Sujet :

Développement d'un outil de planification d'un réseau WIMAX

Rapport de Projet de Fin d'Etude

Elaborés par:

Selmen Bensaid

Meriem Ferjani

Encadré par :

Kamel Khediri

Université Virtuelle de Tunis

Année Université : 2010/2011

Dédicace

Je dédie ce travail ;

A mes chers parents

A ma femme;

Ainsi qu'à tous ceux qui m'ont aidé à faire aboutir ce travail.

Selmen

Dédicace

Je dédie ce travail ;

A mes chers parents

A ma sœur ;

A mon frère ;

A mes grands-mères ;

A mes amis ;

A tous ceux que j'aime ;

Ainsi qu'à tous ceux qui m'ont aidé à faire aboutir ce travail.

Meriem

Remerciement

Nous remercions Mr. Kamel KHEDIRI ; notre encadreur à l'Université Virtuelle de Tunis et professeur du Réseaux mobiles ; pour ses conseils, directives et suggestions qui nous ont permis de mener à bien notre projet.

Je retiens à remercier également le jury d'avoir accepté l'évaluation de ce travail.

Par la même occasion, nous tenons à remercier vivement tous les enseignants de l'UVT d'une façon générale. Leurs dévouement, leurs disponibilités indéfectibles, leur qualités humaines et pédagogiques font qu'on leur doit plus qu'on ne saurait l'exprimer ici.

Rien n'aurait été possible sans le soutien de nos proches, merci encore à vous, rien n'a su nous motiver davantage que votre appui.

Selmen et Meriem

Sommaire

Introduction générale 1

Chapitre I: Introduction au réseau WIMAX 2

I. Introduction 3

II. L'historique de WIMAX 3

1. Naissance de WIMAX 3

2. Contribution de WIMAX 4

III. Architecture du réseau WIMAX 4

1. La desserte avec WIMAX 5

2. WIMAX en tant que collecteur 6

IV. Etude technique de WIMAX 6

1. L'architecture en couche de la norme 802.16 6

2. La couche physique 7

3. Technique de Multiplexage 7

4. La modulation adaptative 11

5. Technique de Duplexage 12

6. La couche MAC 14

7. Qualité de service 14

8. Les bandes des fréquences 16

V. Conclusion 17

Chapitre II : 18

Modèles et règles de planification d'un réseau WIMAX 18

I. Introduction 19

II. Dimensionnement et planification du réseau WIMAX 19

1. Processus de dimensionnement et de planification du réseau WIMAX 19

2. Choix de la bande de fréquence 21

III. Modèle des canaux 21
1. Modèle de propagation pour un environnement dégagé 22
2. Modèle COST 231 WALFISCH-IKEGAMI 23
3. Modèle COST 231 Hata 24
4. Modèle d'Erceg 25
IV. Bilan de Liaison 28
1. Puissance émise 28
2. Sensibilité de réception 29
3. Affaiblissement maximum tolérable 30
V. Choix du type de Dimensionnement 32
1. Dimensionnement suivant la capacité 32
2. Dimensionnement suivant la portée ou la couverture 35
VI. Dualité portée-débit 37
VII. Conclusion 39
Chapitre III : 40
Implémentation de l'outil 40
I. Introduction 41
II. Le langage JAVA 41
III. Conception de l'outil 41
1. Structure de la base de données : 42
IV. Réalisation 43
1. Interface d'accueil et procédure d'authentification 43
2. Gestion des projets 46
3. Planification de la couverture 48
4. Dimensionnement de la capacité 50
V. Conclusion 53
Conclusion générale 54

Glossaire.....55

Biographie.....57

Liste des figures

Figure 1: Exemple d'un réseau WIMAX---------- 5

Figure 2: Couches protocolaires du 802.16---------- 6

Figure 3: Différence entre la modulation mono porteuse et l'OFDM---------- 8

Figure 4: Transmission des données par bloc dans l'OFDM---------- 8

Figure 5: Différence entre les signaux SC et OFDM reçus---------- 9

Figure 6: Modulation adaptative---------- 12

Figure 7: TDD---------- 12

Figure 8: Adaptation des times slots---------- 13

Figure 9: FDD---------- 13

Figure 10: Processus de dimensionnement et de planification du réseau WIMAX---------- 20

Figure 11: La variation du path loss pour les différents types---------- 27

Figure 12: Equilibrage des liaisons montantes et descendantes---------- 28

Figure 13: Schéma du bilan des liaisons---------- 31

Figure 14: Planification de la couverture---------- 42

Figure 15: Modélisation conceptuelle de la base de données---------- 43

Figure 16: Interface d'accueil de l'outil---------- 44

Figure 17: Authentification de l'accès à l'application---------- 45

Figure 18: Menu---------- 46

Figure 19: Fenêtre de nouveau projet---------- 47

Figure 20: Fenêtre de Gestion des projets---------- 47

Figure 21: Paramètres de l'OFDM et morphologiques---------- 49

Figure 22: Paramètre émetteur et récepteur---------- 49

Figure 23: Fenêtre de la prédiction ---------- 50

Figure 24: Estimation de trafic par service ---------- 51

Figure 25: stimation de nombre des sites ---------- 52

Figure 26: Fenêtre du résultat ---------- 52

Liste des tableaux

Tableau 1: Classes de QoS _____ 15

Tableau 2: Spécificités techniques des différentes normes IEEE 802.16x _____ 16

Tableau 3: Paramètres de validité du modèle Hata-Okumura _____ 25

Tableau 4: Valeurs des paramètres en fonction du type de terrain _____ 26

Tableau 5: Paramètre du bilan de liaison _____ 31

Tableau 6: Métriques utilisées pour calculer les conditions des débits des données _____ 32

Tableau 7: Condition typique des débits pour une zone métropolitaine moyenne _____ 33

Tableau 8: Paramètres de simulation de l'affaiblissement de parcours _____ 37

Tableau 9: Paramètres bilan de liaison _____ 38

Introduction générale

Aujourd'hui, l'évolution des réseaux sans fils et des technologies à large bande a capté l'imagination et l'invention des industriels dans le monde entier.

Parmi les différentes technologies le WIMAX, qui est basé sur les standards IEEE 802.16x. Cette technologie est caractérisée par les transmissions de données à haut-débit par voie hertzienne. En outre, ces caractéristiques vont aider les opérateurs de télécommunications à l'amélioration de QoS.

La planification est une phase très importante pour le déploiement des réseaux. En effet, elle sert à prévoir les ressources nécessaires (équipement, fréquence, bande passante,…) pour servir un ensemble des abonnés. De même, elle permet de gérer la qualité de service.

Dans ce cadre, nous avons développé un outil de planification des Réseaux WIMAX.

Le présent rapport comporte trois chapitres. On va l'entamer par « Introduction au Réseau WIMAX », en suite, deuxième chapitre « Modèles et règles de planification d'un réseau WIMAX » et pour le troisième chapitre « Implémentation de l'outil » on va définir l'environnement du travail ainsi que l'installation de l'application.

Le projet réalisé s'est avéré très intéressant et très enrichissant pour notre expérience professionnelle.

Chapitre I: Introduction au réseau WIMAX

I. Introduction

WIMAX ou *Worldwide Interoperability for Microwave Access*, est une nouvelle technologie émergente dans le domaine de communication qui est basé sur le standard IEEE802.16.

Cette technologie est porteuse beaucoup de promesses : avec une grande couverture, une grande efficacité spectrale et un débit important, le WIMAX représente une vraie alternative des systèmes nécessitant des connections câblées, comme le DSL par exemple.

Ce chapitre présente une introduction au réseau WIMAX ainsi que ses origines, ses normes et les règles de cette technologie.

II. L'historique de WIMAX

1. Naissance de WIMAX

Le Wimax forum est le nom d'un consortium créé en 2001, notamment par Intel et Alvarion. Ce consortium a pour but de permettre la convergence et l'interopérabilité entre les différents standards de réseaux sans fils : HiperMan qui était proposé en Europe par l'ETSI (European Telecommunications Standards Institute) et le standard développé par l'IEEE (Institute of Electrical and Electronics engineer) et dénommé IEE-802.16. Aujourd'hui, le Wi-max forum rassemble plus de 300 fournisseurs et opérateurs de télécommunication dont des entreprises bien connues comme AT&T Wireless, Intel, Fujitsu, Alcatel, Motorola, Nokia, Siemens, France Telecom, …

Un des buts principaux du Wimax forum est de permettre l'interopérabilité entre différents standards, différentes normes. Voici un bref aperçu des normes actuelles et des normes obsolètes. La première norme a été élaborée en 2001 (802.16). Elle définissait des réseaux métropolitains sans fils dan les bandes de fréquences 10 à 66 Ghz. Deux années plus tard, la norme 802.16a, complétait la norme 802.16 pour les fréquences inférieures à 10 Ghz.

Ces deux normes ont été ensuite regroupées sous le standard 802.16d, la norme actuelle, et sont donc devenues obsolètes.

Récemment, on a vu apparaître de nouveaux standards comme le 802.16e définissant les possibilités d'utilisation de la technologie pour des applications mobiles. Ce standard utilise des fréquences de 2 à 6 Ghz. On peut également citer le 802.16f qui concerne les réseaux maillés que nous expliquerons par la suite.

2. Contribution de WIMAX

L'objectif du WIMAX est de fournir une connexion Internet à haut débit sur une zone de couverture de plusieurs kilomètres. Le standard WIMAX possède l'avantage de permettre une connexion sans fil entre une station de base et des millions d'abonnés sans nécessiter de ligne visuelle directe (LOS : Line Of Sight ou NLOS : Non Line Of Sight). Dans la réalité le WIMAX ne permet de franchir que de petits obstacles tels que des arbres ou une maison mais ne peut en aucun cas traverser les collines ou les immeubles. Le débit réel lors de la présence d'obstacle ne pourra ainsi excéder 20Mbit/s.

Les premiers déploiements en WIMAX devraient permettre à des zones isolées, mal desservies par le DSL ou le câble ou souhaitant tirer profit d'une connexion sans fil, de disposer d'un accès Internet large bonde.

Le débit et la portée présentent les atouts du WIMAX. Il fonctionne à 70 Mbit/s au maximum théoriquement dans des conditions extrêmement favorable, 12 Mbit/s pratiquement et peut couvrir des zones de rayon allant jusqu'à 50 Km.

III. Architecture du réseau WIMAX

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

Voici un exemple d'architecture générale d'un réseau d'accès à large bande:

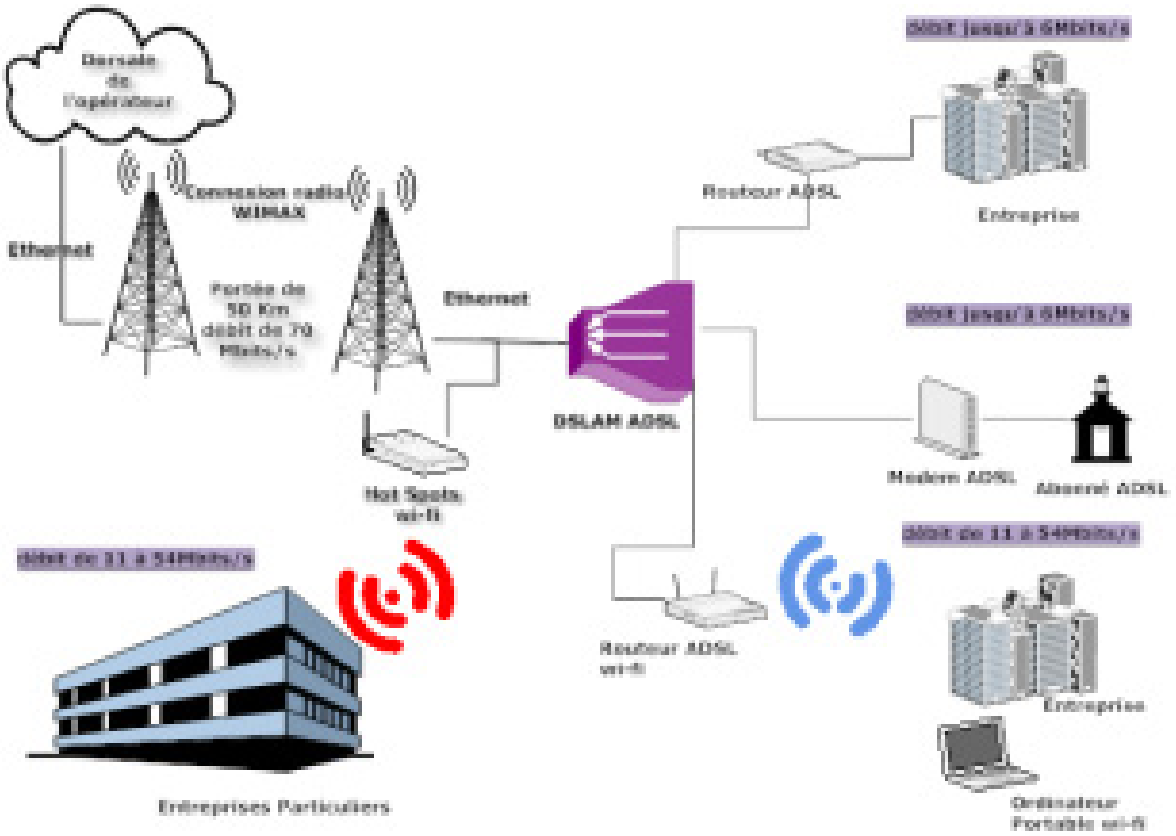

Figure 1: Exemple d'un réseau WIMAX

Il s'agit au départ dans la version 802.16a et 802.16d de liaison à multipoints qui offrent la possibilité de se déplacer dans un secteur donné.

1. 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 Equipement) 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.

2. WIMAX en tant que collecteur

Le standard WIMAX permet une connexion sans fil entre une station de base et des stations d'abonnés sans nécessiter une ligne visuelle (LOS ou NLOS). Dans un réseau, la collecte consiste à relier les points d'accès au backbone de l'opérateur (dorsale) assurant ainsi la connexion avec l'Internet.

IV. Etude technique de WIMAX

1. L'architecture en couche de la norme 802.16

La figure suivant représente l'architecture en couche de la norme 802.16.

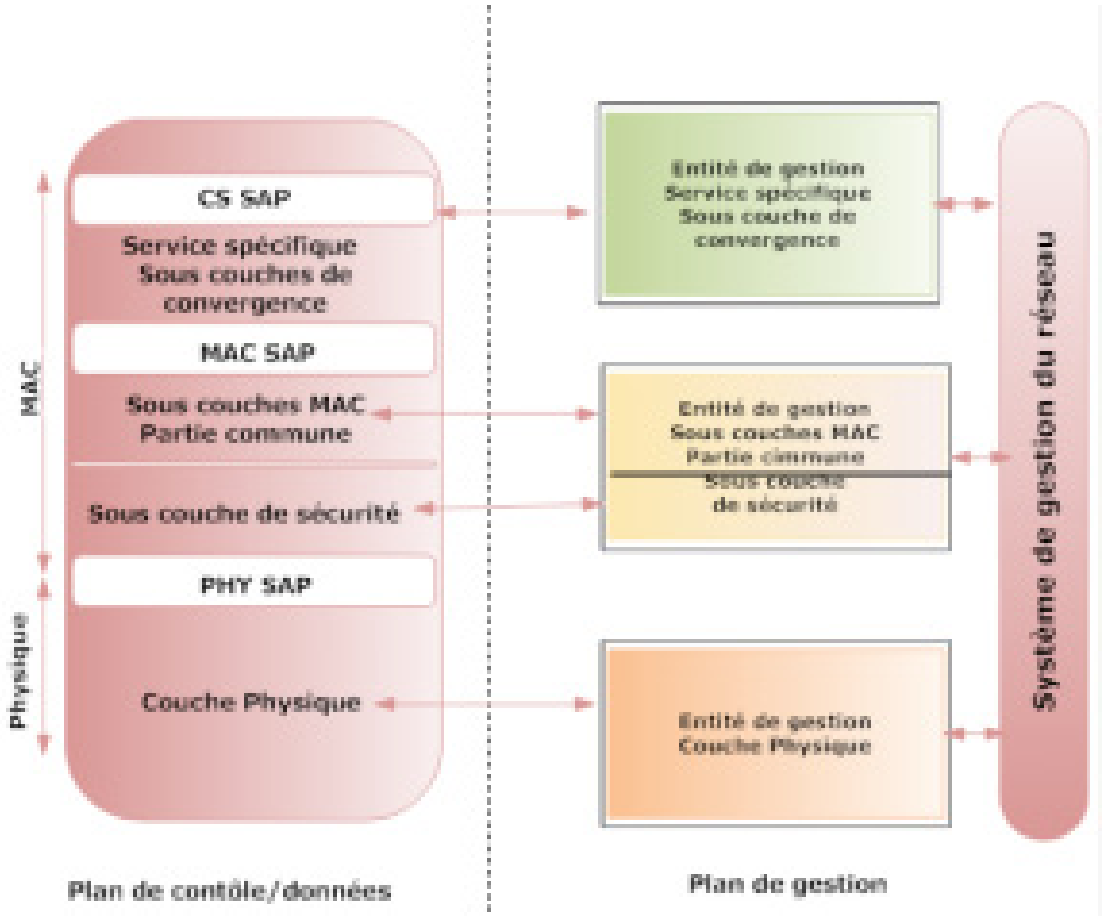

Figure 2: Couches protocolaires du 802.16

La norme 802.16 a été développée en suivant une architecture en couches. Elle est constituée de deux couches : une PHYSIQUE *(physique)* et une MAC (*Media Access Control*).

2. La couche physique

Dans la conception des spécifications physiques de la bande des 10-66 GHz, une propagation par vue directe était considérée comme une nécessité pratique. Avec cette condition respectée, la modulation par simple porteuse a été facilement choisie.

Pour la spécification 2-11 GHz ; la couche physique a été implémentée pour répondre au cas où les stations communiqueraient (NLOS), dans le cas des environnements urbains avec la présence d'obstacles entre deux stations.

Pour répondre à ces spécifiques, trois types d'interface de transmission ont été définies :

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

3. Technique de Multiplexage

- **Le multiplexage par répartition orthogonal de fréquence (OFDM)**

La norme 803.16-2004 utilise le multiplexage par répartition orthogonal de fréquence (OFDM). C'est une technique de modulation multi-porteuses à base de transformée de Fourrier rapide.

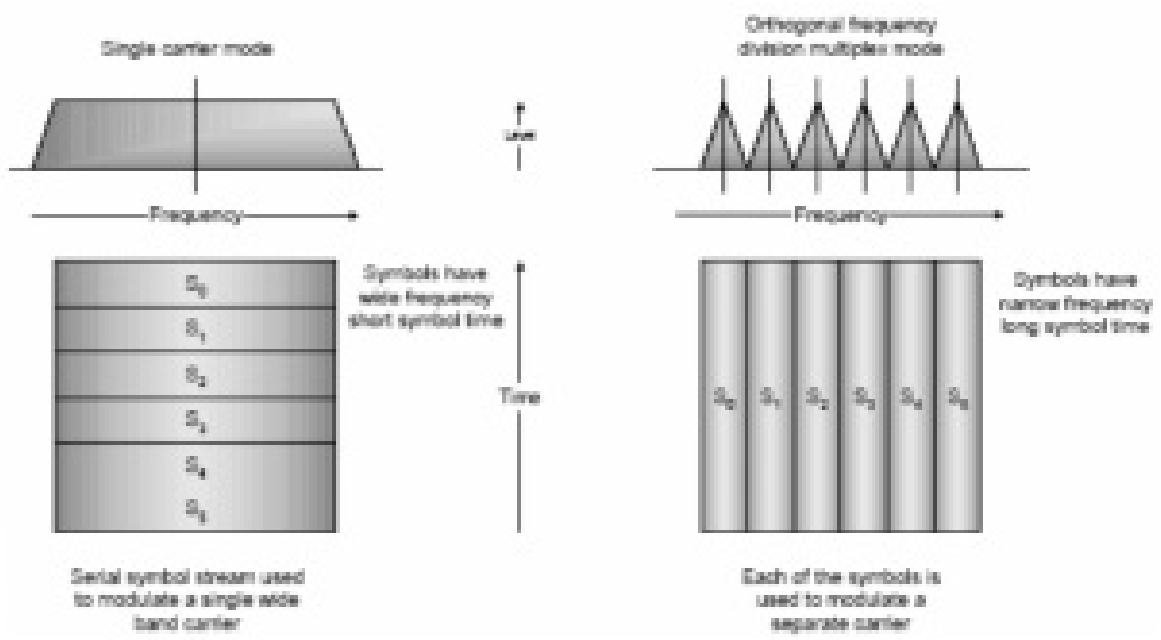

Figure 3: Différence entre la modulation mono porteuse et l'OFDM

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

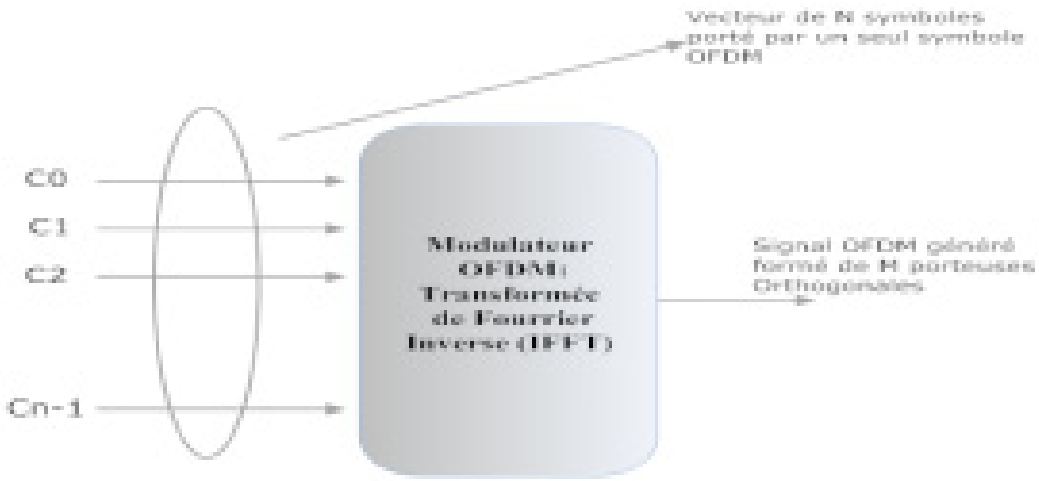

Figure 4: Transmission des données par bloc dans l'OFDM

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.

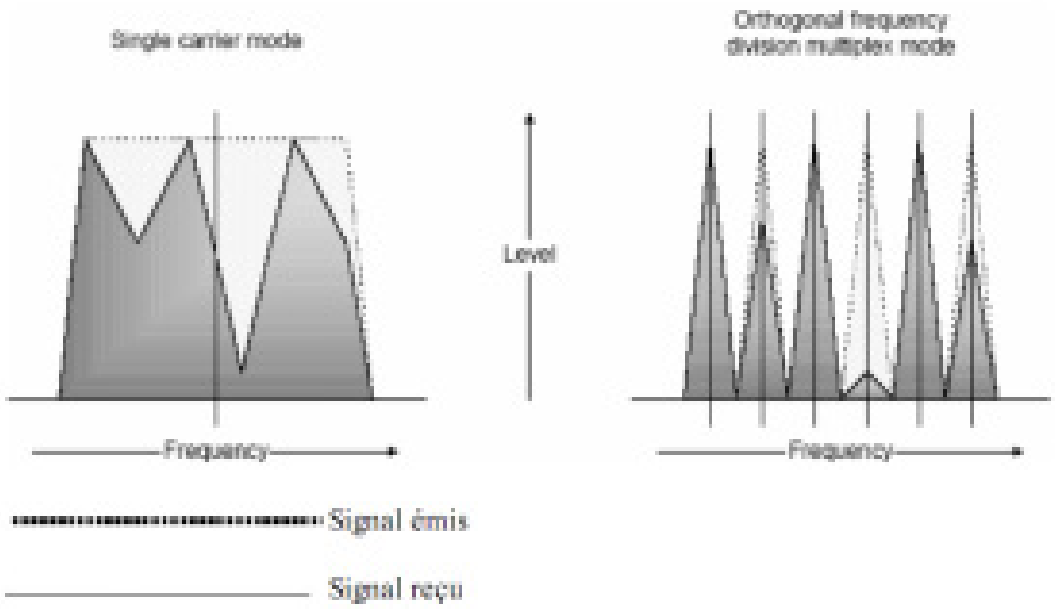

Figure 5: Différence entre les signaux SC et OFDM reçus

❖ Les avantages de l'OFDM

Les avantages de cette technique sont nombreux parmi les quelles on site :

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

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

❖ Les inconvénients de l'OFDM

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

La technique OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access)

L'OFDMA est la technique de transmission utilisée par l'interface radio WirelessMAN OFDMA. Comme l'OFDM, cette technique utilise l'FFT pour générer un symbole OFDMA, contenant des porteuses de données, des porteuses pilotes et des porteuses nulles pour la bande de garde et la fréquence DC.

Le symbole OFDMA est divisé en des sous canaux (*subchannels*) logiques afin d'attribuer les ressources radio aux utilisateurs d'une manière dynamique, de supporter l'accès multiple, et pour une meilleur adaptation aux techniques avancées des antennes.

On a deux modes d'utilisation des *subchannels* dans le sens *downlink* :

- FUSC (*Full Usage of SubChannels*): Tous les *subchannels* sont attribués à l'émetteur. Dans ce mode, on attribue d'abord, les porteuses nulles de la bande de garde et les pilotes. Ensuite, on fait la partition des porteuses restantes en des sous canaux (la partition des porteuses en des sous canaux est nommée permutation). Cela signifie qu'on a un seul ensemble des pilotes commun à toutes les porteuses du symbole.
- PUSC (*Partial Usage of SubChannels*) : Quelques *subchannels* sont attribués à l'émetteur. Dans ce mode la partition se fait de la façon suivante : d'abord, on fait attribuer les porteuses nulles de la bande de garde. Ensuite, on fait la partition des sous porteuses restantes en sous canaux (permutation). Et dans chaque sous canal, on fait l'attribution des pilotes et des porteuses des données. Cela signifie que chaque sous canal a son propre ensemble de porteuse pilote.

Pour le sens *uplink*, on fait la permutation premièrement (partition en des *subchannels*). Ensuite, on fait l'attribution des porteuses pilotes et des porteuses données dans chaque sous canal.

- **La technique SOFDMA**

Cette technique introduite beaucoup de variations à l'interface WirelessMAN-OFDMA du standard 802.16-2004, non pas seulement pour améliorer sa fonction mais aussi pour être capable de supporter la mobilité des utilisateurs (effet Doppler, Hand Over). Une des plus importantes caractéristiques introduites par 802.16 e est que SOFDMA supporte les NFFT suivants : 2048, 1024, 512, 128, afin d'accommoder avec les différentes largeurs du canal possibles.

- **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 conséquence ; 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*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.

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.

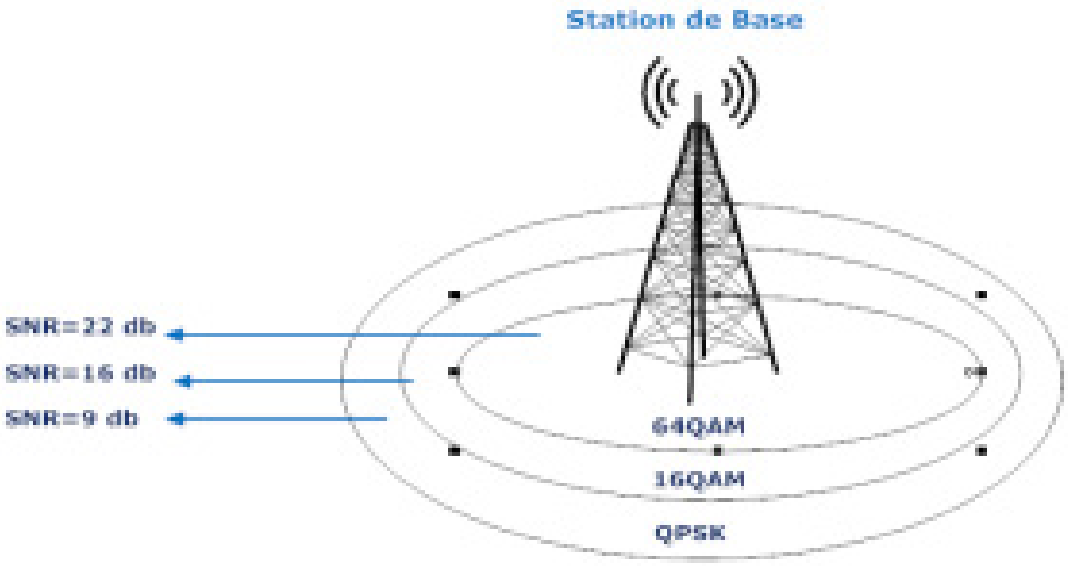

Figure 6: Modulation adaptative

5. Technique de Duplexage

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. L'émission des données utilisera la même fréquence, la distinction entre le lien montant et le lien descendant est effectuée grâce au temps.

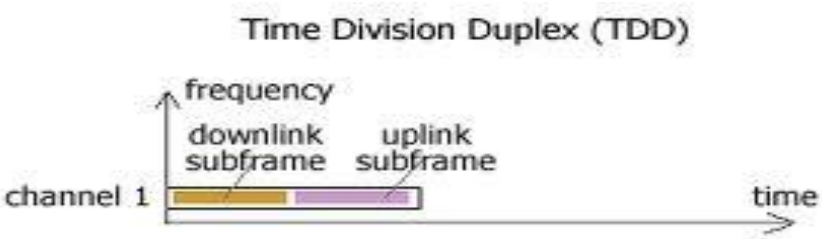

Figure 7: TDD

Le mécanisme TDD divise les données en deux trames auxquelles différents time slots sont assignés. Cette découpe permet deux types de transmission en utilisant la même fréquence.

Un système TTD peut diviser le canal entre les deux sens montant et descendant d'une façon adaptative, selon la quantité du trafic échangée. Ce transfert asymétrique est approprié au trafic Internet ou de grandes quantités de données peuvent être tirées à travers le *downlink*.

La figure ci-dessous résume le principe d'adaptation avec un duplexage TDD.

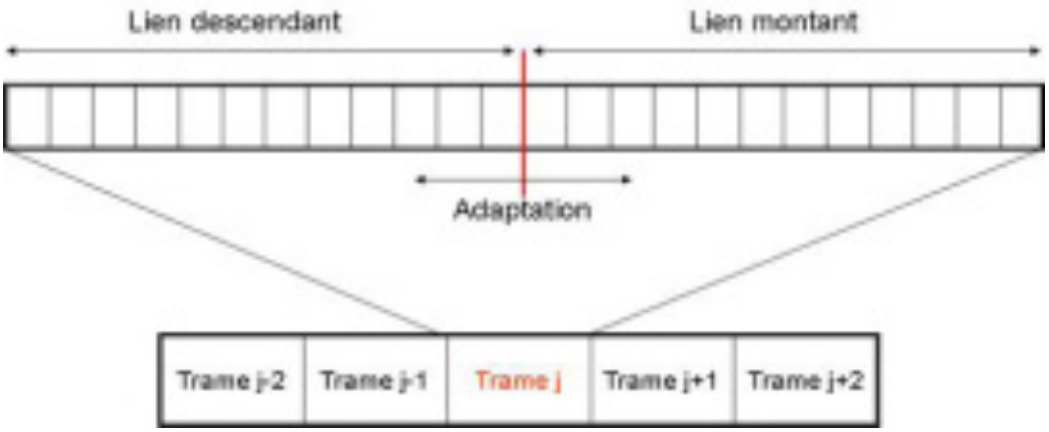

Figure 8: Adaptation des times slots

- FDD (*Frequency Division Duplex*) : l'utilisation de cette méthode nécessite l'attribution d'une fréquence différente au canal émetteur et au canal récepteur.

Ce mécanisme est très coûteux, c'est pourquoi une méthode hydride est utilisée par le WIMAX. Celle-ci est appelée HFDD (*Half-duplex FDD*). Le principe différence entre cette méthode et le FDD est l'utilisation de différentes fréquences pour émettre et recevoir les données de la part d'une station de base.

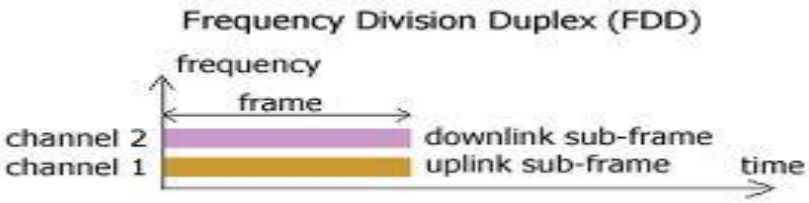

Figure 9: FDD

6. 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*).

- **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.

- **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).

- **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.

7. Qualité de service

Les besoins en qualité de service peuvent être différents. Si on veut diffuser de la vidéo à la demande, on aura besoin d'un transfert quasi temps réel, avec une latence très faible ainsi qu'une gigue faible. En revanche, il est permis de perdre parfois une image ou d'avoir une qualité d'image un peu dégradée.

Cependant, si on veut transférer de gros fichiers via le protocole FTP, il est essentiel que l'intégrité des abonnées soit préservée, mais on peut tolérer une gigue importante.

On distingue plusieurs classes de service différentes selon le type de données supportées et donc en fonction des exigences de l'application.

Le tableau suivant présente ces classes en spécifiant leurs paramètres respectifs :

Classe de QoS	Applications	Caractéristiques
UGS Unsolicited Grant Service	VoIP	Délai acceptable
RTPS Real Time Packet Service	Streaming audio ou védio	Préserve le séquencement entre les entités d'information dans le flot
ERTPS Extended Real Time Packet Service	Voice avec détection d'activité (VoIP)	Délai acceptable
NRTPS Non Real Time Packet Service	FTP	Préserve le contenu
BE Best Effort Service	Transfert de données Navigation Web	Motif requête/réponse Préserve le contenu Pas de contrainte sur le temps

Tableau 1: Classes de QoS

8. Les bandes des fréquences

Le choix des ressources spectrales est une étape importante pour assurer le succès du déploiement le d'un réseau WIMAX. L'opérateur doit tenir compte de plusieurs facteurs pour effectuer son choix :

	802.16	802.16 d	802.16 e
Spectre	10-66 GHz	< 11 GHz	<6,11 GHz
Conditions canal	Uniquement LOS	NLOS	NLOS
Débit	32 -134 Mbps à 128 MHz	Jusqu'à 75 Mbps à 20 MHz	Jusqu'à 15 Mbps à 5 MHz
Modulation	QPSK, 16QAM et 64QAM	256OFDM, QPSK, 16QAM, 64QAM	256OFDM, QPSK, 16QAM, 64QAM
Mobilité	Fixe	Fixe	Nomadisme
Bandes passantes	20, 25 et 28 MHz	Au choix entre 1.25 et 20 MHz	Comme 802.16a avec sous canaux montants
Rayons de cellule typique	2-5 Km	5-8 Km, max pour 50 Km	2-5 Km

Tableau 2: Spécificités techniques des différentes normes IEEE 802.16x

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

- **Bande avec Licence**

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

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

- **Bande sans Licence**

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

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

V. Conclusion

Etant une technologie d'accès radio sans fil, le WIMAX offre un haut débit sur des zones de couvertures très large, permettent des usages en situation fixe ou en mobilité.

Chapitre II :

Modèles et règles de planification d'un réseau WIMAX

I. Introduction

La tache de dimensionnement d'un réseau WIMAX est liée au processus de planification de la couverture. Donc cette étape doit être réalisée en parallèle avec la phase de la couverture.

Le dimensionnement d'une zone quelconque nécessite en premier lieu l'analyse du bilan de liaison afin d'estimer l'affaiblissement maximal du parcours entre abonné et station de base. Ensuite, on va calculer la portée maximale ou le rayon de couverture maximale en utilisant les modèles de propagation conformément au type de terrain d'étude. Enfin, on détermine pour la zone à planifier le nombre de stations de base nécessaire.

II. Dimensionnement et planification du réseau WIMAX

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

L'étape de la planification constitue une étape primordiale dans la conception d'un réseau cellulaire. Cette phase permet aux concepteurs de trouver une disposition optimale des sites radio. Le succès de cette phase est conditionné par la réalisation d'un bon dimensionnement du réseau.

1. Processus de dimensionnement et de planification du réseau WIMAX

Les caractéristiques des abonnés à desservir en termes de densité et de demande en trafic, les spécifications des équipements et la bande de fréquence. Donc notre objectif c'est de dimensionner le réseau en essayant de concilier entre le coût et les contraintes de QoS.

Les principes contraints de planification sont la multiplicité de services ayant des caractéristiques variées (contraintes de QoS, débits, taux d'activité,..).

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. Le diagramme suivant résume le processus de dimensionnement et de planification d'un réseau WIMAX :

Figure 10: Processus de dimensionnement et de planification du réseau WIMAX

Avant d'entamer le dimensionnement de partie radio, il faut choisir la norme à adopter ; la norme 802.16a pour les applications LOS, la norme 802.16-2004 qui introduit les notions du NLOS de l'indoor et du nomadisme, la norme 802.16 e qui se distingue par la notion de mobilité, la norme 802.16 f spécifie la MIB (Management Information Base) et enfin la norme 802.16 m pour la convergence des technologies WIMAX, Wifi et 4G.

Dans le cadre de notre étude on va insister plus sur le standard 802.16-2004. Bien que la première norme ne puisse être utilisée que dans espace libre c'est-à-dire ne fonctionne pas dans les zones montagneuses. Et la troisième et la quatrième norme engendre des coûts de déploiement trop chers. Et pour la norme 802.16 f, ne fonctionne pas seulement si on a une base de données MIB.

2. Choix de la bande de fréquence

La sélection de la bande de fréquence à utiliser a une influence capitale sur le dimensionnement et la planification 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.

III. Modèle des canaux

Le canal de propagation est le support de transmission des systèmes de communication radio. Ses caractéristiques, qui dépendent fortement de la fréquence et de l'environnement, influent sur les performances. Dés la conception d'un nouveau système, les caractéristique du canal doivent être connue pour dimensionner au mieux l'interface radio.

Des modèles statistiques sont également requis pour comparer différentes solutions techniques. En phase de déploiement, des modèles plus précis de prévision du champ sont nécessaire pour optimiser les réseaux cellulaires. La connaissance du canal est donc vitale tout au long de la vie d'un système de communication.

On va citer plusieurs modèles de propagation applicables à l'architecture multi cellules. Typiquement, le scénario est le suivant :

- Les cellules < 10Km de rayon, différents types de terrains et de densité des arbres
- Des antennes directionnelles ou omnidirectionnelles sont installées, au dessous de 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 :

- Pertes due au chemin (effet de masque inclus)
- Caractéristique d'évanouissement
- Interférence co-canal et entre les canaux adjacents.

A noter que ces paramètres sont arbitraires et seulement une caractérisation statique est possible. Typiquement, la moyenne et la variance des paramètres sont spécifiées.

Les paramètres des modèles de propagation ci-dessus dépend de

- Terrain
- Densité des arbres
- Hauteurs d'antennes et largeur du faisceau
- Vitesse du vent
- Saison (hiver, été,..).

1. Modèle de propagation pour un environnement dégagé

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

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

$PL(d) = 20Log_{10} (4\pi d/\lambda)$

Avec :

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

λ : Longueur d'onde (m)

Ou encore :

PL(d)=32.4+20Log(d)+20Log(fc)

Avec :

d : distance en Km

fc : fréquence en MHz

2. Modèle COST 231 WALFISCH-IKEGAMI

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

Il y a trois paramètres qui composent ce modèle :

$L_p = L_0 + L_{rts} + L_{msd}$

L_0= perte en espace libre

L_{rts}= perte par diffraction du toit vers la rue

L_{msd} = perte par diffraction multi masques

L_0=32.4+20Log(d) + 20Log(f)

Avec :

d : distance du récepteur en Km

f : fréquence utilisée en MHz

L_{rts} = -16.9 – 10Log (w/m) + 10Log (f/MHz) + 20Log (h_{mobile}/m) + L_{ori} $h_{roof} > h_{mobile}$

=0 $L_{rts} < 0$

Ou :

L_{ori}: facteur de correction empirique prenant en compte l'orientation de rue

W : est la largeur de rue en mètres

$L_{ori} = -10 + 0.354\,\varphi$ pour $0 \leq \varphi \leq 35$ degré

$= 2.5 + 0.075\,(\varphi - 35)$ pour $35 \leq \varphi \leq 55$ degré

$= 4.0 - 0.114\,(\varphi - 55)$ pour $55 \leq \varphi \leq 90$ degré

φ: angle d'incidence du trajet radio par rapport à l'orientation de la rue

$\Delta h_{mobile} = h_{roof} - h_{rec}$: différence (en m) entre la hauteur des bâtiments (h_{roof}) et celle du récepteur (h_{rec})

$L_{msd} = L_{beh}\, k_a\, k_d \log(d/Km) + k_f \log(f/MHz) - 9\log(b/m)$

$= 0$ $L_{msd} < 0$

b: séparation entre les bâtiments en mètres

$L_{beh} = -18 * \log(1 + \Delta h_{base}/m)$ pour $h_{base} > h_{roof}$

$= 0$ pour $h_{base} \leq h_{roof}$

$K_a = 54$ pour $h_{base} > h_{roof}$

$K_d = 18$

$= 18 - 15 * \Delta h_{base}/h_{roof}$ pour $h_{base} \leq h_{roof}$

$k_f = -4 + 0.7\,(f(MHz)/925 - 1)$

Pour les cites de taille moyenne et centres sous urbains, avec une densité d'arbres modérée

$= -4b + 1.5\,(f(MHz)/925 - 1)$

Pour les centres métropolitains et en note : $\Delta h_{base} = h_{base} - h_{roof}$

3. Modèle COST 231 Hata

Ce modèle est utilisé pour les macros cellules. Il est essentiellement fait pour les fréquences inférieures à 2 GHz. Dans le but de l'utiliser pour des fréquences supérieures (jusqu'à 6GHz), on lui a introduit des corrections.

Le résultat est donné par l'équation suivante :

Lh(db)= 46.3+33.9 Log(fc)-13.2Log(hbs)-A(hss)+(44.9-6.55Log(hbs))Log(d)+Cm

Avec:

fc: fréquence porteuse du signal en MHz

hbs : hauteur de la BS en mètres

hss : hauteur de la SS en mètres

d : distance entre la BS et SS en Km

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

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

- ✓ Pour les villes de taille moyenne ou petite :

A(hss)= (1.1*log (fc)-0.7)*hss-(1.56*log(fc)-0.8)dB

- ✓ Pour les villes de grande taille :

A(hss)=3.2*log (11.75*hss)-4.97 dB

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

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

Tableau 3: Paramètres de validité du modèle Hata-Okumura

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

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

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

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

Pour une distance proche de d0, la perte du chemin est donné par (fréquence=1.9 GHz) :

$L= A+10*\gamma*\log(d/d_0)+s$ pour $d> d_0$, $d_0=100$ m

$A=20 \log (4\pi d_0/\lambda)$

Avec : λ est la longueur d'onde en m

Et : γ est l'exposant de perte de chemin.

$\gamma= (a-b*h_b+c/h_b)$,

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

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

Tableau 4: Valeurs des paramètres en fonction du type de terrain

L'effet de masque est donné par le paramètre s, qui suit une distribution log normale.

La valeur typique de l'écart type de s est entre 8.2 et 10.6, dépendant du type de terrain et densité d'arbres.

Termes de correction de fréquence et de la hauteur d'antenne réceptrice

Le modèle ci-dessus est valable pour des fréquences proches de 2GHz, et pour des hauteurs d'antennes réceptrices proche de 2 m. dans le but d'utiliser ce modèle pour autres fréquences plus élevées et pour des hauteurs d'antennes 2 et10 m, on ajoute au modèle ci-dessus des corrections concernant la fréquence et la hauteur de l'antenne réceptrice.

Le modèle de propagation (en dB), avec les termes de correction, sera :

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

L : est la perte de chemin précédemment donné.

ΔL_f : est le terme de correction fréquentielle (en dB) donné par :

ΔL_f =6*log (f/2000) ou f est la fréquence en MHz,

ΔL_h =-10.8log (h/2) pour les catégories A et B,

ΔL_h =-20log (h/2) pour la catégorie C.

Avec : h est la hauteur de l'antenne entre 2m et 10m.

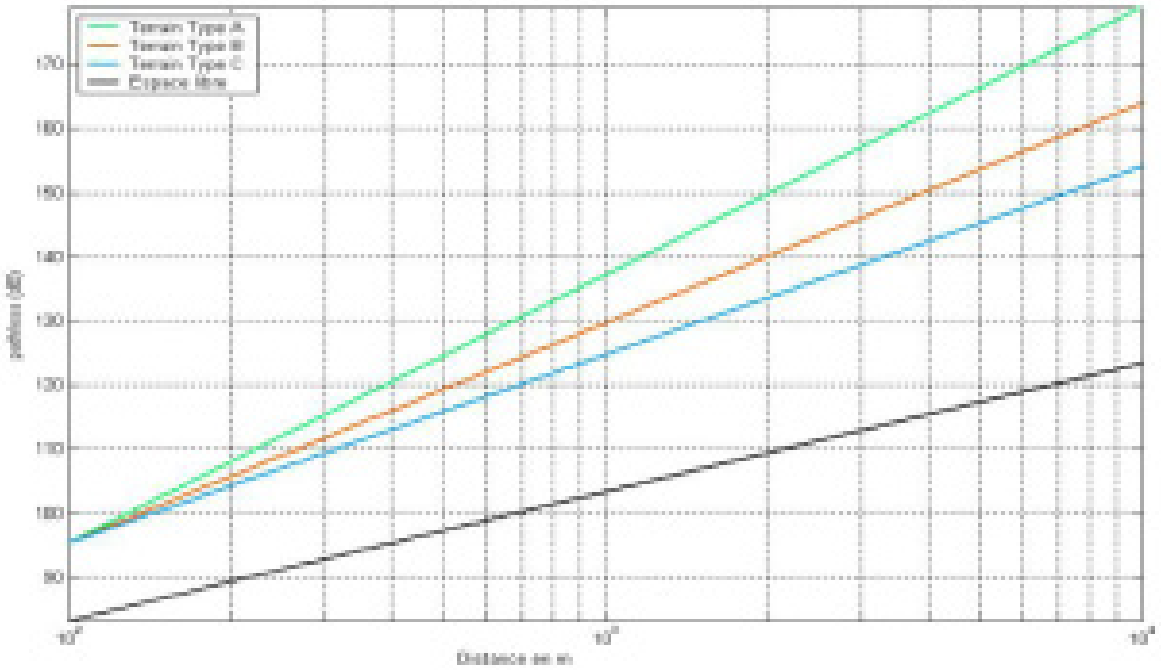

Figure 11: La variation du path loss pour les différents types

IV. Bilan de Liaison

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

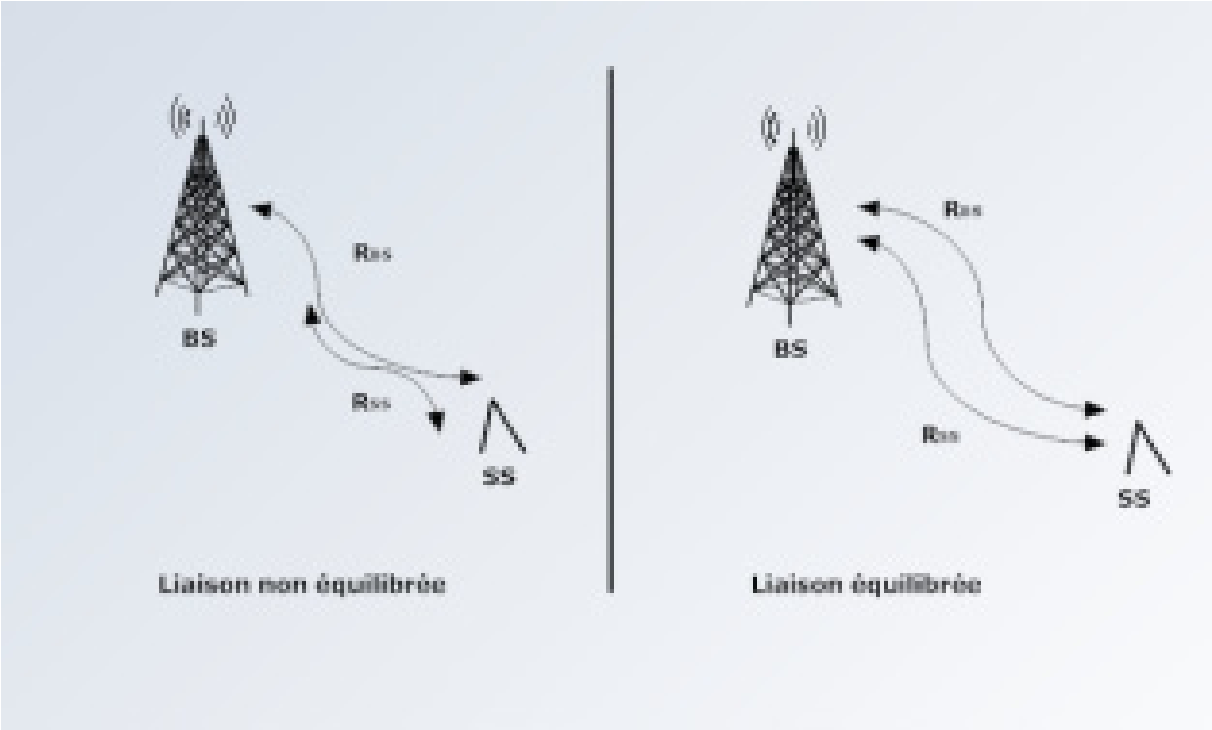

Figure 12: Equilibrage des liaisons montantes et descendantes

Le but de 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.

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 dB, la PIRE s'obtient par simple addition :

PIRE= Puissance d'émission-Perte de câble +Puissance antenne,

Soit PIRE= P_e - L + G_e

Dans des systèmes de radiocommunication, le PIRE est la qualité de puissance qui devrait être émise par une antenne isotrope (qui distribue de façon égale la puissance dans toutes les directions) pour produire la densité de puissance maximale observée dans la direction du gain maximum d'antenne.

Pour le décibel c'est une unité exprimant un rapport, autrement dit un gain. Pour des puissances, le calcule est le suivant :

$dB=20\log_{10}(P1/P2)$

Pour l'appareil émetteur, il s'agit de décibel par rapport au milliwatt (dBm) : dans la formule précédente, P2=1 mW et P est la puissance d'émission doit être aussi transformée en mW de l'appareil.

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

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 Rx est une addition de la sensibilité de l'appareil Sx (une autre caractéristique avec la puissance) et du gain de l'antenne Gs, auxquels on retranche les pertes de câble L.

Le gain de l'antenne et les pertes de câble sont ceux utilisés dans les calculs de puissance précédents.

La puissance effective du signal reçue doit être supérieure à la sensibilité de l'ensemble, faute de quoi le signal ne pourra pas être utilisé.

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

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

$R_x = (E_b / N_0) - 10\text{Log}(W/R_h) + N_W + N_F$

Avec:

R_x : La sensibilité du récepteur

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

W : Bande passante du système (MHz)

R_b : débit symbole (bps)

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

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 le marge de liaison MGlink, le marge de fading MGfade, l'affaiblissement dû au shadowingLSH, et l'affaiblissement dû aux caractéristiques de l'environnement Lenv, qu'on retranche à l'affaiblissement maximum tolérable, et on obtient l'affaiblissement en ligne déterminant PL, pour "Pertes en Ligne".

PL = PIRE – Rx + GSS – LSH - Lenv - Lr – MGlink – Mgfade

Les paramètres du bilan de liaison sont dressés dans le tableau suivant :

Paramètres	Description
$Prss$	Puissance réçue à la SS (dBm)
$PrBS$	Puissance réçue à la BS (dBm)
$Pess$	Puissance émise à la SS (dBm)
$PeBS$	Puissance émise à la BS (dBm)
$Lfss$	Perte de câble d'alimentation à la SS (dB)
$LfBS$	Perte de câble d'alimentation à la BS (dB)
$LCBS$	Perte du combineur de la BTS (dB)
$L_{total}= Lfss + LfBS$	Perte totale du coté BS
L_p	Perte de propagation entre la SS et la BS (dB)
Gss	Gain de l'antenne de la SS (dBi)
GBS	Gain de l'antenne de la BS (dBi)
$GdBS$	Grain de diversité de l'antenne de la BS (dB)

Tableau 5: Paramètre du bilan de liaison

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

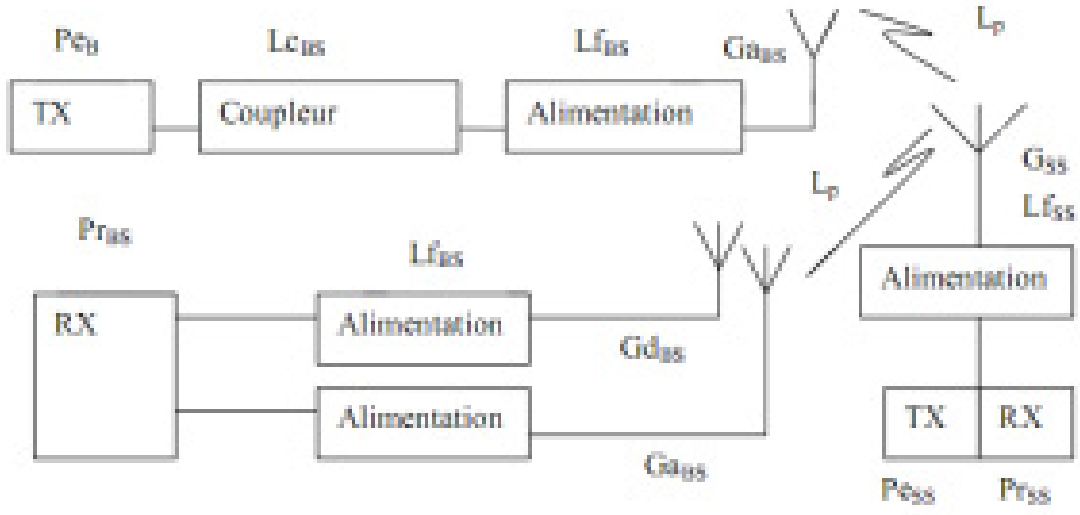

Figure 13: Schéma du bilan des liaisons

Le Signal reçu à la SS provenant de la BS :

$Prss = Pebs - Lcbs - Lfbs + Gabs - Lp + Gss – Lfss$

Le Signal reçu à la BS provenant de la SS :

$Prbs = Pess – Lfss + Gss - Lp + Gdbs + Gabs – Lfbs$

En exprimant Lp en fonction des autres paramètres :

$Lp = Pebs - Lcbs - Lfbs + Gabs + Gss - Lfss – Prss$

$Lp = Pe\,ss – Lf\,ss + G\,ss + Gdbs + Gabs - Lfbs– Prbs$

D'où: $Pebs - Lcbs– Pr\,ss = Pe\,ss + Gdbs – Prbs$

Finalement :

$Pebs = Prss + Gdbs+ Lcbs + Pe\,ss – Prbs$

V. Choix du type de Dimensionnement

Le déploiement du réseau peut être limité par la capacité, ou par la portée. 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.

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

1. Dimensionnement suivant la capacité

Pour un déploiement limité par la capacité, il est nécessaire de déployer les BS avec un espacement entre les BS suffisant de servir tous les utilisateurs dans le système. Les services supposés à être offerts sont dans le tableau suivant :

Type d'utilisateur	Description du service
Résidentiel	1 Mbps
Résidentiel VOIP	2 Mbps
PME (petite et moyenne entreprise)	4 Mbps
Grandes entreprise et professionnels	8 Mbps

Tableau 6: Métriques utilisées pour calculer les conditions des débits des données

le tableau ci-dessous représente un intervalle typique des conditions de la densité des données pour les environnements urbains, sous urbains et ruraux pour une zone métropolitaine moyenne basée sur les services définis dans ce tableau.

	Urbaine	Sous urbaine	Rurale
Densité résidentielle pénétration	4000 à 8000 5 à 10%	800 à 1500 5 à 10%	200 à 600 5 à 10%
Densité des PME Pénétration	400 à 600 2 à 5%	50 à 100 2 à 5%	10 à 30 2 à 50%
Intervalle de densité des données	10 à 40 Mbps/Km²	2 à 7 Mbps/Km²	0.5 à 2 Mbps/Km²

Tableau 7: Condition typique des débits pour une zone métropolitaine moyenne

- **Détermination du Trafic par abonné**

Généralement, les problèmes de capacité sont inhérents à la liaison descendante (DL), vue l'asymétrie qui domine la plupart des services paquet hauts débits, c'est pour cela que nous nous intéressons au lien descendant lors de l'évaluation des besoins en trafic. Pour une classe donnée l'estimation de la bande requise par abonné est donnée par :

$$T_{DL/abonné} = \sum D_{S\text{-}DL} * TC_{/service}$$

Avec :

$T_{DL/abonné}$: Trafic moyen par abonné pour le lien descendant (Kb/s).

$D_{S\text{-}DL}$: Débit moyen par service.

$TC_{/service}$: Taux de contention du service.

N_s : Nombre de services dans la classe.

Remarque :

La notion de taux de contention pour un service donné est introduite afin de tenir compte du fait que certains types de service présentent un trafic en rafale ce qui est le cas de l'Internet. Ce taux dépend des applications et des services demandés par les clients ; Si ces services se limitent à la consultation des emails et à la navigation web, un taux de contention élevé peut être pris et ce à l'encontre des applications gourmandes en bande passante comme la vidéoconférence. Par exemple, si un service est défini avec TC = 1/10, alors la bande passante offerte est partagée entre 10 utilisateurs.

Détermination du Trafic agrégé pour une zone donnée

Soit T_i le taux de pénétration de la technologie WIMAX pour l'opérateur X dans la zone d'étude, Il représente le ratio entre le nombre d'abonnés potentiels et le nombre total d'habitants dans la zone. Soit T_i le pourcentage d'abonnés de chaque classe d'usagers dans l'ensemble N d'abonnés dans la zone. Nous pouvons alors déterminer le trafic total sur le lien descendant (DL) comme suit:

$$D_{DL} = T_p * N * \sum_{i=1}^{N_{ab}} T_i \, (T_{DL/ab})_i$$

Avec:

D_{DL}: débit total requis sur le DL

$T_{DL/ab}$: Débit total requis par abonné appartenant à la classe de service i.

Détermination de la capacité moyenne par secteur

Vu que chaque modulation se caractérise par une efficacité spectrale différente, la capacité effective du canal ne peut être déterminée qu'en connaissant le profil (couple modulation-codage) utilisé par chaque client partageant ce canal ce qui est difficile à relever. Et comme il est difficile de prévoir la distribution des abonnés dans la zone surtout avec l'introduction des concepts de nomadisme et de mobilité nous supposons lors de notre dimensionnement que les abonnés sont distribués uniformément dans la zone objet d'étude et qu'ils utilisent tous le même type d'équipement indoor ou outdoor.

Si on suppose que :

Pi : Pourcentage d'usagers opérant à la modulation i

Di : Débit brut correspondant à la modulation i

N : Nombre total de modulations

Alors le débit brut moyen par secteur serait donc de :

$$D_{moy/sect} = \sum_{i=1}^{N} P_i * D_i$$

D'après Hoymann et al le "overhead" MAC pour les systèmes HiperMan (s'applique également à sa cousine la norme 802.16-OFDM-TDMA) est approximée à 10% conséquent le débit moyen réel par secteur serait de : $D_{Rmoy/sect} = 0.9 * D_{moy/sect}$

Le nombre maximum d'usagers pouvant se connecter à un secteur serait calculé de la manière suivante :

$N_{max\text{-}usagers/secteur} = D_{Rmoy/sect} / D_{DL}$

Avec :

$N_{max\text{-}usagers/secteur}$: nombre maximum d'usagers supporté par secteur

$D_{Rmoy/sect}$: Capacité moyenne par secteur

D_{DL}: Besoin en trafic sur le DL

Nous pouvons à partir de cette équation déduire le nombre total de secteurs nécessaires grâce à la formule suivante:

$N_{secteurs} = N_{usagers\text{-}tot} / N_{max\text{-}usagers/secteur}$

Avec :

$N_{secteurs}$: Nombre total de secteurs requis

$N_{usagers\text{-}tot}$: Nombre total d'abonnés dans la zone de service

$N_{max\text{-}usagers/secteur}$: Nombre maximum d'usagers par secteur

A partir du nombre total de secteurs requis et de la configuration de la BS nous pouvons déduire le nombre nécessaire de stations de base avec l'équation suivante :

$N_{BS} = N_{secteurs} / N_{secteurs/BS}$

2. Dimensionnement suivant la portée ou la couverture

Un autre scénario de déploiement est de déployer un nombre minimum des BS nécessaires pour créer une couverture sur une surface particulière, et on ajoute des capacités si on a besoin, Les capacités ajoutées peuvent être des nouveaux canaux dans chaque BS dans le cas où on a une disponibilité spectrale, ou on va installer des nouvelles BS si on n'a pas un spectre disponible.

Il est clair qu'il est moins cher d'ajouter des nouveaux canaux, au lieu d'ajouter des nouvelles BS, cela revient aux coûts élevés des équipements des BS.

La Figure suivante montre un déploiement de 3 BS pour assurer la couverture d'une surface égale à 60 Km², dans la bande de 2.5 GHz. Lorsque des nouveaux canaux sont additionnés pour augmenter la capacité d'une BS, il n'est pas nécessaire d'ajouter les canaux simultanément, mais ils peuvent être ajoutés à des spécifiques BS pour répondre aux besoins des utilisateurs.

Détermination de la portée d'une cellule

Pour couvrir une surface, on doit déterminer le nombre de stations de base requises, pour cela le rayon de couverture ou la portée d'une station de base doit être calculé. Il s'agit en premier temps d'estimer l'affaiblissement de parcours maximum en utilisant le bilan de liaison.
Ensuite, Il est question de calculer la portée maximale ou le rayon de couverture maximale en utilisant les modèles de propagation conformément au type de terrain d'étude.

L'étape suivante consiste à déterminer le nombre de stations de base donné par la formule suivante :

$N_{BS}=C_{total}/C_{BS}$

Avec :
N_{BS}: est le nombre de stations de base requise pour la couverture
C_{total}: est la surface totale à couvrir
C_{BS}: est la couverture d'une station de base basée sur la puissance maximale telle que :

$C_{BS}= (3*3^{1/2}*R_2)/2$ ou encore $C_{BS} =2*6R_2$

Remarque :
Au final le nombre de stations de base serait le maximum du nombre issu de la méthode orientée capacité et de celle orientée portée ou bien orientée couverture.
$N_{BS} =\text{Max}\ ((N_{BS})_{capacité}, (N_{BS})_{couverture})$

Impact de la hauteur de la station de base pour le WIMAX

Généralement la hauteur de l'antenne varie entre 10 et 30 m. Son choix dépend étroitement de la zone à couvrir. En fait, la structure de super-cellules, généralement utilisée dans les zones rurales à faible densité d'abonnés, se base sur un nombre limité de sites qui sont hauts, le principal objectif étant d'assurer la plus grande couverture possible.
Pour les zones urbaines denses les supports sont généralement les plus courts afin de limiter l'effet d'interférence.

VI. Dualité portée-débit

Dans cette section on va utiliser les équations définies précédemment à savoir le path loss et quelques équations du bilan de liaison pour déterminer une relation reliant le débit et la portée.

L'équation correspondante pour d>d0 est :

PL = (A+10γLog10(d/d0)) + Xf + Xh + s

Les paramètres numériques choisis sont consignés dans le tableau ci-après :

Et ainsi, le path loss en fonction de la distance se présente de la manière suivante :

Pour un terrain du type A :

PLA(d) = 47.95Log10(0.01d) + 94.76 (dB)

Pour un terrain type B :

PLB(d) = 43.75Log10(0.01d) + 94.76

Pour un terrain du type C :

PLC(d) = 41.16Log10(0.01d) + 94.76

Paramètre	**Valeur**
f(GHz)	**3.5**
A=20 $Log_{10}(4\Pi d0/\lambda)$	**41.2249**
h_b	**20**
Γ=a-b h_b +c/ h_b	**3.75 pour terrain A** **4.017 pour terrain B** **4.477 pour terrain C**
X_f (dB)	**1.6**
H_r (m)	**2**
X_h (dB)	**0**
S (dB)	**10**

Tableau 8: Paramètres de simulation de l'affaiblissement de parcours

On a ainsi trouvé le PL en fonction de d, il suffit maintenant de trouver l'affaiblissement de parcours en fonction du débit pour pouvoir déduire le débit en fonction de la portée.

D'après les équations :

PIRE : P_e-L+G_e
Et

dB=20 Log_{10} (P1/P2)

On a

$R_x = (E_b/N_0) - 10Log (W/R_h) + N_w+N_F$
$L = PIRE – R_x + G_{SS} – L_{SH} - L_{env} - L_r – MG_{link} - MG_{fade}$

En se basant sur des les paramètres présentés dans le tableau suivant :

Paramètres	**valeur**
Sensibilité de la réception Rs (dBm)	**-84**
Puissance Isotrope Rayonnée equivalente (PIRE)(W)	**37**
MG_{fade}	**10**
Perte au niveau du récepteur	**2**
Gain de l'antenne émetrice G_{tx} (dBi)	**23.5**
Perte engendrée l'environnement	**10**

Tableau 9: Paramètres bilan de liaison

On obtient alors :

$PL(d) = 211.69 + 10Log(3.5/R_b)$
Mais d'après les équations :

PIRE : P_e-L+G_e

Et

dB=20 Log_{10} (P1/P2)

Et

$Rx= (E_b/N_0)-10 Log (W/R_h)+N_W+N_F$

Donc:

Pour un terrain de type A

R_b = 3.5*10^11.69*(0.01d)^-4.795

Pour un terrain du type B

R_b = 3.5*10^11.69*(0.01d)^-4.375

Et pour un terrain du type C

R_b = 3.5*10^11.69*(0.01d)^-4.116

VII. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons cerné les données indispensables au processus de planification, puis on a beaucoup insisté sur le bilan de liaison pour calculer le rayon d'une cellule. Tout en choisissant un modèle de propagation pour simuler également le débit en fonction de la portée. Toutes ces notions seront adoptées par la suite pour la spécification et l'implémentation de notre outil dans le troisième chapitre.

Chapitre III :

Implémentation de l'outil

I. Introduction

Dans le chapitre précédent, nous avons présenté les modèles et les règles de planification d'un réseau WIMAX.

Dans ce chapitre, on va entamer tout d'abord le langage de programmation adopté ainsi que l'environnement de développement utilisé pour l'élaboration de notre outil de calcul.

Ensuite, on va présenter les taches réalisées.

II. Le langage JAVA

Au cours de la conception de notre outil, on a jugé indispensable de choisir un langage de programmation largement répandu et plus convivial, à cet égard, on a pensé que le JAVA peut être considérée parmi les meilleur choix.

Le langage Java est un langage de programmation informatique orienté objet, qui vu le jour au sein de la société SUN Microsystems en 2001.

Une de ses plus grandes forces est son excellente portabilité : une fois votre programme créé, il fonctionnera automatiquement sous Windows, Mac, Linux, etc.

III. Conception de l'outil

Dans l'étape de conception de notre outil « planificateur Wimax », l'utilisateur contribue de manière flexible au choix des paramètres d'entrées, ceci a pour objectif de les rapprocher de ses besoins et pouvoir ainsi obtenir des résultats appliqués directement au processus de planification.

Figure 14: Planification de la couverture

1. Structure de la base de données :

La base de données se compose de plusieurs tables suivantes :

- Table de données des projets
- Table de données des sites
- Table de données d'émetteur et de récepteur
- Table de données des antennes
- Table de données des câbles
- Table de données des connecteurs
- Tables de données des modulations et de codage
- Table de données des modèles de propagation
- Table de données de la bande des fréquences

La figure suivante présente la modélisation conceptuelle de la base de données :

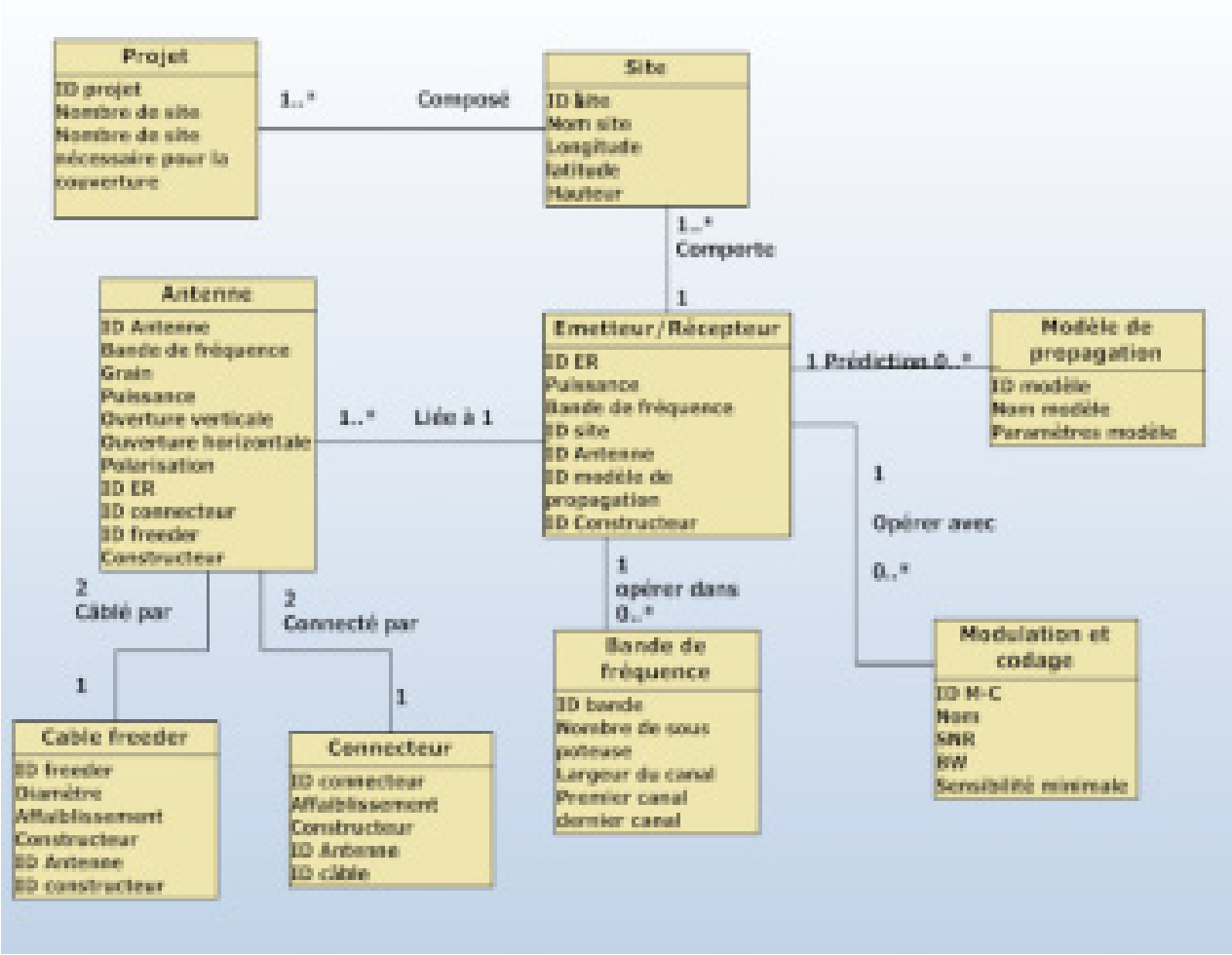

Figure 15: Modélisation conceptuelle de la base de données

IV. Réalisation

1. Interface d'accueil et procédure d'authentification

Voici l'interface d'accueil de notre outil :

Figure 16: Interface d'accueil de l'outil

L'accès à l'application « planificateur Wimax », se fait via l'introduction d'un identifiant et d'un mot de passe dans le but de limiter l'accès.

Voici l'interface d'authentification de l'accès :

Figure 17: Authentification de l'accès à l'application

Après l'authentification voici la fenêtre qui va afficher :

Figure 18: Menu

2. Gestion des projets

L'utilisateur doit commencer par l'ouverture de la fenêtre des projets dans le but de garantir la sauvegarde de son travail dans la base de données.

Pour effectuer la tâche de planification, il existe deux choix pour l'utilisateur de l'application :

- Récupération des données de l'un de ses anciens projets afin d'effectuer des modifications ou un ajout d'autre nouveaux sites.
- Définir un nouveau projet

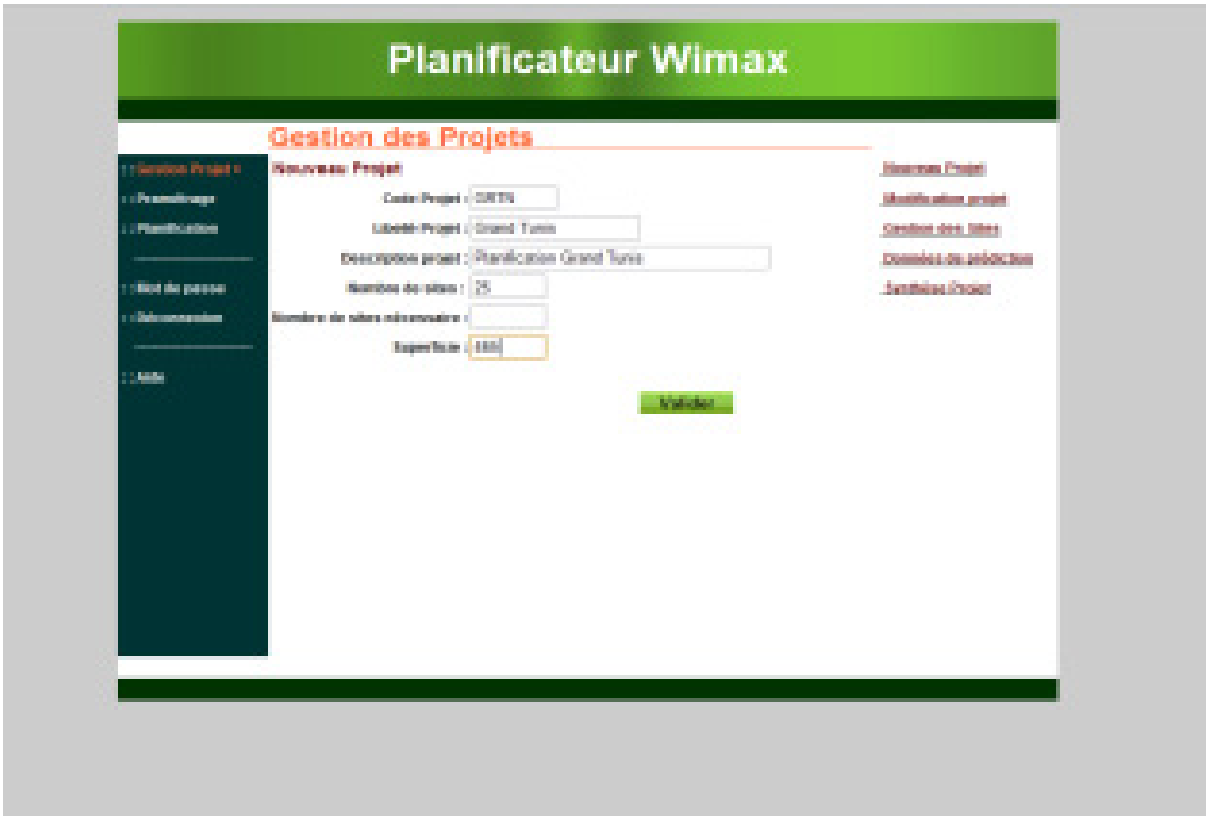

Figure 19: Fenêtre de nouveau projet

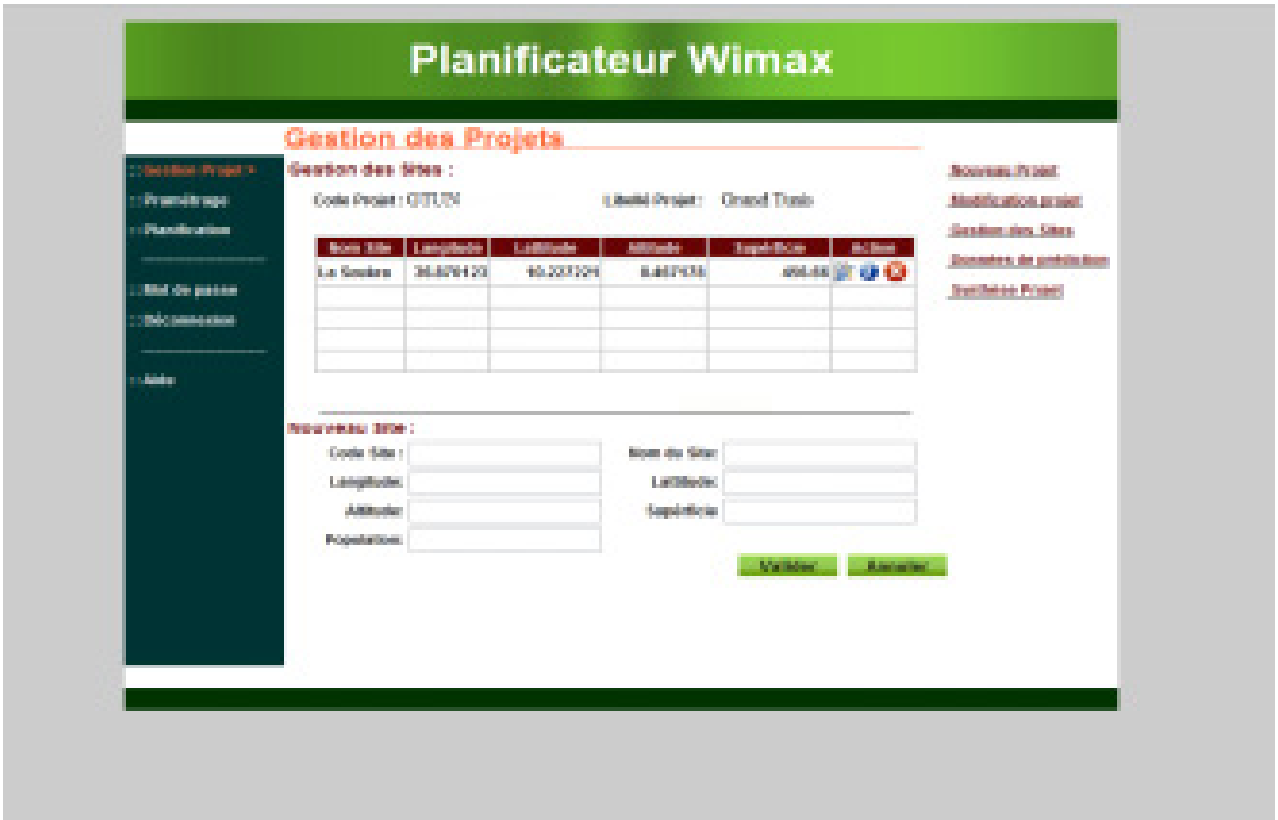

Figure 20: Fenêtre de Gestion des projets

Après l'affichage de cette fenêtre, l'utilisateur peut effectuer les tâches suivantes:

- Création d'un nouveau site
- Modification des propriétés d'un site existant
- Le calcul de la prédiction de la couverture d'un site existant
- Suppression d'un site

3. Planification de la couverture

Après valider la gestion des sites, une fenêtre va afficher. Cette fenêtre est divisée en deux parties ; une pour remplir les données et l'autre pour afficher le résultat.

Les données sont divisées en quatre classes :

- Paramètres de l'OFDM (Longueur de FFT, nombres de sous canaux, nombre de sous porteuses, modulation et codage,…),
- Paramètre morphologiques (modèle de propagation, perte de fadding,…),
- Paramètres d'émetteur (antenne, câble, hauteur de l'antenne,…),
- Paramètres de récepteur (antenne, câble, hauteur de l'antenne,…).

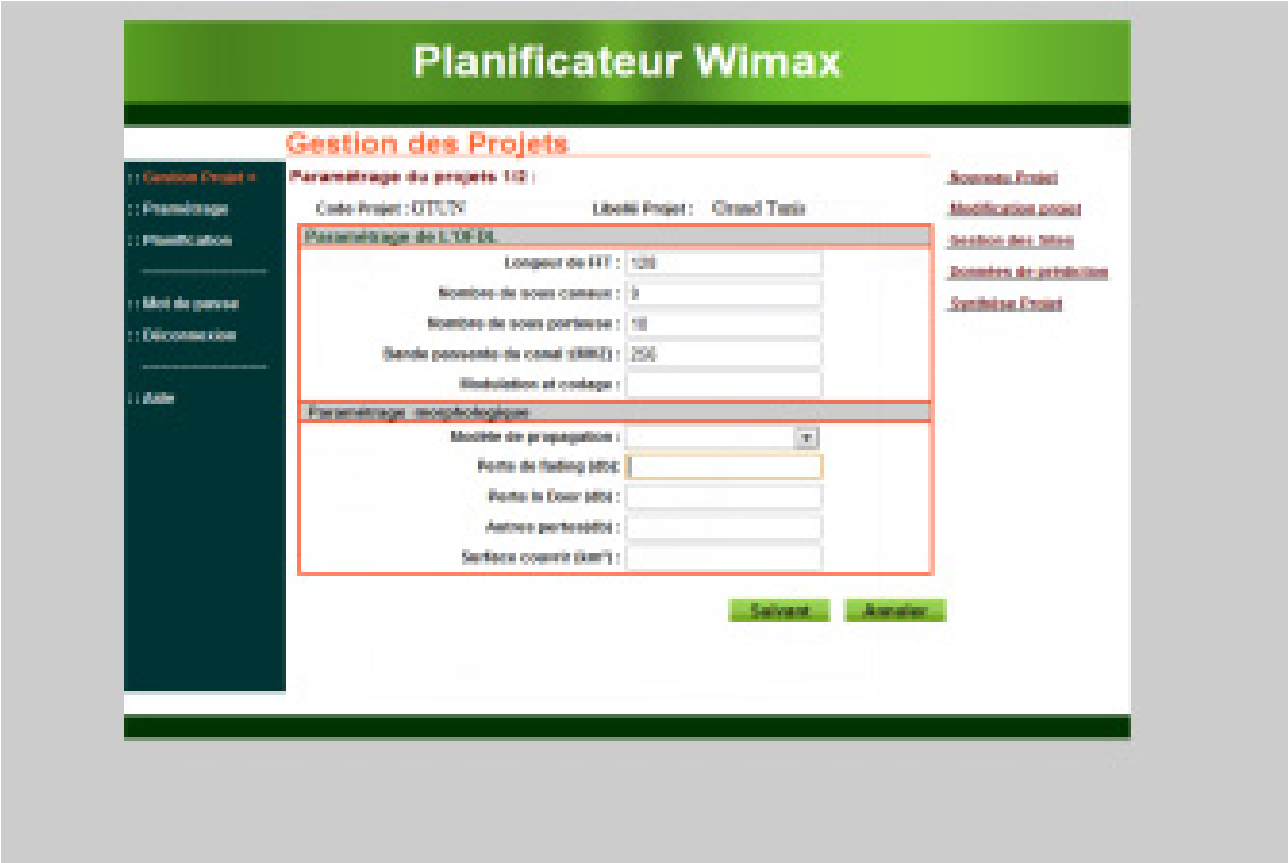

Figure 21: Paramètres de l'OFDM et morphologiques

Figure 22: Paramètre émetteur et récepteur

Une fois l'utilisateur finit de saisir les données, il doit cliquer sur le bouton valider pour calculer la prédiction :

Figure 23: Fenêtre de la prédiction

4. Dimensionnement de la capacité

Pour faire le dimensionnement de la capacité, il existe deux étapes :

- Première étape : l'utilisateur doit introduire le débit et le taux de contention de chaque service pour chaque classe d'abonné. A partir de ces données, le débit moyen par abonné pour chaque classe sera calculé et affiché dans la fenêtre de deuxième étape.
- Deuxième étape : l'utilisateur doit introduire les données suivantes :
  - Pourcentage d'abonné pour chaque classe
  - Surface à servir
  - Taux de pénétration
  - Densité d'abonné

- Débit moyen par site en UL
- Débit moyen par site en DL

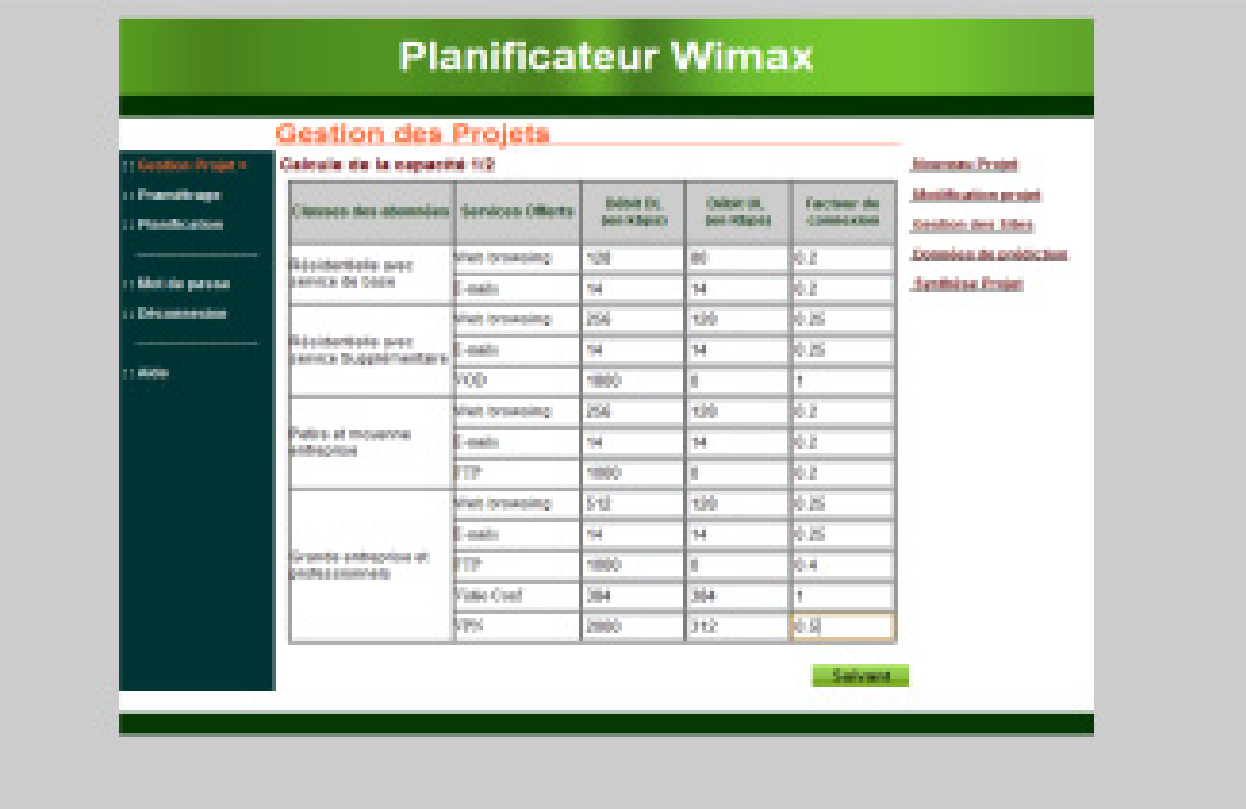

Figure 24: Estimation de trafic par service

Figure 25: stimation de nombre des sites

Figure 26: Fenêtre du résultat

V. Conclusion

Au cours de ce chapitre, nous avons présenté les différentes étapes de l'implémentation de notre outil de planification. Nous avons fait un éclaircissement de la conception de cet outil. Puis on a entamé la première phase en spécifiant les différentes étapes de dimensionnement.

Conclusion générale

Notre objectif principal est de développer un outil de planification d'un réseau WIMAX.

Dans le primer chapitre de ce travail, nous avons présenté le réseau d'accès à large bande passante le WIMAX, ainsi que les spécificités techniques de cette technologie.

Le deuxième chapitre est consacré pour la présentation de différentes règles et modèle de planification d'un réseau WIMAX.

Et pour le dernier chapitre, et suite à cette étude nous avons mis en place ce outil de planification.

Ce projet nous a permis de montrer que l'opération de planification de la couverture est totalement liée au processus du dimensionnement du réseau WIMAX. Dans ce fait, cette opération doit être réalisée en parallèle avec la phase du dimensionnement.

Glossaire

ADSL : Asymmetric Digital Subscriber Line
ATM : Asynchronous Transfer Mode

BS: Base Station (station de base)

CPE : Customer Premise Equipment (équipement d'accès client)

DL: Downlink
DSL: Digital Subscriber Line

ETSI: European Telecommunications Standards Institute

FFT: Fast Fourier Transform
FTP: File Transfer Protocol

HiperMAN: High Performance Metropolitan Area Network

LAN: Local Area Network
LOS: Line of Sight

MAC: Media Access Control
MAN: Metropolitan Area Network
MIMO: Multiple Input Multiple Output
MS: Mobile Station

NLOS: Non Line-of-Sight

OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplex
OFDMA: Orthogonal Frequency Division Multiple Access

PIRE: Puissance Isotrope Rayonnée Equivalente

QoS: Qualite of Service

QPSK: Quadrature Phase Shift Keying

SC: Signal Carrier

SOFDMA: Scalable OFDMA

SNR: Signal to Noise Ratio

TDD: Time Division Duplex

TDMA: Time Division Multiple Access

UL: Uplink

VLAN: Virtual Local Area Network

WIFI: Wireless Fidelity

WIMAX: Worldwide Interoperability for Microwave Access

Biographie

[1] http://www.wimaxforum.org

[2] http://fr.wikipedia.org/

[3] http://utbm2004.free.fr/

[4] http://www.ieee.org

[5] http://www.commentcamarche.net/

[6] PFE OUNIFI Khaled Sup'Com juin 2007