نسبة التغطية بالمنطقة, مع تفادي التداخلات بين الإشارات و تخفيضها إلى أقل من **1 %**.

الكلمات الجوهرية : WIMAX, التدفق العالي, تخطيط, تغطية, نوعية, التداخلات, تحسين...

Conclusion générale

Pour conclure ce mémoire, nous pouvons dire que la tâche ne fut pas facile. Optimiser un réseau WiMAX en ajoutant de nouvelles BTS dans une région riche en reliefs avec uniquement deux fréquences fut un grand défi et qui fut relevé avec succès.

Et ce Nos résultats seront exploités et utilisés dans les prochains projets de l'entreprise, prouvant ainsi la qualité du travail accompli.

Cette expérience fut très riche. Grâce à elle, nos connaissances ont été étoffées, et nous avons pu constater l'utilité de celles acquises durant notre cursus universitaire pour notre prochaine insertion professionnelle.

Le signal ligne de vue et le signal sans ligne de vue (LoS et NLoS)

Le WIMAX ne nécessite pas que l'abonné soit en ligne visuelle directe (Line of Sight) pour qu'une connexion soit établie, mais la bande de fréquences utilisée dépend du mode de communication.

- LoS : les fréquences utilisées sont comprises entre 10 et 66 GHz, ce qui implique une bande passante assez élevée.
- NLoS : la communication en mode Non-Line-of-Sight est possible dans la bande 2– 11 GHz. [15]

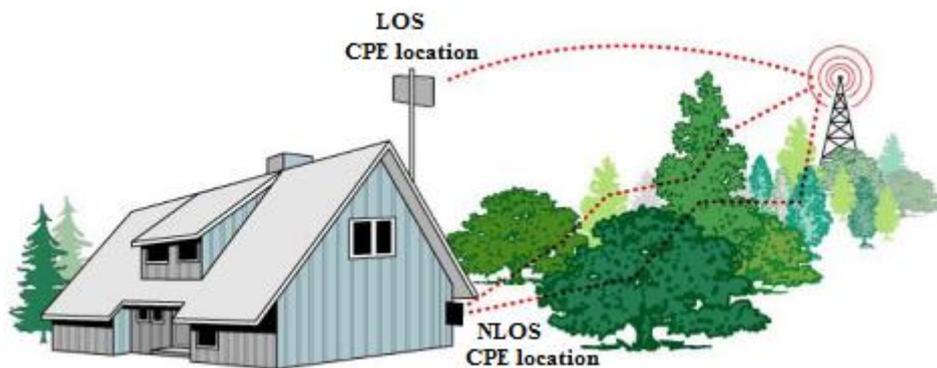


Figure A. 1 : Connexion en LoS et NLoS entre BS et les antennes WIMAX

Tilt

Le tilt (ou down-tilt) est laissé à la discrétion des installateurs d'antennes qui les orientent selon les recommandations de l'opérateur. Certains facteurs doivent être pris en compte tel que la hauteur de l'antenne et le lobe de rayonnement vertical, Le tilt est l'angle d'inclinaison (en degrés) de l'azimut du lobe principal de l'antenne dans le plan vertical. Le diagramme de rayonnement d'une antenne avec un tilt positif sera dirigé vers le haut, alors qu'un tilt négatif fera pointer l'antenne vers le bas. La zone de fonctionnement d'un secteur est souvent déterminé par le point -3dB de lobe de rayonnement vertical, théoriquement il ne faut pas dépasser 1° et en pratique est égale à 0.85° .

Annexes

Il existe deux types de tilt :

- positif : le motif de rayonnement sera grand et la distance maximale qui permet au CPE de se connecter augmente.
- négatif : le lobe de rayonnement sera petit et la distance diminue, cela peut créer des interférences causées par la réflexion de signal.

L'inclinaison mécanique et électrique de l'antenne peuvent être appliquées, dans le but de :

- Enlever la couverture insulaire et diminuer l'interférence.
- Améliorer la couverture de la région proche, aussi la couverture d'intérieur (indoor).
- Ajuster les frontières cellulaires. Lorsqu'une onde se propage sur une fréquence f_1 est brouillée par d'autres ondes émises sur la même fréquence f_1 , il y a une interférence Co-canal.

La figure ci-dessous montre le tilt :

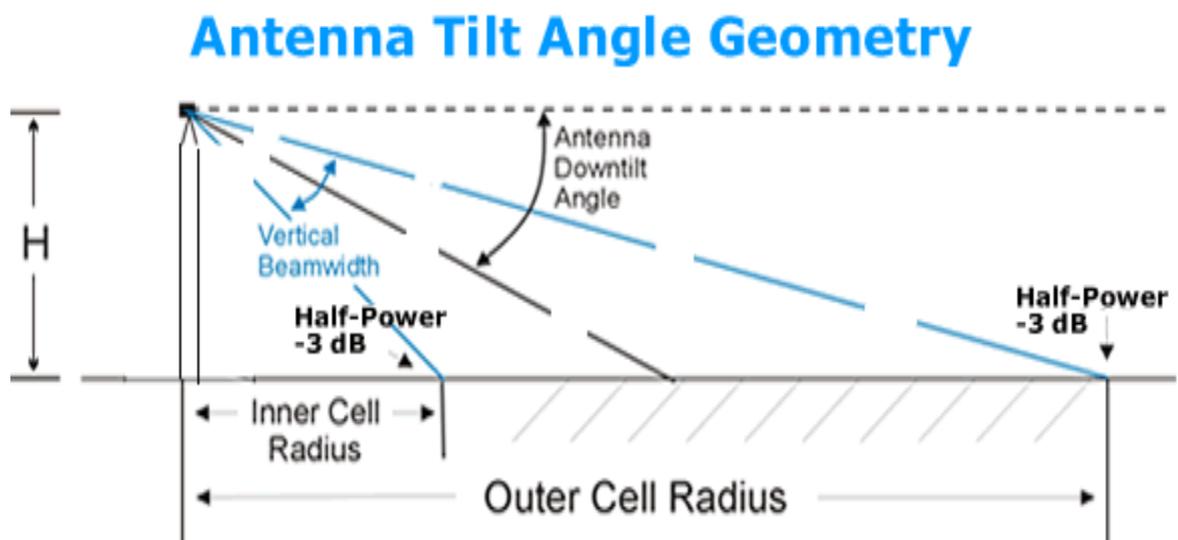


Figure B. 2 : Antenna tilt

Ellipsoïde de Fresnel

- La première zone de Fresnel est un volume de forme ellipsoïdale autour de la ligne de mire (LOS) du chemin entre l'émetteur et le récepteur.
- La zone de Fresnel est importante pour l'intégrité de la liaison RF, car elle définit un volume autour de la LOS qui doit être libre de tout obstacle afin que la puissance maximale puisse parvenir à l'antenne de réception.
- Les objets dans la zone de Fresnel comme les arbres, les collines et les bâtiments peuvent bloquer le signal principal loin du récepteur.

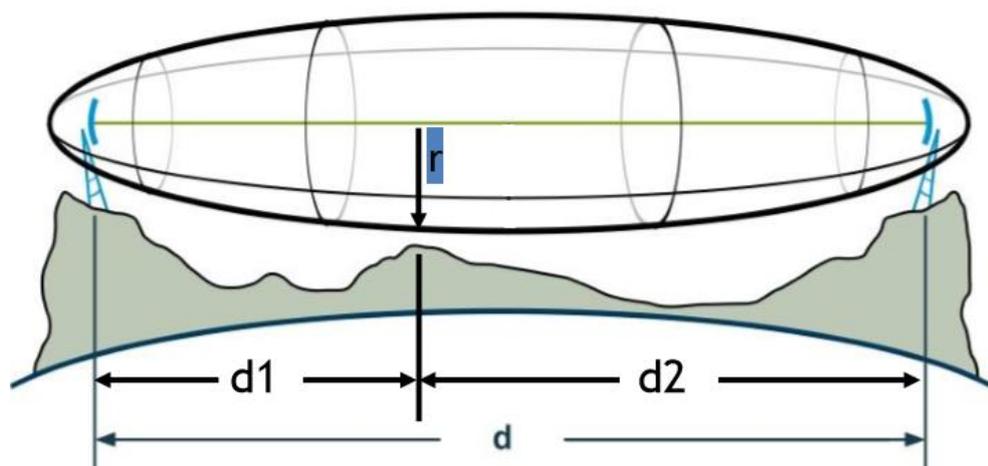


Figure B. 3 : Zone de Fresnel

- Le rayon de la première zone de Fresnel à un point donné entre l'émetteur et le récepteur peut être calculé comme suit: $r = 17.31 * \sqrt{((d1*d2)/(f*d))}$
- Où r est le rayon de la zone en mètres, d1 et d2 sont des distances de l'obstacle aux extrémités de la liaison exprimées en mètres, d est la distance totale de la liaison en mètres, et f est la fréquence en MHz.

Bibliographie

- [1] Moez TAALLAH : Optimisation de l'allocation des sous porteuses en WiMAX, TUNIS 2005/2006.
- [2] [http://www.memoireonline.com/10/12/6380/\(m_Etude-portant-sur-limplantation-dun-reseau-sans-fil-wifi--Cas-de-Green-Wispot-S-P-R-L4.html\)](http://www.memoireonline.com/10/12/6380/(m_Etude-portant-sur-limplantation-dun-reseau-sans-fil-wifi--Cas-de-Green-Wispot-S-P-R-L4.html)).
- [3] Simon MIAN, WiMAX ou l'évolution des réseaux sans-fil, Lex Electronica, vol. 11 n°1 Printemps/Spring 2006.
- [4] Zied FETOUI : Etude des mécanismes de Handover inter-système UMTS – WiMAX. TUNIS 2006/2007.
- [5] http://www.memoireonline.com/01/13/6722/m_Deploiement-dune-boucle-locale-radio-pour-acces--internet-Etude-du-cas-de-Wa-Wash-Burkina11.html
- [6] Chafika TATA : Algorithme de courtoisie : optimisation de la performance dans les réseaux WiMAX fixes, UNIVERSITÉ DU QUÉBEC 2009.
- [7] Sanaa MELLOUK, Etude et dimensionnement d'un réseau WiMAX fixe, UNIVERSITE ABOU-BEKR BELKAID TLEMCEN (ALGERIE) 2013/2014.
- [8] M. Ilyas BOUKHEDIM, M. Fawzi SIYOUCEF. Apport des deux standards WIMAX fixe et mobile, Algérie 2009/2010.
- [9] Soilihi Moussa MOHAMED Etude de la technologie WiMAX et proposition d'une plateforme de conception et de déploiement, SENEGAL 2008/2009.
- [10] Selmen BENSALD, Meriem FERJANI. Développement d'un outil de planification d'un réseau WIMAX, TUNIS 2010/2011.
- [11] Nathalie DEFEZ, Frédéric GABILLOUX, Mathieu GARCIA : 5module A1. Le WiMAX, 2004/2005.
- [12] Paul EL HADJJ, Nabil DAHBI : Etude de la technologie WIMAX Mobile, Telecom SudParis, 20/01/2010.
- [13] <http://www.cherchons.be/dossiers.php?dossiers=52&page=6>
- [14] Houria BESSADOK, Planification cellulaire, Institut Des Télécommunications d'ORAN (ALGERIE) 2004-2005.

TABLE DES MATIERES

DEDICACES

REMERCIEMENTS

RESUME

LISTE DES ABREVIATIONS

TABLE DES MATIERES

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

Introduction générale **Erreur ! Signet non défini.**

Chapitre I : Introduction au réseau WIMAX **Erreur ! Signet non défini.**

I.1 Introduction **Erreur ! Signet non défini.**

I.2 Évolution des standards **Erreur ! Signet non défini.**

 I.2.1 les normes de standards **Erreur ! Signet non défini.**

 I.2.2 Le Wimax et La mobilité..... **Erreur ! Signet non défini.**

I.3 Architecture d'un réseau WiMAX **Erreur ! Signet non défini.**

 I.3.1 La station de base BS **Erreur ! Signet non défini.**

 I.3.2 Les stations terminales **Erreur ! Signet non défini.**

I.4 La desserte avec WIMAX **Erreur ! Signet non défini.**

I.5 Les différentes topologies **Erreur ! Signet non défini.**

I.6 Caractéristique technique de WiMAX **Erreur ! Signet non défini.**

 I.6.1 La couche MAC **Erreur ! Signet non défini.**

 I.6.1.1 La sous couche SSCS **Erreur ! Signet non défini.**

 I.6.1.2 La sous couche CPS **Erreur ! Signet non défini.**

 I.6.1.3 La sous couche PS **Erreur ! Signet non défini.**

 I.6.2 Couche physique **Erreur ! Signet non défini.**

 I.6.2.1 Couche Physique pour les fréquences entre 10-66GHz .**Erreur ! Signet non défini.**

 I.6.2.2 Couche Physique pour les fréquences entre 2-11GHz ...**Erreur ! Signet non défini.**

 I.6.3. Technique de Multiplexage **Erreur ! Signet non défini.**

 I.6.3.1 Symbole OFDM **Erreur ! Signet non défini.**

 I.6.3.2 La technique OFDMA **Erreur ! Signet non défini.**

 I.6.3.3 La différence entre l'OFDM et l'OFDMA **Erreur ! Signet non défini.**

 I.6.4 La modulation adaptative **Erreur ! Signet non défini.**

 I.6.5 Structure de la trame..... **Erreur ! Signet non défini.**

 I.6.5.1 La structure de la sous trame en voie descendante.....**Erreur ! Signet non défini.**

 I.6.5.2 La structure de la sous trame en voie montante .**Erreur ! Signet non défini.**

I.6.6. Technique de Duplexage	Erreur ! Signet non défini.
I.6.7 MIMO (Multiple Input Multiple Output)	Erreur ! Signet non défini.
I.6.8 FEC (Forward Error Correction)	Erreur ! Signet non défini.
I.6.9 Gestion de la qualité de service (QoS)	Erreur ! Signet non défini.
I.6.9.1 Unsolicited Grant Service (UGS)	Erreur ! Signet non défini.
I.6.9.2 Real-Time Polling Service (rtPS)	Erreur ! Signet non défini.
I.6.9.3 Non-Real-Time Polling Service (nrtPS)	Erreur ! Signet non défini.
I.6.9.4 Best Effort (BE)	Erreur ! Signet non défini.
I.6.10 La Sécurité	Erreur ! Signet non défini.
I.6.10.1 Chiffrement des données	Erreur ! Signet non défini.
I.6.10.2 Authentification	Erreur ! Signet non défini.
I.6.10.3 Protocole de Management de Clé	Erreur ! Signet non défini.
I.7 Comparatif WiMAX / Wifi	Erreur ! Signet non défini.
I.8 Conclusion	Erreur ! Signet non défini.
Chapitre II : Dimensionnement et planification..	Erreur ! Signet non défini.
II.1 Introduction	Erreur ! Signet non défini.
II.2 Dimensionnement et planification du réseau WiMAX...	Erreur ! Signet non défini.
II.2.1 Dimensionnement du réseau WiMAX	Erreur ! Signet non défini.
II.2.2 La planification d'un réseau WiMAX	Erreur ! Signet non défini.
II.2.3 Choix de la bande de fréquence	Erreur ! Signet non défini.
II.2.4 Ressources fréquentielles et interférences	Erreur ! Signet non défini.
II.2.5 réutilisation des fréquences et conséquences	Erreur ! Signet non défini.
II.2.5.1 Interférences sur canal adjacent	Erreur ! Signet non défini.
II.2.5.2 Interférences Co-canal	Erreur ! Signet non défini.
II.2.6 Choix d'équipement	Erreur ! Signet non défini.
II.2.6.1 La station de base	Erreur ! Signet non défini.
II.2.6.2 Antennes	Erreur ! Signet non défini.
II.3 Modèles de propagation	Erreur ! Signet non défini.
II.3.1 Rôle des modèles de propagation	Erreur ! Signet non défini.
II.3.2. Types de modèles de propagation	Erreur ! Signet non défini.
II.3.2.1 Le modèle de propagation Free-space	Erreur ! Signet non défini.
II.3.2.2 Modèle COST 231 Hata	Erreur ! Signet non défini.
II.3.2.3 Le modèle d'Erceg	Erreur ! Signet non défini.
II.3.2.4 Le modèle ECC-33	Erreur ! Signet non défini.
II.4 Bilan de liaison	Erreur ! Signet non défini.
II.4.1 Puissance émise	Erreur ! Signet non défini.
II.4.2 Sensibilité de réception	Erreur ! Signet non défini.

II.4.3 Affaiblissement maximum tolérable	Erreur ! Signet non défini.
II.5 Conclusion	Erreur ! Signet non défini.
Chapitre III : Simulation et analyse des résultats	Erreur ! Signet non défini.
III.1 Introduction.....	Erreur ! Signet non défini.
III.2 Périmètres du cahier de charge	Erreur ! Signet non défini.
III.2.1 Objectif	Erreur ! Signet non défini.
III.2.2 Contraintes et problématiques	Erreur ! Signet non défini.
III.3 Méthodologie de réalisation.....	Erreur ! Signet non défini.
III.3.1 Présentation de l'outil :.....	Erreur ! Signet non défini.
III.3.2 Paramétrage de l'outil.....	Erreur ! Signet non défini.
III.3.2.1 Les fréquences attribuées.....	Erreur ! Signet non défini.
III.3.2.2 paramètres et configurations	Erreur ! Signet non défini.
III.4 Étude et Planification :.....	Erreur ! Signet non défini.
III.4.1 Réseau actuel	Erreur ! Signet non défini.
III.4.2 Analyse et constat :.....	Erreur ! Signet non défini.
III.4.2.1 Couverture en Niveau de signal RSSI	Erreur ! Signet non défini.
III.4.2.2 Couverture en qualité de signal CINR	Erreur ! Signet non défini.
III.4.3 Implémentation des nouvelles stations	Erreur ! Signet non défini.
III.4.3 .1 Réseau futur en RSSI.....	Erreur ! Signet non défini.
III.4.3.1 Réseau futur en CINR.....	Erreur ! Signet non défini.
III. 4.3 Optimisation des résultats :.....	Erreur ! Signet non défini.
III. 4.3.1 Résultats issus de l'optimisation.....	Erreur ! Signet non défini.
III.6 Simulation d'un client :	Erreur ! Signet non défini.
Conclusion	Erreur ! Signet non défini.
Conclusion générale.....	Erreur ! Signet non défini.
Annexes	Erreur ! Signet non défini.
Bibliographie	Erreur ! Signet non défini.

Liste des figures

- Figure I. 1 :** Schéma d'architecture générale du réseau WIMAX ...**Erreur ! Signet non défini.**
- Figure I. 2 :** Topologie PMP (Point à MultiPoint)**Erreur ! Signet non défini.**
- Figure I. 3 :** Topologie Maillée**Erreur ! Signet non défini.**
- Figure I. 4 :** Couches protocolaires de l'IEEE 802.16**Erreur ! Signet non défini.**
- Figure I. 5 :** Composants fréquentiels (ou sous porteuses) du symbole OFDM-256
.....**Erreur ! Signet non défini.**
- Figure I. 6 :** Description fréquentielle de l'OFDMA**Erreur ! Signet non défini.**
- Figure I. 7 :** La différence entre l'OFDM et l'OFDMA**Erreur ! Signet non défini.**
- Figure I. 8 :** Modulation adaptative**Erreur ! Signet non défini.**
- Figure I. 9 :** La structure de la sous trame en voie descendante**Erreur ! Signet non défini.**
- Figure I. 10 :** La structure de la sous trame en voie montant**Erreur ! Signet non défini.**
- Figure I. 11 :** Duplexage TDD FDD**Erreur ! Signet non défini.**
- Figure II. 1 :** Gestion des ressources radios dans les réseaux sans fils cas d'un réseau WiMAX**Erreur ! Signet non défini.**
- Figure II. 2 :** Interférence canaux adjacents**Erreur ! Signet non défini.**
- Figure II. 3 :** Interférence Co-canal**Erreur ! Signet non défini.**
- Figure II. 4 :** Les différents équipements de WiMAX**Erreur ! Signet non défini.**
- Figure II. 5 :** Les différents types d'antennes**Erreur ! Signet non défini.**
- Figure II. 6 :** Équilibrage des liaisons montantes et descendantes ...**Erreur ! Signet non défini.**
- Figure II. 7 :** Schéma du bilan des liaisons**Erreur ! Signet non défini.**
- Figure III. 1 :** Création et répartition des fréquences**Erreur ! Signet non défini.**
- Figure III. 2 :** Illustration de la couverture actuelle (RSSI de) la zone d'Alger par Atoll**Erreur ! Signet non défini.**
- Figure III. 3 :** Illustration de la couverture actuelle (CINR) de la zone d'Alger par Atoll**Erreur ! Signet non défini.**

Figure III. 4 : Prédiction couverture par niveau de signal (RSSI) ...**Erreur ! Signet non défini.**

Figure III. 5 : Prédiction de couverture par niveau de signal (CINR) **Erreur ! Signet non défini.**

Figure III. 6 : Implémentation des nouvelles stations **Erreur ! Signet non défini.**

Figure III. 7 : Couverture réseau futur en RSSI..... **Erreur ! Signet non défini.**

Figure III. 8 : Couverture réseau futur en CINR..... **Erreur ! Signet non défini.**

Figure III. 9 : Illustration des résultats obtenus grâce à l'ACP.....**Erreur ! Signet non défini.**

Figure III. 10 : Illustration d'une simulation client avec le logiciel Atoll**Erreur ! Signet non défini.**

Figure III. 11 : Onglet « reception » d'une simulation d'un client ..**Erreur ! Signet non défini.**

Figure III. 12 : Onglet « Profile » de la simulation..... **Erreur ! Signet non défini.**

Figure III. 13 : Onglet « détails » pour tous les types de preamble**Erreur ! Signet non défini.**

Figure A. 1: connexion en LoS et NLoS entre BS et les antennes WIMAX 57

Figure B. 1 : Antenna tilt 58

Figure B. 3: Zone de Fresnel 59

Liste des tableaux

- Table I. 1* : Les différentes normes du WiMAX **Erreur ! Signet non défini.**
- Table I. 2* : Comparaison entre les différentes normes de WiMAX (fixe et mobile)
..... **Erreur ! Signet non défini.**
- Table I. 3* : Les avantages & les inconvénients du WiMAX. **Erreur ! Signet non défini.**
- Table I. 4* : Comparaison WiMAX/ WiFi **Erreur ! Signet non défini.**
- Table II. 1*: Paramètre de validité du modèle Okumura-Hata **Erreur ! Signet non défini.**
- Table II. 2* : Valeurs des paramètres en fonction du type de terrain **Erreur ! Signet non défini.**
- Table II. 3* : Paramètres du bilan de liaison **Erreur ! Signet non défini.**
- Table III. 1* : Paramètres de notre réseau WIMAX..... **Erreur ! Signet non défini.**
- Table III. 2* : Réglage de paramètres pour l'optimisation **Erreur ! Signet non défini.**

A mes parents

*Pour leurs sacrifices, leurs dévouements inconditionnels
et leur soutien infaillible. Qu'ils trouvent ici le
témoignage de mon amour profond et de ma gratitude
certaine. Que Dieu les préserve de toute peine et de tout
malheur,*

A mes frères et mes sœurs

Pour leurs encouragements et leurs confiances en moi,

A tous mes ami(e)s

*Pour la merveilleuse ambiance qui caractérise notre
amitié. Qu'ils soient heureux sur les plans personnel,
professionnel et social,*

A tous ceux qui comptent pour moi,

A tous ceux pour qui je compte.

*Je leur dédie ce modeste travail en guise de
reconnaissance*

Ayoub et Ishak

Remerciements

C'est un devoir bien agréable que de venir rendre hommage, au terme de ce travail, à ceux sans lesquels il n'aurait pas pu être réalisé. L'occasion m'est offerte de remercier ici, les personnes qui me feront l'honneur de participer au jury chargé de juger ce travail.

Je tiens tout particulièrement à exprimer ma profonde gratitude à Mme Zohra Meradji pour son aide précieuse, son soutien son comportement avec nous plus que des stagiaires mes comme des frères et son professionnalisme. Veuillez Miss agréé l'expression de mes sentiments les plus respectueux.

Je tiens en outre à remercier tous mes enseignants pour m'avoir tant donné , Ainsi Dr ANOU.A professeur en faculté de science pour l'attention qu'il a bien voulu accorder au projet de fin d'études aux diverses étapes de son élaboration, pour son estimable aide et ses précieux conseils.

Je voudrais aussi adresser mes plus vifs remerciements à l'équipe de travaille au sein d'ICOSNET.

Je ne manquerais pas de saluer tous ceux qui ont de près ou de loin participé à l'accomplissement de ce travail.

La liste des abréviations

4G	Quatrième Génération
ACP	Automatic Cell Planning
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
AES	Advanced Encryption Standard
AFP	Automatic Frequency Allocation Planning
ARPT	Autorité de Régulation de la Poste et des Télécommunication
ATM	Asynchronous Transfer Mode
BE	Best Effort
BS	Base Station
CINR	Carrier to Interference and Noise Ratio
CPE	Customer Premise Equipement
CPS	Common Part Sublayer
dB	déciBel
DC	Direct Curent
EAP	Extensible Authentication Protocol
EDGE	Enhanced Data rates GSM Evolution
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
FEC	Forward Error Correction
FDD	Frequency Division Duplex
FIPS	Federal Information Processing Standardil
FTP	File Transfer Protocol
GPS	Global Positioning System
GSM	Global System for Mobile Communications
HSPA	High Speed Downlink Access
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IP	Internet Protocol
IFFT	Inverse Fast Fourier Transform
LoS	Line of Sight
MAC	Media Access Control layer
MAN	Metropolitan Area Network
MIB	Management Information Base

MIMO	Multiple Input Multiple Output
MNT	Modèle Numérique de Terrain
NLoS	Non Line of Sight
NRTPS	Non Real Time Polling Service
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
OSI	Open System Interface
PKM	Protocol Key Management
PS	Privacy Sublayer
PTM	Point To Multipoint
PTP	Point To Point
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QoS	Quality of Service
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
RSSI	Received Signal Strength Indicator
RTPS	Real Time Polling Service
SC	Single Carrier
SNR	Signal to Noise Ratio
SS	Subscriber Station
SSCS	Service Specific Convergence Sublayer
TDD	Time Division Duplex
TDMA	Time division multiple access
UCD	Uplink Channel Descriptor
UGS	Unsolicited Grant Service
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System
VLAN	Virtual Local Area Network
VoIP	Voice over Internet Protocol
WEP	Wired equivalent privacy
WiFi	Wireless Fidelity
WIMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access
WLL	Wireless Local Loop
WPA	Wi-Fi protected acces

Introduction générale

Le réseau d'accès sans fils haut débit a révolutionné la télécommunication répondant ainsi aux exigences des utilisateurs qui demandent une connexion haut débit, rapide et souhaitent pouvoir se déplacer tout en étant connectés. Le standard **IEEE802.16** offre ce type de connexion, le *Worldwide Interoperability for Microwave Access* ou le **WiMAX** est l'une des technologies radiofréquences récentes, elle est caractérisée par une bande passante élevée, flexibilité et mobilité. Ces caractéristiques sont considérées comme des alternatives pour remédier aux limitations des technologies filaires.

Le déploiement de ce réseau a pris de l'ampleur ces dernières années sur certains territoires de la nation.

La société privée **ICOSNET**, au niveau de laquelle s'est déroulé notre stage, a pris en charge le projet de déploiement du réseau **WiMAX** sur certaines régions avec l'obtention au préalable d'une licence d'exploitation attribuée par l'**ARPT**. Elle vise prochainement à améliorer son réseau sur la capitale.

Notre projet consistera en une étude de fond qui permettra une densification du réseau **WiMAX** de la capitale tant en capacité qu'en couverture, tout en minimisant les interférences

Pour pouvoir réaliser ce travail, nous nous intéresserons en premier lieu aux différentes normes et spécifications techniques qui caractérisent la technologie **WiMAX**. Ces généralités nous permettront, par la suite, de dimensionner notre réseau pour pouvoir le planifier et le réaliser