

Cycle de formation des ingénieurs en Télécommunications

*Option :*

Réseaux et Services Mobiles (RSM)

## Rapport de Projet de fin d'études

*Thème :*

### Dimensionnement de la norme 802.16 e

*Réalisé par :*

**Maryelle DOUMBIA**

*Encadrant (s) :*

M. Sami TABBANE  
M. Anis ALLOUCHE  
M. Riadh FRIKHA

Travail réalisé en collaboration avec



Network Expertise Tunisia

Année Universitaire : 2006-2007

*A mes chers parents,  
A mes frères et sœurs,  
Je vous dédie mon travail*

## Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier mon Seigneur Dieu, le Tout-puissant, Lui qui a veillé sur moi et qui a été avec moi tous les jours de ma vie, sans que ce travail n'aurait vu le jour.

Je tiens également à remercier à la Direction de l'Ecole Supérieure des Communications de Tunis pour le cadre qu'il m'a été donné de m'épanouir intellectuel et humainement.

Je remercie profondément Mr Sami TABBANE, professeur à l'Ecole Supérieure des Communications de Tunis pour son soutien et ses conseils avisés.

Je tiens à remercier mes encadreurs, Messieurs Anis ALLOUCHE et Riadh FRIKHA pour leur confiance et leurs remarques au cours de l'élaboration de mon travail au sein de l'entreprise NXT (Network Expertise Tunisia), de même qu'à tout son personnel pour leur accueil chaleureux.

Et enfin, je voudrais terminer par remercier tous ceux et toutes celles qui de près ou de loin, m'ont soutenu, épaulé et qui croient en moi.

## Avant-propos

Ce document a été élaboré dans le cadre d'un projet de fin d'études. Il rend compte du travail réalisé au sein du département Etude de l'Entreprise NXT (Network Expertise Tunisia).

Cette société, fondée en Mai 2002, œuvre principalement dans les domaines de la gestion des projets de Télécommunications ayant trait à la phase de conception, celle de la planification et enfin la phase de dimensionnement des réseaux sans fils.

C'est dans ce contexte que s'inscrit mon projet «Dimensionnement de la Norme 802.16 e », qui consiste à mettre en œuvre un outil d'aide au dimensionnement d'un réseau Wimax mobile.

## Table des matieres

Introduction Générale .....	- 1 -
Chapitre 1 : Norme 802.16 e .....	-2-
<b>Introduction</b> .....	<b>- 2 -</b>
<b>I. Spécificités de la norme 802.16 e</b> .....	<b>- 3 -</b>
<b>I.1 Couche Physique</b> .....	<b>- 4 -</b>
I.1.1 Technique d'accès multiple.....	- 4 -
I.1.2 Correction des erreurs .....	- 5 -
I.1.3 Technique d'adaptation de lien .....	- 6 -
<b>I.2 Couche MAC</b> .....	<b>- 7 -</b>
I.2.1 Sous couche de convergence (CS).....	- 7 -
I.2.2 Couche commune MAC (Common Part Sublayer).....	- 8 -
I.2.2.1 Principe de fonctionnement.....	- 8 -
I.2.2.2 Format des paquets .....	- 9 -
I.2.2.3 Gestion de la Qualité de Service (QoS) .....	- 10 -
I.2.3 Interconnexion couche MAC/couche physique.....	- 12 -
I.2.3.1 Mode de duplexage FDD (Frequency Division Duplexing)...	- 13 -
I.2.3.2 Mode de duplexage TDD (Time Division Duplexing) .....	- 13 -
I.2.4 Gestion de la mobilité .....	- 14 -
I.2.4.1 Contrôle de puissance.....	- 14 -
I.2.4.2 Handover .....	- 15 -
I.2.4.2.1 Hard Handover .....	- 15 -
I.2.4.2.2 Macro Diversity Handover (MDHO).....	- 15 -
I.2.4.2.3 Fast Base Station Switching .....	- 16 -
<b>I.3 Sécurité</b> .....	<b>- 17 -</b>
<b>Conclusion</b> .....	<b>- 18 -</b>
Chapitre 2 : Dimensionnement de la norme 802.16 e.....	-19-
<b>Introduction</b> .....	<b>- 19 -</b>
<b>I Architecture radio Point à Multipoint</b> .....	<b>- 19 -</b>
<b>I.1 Caractéristiques de cette architecture</b> .....	<b>- 19 -</b>
I.1.1 Bande de Fréquence.....	- 19 -
I.1.2 Environnement de propagation .....	- 19 -
I.1.3 Mode de duplexage.....	- 20 -
<b>I.2 Dimensionnement radio</b> .....	<b>- 20 -</b>
<b>I.2.1 Couverture orientée capacité</b> .....	<b>- 21 -</b>
I.2.1.1 Estimation des besoin en trafic.....	- 21 -
I.2.1.2. Détermination du profil des usagers .....	- 22 -
I.2.1.3 Trafic agrégé pour une zone donnée.....	- 23 -
I.2.1.4 Détermination de la capacité moyenne par secteur.....	- 23 -
<b>I.2.2 Couverture orientée couverture</b> .....	<b>- 27 -</b>
<b>I.2.2.1 Modèles de propagation</b> .....	<b>- 27 -</b>
I.2.2.1.a Modèles IEEE 802.16 (SUI Models).....	- 27 -
I.2.2.1.b Modèle COST-231 HATA.....	- 29 -

I.2.2.1.c Modèle ECC-33 .....	- 29 -
I.2.2.2 Bilan de liaison et détermination du rayon maximal de la cellule.....	- 30 -
I.3 Bilan du processus de dimensionnement.....	- 33 -
II Architecture Point à Point (BACKHAULING) .....	- 34 -
II.1 Caractéristiques de cette architecture .....	- 34 -
II.1.1 Bande de Fréquence.....	- 34 -
II.1.2 Environnement de propagation.....	- 34 -
II.1.3 Mode de duplexage.....	- 34 -
II.2 Dimensionnement radio .....	- 35 -
II.2.1 Etude de faisabilité .....	- 35 -
II.2.1.1 Dégagement du trajet .....	- 35 -
II.2.1.2 Effet de la courbure de la Terre.....	- 36 -
II.2.2 Bilan de liaison .....	- 37 -
II.3.Le Bilan du processus de dimensionnement .....	- 39 -
<i>Conclusion</i> .....	- 41 -
Chapitre3 : Implémentation de l'outil.....	-43-
<i>Introduction</i> .....	- 43 -
I Spécification des besoins .....	- 43 -
I.1 Objectif de la spécification .....	- 43 -
I.2 Avantages de l'application.....	- 43 -
I.3 Spécification des besoins fonctionnels .....	- 44 -
I.4 Spécification des besoins non fonctionnels .....	- 44 -
I.5 Diagrammes UML .....	- 44 -
I.6 Description générale de l'application .....	- 44 -
I.6.1 Description des acteurs.....	- 44 -
I.6.2 Cas d'utilisation générale .....	- 45 -
I.7 Description des cas d'utilisation .....	- 46 -
I.7.1 Authentification .....	- 46 -
I.7.2 Projet PmP.....	- 46 -
I.7.3 Projet PtP .....	- 50 -
I.7.4 Générer rapport .....	- 52 -
II Conception .....	- 53 -
II.1 Conception de la base de données.....	- 53 -
II.1.1 Modèle conceptuel.....	- 53 -
II.1.1.1 Projet PtP.....	- 53 -
II.1.1.2 Projet PmP .....	- 55 -
III Réalisation.....	- 56 -
III.1 Projet PmP.....	- 56 -
III.2 Projet PtP .....	- 59 -
<i>Conclusion</i> .....	- 62 -
Conclusion Générale .....	- 63 -
Bibliographie/Netographie .....	- 64 -
Annexes .....	- 66 -

## Liste des Figures

FIGURE I.1 : STRUCTURE EN COUCHE DE LA NORME 802.16 [IEEE STD 802.16].....	- 3 -
FIGURE I.2 : AGENCEMENT DES FREQUENCES SOUS PROTEUSES DANS L'OFDMA .....	- 4 -
FIGURE I.3 : DIPOSITION DES SOUS CANAUX DANS LE SENS MONTANT .....	- 5 -
FIGURE I.4 : TECHNIQUE D'ADAPTATION DU LIEN .....	- 6 -
FIGURE I.5 : PRINCIPE DE CHANGEMENT DE PROFILS .....	- 6 -
FIGURE I.6 : FORMAT DES PAQUETS MAC PDU .....	- 9 -
FIGURE I.7 : MECANISME DE GESTION DE LA QUALITE DE SERVICE .....	- 12 -
FIGURE I.8 : TRAMES EN FDD.....	- 13 -
FIGURE I.9 :TRAMES EN TDD.....	- 14 -
FIGURE I.10 : REALISATION DU HARD HANDOVER.....	- 15 -
FIGURE I.11 : MACRO DIVERSITY HANDOVER .....	- 16 -
FIGURE I.12 : FAST BASE STATION SWITCHING.....	- 17 -
FIGURE II.1 : METHODOLOGIE DU DIMENSIONNEMENT .....	- 21 -
FIGURE II.2 : DEMARCHE POUR ESTIMER LE BESOIN EN TRAFIC .....	- 21 -
FIGURE II.3 : CLASSIFICATION DES SERVICES ET APPLICATIONS EN FONCTION DES BESOINS DES USAGERS.....	- 22 -
FIGURE II.4 : VARIATION DU RAYON EN FONCTION DE LA MODULATION CHOISIE ASSOCIEE A SON SNR.....	- 24 -
FIGURE II.5 : PROPAGATION NLOS .....	- 30 -
FIGURE II.6 : DEMARCHE SIMPLIFIEE POUR LA DETERMINATION DU NOMBRE OPTIMAL DE STATIONS DE BASE.....	- 33 -
FIGURE II.7 : ZONE DE FRESNEL .....	- 35 -
FIGURE II.8 : EFFETS DE LA COURBURE DE LA TERRE.....	- 37 -
FIGURE II.9 : ELEMENTS IMPLIQUES DANS LE BILAN DE LIAISON .....	- 38 -
FIGURE III.1 : ACTEURS DE L'OUTIL .....	- 45 -
FIGURE III.2 : CAS D'UTILISATION GENERAL .....	- 45 -
FIGURE III.3 : COMPOSANTES DU CAS D'UTILISATION CONTRAINTES 2 .....	- 49 -
FIGURE III.4 : CAS D'UTILISATION PROJET PMP.....	- 50 -
FIGURE III.5 : COMPOSANTES DU CAS D'UTILISATION CONTRAINTES 1 .....	- 51 -
FIGURE III.6 : CAS D'UTILISATION PROJET PTP.....	- 52 -
FIGURE III.7 : MODELE CONCEPTUEL DU PROJET PTP .....	- 54 -
FIGURE III.8 : MODELE CONCEPTUEL DU PROJET PMP .....	- 55 -
FIGURE III.9 : PAGE DE CHOIX DE L'ARCHITECTURE DU WIMAX.....	- 56 -
FIGURE III.10 : CHOIX POUR DONNER LES INFORMATIONS CLIENTS .....	- 57 -
FIGURE III.11 REMPLISSAGE DU FORMULAIRE CONCERNANT LE PROJET ET LA ZONE CIBLE.....	- 57 -
FIGURE III.12 : CARACTERISTIQUES DE LA ZONE CIBLE .....	- 58 -
FIGURE III.13 : SOLUTION OPTIMALE DU PROJET.....	- 58 -
FIGURE III.14 : FORMULAIRE DE DEPART DU PROJET PTP .....	- 59 -
FIGURE III.15 : DETAILS DES LIEN ET LA LE ZONE DE DEPLOIEMENT .....	- 60 -
FIGURE III.16 : BILAN DE LIAISON .....	- 61 -

## Listes des Tables

TABLE II.1 : MOTIVATIONS POUR LE FDD .....	- 20 -
TABLE II.2 : DETERMINATION DES CARACTERISTIQUES DE CHAQUE COUPLE MODULATION/CODAGE.....	- 25 -
TABLE II.3 : PRINCIPAUX PARAMETRES DU MODELE IEEE 802.16 (ERCEG ET AL. 1999).....	- 28 -
TABLE II.4 : ENSEMBLE DES ELEMENTS POUR L'ETABLISSEMENT D'UN BILAN DE LIAISON.....	- 31 -
TABLE II.5 : MOTIVATIONS POUR LE TDD .....	- 35 -
TABLE II.6 : TABLEAU RECAPITULATIF DU BILAN DE LIAISON .....	- 39 -

## Liste d'abréviation

AES	Advanced Encryption Standard
ATM	Asynchronous Transfer Mode
BPSK	Binary Phase Shift Keying
BLR	Boucle Locale Radio
BS	Base Station
DL	Downlink
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
FDD	Frequency Division Duplex
HiperMAN	High Performance Metropolitan Area Network
HSDPA	High Speed Downlink Packet Access
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
LOS	Line of Sight
MD5	Message digest 5
NLOS	Non Line-of-Sight
OSI	Open System Interconnection
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QoS	Quality of Service
S-OFDMA	Scalable Orthogonal Frequency Division Multiple Access
TDD	Time Division Duplex
UL	Uplink
UMTS	Universal Mobile Telecom System
VoIP	Voice over Internet Protocol
Wifi	Wireless Fidelity
Wimax	Worldwide Interoperability for Microwave Access

## Introduction Générale

Le WiFi a été le premier protocole adopté, de la technologie sans fil à avoir conquis une grande partie des utilisateurs pour l'établissement des connexions sans fil entre les machines. Actuellement de nombreux protocoles sans-fil sont disponibles, on retrouve notamment l'UMTS, le HSDPA ou encore le WiMax.

Les acquis engendrés par le Wifi, entraînent la naissance de nouveaux besoins exigeant désormais, d'une part un niveau de sécurité assez important des protocoles utilisés. Et d'autre part, une garantie de la qualité de service pour pouvoir assurer des services comme la VoIP et les diffusions multimédia.

Il est à noter que l'ensemble de ces nouvelles exigences est pris en compte dans le WiMax. En effet, le WiMax est conçu pour couvrir de longues distances avec un débit élevé. De plus la version « mobile », la norme 802.16 e est sensée donner à l'utilisateur en mouvement les mêmes avantages que ceux d'un utilisateur fixe ayant accès à du haut débit.

C'est dans les soucis de satisfaire efficacement les besoins de l'utilisateur que s'insère notre travail, qui a pour but l'élaboration d'un outil qui aidera au dimensionnement de la norme 802.16 e. Pour ce faire, notre travail sera articuler autour de trois chapitres.

Dans le premier chapitre, il s'agira de présenter les spécificités de la norme 802.16 e. Dans le chapitre 2 il sera question de l'élaboration de la méthodologie de dimensionnement de la norme 802.16 e. Enfin, le troisième chapitre sera axé sur l'élaboration d'un outil d'aide au dimensionnement de la norme 802.16 e.

### Introduction

La première technologie métropolitaine sans fil a avoir attiré l'intérêt d'un grand nombre de professionnels du monde des Télécommunication est la boucle locale radio (BLR). Cependant, beaucoup de candidats ont peu à peu déclarés forfaits quant à l'utiliser, d'une part, du fait du non retour sur investissement. Et d'autre part, parce que la BLR ne permet principalement que la mise en relation d'un utilisateur d'un service avec les points d'accès du fournisseur d'accès ou constitue les points d'entrée du réseau de transport d'un opérateur de Télécommunication.

Le Wimax, apparaît par contre comme étant la technologie pour les réseaux métropolitains sensée combler les manques de la boucle locale radio, en rendant possible l'interconnexion des différents points d'accès au niveau d'une ville. De plus, le Wimax garantit une connectivité du même type que les lignes louées utilisées par les opérateurs de télécommunications pour le transport de l'Internet ou de la téléphonie.

Aussi, dans la suite nous allons décrire les caractéristiques principales du Wimax connue sous la dénomination de 802.16 e. Nous nous concentrerons sur les spécifications des couches inférieures du modèles OSI afin d'évaluer l'impact de ces dernières sur les contraintes du dimensionnement de la norme.

### I. Spécificités de la norme 802.16 e

La norme 802.16 e est basée sur une architecture en deux couches :

- La couche 1 ou couche physique a pour fonction la transmission et le traitement physique de l'information,
- La sous couche *MAC* (Medium Access Control) appartenant à la couche de liaison de données, contrôle les liaisons de signalisation et s'occupe du transfert en bloc des données de signalisation.

La figure I.1 [1] présente la structure en couche relative à la norme 802.16. La couche 1 est reliée à la sous couche MAC de la couche 2 par un cercle matérialisant des points d'accès aux services.

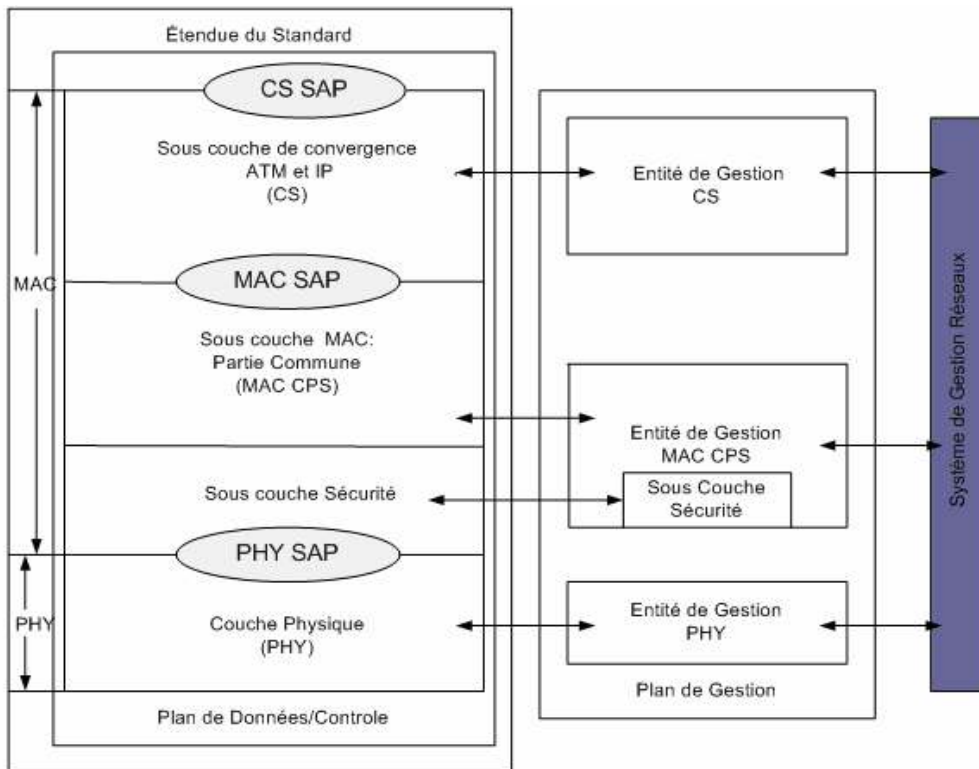


Figure I.1 : Structure en couche de la norme 802.16 [IEEE std 802.16]

### I.1 Couche Physique

Elle est caractérisée par l'utilisation du multiplexage par répartition en fréquence sur des porteuses orthogonales (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing OFDM*), la technique de multiplexage qui consiste à subdiviser la bande de transmission en N sous canaux, conduisant à une augmentation de la durée symbole. Cela revient à dire, qu'un flux de données à transmettre est divisé en plusieurs sous flux de données parallèles, qui seront modulés et transmis sur des sous bandes orthogonales différentes.

L'augmentation de la durée symbole accroît la robustesse de l'OFDM face au *delay spread* dû aux trajets multiples. De plus, l'introduction d'un préfixe cyclique permet de lutter contre les Interférences Inter Symbole (ISI).

La modulation OFDM est réalisée avec la Transformée de Fourier Rapide Inverse (*Inverse Fast Fourier Transform IFFT*) avec un nombre important de sous canaux avec une complexité moindre.

#### I.1.1 Technique d'accès multiple

La technique d'accès adoptée est l'accès multiple adaptatif par répartition de fréquences orthogonales [2] (*Scalable Orthogonal Frequency Division Multiple Access S-OFDMA*), qui consiste octroyer un canal de transmission à un utilisateur en fonction des conditions de propagation et du débit voulu.

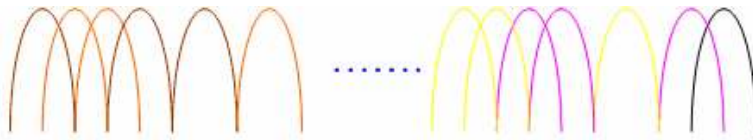


Figure I.2 : Agencement des fréquences sous porteuses dans l'OFDMA

Le canal de transmission est un intervalle de temps associé un sous canal constitué d'un groupe de fréquences porteuses, qui ne sont pas nécessairement adjacentes comme le montre la figure I.2.

La division en sous canal permet de définir les sous canaux qui peuvent être assignés aux stations d'abonné (*Subscriber Station SS*) selon leurs états de canal et le débit demandé.

En utilisant cette division, dans la même fente de temps, une station de base mobile WiMAX (*Base Station*) peut transmettre plus de puissance aux dispositifs d'utilisateur avec SNR assez faible (rapport de Signal à Bruit) et inversement.

Dans le sens montant (UL), c'est-à-dire de la station abonné à la station de base, la station abonné peut se voir assigné un à plusieurs sous canaux

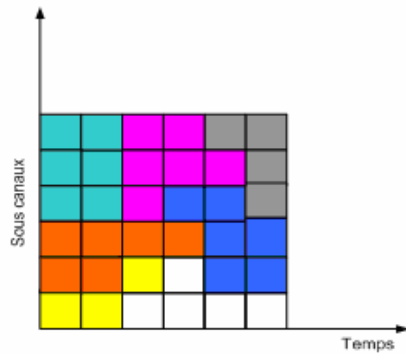


Figure I.3 : Disposition des sous canaux dans le sens montant

Dans le sens descendant (DL), c'est-à-dire de la station de base à la station abonné, un sous canal peut être prévu pour plusieurs récepteurs différents.

### I.1.2 Correction des erreurs

Le mécanisme de correction d'erreur FEC (Forward Error Correction) utilisé est celui de Reed-Solomon GF (256), avec des tailles de blocs variables. Le FEC est couplé à une convolution de code pour transmettre de manière robuste les données critiques, tel que les trames de contrôle et d'accès initial. Les options FEC sont couplées à la modulation afin de former des profils de burst de robustesse modulable et efficace.

Les trames sont divisées en plusieurs slots physiques afin d'allouer la largeur de bande et l'identification des transitions physiques. A mesure que le débit augmente, le temps d'émission diminue.

En outre, d'autres techniques de contrôle d'erreur sont possibles comme le HARQ (*Hybrid Automatic Repeat reQuest*), et IR (*Incremental Redanduncy*) permettent d'améliorer les performances du système.

### I.1.3 Technique d'adaptation de lien

Au niveau de la norme, il est défini trois types de modulation qui sont la modulation QPSK, 16-QAM, et 64-QAM allant de la plus robuste à la plus efficace en terme de débit. En effet, plus une modulation est robuste aux interférences et au bruit, plus le débit utile est faible.

L'adaptation de lien consiste à pouvoir garantir une qualité de service en fonction d'un profil défini. Cette adaptation se fait au niveau du *burst*.

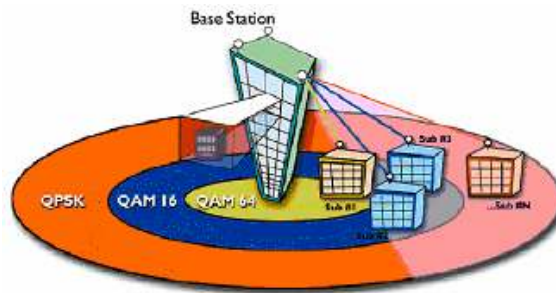


Figure I. 4 : Technique d'adaptation du lien

On appelle profil un couple « *codage/modulation* », et selon la qualité du signal reçu par le récepteur, il peut choisir de passer à un profil plus ou moins robuste.

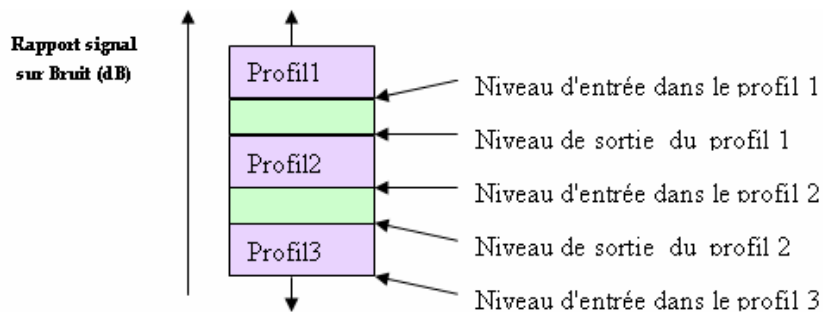


Figure I. 5 : Principe de changement de profils

Comme le montre la figure ci-dessus, le passage d'un profil à un autre se fait sur la base d'hystérésis pour assurer la stabilité de notre système.

De plus, l'adaptation de lien [3] est possible en ayant recourt aux systèmes d'antennes intelligentes (*Smart Antenna*) ou aux antennes MIMO (*Multiple Input Multiple Output*) qui ont la capacité de réagir automatiquement et en temps réel dans un environnement imprévisible. Ils réduisent l'interférence en maintenant le lobe principal de l'antenne dans la direction du signal utile, tout en permettant l'augmentation de la capacité du réseau.

## **I.2 Couche MAC**

Cette couche est elle-même séparée en différentes couches, comme le présente la figure 1.1 :

- ✓ ***La sous-couche de convergence des services (Service Specific Convergence Sublayer (CS))*** : joue le rôle d'interface avec les couches supérieures ou bien les systèmes externes. Elle a entre autre la charge de classer les paquets selon leur provenance et leur destination afin de les répartir sur la bonne connexion MAC.
- ✓ ***La sous-couche commune (MAC Common Part Sublayer) (MAC CPS)*** est le coeur de la couche MAC à savoir qu'elle s'occupe de l'allocation de bande, l'établissement et la maintenance des connexions. Elle reçoit des paquets provenant de la CS que cette dernière aura classifié en connexions de différentes qualités de service.
- ✓ ***La sous-couche de sécurité (Security Sublayer)*** : Elle permet l'authentification d'accès et l'établissement de la connexion. Elle est également la couche de sécurité s'occupant du cryptage des données, de l'échange des clefs ...

### **I.2.1 Sous couche de convergence (CS)**

Elle est dotée de deux spécifications, l'une étant basée sur un mode de transfert de cellules (ATM) et l'autre sur un mode de transfert de paquets :

- ***La couche de convergence ATM*** accepte des cellules ATM d'une couche supérieure, les classifie, et délivre des PDU à la sous-couche MAC CPS. Elle sert d'interface avec des réseaux ATM,
- ***La couche de convergence IP « packet CS »*** est utilisée pour interfacer avec des couches supérieures fonctionnant avec des paquets comme la couche IP ou Ethernet, mais d'autres spécifications pourront être rajoutées dans le futur.

## I.2.2 Couche commune MAC (Common Part Sublayer)

Cette couche est la partie importante pour notre étude puisque c'est elle qui détermine la manière dont le médium est partagé entre toutes les connexions.

La couche MAC est *orientée connexion* (même dans le cas d'un service non orienté connexion). Chaque connexion dispose d'un unique identifiant sur 16 bits : le CID (Connection Identifier), et chaque flux de la connexion possède un SFID (Service Flow Identifier) qui identifie les spécificités du flux de données en termes de besoins (QoS, besoin en bande passante, etc.).

### I.2.2.1 Principe de fonctionnement

Un réseau utilisant un médium partagé requiert un mécanisme efficace de partage d'accès au média. La voie descendante, de la BS vers l'abonné, opère donc sur la base d'un système point à multipoints. Ce standard, opère donc de manière sectorielle de façon à pouvoir créer un système cellulaire. Tous les SS d'un même secteur reçoivent la même transmission sur *la même fréquence*. La discrimination des messages se fait donc grâce au contrôle d'adresse pour chaque SS.

Dans la direction inverse, les SS quant à elles partagent le médium radio selon un système de requêtes. En ce sens qu'en fonction de la classe de service utilisée, la SS aura ou non la possibilité d'émettre ses messages, cette opportunité étant définie par la BS. Ces opportunités sont transmises aux stations abonnées par la station de base après la réception d'une requête de demande de connexion.

Le partage de la bande passante s'effectue selon différentes procédures :

- ✓ "Unsolicited bandwidth grants" ou allocation de bande non réclamée,
- ✓ "Polling" ou allocation de bande par système d'interrogation des SSs,
- ✓ "Contention procedures" ou allocation de bande selon un système de contention.

L'utilisation de ces procédures se fera en fonction des données devant être transmises. Par exemple, les services utilisant de la transmission de données sont très tolérants en terme de retard alors que des services temps réel comme de la voix ou de la vidéo ont besoins de bande passante de manière quasi-instantanée.

Dans le cas présent la couche MAC utilise un système de connexions c'est-à-dire qu'elle va gérer des connexions plutôt que des machines. Cela permet d'avoir par exemple plusieurs individus connectés avec chacun leur machine sur une même station de base. Les connexions peuvent être gérées dynamiquement à savoir qu'on peut changer leur qualité de service, les détruire, en créer de nouvelles etc. A chaque connexion est associé un flux de service à savoir un certain débit, un retard maximum autorisé, dans le UL et le DL

Une station abonnée transmet donc des requêtes de bande passante pour chaque connexion qui lui est associée. La station de base quant à elle, alloue la bande soit par connexion, soit par SS.

Chaque SS doit avoir une adresse unique dite adresse MAC, codée sur 48 bits. Les connexions, quant à elles sont codées sur 16 bits.

Pour transporter les données, la norme 802.16 utilise un format de paquet spécifique décrit dans le paragraphe suivant.

### I.2.2.2 Format des paquets

Les paquets utilisés par la couche MAC (*MAC Protocol Data Unit*) sont illustrés par la figure I.5.

Chaque PDU commence par une entête générique de longueur fixe, suivie par un champ de données qui peut lui-même être constitué de plusieurs sous entêtes et des paquets provenant de la couche de convergence.

La longueur de ce champ est variable en fonction du nombre de sous entêtes et de la taille des paquets à transmettre.

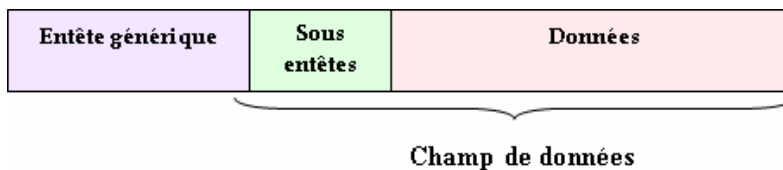


Figure I.6: Format des paquets MAC PDU

Les trames PDU MAC permettent d'envoyer les informations entre les stations de base et les stations clientes. Elle est constituée de deux parties : un entête PDU MAC de longueur fixe, un *payload* de longueur variable, et un CRC optionnel (Cyclic Redundancy Check). La

longueur maximale d'un PDU MAC est de 2048 octets .Il existe deux formats d'en-tête : le format d'en-tête général et le format d'en-tête pour les demandes de bande passante.

Après l'entête, on peut trouver trois types différents de sous entêtes :

- ✓ L'entête de type "grant management" qui va permettre de demander une certaine bande passante à la BS
- ✓ L'entête de fragmentation qui permet d'indiquer une fragmentation des données du SDU.
- ✓ L'entête d'empaquetage qui permet d'indiquer que le paquet contient plusieurs SDU dans un seul PDU.

Ce système permet à la couche MAC d'agir comme un tunnel sans avoir besoin de connaître ce qu'il y a dans les paquets de données reçus de la couche MAC CS.

Les sous entêtes citées servent pour la transmission d'informations telles que l'état de la fragmentation, de l'encapsulation. En effet la couche MAC comporte une option servant à découper les paquets de grande taille dans le cas d'une CS utilisant des paquets plutôt que des cellules ATM et une autre servant à encapsuler plusieurs petits paquets dans un même champs de données.

Pour la voie montante un autre format de PDU existe pour acheminer les requêtes de bande. Il s'agit uniquement d'une entête sans champ de données.

### **I.2.2.3 Gestion de la Qualité de Service (QoS)**

La gestion de la qualité de service [4] 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 ce standard, différents types de services sont utilisés, à savoir :

- Unsolicited Grant Service (UGS),
- Real-Time Polling Service (rtPS),
- Non-Real-Time Polling Service (nrtPS)
- Best Effort (BE).

#### ***i) 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 standard préconise, pour les connexions utilisant ce service, de ne pas utiliser les autres afin qu'il puisse fonctionner correctement.

Le service UGS est spécifié par différents paramètres, la taille la fenêtre allouée, la période nominale d'allocation de cette fenêtre, et l'écart temporel maximum autorisé par rapport à la période.

#### ***ii) Real-Time Polling Service (rtPS)***

Ce service supporte les flux temps réel générant périodiquement des paquets de taille variable comme de la vidéo encodée en MPEG. 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.

Le standard préconise, pour les connexions utilisant ce flux, de ne pas utiliser ceux utilisant la contention afin que ce service puisse fonctionner correctement. Les paramètres définissant ce service sont l'intervalle nominal entre les fenêtres d'interrogation et l'écart temporel maximum.

L'inconvénient est que la nécessité de transmettre les requêtes occupe de la bande passante et que le temps de transaction entre la station de base et celle de l'abonné peut altérer la qualité du service.

#### ***iii) 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 (FTP) en haut débit. Il permet aux stations des abonnés de transmettre des requêtes environ toutes les secondes de manière périodique. De plus, contrairement au service temps réel, dont la fréquence des opportunités est beaucoup plus importante, les connexions l'utilisant ont la possibilité d'utiliser les fenêtres de contention pour transmettre ces mêmes requêtes. Les paramètres définissant ce service sont l'intervalle nominal entre les fenêtres d'interrogation, le trafic réservé minimum et maximum, et la priorité de ce trafic.

#### ***iv) 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 un service « BE » 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.

Lors de la création de la connexion, à chaque flux est attribuée une classe de service en se basant sur les exigences applicatives en terme de QoS et la disponibilité des ressources nécessaires au niveau de la station de base.

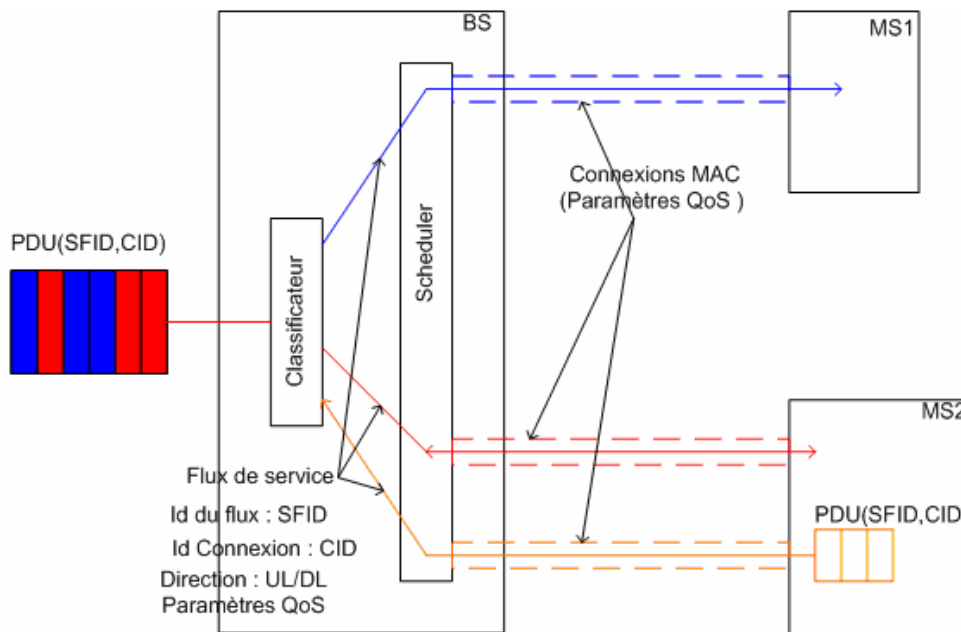


Figure I.7 : Mécanisme de gestion de la qualité de service

### I.2.3 Interconnexion couche MAC/couche physique

Le standard 802.16e spécifie plusieurs méthodes de duplexage des voies montantes et descendantes. La couche MAC se base à l'heure actuelle sur un mode tramé c'est-à-dire qu'elle définit une base de temps. Cette base de temps dépend de celle de la couche physique associée.

Le standard 802.16 peut utiliser deux modes de duplexage :

- Le duplexage FDD (Frequency Division Duplexing),

- Le duplexage TDD (Time Division Duplexing).

A noter aussi que le standard spécifie trois longueurs de trame possibles : 0.5, 1 et 2 ms.

### I.2.3.1 Mode de duplexage FDD (Frequency Division Duplexing)

Dans le mode FDD, le UL et le DL utilisent des fréquences différentes. Une trame de durée fixe est utilisée pour les deux voies de transmission. Cela permet une utilisation plus facile des différentes modulations et l'utilisation des modes « *half* et *full duplex* ».

Si le mode « *half-duplex* » est utilisé, la station de base ne doit donc pas allouer de la bande au même moment qu'elle transmet des données à une SS.

Le fait que la voie montante et la voie descendante utilisent la même longueur de trame simplifie l'algorithme d'allocation de bande passante.

Une station abonné utilisant le mode « full duplex » est capable d'écouter continuellement la voie descendante tandis qu'en fonctionnant en mode « *half duplex* », elle ne peut pas écouter la voie descendante pendant qu'elle transmet des données sur la voie montante.

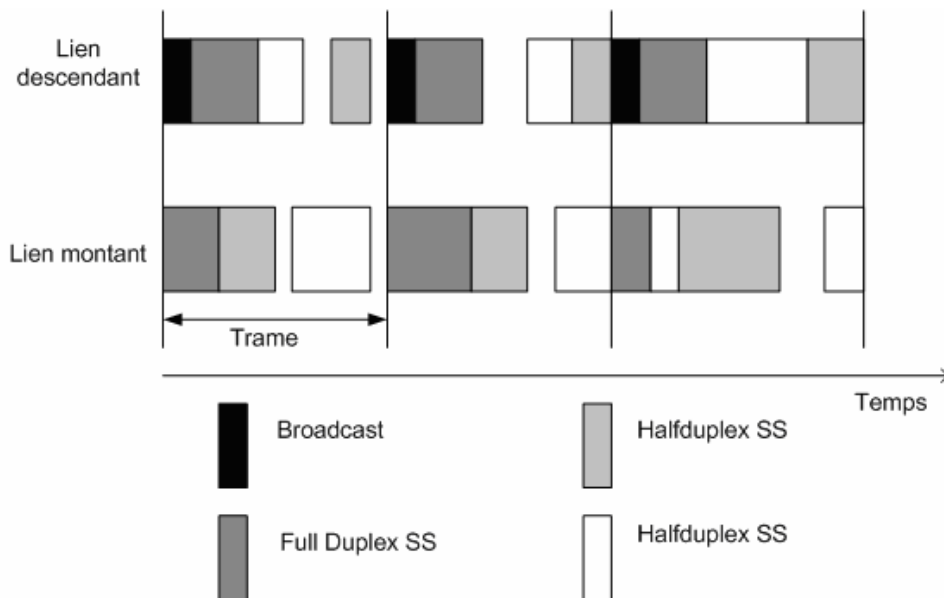


Figure I.8 : Trames en FDD

### I.2.3.2 Mode de duplexage TDD (Time Division Duplexing)

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

Les trames TDD, sont toujours d'une longueur fixe et contiennent une « sous-trame » montante et une « sous trame » descendante.

La trame est donc divisée en un nombre de slots (un slot correspondant à 4 symboles de modulation) ce qui permet de partitionner la bande facilement. Le tramage TDD est adaptable c'est-à-dire que le partage entre la voie montante et descendante n'est pas figé. Ceci permet d'adapter le débit de la voie descendante par rapport à celui de la voie montante.

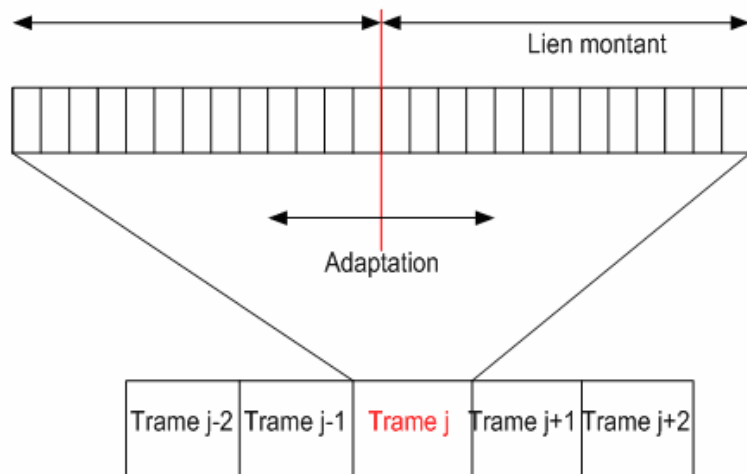


Figure I.9 : Trames en TDD

#### I.2.4 Gestion de la mobilité

La durée de vie des batteries et le *handover* (HO) sont les facteurs les plus importants pour les applications mobiles dans ce cadre le standard 802.16 e. Le MSS (Mobile Subscriber Station) supporte deux modes le "Sleep Mode" et le "Idle Mode" afin d'optimiser l'efficacité en puissance. La norme 802.16 e supporte également les différents types de HO permettant le passage d'une BS à une autre à des vitesses véhiculaires.

##### I.2.4.1 Contrôle de puissance

La station mobile peut entrer le "Sleep Mode" pour diminuer l'usage des ressources de la BS. Durant cette période la MSS est considérée comme absente et la BS ne peut pas le pager. Quant au "Idle Mode", il permet à la MSS de traverser plusieurs cellules sans avoir à faire des messages de handover, ni échanger de messages de gestion de trafic. Mais le MSS reste

joignable sur le lien descendant via le *paging* sans toutefois être enregistré à une BS spécifique. Le groupe de BS traversées constitue un groupe de paging.

#### I.2.4.2 Handover

Le handover [5] est le mécanisme qui assure la continuité de la connexion d'un MSS au cours de son déplacement de la zone de couverture d'une BS à une autre.

Le standard 802.16 e supporte trois types de Handover qui sont :

- le Hard Handover,
- le FBSS (Fast Base Station Switching),
- e le MDHO (Macro Diversity Handover).

Le Hard handover est obligatoire, quant au deux autres ils sont optionnels

##### I.2.4.2.1 Hard Handover

Au cours du Hard Handover, la station abonnée mobile communique avec une station de base à la fois. La connexion avec l'ancienne BS est annulée avant l'établissement de la nouvelle. Le handover est exécuté à partir du moment que le signal de la cellule voisine est plus important que celui de la station de base courante, comme le montre la figure I.7

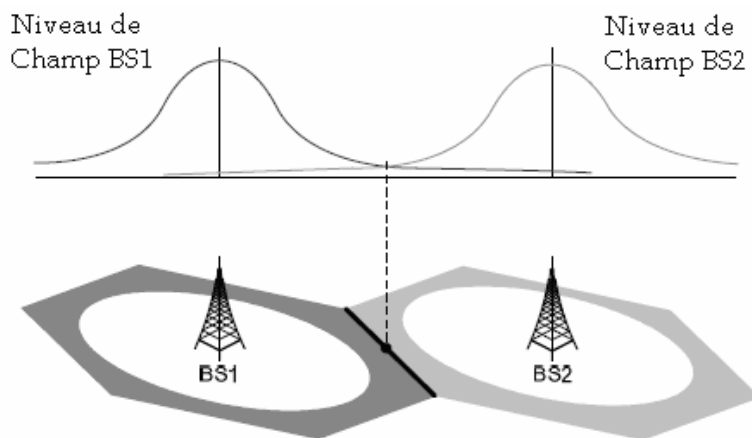


Figure I.10 : Réalisation du hard Handover

##### I.2.4.2.2 Macro Diversity Handover (MDHO)

Pendant que le Macro Diversity Handover[6] est supporté par la station mobile abonné et la station de base, **l'ensemble de diversité** est mis à jour au niveau la station mobile abonné et au niveau de la station de base. Il est à noter que l'ensemble de diversité est la liste des stations de bases participantes à la procédure de Handover, dont le niveau de champ est supérieur à une certaine valeur. De plus cette liste est définie pour chaque station mobile abonnée associée au réseau. Au cours du Macro Diversity Handover, la station mobile de l'abonné qui participe à la procédure de Handover communique avec toutes les stations de base appartenant à l'ensemble de diversité. Durant la procédure de MDHO dans le UL, deux stations de bases ou plus transmettent des données avec la station mobile de l'abonné de telle sorte qu'il existe la diversité en réception. Tandis que dans le sens montant, les transmissions de la station mobile abonné sont reçues par plusieurs stations de bases.

Commentaire [d1] : Fig1.11

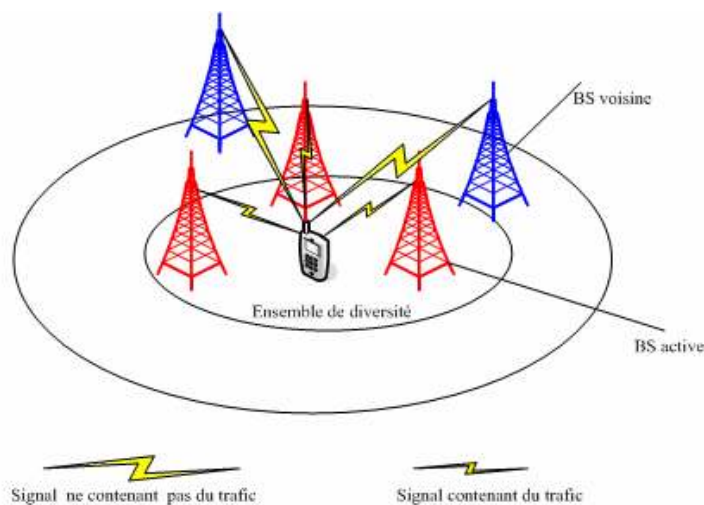


Figure I.11 : Macro Diversity Handover

#### I.2.4.2.3 Fast Base Station Switching

Le principe est plus ou moins semblable à celui du MDHO en ce sens qu'il y a toujours la notion d'ensemble de diversité. A la différence qu'ici à la suite de l'élaboration de l'ensemble de diversité, la station mobile abonné choisit une station de base parmi pour qu'elle deviennent sa station de base principale. La station de base principale est la seule station de base avec laquelle la station mobile abonné échange du trafic à la fois dans le sens montant et descendant, en incluant les messages de gestion. C'est également au niveau de cette station

de base que la station mobile abonné est enregistrée, synchronisée, ou se fait son contrôle dans le sens descendant.

Cependant, à chaque trame transmise, la station mobile abonné peut changer de station de base principale.

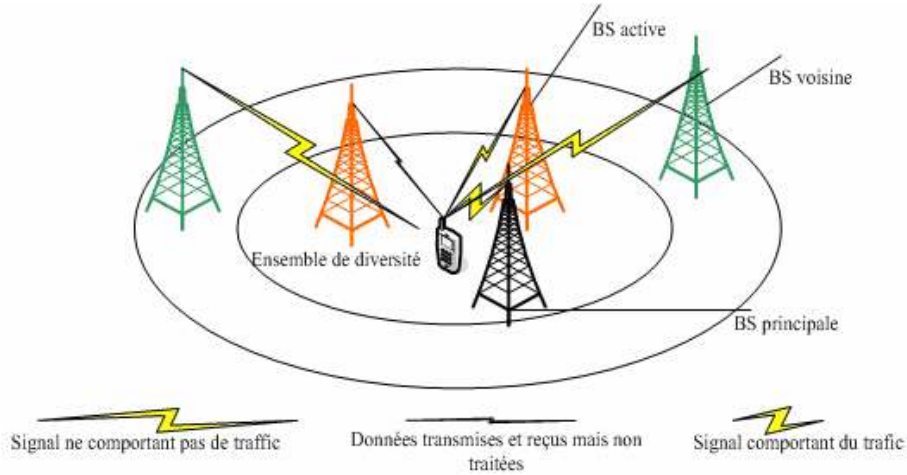


Figure I.12 : Fast Base Station Switching

### I.3 Sécurité

La norme 802.16 e [6] est dotée des meilleurs dispositifs de sécurité, qui nécessite entre autre une authentification à la fois de l'équipement et de l'utilisateur et un chiffrement en fonction du trafic.

Les aspects d'utilisation des dispositifs de sécurité sont :

- ✚ Protocole de gestion des clés : l'utilisation de la version 2 du protocole des clés privées, constitue la base de la sécurité de la norme. En effet, c'est protocole se charge de maintenir la sécurité au niveau MAC, du fait de l'utilisation de ce protocole pour chiffrer les requêtes.
- ✚ Commande de protection des messages : les données sont protégées, grâce à l'utilisation de AES basée sur *CMAC* (*block Cipher-based Message Authentication Code*) ou de MD5 basée sur les schémas *HMAC* (*keyed Hash Message Authentication Code*).

## **Conclusion**

A travers ce chapitre, nous avons présenté les caractéristiques principales de la norme 802.16 e.

Dans le prochain chapitre, nous détaillerons la démarche à suivre pour aboutir au dimensionnement de la norme.

# Dimensionnement de la Norme 802.16 e

Chapitre

2

## **Introduction**

La norme 802.16 e est une norme dont le dimensionnement requiert les méthodes à la fois inhérentes aux réseaux cellulaires classiques TDMA et à ceux de 3<sup>ème</sup> Génération.

De plus, pour cette norme on peut adopter deux architectures radios différentes, à savoir :

-le Point à multipoint

-le Point à Point

Dans ce qui suit, on mettra en avant les principaux éléments qui influent sur la détermination des équipements nécessaire pour assurer l'accessibilité aux services demandés.

## **I Architecture radio Point à Multipoint**

### **I.1 Caractéristiques de cette architecture**

#### **I.1.1 Bande de Fréquence**

Pour notre étude, nous travaillerons autour de la bande de fréquence de 3.5GHz, qui est une fréquence sous licence. Cela a pour effet, d'éviter les interférences inter systèmes, mais aussi de garantir la qualité de service requise pour les services de la norme 80216 e.

#### **I.1.2 Environnement de propagation**

Cette architecture est caractérisée par une propagation en non visibilité directe (NLOS), qui est un environnement sujet aux interférences dues aux réflexions multiples et à la dynamique du milieu de propagation.

### I.1.3 Mode de duplexage

Généralement les solutions utilisant les bandes avec licence utilisent le mode FDD qui requiert une paire de canaux ; un pour le UL et l'autre pour le DL.

Mode de Duplexage	Avantages	Inconvénients
FDD	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bien adapté aux services de voix</li> <li>- Désignée pour les trafics symétriques</li> <li>- Ne nécessite pas de temps de garde (La perte en capacité due au temps de garde est estimée à 2% pour une trame de 5 ms)</li> <li>- Moins de latence</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Usage d'une paire de fréquences → diminue l'efficacité spectrale</li> <li>Coût du spectre</li> </ul>

Table II.1 : Motivations pour le FDD

Cependant, la nature asymétrique de trafic des applications et des services demandés par les usagers implique l'utilisation du mode TDD.

### I.2 Dimensionnement radio

La méthodologie générale de dimensionnement d'un réseau WIMAX [7] est étroitement liée à une étude au préalable du site potentiel, des services à proposer, de la population visée.

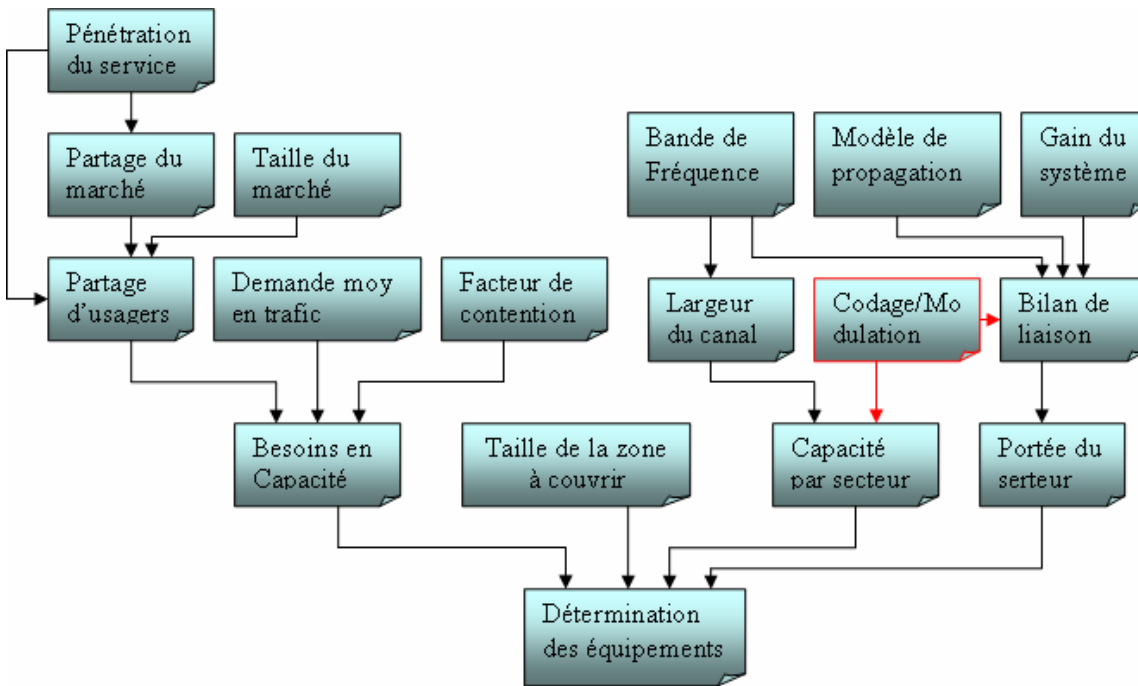


Figure II.1 : Méthodologie du dimensionnement

### I.2.1 Couverture orientée capacité

#### I.2.1.1 Estimation des besoin en trafic

La première étape consiste à prédire le trafic agrégé des usagers dans une zone de service. Cette estimation se fait en fonction du nombre potentiel d'abonnés dans la zone, du taux de pénétration du service prévu, du partage prévu du marché entre les principaux acteurs et de la demande estimée en trafic.

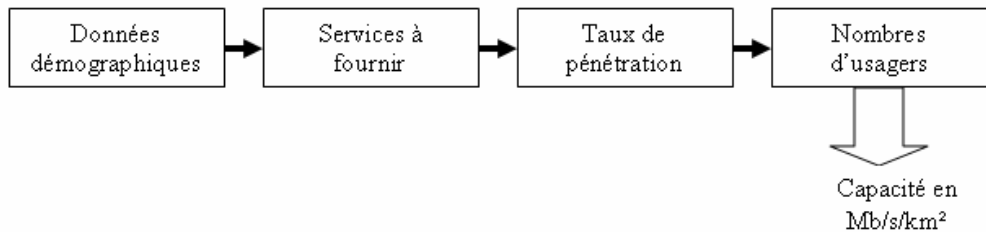


Figure II.2 : Démarche pour estimer le besoin en trafic

### I.2.1.2 Détermination du profil des usagers

Il s'agit de regrouper les usagers ayant des comportements similaires en terme de trafic et des services demandés. Généralement, le critère socioprofessionnel est utilisé pour un tel classement. S'inspirant des classes utilisées dans le cadre des réseaux de 3<sup>ème</sup> génération, nous avons jugé utile la distinction entre quatre classes d'usagers et qui sont les suivants:

- ✓ La classe des résidentiels ↔ Services de base
- ✓ La classe des résidentiels ↔ Services supplémentaires
- ✓ Les petites et moyennes entreprises
- ✓ Les grandes entreprises et les professionnels

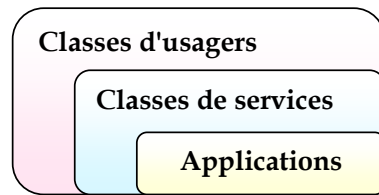


Figure II.3 : Classification des services et applications en fonction des besoins des usagers

Etant donné que certains types de service présentent un trafic en rafale (bursty), et que les abonnés ne transmettent pas simultanément à leur vitesse maximale, il est nécessaire d'avoir recours aux techniques de multiplexage statistique.

Ainsi, la notion de taux de contention pour un service donné est introduite afin de tenir compte de cet effet. Ce taux dépend des applications et des services demandés par les clients. De ce fait, le taux de contention est inversement proportionnel au besoin de débit que nécessite le service.

Généralement, les problèmes de capacité sont inhérents au DL, vue l'asymétrie qui détermine la plupart des services paquet hauts débits, c'est pour cela que nous allons uniquement nous intéresser au lien descendant lors de l'évaluation des besoins en trafic [8]. Pour une classe donnée, l'estimation de la bande requise par abonné est donnée par

$$T_{DL/abonné} = \sum_{i=1}^{N_s} D_{S-DL} \times TC_{/service} \quad (2.1)$$

Avec

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

$D_{S-DL}$  : Débit moyen par service

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

$N_s$  : Nombre de services dans la classe

Pour les applications dont le débit varie, nous ajouterons la marge de *burstiness* afin de prendre en compte les fluctuations du trafic. Cette marge reflète le gain statistique qui est égal à

$$burstiness = \frac{D_{max}}{D_{moy}}$$

Avec  $D_{max}$  est le débit maximum à l'heure de pointe et  $D_{moy}$  est le débit moyen à la même heure. Ainsi l'équation ci-dessus devient:

$$T_{DL/abonné} = \sum_{i=1}^{N_s} D_{S-DL} \times TC_{/service} \times burstiness \quad (2.2)$$

### I.2.1.3 Trafic agrégé pour une zone donnée

Pour déterminer le trafic agrégé d'une zone cible, nous partons d'une estimation du taux de pénétration de la technologie Wimax  $\tau_p$ . Il représente le ratio entre le nombre d'abonnés potentiels et le nombre total d'habitants dans la zone. Soit  $\tau_i$  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:

$$D_{DL} = \tau_p \cdot N \cdot \sum_{i=1}^{N_c} \tau_i (T_{DL/ab})_i \quad (2.3)$$

Avec

$D_{DL}$  : Débit total requis sur le DL

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

### I.2.1.4 Détermination de la capacité moyenne par secteur

Les techniques d'adaptation de lien permettent à chaque lien de s'adapter dynamiquement aux différents changements que subit le canal de propagation.

En effet, quand le niveau du signal reçu devient faible (ce qui est le cas pour les usagers distants de la station de base), la liaison adopte un schéma de modulation plus robuste avec en contrepartie une efficacité spectrale moindre.

Chaque modulation possède sa propre efficacité spectrale, la capacité effective du canal ne peut être déterminée qu'en connaissant le profil utilisé par chaque client, c'est-à-dire le couple modulation/codage, partageant ce canal.

Aussi la prédiction de la distribution des abonnés dans une zone donnée, surtout avec l'introduction des concepts de nomadisme et de mobilité devient plus complexe. c'est pourquoi, 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.

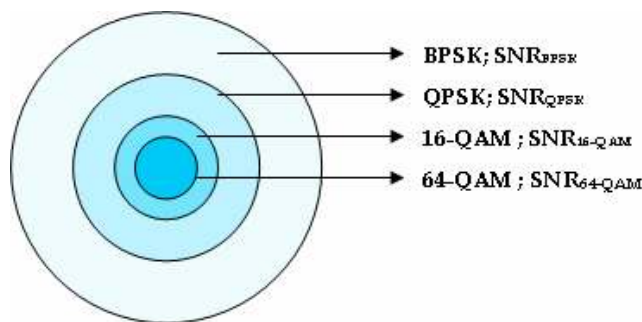


Figure II.4 : Variation du rayon en fonction de la modulation choisie associée à son SNR

Nous remarquons donc que la portée et la capacité sont étroitement corrélées, c'est pour cela qu'il serait indispensable de calculer la portée normalisée (divisée par la portée minimale) pour chaque type de modulation et puis d'estimer la zone couverte par chaque modulation afin d'en déduire la densité d'abonnés dans chaque zone.

Modulation	Codage	Débit brut (Mb/s)	Sensibilité (dBm)	Portée normalisée	Zone normalisée	%
QPSK	1/2	D1	S1	R1	Z1	P1
QPSK	3/4	D2	S2	R2	Z2	P2
16-QAM	1/2	D3	S3	R3	Z3	P3
16-QAM	3/4	D4	S4	R4	Z4	P4
64-QAM	2/3	D5	S5	R5	Z5	P5
64-QAM	3/4	D6	S6	1	1	P6

Table II.2 : Détermination des caractéristiques de chaque couple Modulation/Codage

A partir de la portée  $R_i$  de chaque modulation nous déterminons la zone couverte en fonction du motif de cellule choisi.

La normalisation de la portée [9] se fait par rapport à la modulation la moins robuste. Dans notre cas c'est la 64-QAM avec un taux de codage de 3/4, les portées des autres modulations seraient donc dépendantes seulement de la différence en sensibilité et du modèle de propagation utilisé. Ainsi le zone couverte serait exprimée selon un motif hexagonale, par la fomule suivante :

$$z_i \approx \frac{3 \cdot \sqrt{3}}{2} \frac{R_i^2}{z_{64-QAM}} \quad (2.4)$$

Si de plus, on suppose que les usagers sont distribués à travers les différents profils (Modulation/codage) dans les même proportions que les zones normalisés, le débit brut moyen par secteur serait donc de :

$$D_{moy/sect} = \sum_{i=1}^N P_i \cdot D_i \quad (2.5)$$

Avec

$P_i$  : Pourcentage d'usagers opérant à la modulation  $i$

$D_i$  : Débit brut correspondant à la modulation  $i$

N: nombre total de modulations

Remarque :

- ✓ Si la cellule est dimensionnée pour que la modulation 16-QAM soit disponible à tous les abonnés dans la cellule, le débit moyen brut par secteur serait:

$$D_{moy / sect} = \sum_{i=3}^N P_i \cdot D_i \quad (2.6)$$

Avec  $i = 3$ , ordre de la modulation 16-QAM

- ✓ D'après les spécifications inhérentes aux systèmes HIPERMAN [10], et applicables à la norme 802.16-OFDMA –TDMA, concernant le "overhead" MAC. Il est à noter que celui-ci est approximée à 10% du débit. Par conséquent le débit moyen réel par secteur serait de :

$$D_{Rmoy / sect} = 0.9 \cdot D_{moy / sect} \quad (2.7)$$

Ainsi, le nombre d'utilisateurs par secteur est donné par la formule suivante :

$$N_{max-usagers / secteur} = \frac{D_{Rmoy / sect}}{D_{DL}} \quad (2.8)$$

$N_{usagers}$  : nombre maximum d'utilisateurs 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:

$$N_{secteurs} = \frac{N_{usagers-tot}}{N_{max-usagers / secteur}} \quad (2.9)$$

Avec

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

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

$N_{max-usagers / secteur}$  : nombre maximum d'utilisateurs 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.

$$N_{BS} = \frac{N_{secteurs}}{N_{secteurs/BS}} \quad (2.10)$$

## **I.2.2 Couverture orientée couverture**

### **I.2.2.1 Modèles de propagation**

Le canal radio, en raison de la complexité des phénomènes agissant sur le signal au cours de sa propagation est difficile à modéliser. C'est pour cela que nous avons recours à quelques modèles qui permettent d'évaluer la perte de propagation  $L_p$  [11]

#### **I.2.2.1.a Modèles IEEE 802.16 (SUI Models)**

Ils ont été au départ élaborés pour les fréquences au dessous de 11 GHz, le standard 802.16 inclut des modèles de propagation connue sous le nom de SUI (Stanford University Interim). En réalité, les modèles SUI sont définis pour les services de boucle locale multipoints (MMDS) opérant dans la bande de fréquence allant de 2.5 GHz à 2.7 GHz. L'usage de ces modèles peut être étendu pour couvrir la bande des 3.5 GHz avec l'introduction de facteurs de correction. Les modèles corrigés se basent sur l'équation d'affaiblissement suivante:

$$L = A + 10 \cdot \gamma \cdot \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_f + X_h + s \quad \text{Pour } d > d_0 \quad (2.11)$$

Où  $d$ : la distance en m,  $d_0 = 100$  m,  $h_b$ : hauteur de la station de base en m ( $10m < h_b < 80m$ )

$s$ : représente l'effet de masque qui suit une distribution log-normale.

Les valeurs typiques de  $s$  sont comprises entre 8.2 et 10.6 dB, en fonction de l'environnement.

$$\text{Avec } A = 20 \cdot \log\left(\frac{4 \cdot \pi \cdot d_0}{\lambda}\right) \quad (2.12)$$

$$\gamma = a - b \cdot h_b + \frac{c}{h_b} \quad (2.13)$$

Avec  $\gamma$ : exposant du *pathloss* (perte du au parcours);

$a$ ,  $b$  et  $c$  sont des constantes dépendant de la catégorie du terrain

Constantes	du	Terrain du type A	Terrain du type B	Terrain du type C
------------	----	-------------------	-------------------	-------------------

modèle			
a	4.6	4.0	3.6
b	0.0075	0.0065	0.005
c	12.6	17.1	20

Table II.3 : Principaux paramètres du modèle IEEE 802.16 (Erceg et al. 1999)

Les modèles SUI s'applique à trois types différents de terrains qui sont les suivants :

**Type A** : Ce type est approprié aux environnements ne présentant trop de reliefs avec une densité moyenne ou grande d'arbres. Comme il est associé au maximum d'affaiblissement, il est souvent utilisé pour les milieux urbains

**Type B** : ce type est intermédiaire, il s'applique aussi bien en cas de terrains plats mais présentant une moyenne/grande densité d'arbres qu'en cas de terrains présentant trop de reliefs et à densité faible d'arbres. Par conséquent il est utilisé pour caractériser les environnements suburbains.

**Type C** : Ce type est approprié aux terrains plats à faible densité d'arbres. Présentant au minimum d'affaiblissement, il est utilisé pour les zones rurales.

Les termes  $X_f$  et  $X_h$  sont les facteurs de correction respectivement de la fréquence et de la hauteur du récepteur .Ils sont définis comme suit :

$$c_m = 0dB \quad X_f = 6 \cdot \log\left(\frac{f}{200}\right) \quad (2.14)$$

$$X_h = -10,8 \cdot \log\left(\frac{h_m}{2}\right) \quad \text{Pour les terrains de types A et B} \quad (2.15)$$

$$X_h = -20 \cdot \log\left(\frac{h_m}{2}\right) \quad \text{Pour les terrains de type C} \quad (2.16)$$

Avec  $f$  : la fréquence en MHz,  $h_m$  : la hauteur du récepteur en m.

Affectant les différents types de terrains du modèle SUI aux environnements urbains, suburbains et ruraux n'est qu'une approximation .En effet, dans le cas réel nous pouvons trouver de zones rurales avec trop de reliefs et trop d'arbres se qui nous amène à le classer parmi les terrains de type A. De même certaines zones urbaines dans de petites villes caractérisées par des bâtiments de hauteur similaire peuvent être classées parmi les terrains de type B plutôt que ceux de type A.

### **I.2.2.1.b Modèle COST-231 HATA**

A cause de sa simplicité et sa rapidité d'implémentation ce modèle est largement utilisé lors du dimensionnement des systèmes radio avec introduction de corrections. L'équation basique d'affaiblissement (dB) pour les milieux urbains s'écrit comme suit:

$$L_U = 46.3 + 33.9 \cdot \log(f) - 13.82 \cdot \log(h_b) - a \cdot h_m + (44.9 - 6.55 \cdot \log(h_b)) \cdot \log(d) + c_m \quad (2.17)$$

Avec  $f$  : fréquence en MHz,  $d$  distance en Km,  $h_b$  : hauteur de la station de base en m

$h_m$  : Hauteur du récepteur de base en m

$c_m = 0$  dB pour les milieux suburbains et les environnements ouverts

$c_m = 3$  dB pour milieux urbains

Le paramètre  $ah_m$  a été défini dans [3] comme suit :

Pour les milieux urbains:  $ah_m = 3.20 \cdot (\log(11.75 \cdot h_m))^2 - 4.97$  pour  $f > 400$  MHz (2.18)

Pour les milieux suburbains ou ruraux :

$$ah_m = (1.1 \cdot \log(f) - 0.7) \cdot h_m - (1.56 \cdot \log(f) - 0.8) \quad (2.19)$$

D'après les formules ci-dessus l'exposant de pathloss issue de la prédiction du modèle COST-231 HATA s'écrit de la manière suivante:

$$n_{cost} = (44.9 - 6.55 \cdot \log(h_b)) / 10 \quad (2.20)$$

### **I.2.2.1.c 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 dans 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 :

$$L = A_{fs} + A_{bm} - G_b - G_r \quad (2.21)$$

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

$$A_{fs} = 92.4 + 20 \cdot \log(d) + 20 \cdot \log(f) \quad (2.22)$$

$$A_{bm} = 20.41 + 9.83 \cdot \log(d) + 7.894 \cdot \log(f) + 9.56 \cdot [\log(f)]^2 \quad (2.23)$$

$$G_b = \log(h_b / 200) \{ 13.958 + 5.8 [\log(d)]^2 \} \quad (2.24)$$

$$G_r = [42.57 + 13.7 \cdot \log(f)] [\log(h_r) - 0.585] \quad (2.25)$$

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

### I.2.2.2 Bilan de liaison et détermination du rayon maximal de la cellule

L'objectif est de s'assurer que le nombre de stations de base fournie à l'issue de l'étude orientée capacité est suffisant pour couvrir la zone cible. Pour ce faire, à partir du bilan de liaison nous calculons le rayon maximal de la cellule pour la modulation la plus robuste choisie. Il permet non seulement de déterminer la taille d'une cellule mais aussi d'assurer, par le biais d'un équilibrage des liaisons, un fonctionnement normal du système en tout point de la cellule couverte.

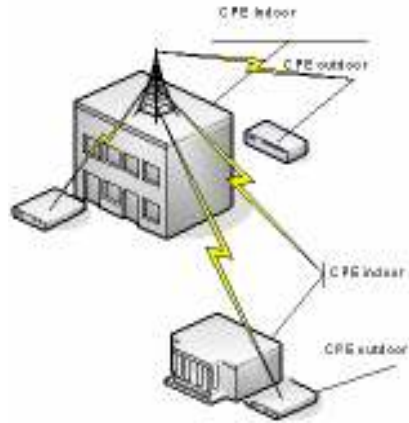


Figure II.5 : Propagation NLOS

Bilan de liaison basique	
<b>Puissance d'émission (dBm)</b>	Pe
<b>Les pertes de transmission (dB)</b>	Le
<b>Gain de l'antenne (dBi)</b>	Ge
<b>PIRE (dBm)</b>	$PIRE = P - L_e + G_e$
<b>Perte de propagation</b>	Lp
<b>Perte de pénétration de bâtiment/végétation (dB)</b>	A1
<b>Autres pertes (dB)</b>	A2
<b>Pathloss médiane (dB)</b>	$P_m = L_p + A_1 + A_2$
<b>Gain de l'antenne de réception</b>	Gr
<b>Les pertes de réception (dB)</b>	Lr
<b>Puissance effective à l'entrée du récepteur</b>	$P_{eff} = PIRE + P_m + G_r + L_r$
<b>Marge de Fading</b>	10 dB
<b>Sensibilité de réception (modulation/codage)</b>	Sr
<b>Marge (modulation)</b>	0.00

Table II.4 : Ensemble des éléments pour l'établissement d'un bilan de liaison

- ✓ La puissance maximale d'émission : dépend de la régulation en vigueur. Pour un équipement TDMA dans la bande des 3.5 GHz elle ne doit pas dépasser 35 dBm (ETSI EN 301 021).
- ✓ Les pertes de transmission comporte les pertes dans la connectique, et les autres pertes entre l'unité radio et les antennes.
- ✓ La marge de Fading est ajouté afin d'assurer une certaine disponibilité du système.
- ✓ La sensibilité de réception varie par modulation et schéma de codage et selon la bande fréquentielle utilisée. [Annexe Modulation]

En se basant sur le rayon fourni par le bilan, le nombre nécessaire de stations de base si nous considérons que les cellules ont le motif hexagonal, serait :

$$N_{Bs} = \frac{S_{zone}}{2.6 \times R_{max}^2} \quad (2.26)$$

$S_{zone}$  : Surface de la zone à couvrir en  $km^2$

$R_{max}$  : Rayon max de la cellule

Au final le nombre de stations de base serait le maximum du nombre issu de la méthode orientée capacité et de celle orientée couverture

$$N_{BS} = \text{Max} ((N_{BS})_{capacité}, (N_{BS})_{couverture}) \quad (2.27)$$

- ✓ Généralement au début du cycle de vie du réseau et/ou dans les zones rurales on s'oriente plus vers la solution orientée couverture. Tandis que dans les zones urbaines, on opte pour la solution capacité.
- ✓ Le dimensionnement ainsi réalisé permet la couverture de manière grossière de notre zone d'étude. Ce dimensionnement sera par la suite affiné au cours de la phase de densification du réseau.

**I.3 Bilan du processus de dimensionnement**

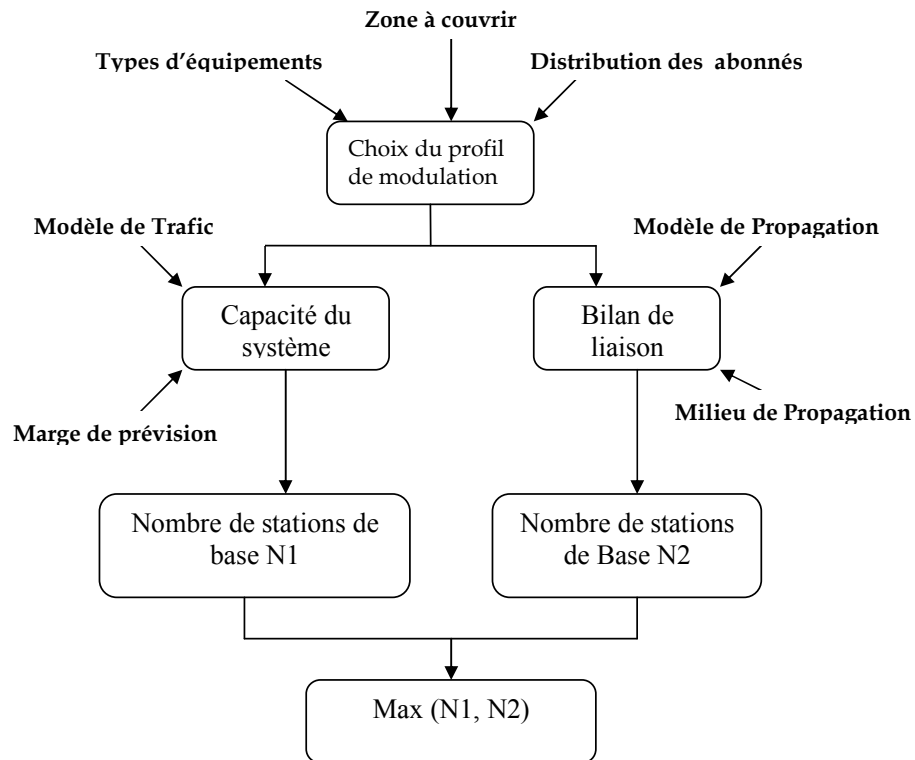


Figure II.6 : Démarche simplifiée pour la détermination du nombre optimal de stations de base

## II Architecture Point à Point (BACKHAULING)

### II.1 Caractéristiques de cette architecture

#### II.1.1 Bande de Fréquence

Dans cette partie de notre étude, nous allons travailler autour de la bande de 5GHz. C'est une bande qui ne nécessite pas l'obtention d'une licence pour pouvoir l'utiliser. Cela suppose que cette architecture à l'avantage d'avoir un temps de mise sur pied relativement courte. Cependant, notre solution est soumise à une régulation assez contraignante concernant la puissance d'émission. En effet, le risque d'interférence avec d'autres systèmes impose une diminution de la portée maximale du système.

#### II.1.2 Environnement de propagation

Cette architecture est caractérisée par une propagation en visibilité directe (LOS), en ce sens qu'il ne doit pas exister d'obstacle entre l'émetteur et le récepteur.

#### II.1.3 Mode de duplexage

Généralement les solutions utilisant les bandes sans licence utilisent le mode TDD, où la différenciation des flux se fait au niveau du temps associé à un même canal.

Mode de multiplexage	Avantages	Inconvénients
TDD	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Flexibilité: Usage d'un seul canal fréquentiel</li> <li>- Adapté pour les flux asymétriques (asymétrie variable)</li> <li>- Réciprocité canal : meilleur support des technologies d'antennes avancées et de</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Requier un système de synchronisation</li> </ul>

	technique d'adaptation de lien - Moins de complexité → coût plus faible.	
--	---	--

Table II.5 : Motivations pour le TDD

Cependant, la symétrie du trafic, dans cette architecture oriente le choix vers le mode FDD.

## II.2 Dimensionnement radio

### II.2.1 Etude de faisabilité

#### II.2.1.1 Dégagement du trajet

Cette estimation est faite à partir, de la zone de Fresnel, la plus grande partie de l'espace de propagation où l'énergie radio transmise entre un émetteur et un récepteur se trouve dans une zone ellipsoïdale virtuelle. Cette zone qui entoure la ligne de visée reliant les deux points de la liaison doit de contenir le moins d'obstacles.

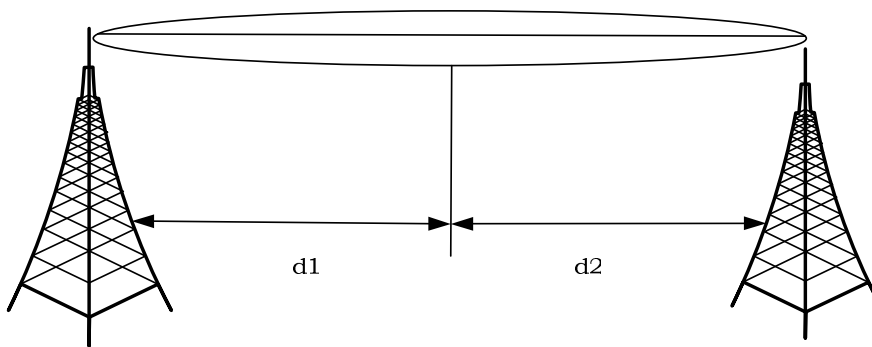


Figure II.7 : Zone de Fresnel

Le rayon d'ordre n de la zone de Fresnel peut être approximé grâce à la formule suivante :

$$r_n = \sqrt{\frac{n \cdot \lambda \cdot d_1 \cdot d_2}{d_1 + d_2}} = 17320 \sqrt{\frac{n \cdot d_1 \cdot d_2}{f \cdot (d_1 + d_2)}} \quad (2.28)$$

Avec :

d1 et d2 les distances séparant l'émetteur et le récepteur de part et d'autre de l'obstacle en

**Km**

f : fréquence en **GHz**

rn : rayon d'ordre n en **m**

Dans notre étude nous ne considérerons que la zone d'ordre 1 de Fresnel, aussi appelée première zone de Fresnel, qui correspond à celle qui véhicule le maximum d'énergie. C'est pour cela qu'il est nécessaire que 60% de cette zone soit dégagé d'obstacles.

**Remarques :**

- ✓ En absence d'obstacles, le rayon maximal de la première zone de Fresnel sera située au centre du trajet et devient :

$$r = 17320 \cdot \sqrt{\frac{d \cdot d}{f \cdot d}} = 17320 \cdot \sqrt{\frac{d}{4 \cdot f}} \quad (2.29)$$

- ✓ En présence d'obstacles, un dégagement de 60% de la zone de Fresnel, ne signifie pas pour autant une absence de pertes, car il y a toujours des pertes du signal.

En effet, avec un dégagement de 60% et dans un souci de précision, nous devons tenir compte de l'atténuation engendrée et qui varie selon l'environnement

- Pour les terrains plats, cette perte est estimée à 2dB
- En présence d'arbres et/ou maisons d'hauteurs homogènes cette est de 3dB
- Pour les zones urbaines, cette perte est évaluée à 5dB

**II.2.1.2 Effet de la courbure de la Terre**

A partir de distances de 11.2 Km, les effets dus à la courbure de la terre sont de plus en plus significatifs.

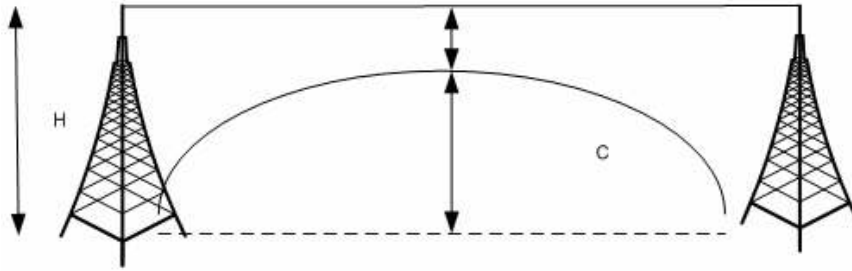


Figure II.8 : Effets de la courbure de la terre

La hauteur additionnelle due à la courbure de la terre en présence d'obstacles serait de :

$$C = \frac{d_1 \cdot d_2}{2 \cdot k \cdot R_0} \quad (2.30)$$

Avec :

$d_1$  et  $d_2$  les distances de l'émetteur et du récepteur de part et d'autre de l'obstacle

$K$  : le coefficient de réfraction ; pris égal à  $4/3$

$R_0$  : le rayon de la Terre pris à 6370 Km, selon les recommandations de l'UIT-R

Ainsi, la hauteur minimale des antennes en présence d'obstacles obstruant la première zone de Fresnel est donnée par :

$$H_{ant} = P_{deg} \cdot 17320 \sqrt{\frac{d_1 \cdot d_2}{f(d_1 \cdot d_2)}} + H_{obst} + \frac{d_1 \cdot d_2}{2 \cdot h \cdot R_0} \quad (2.31)$$

Avec  $P_{deg}$  : le pourcentage du dégagement de la zone de Fresnel

$H_{obst}$  : la hauteur de l'obstacle en **m**

$H_{ant}$  : la hauteur de l'antenne en **m**

La hauteur en absence d'obstacle est donnée par :

$$H_{ant} = P_{deg} \cdot 17320 \sqrt{\frac{d}{4 \cdot f}} + \frac{d^2}{8 \cdot h \cdot R_0} \quad (2.32)$$

En cas de présence de plusieurs obstacles, la formule [2.31] est réutilisée, et seule la valeur maximale est retenue.

## II.2.2 Bilan de liaison

Dans notre présent cas, le bilan de liaison [15] nous aidera à prédire la portée maximale dans un environnement donné, et ce à partir des caractéristiques des équipements à choisir.

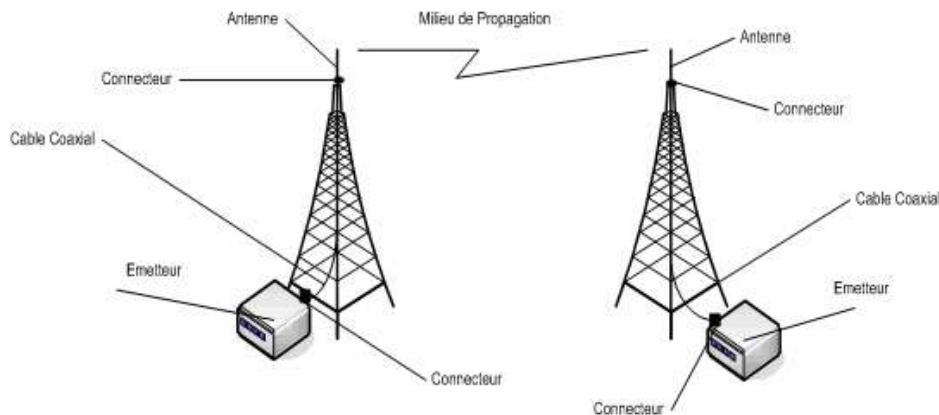


Figure II.9 : Eléments impliqués dans le bilan de liaison

### Les paramètres d'entrée du bilan

$P_x$ : Puissance d'émission (positive)

$S_x$ : sensibilité de réception *pour le débit à utiliser* (négative)

$G$ : gain de l'antenne (positif)

$L_{\text{câble}}$ : perte dans le câble *pour la fréquence à utiliser* (négative)

$L_{\text{connect}}$ : perte dans les connecteurs *pour la fréquence à utiliser* (négative)

$f$ : fréquence utilisée

### La PIRE (Puissance Isotrope Rayonnée Equivalente)

$$T_x = P_x + G + L_{\text{câble}} + L_{\text{connect}} \quad (2.33)$$

### La sensibilité effective maximale

$$R_x = S_x - G - L_{\text{Cable}} - L_{\text{Connect}} \quad (2.34)$$

### Affaiblissement maximum tolérable en ligne

$$PL = -T_x + R_x \quad (2.35)$$

	Partie émission	Partie réception
Paramètres d'entrée	$P_{x1}, S_{x1}, G_1, L_{\text{câble}1}, L_{\text{connect}1}$	$P_{x2}, S_{x2}, G_2, L_{\text{câble}2}, L_{\text{connect}2}$

<b>Puissance émise effective</b>	$T_{x1}$	$T_{x2}$
<b>Sensibilité effective max</b>	$R_{x1}$	$R_{x2}$
<b>Affaiblissement max tolérable</b>	$PL_1 = -T_{x2} + R_{x1}$	$PL_2 = -T_{x1} + R_{x2}$
<b>Affaiblissement déterminant</b>	$PL_{Final} = Max(PL_1, PL_2) + M\ arg e$	

Table II.6 : Tableau récapitulatif du bilan de liaison

Une fois la zone de Fresnel est dégagée (que ce soit à 100%, à 80% ou à 60%), nous pourrons assimiler la propagation à celle de l'espace libre (en tenant compte des pertes ajoutées). Ainsi, l'affaiblissement de parcours est déterminé grâce à la formule suivante de Friis:

$$L_p (dB) = 20 \log_{10} \left( \frac{4 \cdot \pi \cdot d}{\lambda} \right) \quad (2.36)$$

Avec d: La longueur du trajet

Equilibrage du bilan:

$$P_{réçue} - S_x = P_{x1} + G_1 + L_1 + G_2 + L_2 - L_p - S_x \quad (2.37)$$

$L_i$ : perte dans la connectique (câble+connecteur)

La marge est déduite de la façon suivante:

$$M = P_{réçue} - S_x \quad (2.38)$$

En utilisant les relations (2.37) et (2.38) nous obtenons :

$$P_{réçue} - S_x = P_{x1} + G_1 + L_1 + G_2 + L_2 - L_p - S_x$$

Ce qui donne

$$M\ arg e = T_{xi} - R_{xj} - L_p$$

$$\rightarrow L_p = -PL - M\ arg e = -PL_{max}$$

$$D'où \ d_{max} = \frac{\lambda}{4 \cdot \pi} 10^{(Lp_{max})/20} \quad (2.39)$$

**II.3.Le Bilan du processus de dimensionnement**

Etape 0: Analyse des besoins

Input	Output
<p><b>Exigences du client</b> : surtout en terme de débit, contraintes fonctionnelles, ect...</p> <p style="text-align: center;"><b>Résultats du site survey</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-NGT des sites</li> <li>-Coordonnées GPS des sites</li> <li>-NGT et type des obstacles</li> <li>-Coordonnées GPS des obstacles</li> <li>-Type du milieu</li> <li>-Sources possibles d'interférences (Type, fréquence et intensité)</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><b>Cahier de charges</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Identification des sites à interconnecter</li> <li>-Portée cible</li> <li>-Débit souhaité</li> <li>-Contraintes à respecter (réglementaires, client, environnementale .etc.)</li> </ul> <p style="text-align: center;"><b>Traitements préliminaires des données</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Distances entres sites</li> <li>-Distances entre sites et obstacles</li> </ul>

Etape1 : Etude de trajet

Input	Output
<p style="text-align: center;"><b>Eléments du cahier de charge</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Informations sur les sites</li> <li>-Informations sur les obstacles</li> <li>-Fréquence à utiliser</li> <li>-Distances entres sites</li> <li>-Distances entre sites et obstacles</li> </ul> <p style="text-align: center;"><b>Paramètres statiques</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><math>R_0</math>: rayon de la terre</li> <li>k: coefficient de réfraction</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-LOS visuel</li> <li>-LOS radio (dégagement de Fresnel)</li> <li>-Hauteur minimale des antennes</li> <li>-Support candidat à utiliser</li> </ul>

Etape 2 : Choix du matériel

Input	Output

<p><b><i>Eléments du cahier de charge</i></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Débit souhaité</li> <li>-Exigences client</li> <li>-Structure environnementale (type du milieu, sources d'interférences. etc.)</li> </ul> <p><b><i>Output de l'étude de trajet</i></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Hauteur de support</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Equipement à utiliser</li> <li>-Types d'antennes dans chaque site</li> <li>-Type et longueur des câbles</li> <li>-Type des connecteurs</li> </ul>
--	--

Etape 3 : Bilan de liaison

Input	Output
<p><b><i>Eléments du cahier de charge</i></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Distances entre sites</li> <li>-Fréquence à utiliser</li> <li>-Type du milieu</li> </ul> <p><b><i>Output du choix du matériel</i></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Equipements à utiliser</li> </ul> <p><b><i>Spécification des équipementiers</i></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Caractéristiques techniques du matériel</li> <li>-Contraintes de la solution</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-PIRE</li> <li>-Affaiblissements</li> <li>-Marge</li> <li>→ Portée maximale supportée par le matériel</li> <li>-Comparaison (Distance entre sites, portée max supportée)</li> </ul>

**Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons défini en fonction de l'architecture réseaux, les différents modèles de propagations adaptés pour le développement de notre outil.

Cependant, certains paramètres ont été négligés au cours de notre procédure de dimensionnement, comme le trafic irrégulier. Dans le prochain chapitre nous spécifierons les

besoins auxquels doit satisfaire notre application, ainsi que nous présenteront les fenêtres réalisées.

## Introduction

Après avoir dégagé les éléments de bases de notre outil, nous dériverons dans le présent chapitre d'une part, les spécifications des besoins fonctionnels et non fonctionnels ainsi que la description globale de l'outil. Et d'autre part, nous présenterons les fenêtres réalisées de notre outil.

## I Spécification des besoins

### I.1 Objectif de la spécification

Nous procédons à la spécification technique de notre application dans le but de décrire minutieusement les procédures de travail de l'utilisateur (département d'étude) dans la détermination de la solution optimale.

Nous présentons ici les principaux objectifs :

- Déterminer les conditions et les contraintes reliés au système défini
- Formuler les besoins utilisateurs qui seront pris en compte par le système
- S'assurer la bonne saisie des données à utiliser
- Décrire les principales fonctions et scénarii de transitions du système

### I.2 Avantages de l'application

Comme présenté dans le chapitre précédent, nous avons montré les différents paramètres dont il faut tenir compte pour parvenir au dimensionnement de la norme 802.16 e.

Notre outil a les avantages de réduire la complexité et la durée du processus pour la détermination de la solution optimale. Tout en prenant en compte les spécifications du client.

### **I.3 Spécification des besoins fonctionnels**

L'application DimRadio doit répondre aux principaux besoins fonctionnels suivants :

- Le dimensionnement Wimax Point à Multipoint
- Le dimensionnement Wimax Point à Point

### **I.4 Spécification des besoins non fonctionnels**

Les besoins non fonctionnels à satisfaire sont les suivants :

- L'outil doit être évolutive et simple à maintenir
- L'interface de notre outil doit être conviviale et simple à utiliser

### **I.5 Diagrammes UML**

Les cas d'utilisation offrent un moyen à la fois systématique et intuitif de saisir les besoins fonctionnels sous l'angle particulier de l'intérêt qu'ils présentent pour chaque utilisateur ou chaque système externe [AnnexeUML].

Nous allons utiliser dans ce qui suit le diagramme des cas d'utilisation pour présenter les fonctionnalités du système.

## **I.6 Description générale de l'application**

### **I.6.1 Description des acteurs**

Dans notre cas, les acteurs dont les décisions vont influencer notre outil sont :

- le bureau d'étude
- le client

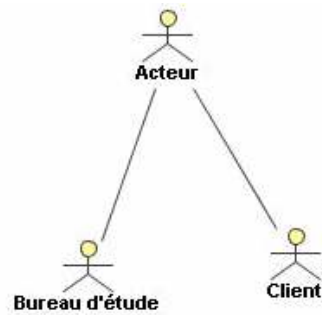


Figure III.1 : Acteurs de l'outil

### I.6.2 Cas d'utilisation générale

L'utilisateur de l'outil opère afin de réussir le dimensionnement d'un projet soit Point à Multipoint (PmP), soit d'un projet Point à Point (PtP). Le diagramme des cas d'utilisation ci-dessous présente cette interaction.

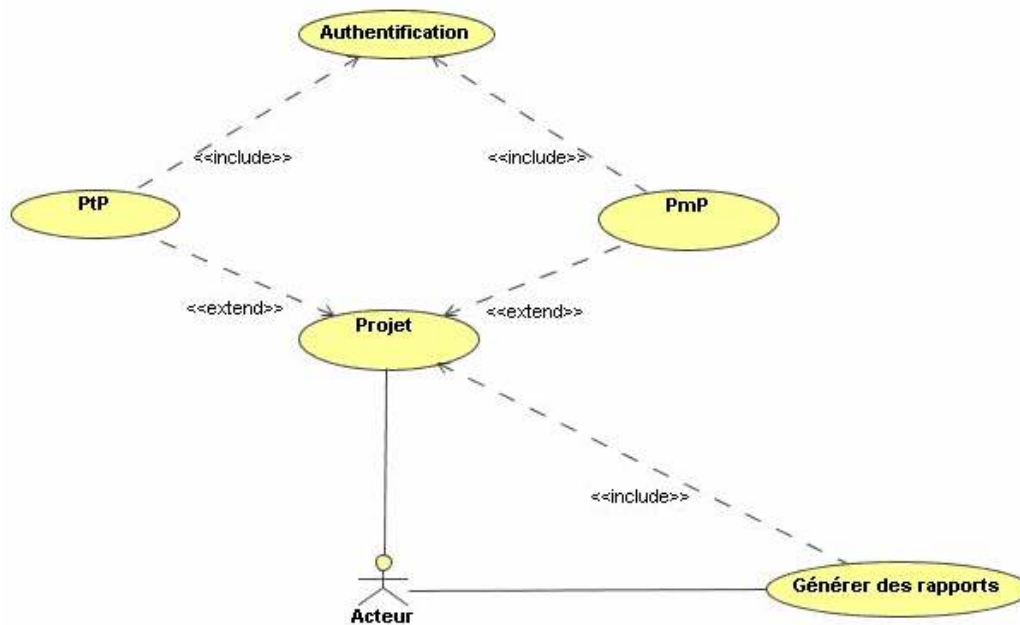


Figure III.2 : Cas d'utilisation Général

## I.7 Description des cas d'utilisation

### I.7.1 Authentification

<b>Acteur</b>	Bureau d'étude
<b>Description</b>	Ce cas d'utilisation décrit le mécanisme de l'authentification au niveau de l'outil
<b>Pré-condition</b>	Il faudrait que l'acteur se soit fait enregistrer au niveau de la base de données
<b>Scénario nominal</b>	
<b>Acteur</b>	<b>Système</b>
	1. L'application demande à l'opérateur de saisir son identifiant et son mot de passe applicatif.
2. L'utilisateur saisit son Identifiant et son mot de passe.	3. L'application vérifie ces paramètres. 4. L'application affiche la page d'accueil de l'outil

#### **Enchaînements alternatifs**

**A1** : L'identifiant ou le mot de passe saisis par l'opérateur ou le superviseur sont erronés.

L'enchaînement A1 démarre au point **3** du scénario nominal.

**4'**. Le système indique à l'utilisateur que le compte (Identifiant ou/et mot de passe) est invalide.

Le scénario nominal reprend au point **1**.

### I.7.2 Projet PmP

Ce cas d'utilisation est la matérialisation de la possibilité que possède l'utilisateur d'opter pour un dimensionnement Point à Multipoint. Ce cas d'utilisation pour complet s'appuie sur les cas d'utilisations **Illustrer Client**, **contraintes 2** et **Calcul**.

#### Obtenir des informations Clients

Ce cas d'utilisation matérialise les différentes possibilités de donner les informations à prendre en compte concernant le client pour le Projet PmP

<b>Acteur</b>	Bureau d'étude
<b>Description</b>	Avoir et/ou donner des informations sur le client
<b>Pré Condition</b>	Savoir au préalable si le client est déjà enregistré dans la base de données
<b>Commentaire</b>	Les informations se trouvent dans la base de données <b>Clients</b>
<b>Scénario nominal</b>	
<b>Acteur</b>	<b>Système</b>
	1. Demande à l'utilisateur donne la main à l'utilisateur pour donner des informations sur le client
2. L'acteur saisit le nom du client	3. L'application effectue des recherches sur la base <b>Clients</b>
2'. L'acteur remplit manuellement les champs donnant les informations sur le client	4. L'application répond par afficher la liste d'informations suivantes. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Coordonnées</li> <li>• Entreprise</li> </ul>

**Enchaînements alternatifs**

**A1** : Le client appartient à la base de données **Clients**.

L'enchaînement A1 sera le suivant 2-4-5.

**6'**. L'application indique à l'utilisateur qu'aucun résultat n'a été trouvé.

Le scénario nominal reprend au point 2'.

**Solution Opt PmP**

Ce cas d'utilisation représente la possibilité pour l'utilisateur d'avoir une idée sur la solution optimale. Ce cas d'utilisation s'appuie sur les **contraintes 2**

<b>Acteur</b>	Bureau d'étude
<b>Description</b>	L'utilisateur a la possibilité de déterminer la solution optimale pour un projet PmP
<b>Pré Condition</b>	Avoir des informations sur le client
<b>Commentaire</b>	Dans le résultat de ce calcul on trouve la description de la solution optimale en terme de volume d'équipements à avoir.
<b>Scénario nominal</b>	
<b>Acteur</b>	<b>Système</b>
1. L'utilisateur lance la fonctionnalité du calcul de la solution optimale.	2. L'application répond en affichant la solution optimale et ce en s'appuyant sur <b>les contraintes 2</b>
	3. L'application attend l'action d'enregistrement ces informations dans la base des Projets.
4. Le donneur d'ordre valide l'action d'enregistrement.	5. L'application enregistre les données et envoie un message d'état d'enregistrement.

**Enchaînements alternatifs**

**A1** : Si un champ est manquant dans la spécification des choix de l'utilisateur, L'enchaînement A1 démarre au point **1** du scénario nominal.

**Les contraintes 2**

Ce cas d'utilisation regroupe l'ensemble des contraintes qui interagissent avec l'outil.

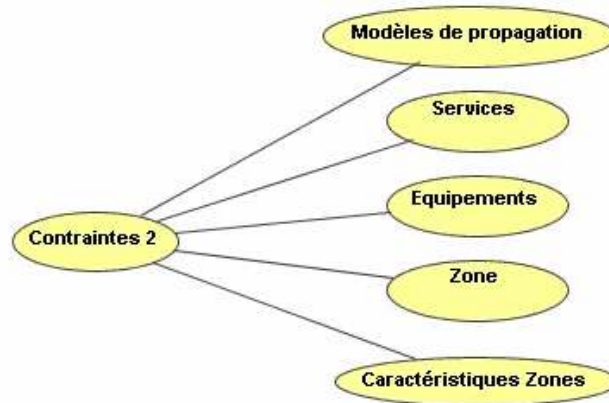


Figure III.3: Composantes du cas d'utilisation Contraintes 2

<b>Acteur</b>	Bureau d'étude
<b>Description</b>	L'utilisateur a la possibilité de faire des choix par rapport aux différentes options qui seront prises en compte par l'outil pour la détermination de la solution optimale
<b>Pré Condition</b>	Calculer la solution optimale du projet
<b>Post Condition</b>	Récupération du résultat
<b>Scénario nominal</b>	
<b>Acteur</b>	<b>Système</b>
2. A chaque niveau l'utilisateur opère des choix.	1. L'application aux niveau de chaque niveau donne la main à l'utilisateur pour faire des choix .Les différents niveaux sont contenus dans les cas d'utilisations appartiennent à l'ensemble des <b>contraintes 2</b>

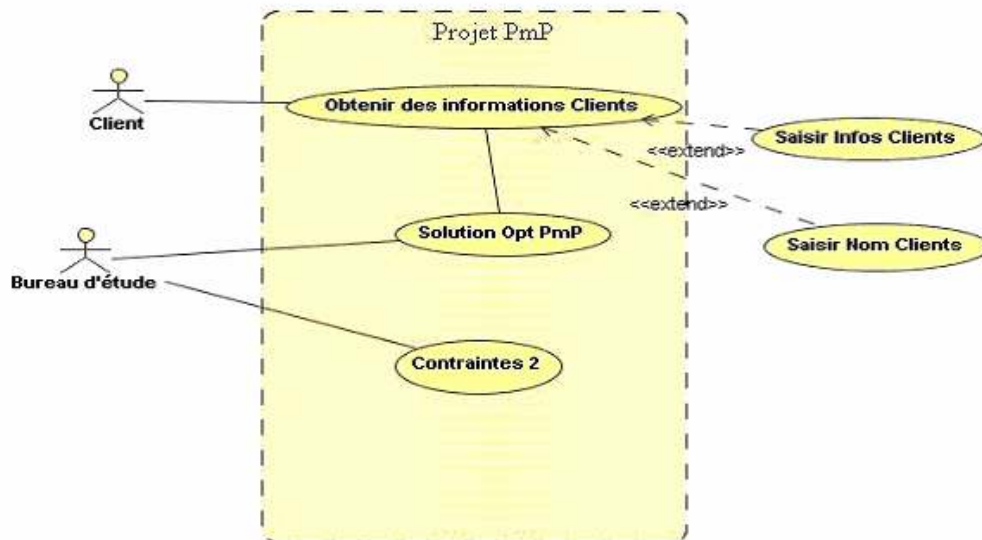


Figure III.4 : Cas d'utilisation Projet PmP

### I.7.3 Projet PtP

Ce cas d'utilisation est la matérialisation de la possibilité que possède l'utilisateur d'opter pour un dimensionnement Point à Point. Ce cas d'utilisation pour complet s'appuie sur les cas d'utilisation **Avoir des informations Clients**, **Solution Opt PtP** et **contraintes 1**. Il est à noter que les cas d'utilisation **Avoir des informations Clients** et **Solution Opt PtP** ont le même profil respectivement de **Obtenir des informations Client** et **Solution Opt PmP**.

**Contraintes 1**

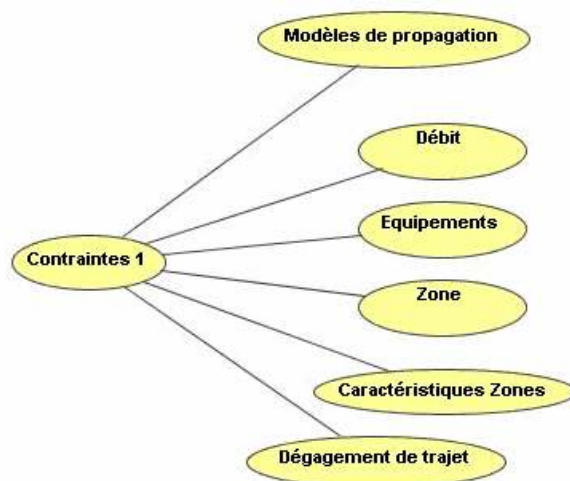


Figure III.5: Composantes du cas d'utilisation Contraintes 1

<b>Acteur</b>	Bureau d'étude
<b>Description</b>	L'utilisateur a la possibilité de faire des choix par rapport aux différentes options qui seront prises en compte par l'outil pour déterminer la solution optimale.
<b>Pré Condition</b>	Calculer la solution optimale du projet
<b>Post Condition</b>	Récupération du résultat
<b>Scénario nominal</b>	
<b>Acteur</b>	<b>Système</b>
2. A chaque niveau l'utilisateur opère des choix.	1. L'application aux niveau de chaque niveau donne la main à l'utilisateur pour faire des choix .Les différents niveaux sont contenus dans les cas d'utilisations appartiennent à l'ensemble des <b>contraintes 2</b>

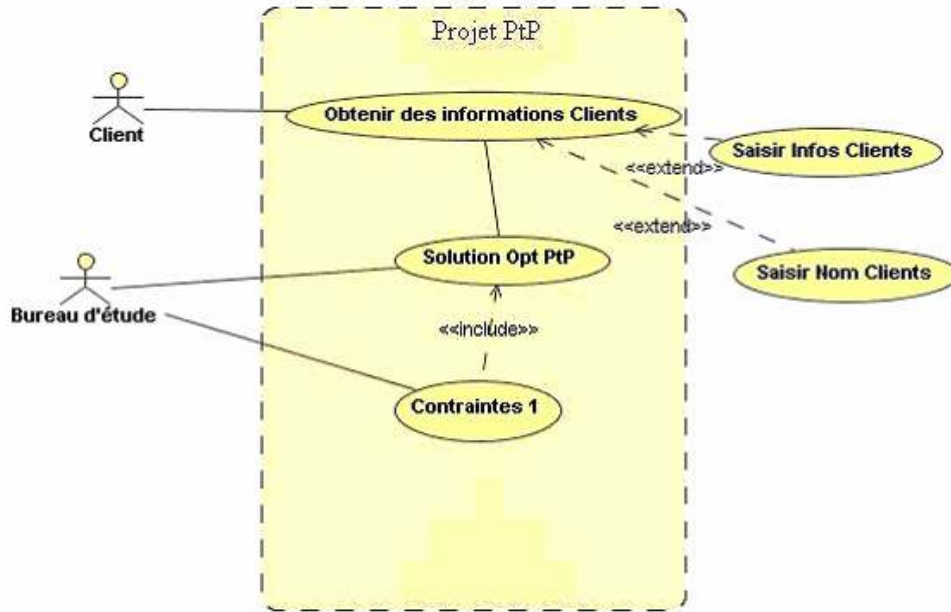


Figure III.6 : Cas d'utilisation Projet PtP

#### I.7.4 Générer rapport

Ce cas d'utilisation permet de générer les rapports avec Crystal report dans le but d'avoir tous les informations concernant la solution optimale de notre projet.

<b>Acteur</b>	Bureau d'étude
<b>Description</b>	L'utilisateur veut avoir un résumé de la solution sous une version imprimable.
<b>Pré Condition</b>	Calculer la solution optimale du projet
<b>Post Condition</b>	Récupération du résultat
<b>Scénario nominal</b>	
<b>Acteur</b>	<b>Système</b>
1. L'acteur lance la commande	2. L'application charge la requête et Crystal Report 3. L'application affiche le résumé de la solution imprimable

## **II Conception**

Après la spécification des besoins, nous entamons la phase conceptuelle.

### **II.1 Conception de la base de données**

L'application à élaborer gère un nombre assez important d'objet. Afin de pouvoir les gérer, et de satisfaire tout les besoin de suppression ou d'ajout d'un nouveau type d'enregistrement .Chacun de ces types est référencié dans une table de sorte que toute modification sera limitée au niveau de la table concernée.

#### **II.1.1 Modèle conceptuel**

Le modèle conceptuel est un schéma représentant toutes les table d'un programme, leurs attributs ainsi que les relations entre ces tables. Afin de bien comprendre la structure de l'outil, nous allons présenter dans un premier temps les modèles conceptuels associés aux différents projets.

Il est à noter que nous avons consacré une seule table Antenne regroupant à la fois celles destinées aux projets PmP et PtP, aux antennes indoor et outdoor. Le filtrage ce faisant soit sur la base de la technologie, du milieu,...

##### **II.1.1.1 Projet PtP**

Les contraintes considérées sont les suivantes :

- Un client peut avoir un ou plusieurs projets, mais la réciproque n'est pas admise
- Un projet peut comporter un à plusieurs liens à déployer, et un lien donné ne peut appartenir qu'à un seul projet
- Un lien n'appartient qu'à un seul milieu
- La liaison (antenne-câble\_connecteur-Emetteur-récepteur) est soumise à une régulation qui permet de définir la PIRE.

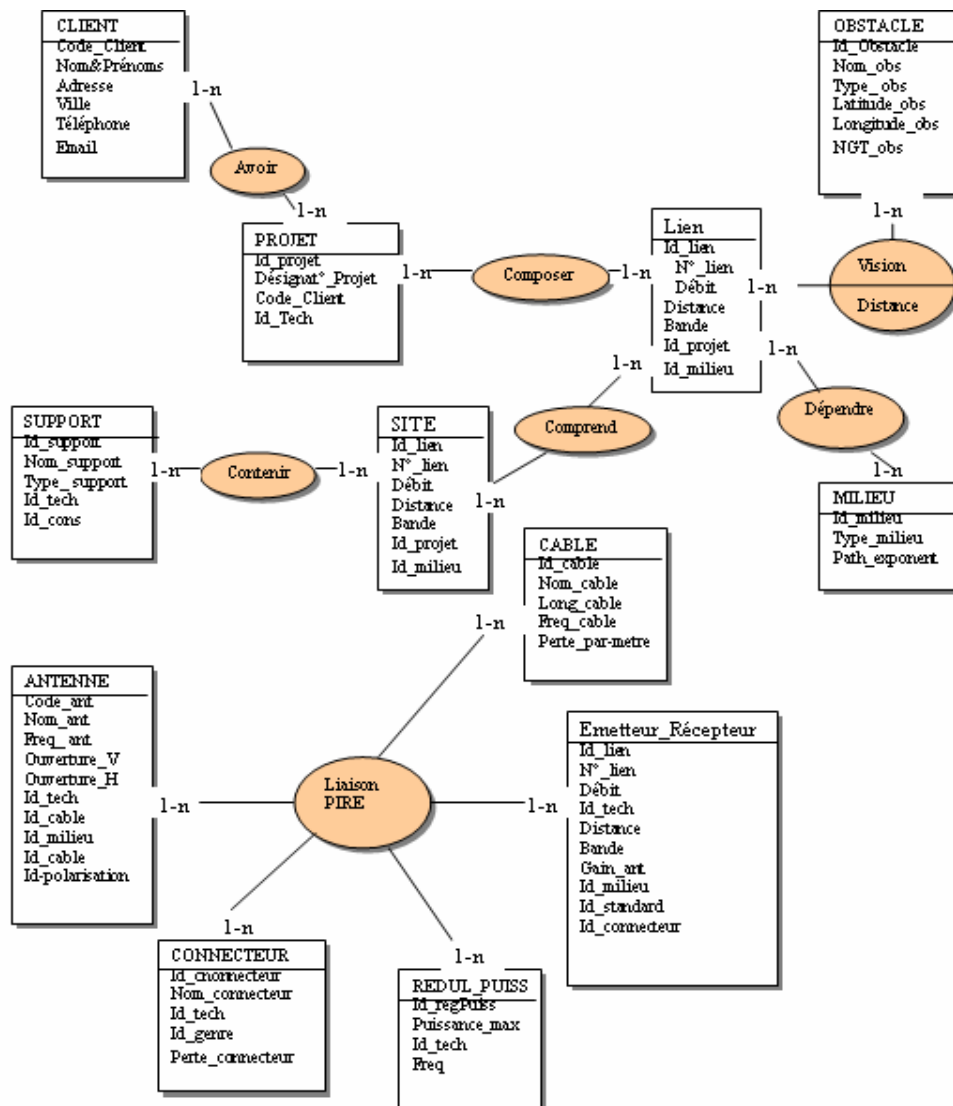


Figure III.7 : Modèle conceptuel du projet PtP

II.1.1.2 Projet PmP

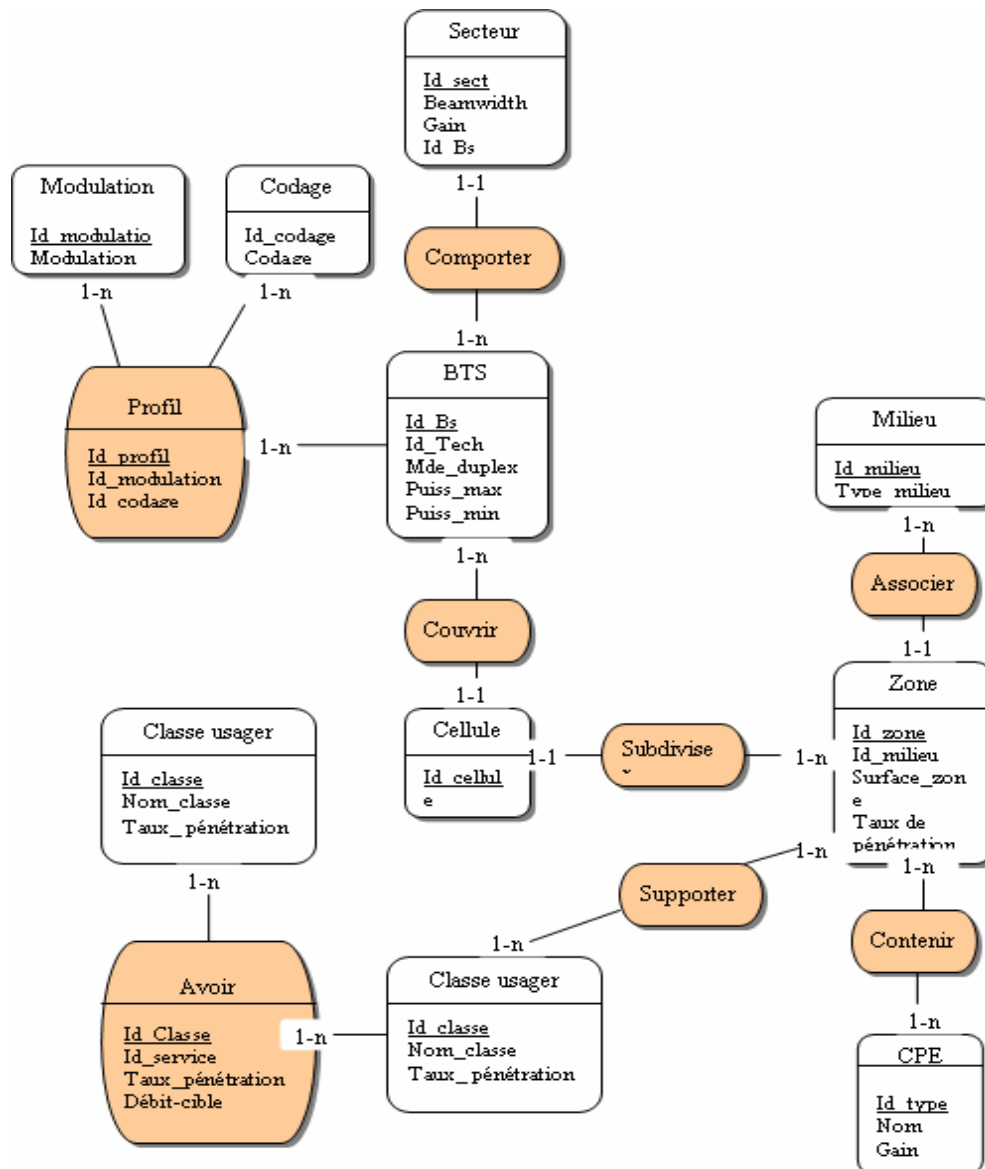


Figure III.8 : Modèle conceptuel du Projet PmP

Concernant le projet PmP, il faut le considérer avec certaines tables communes avec le projet PtP comme celles Clients et Projet.

De plus chaque zone contient un ou plusieurs classes d'utilisateurs faisant appel à un ensemble bien défini de services.

### III Réalisation

Notre outil a été développé sous *Microsoft Visual Basic*, la version *6.0*. C'est un langage événementiel très convivial, qui permet une interaction avec les bases de données. Dans, notre travail nous avons utilisée la base de données *ACCESS*, que nous pouvons manipuler via des requêtes *SQL*, abréviation anglaise de *Structured Query Language* désignant un langage de programmation et de requête dans une base de données. De plus, nous avons eu recours au logiciel *Crystal Report* pour générer les rapports contenant le détail de la solution optimale.

#### III.1 Projet PmP

Pour avoir accès à l'interface donnant sur le programme pour le dimensionnement d'un projet Wimax suivant l'architecture Point à Multipoint, il faut faire un choix comme le montre la figure suivante.

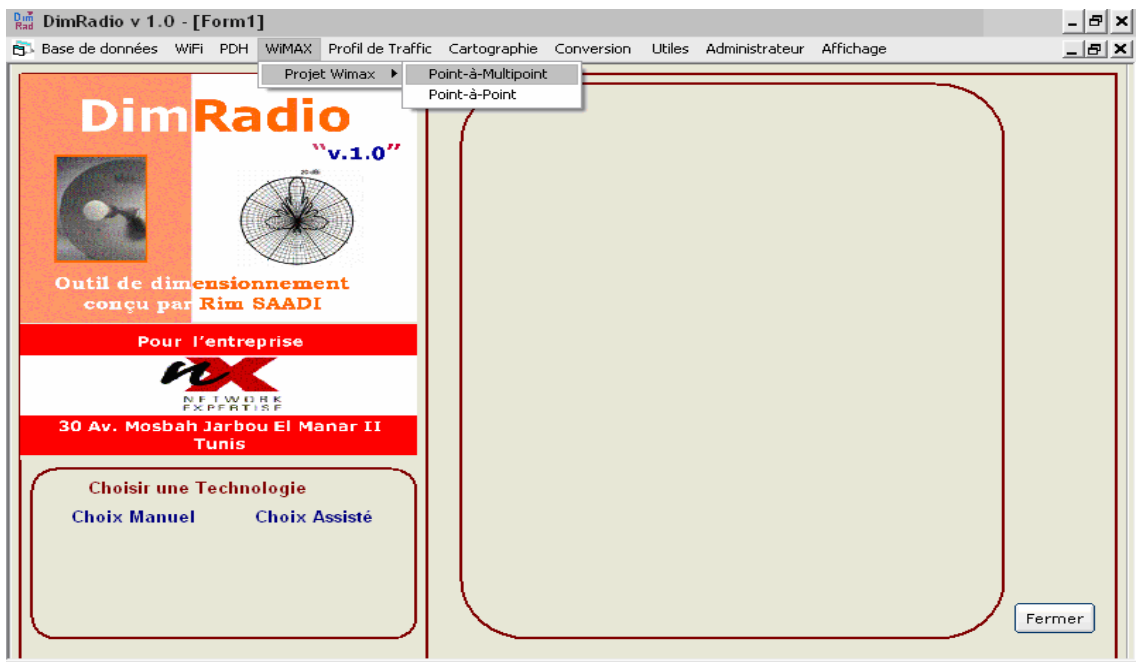


Figure III.9 : Page de choix de projet Wimax

La figure suivante présente la possibilité pour l'acteur de soit saisir manuellement les informations sur le client ou à partir de la base de données Clients.

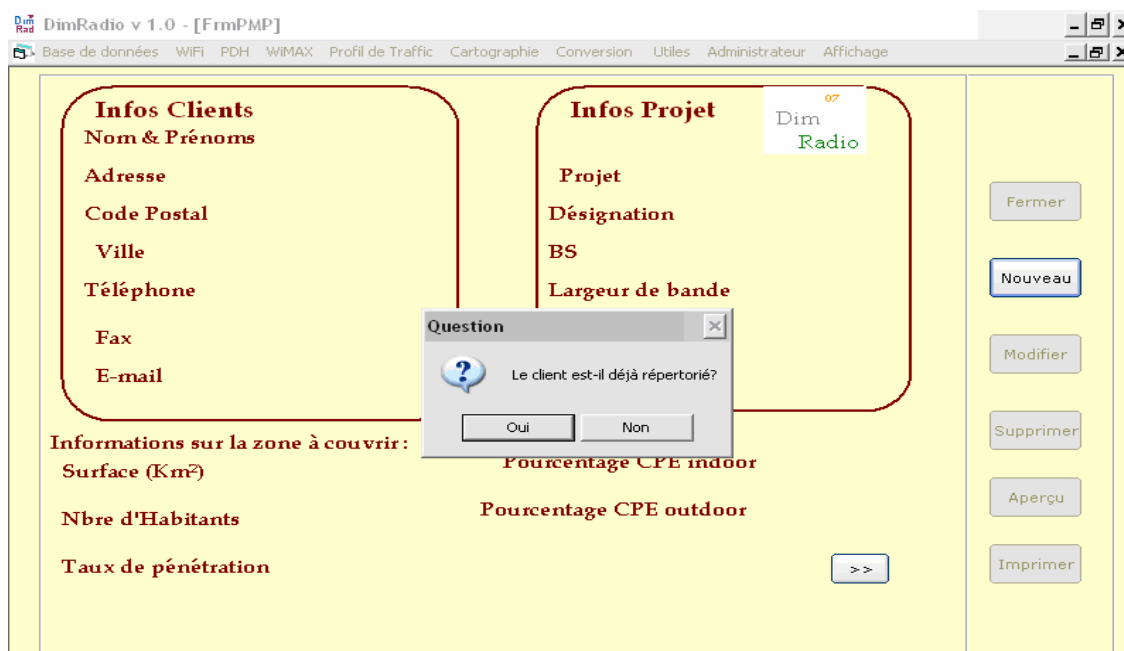


Figure III.10 : Choix pour donner les informations Clients

La figure suivante présente les informations concernant les caractéristiques du projet et de la zone cible.



Figure III.11 : Remplissage du formulaire concernant le projet et la zone cible

La page suivante présente le formulaire qui décrit les caractéristiques de la zone, mais également des équipements et les services à disposition.

The screenshot shows the 'CLASSES DE SERVICES' configuration window in DimRadio v 1.0. The interface includes the following elements:

- Service Classes:** Checkboxes for 'Résidentiels-services de base', 'Résidentiels-services supplémentaires', 'Petites et moyennes entreprises' (checked), and 'Grandes entreprises et professionnels'.
- Environment:** A dropdown menu for 'Milieu' set to 'Suburban' and a dropdown for 'Nombre de secteurs Bs' set to '4'.
- Propagation Models:** Radio buttons for 'SUI Models' and 'COST 231 HATA' (selected).
- Cell Type:** Radio buttons for 'Hexagonale' (selected) and 'Circulaire'.
- Antenna Parameters:** Input fields for 'Gain BS' (14 dB), 'Hauteur de BS' (45 m), 'Hauteur des CPE indoor' (4 m), 'Antennes des CPE outdoor' (Model 3338), 'Gain antenne CPE outdoor' (14 dB), and 'Hauteur des CPE outdoor' (8 m).
- Buttons:** 'Calculer', '<<', 'Fermer', 'Nouveau', 'Modifier', 'Supprimer', 'Aperçu', and 'Imprimer'.

Figure III.12: Caractéristiques de la zone cible et des équipements

Cette figure donne la solution optimale en terme d'équipements pour pouvoir satisfaire la demande des clients de la zone cible.

The screenshot shows the 'Evaluation des Besoins' results window in DimRadio v 1.0. The interface includes the following elements:

- Needs Evaluation:** 'Evaluation des Besoins en' with a value of 207.9702 Mb/s.
- Capacity Evaluation:** 'Evaluation de la capacité par secteur' with a value of 10.398751 Mb/s.
- Required Resources:** 'Nombre de secteurs requis : 20' and 'Nombre de BS requis (capacité) : 5'.
- Illustration:** A graphic showing a 'Small / Large Enterprise' with a signal tower and buildings.
- Buttons:** 'Enregistrer', '<<', 'Fermer', 'Nouveau', 'Modifier', 'Supprimer', 'Aperçu', and 'Imprimer'.

Figure III.13 : Solution optimale du projet

### III.2 Projet PtP

Le choix pour avoir l'interface relative au dimensionnement Wimax, suivant l'architecture Point à Point se fait de la même manière que pour le projet Point à Multipoint. Il en est de même concernant la manière d'avoir les informations Clients.

Figure III.14 : Formulaire de départ du Projet PtP

Après avoir donné à mettre en œuvre ainsi que les liens à établir, il faudrait maintenant donner les spécificités de ses derniers.

C'est à cette étape que sont présentées les attentes du client en terme de débit, également les caractéristiques de la zone du déploiement.

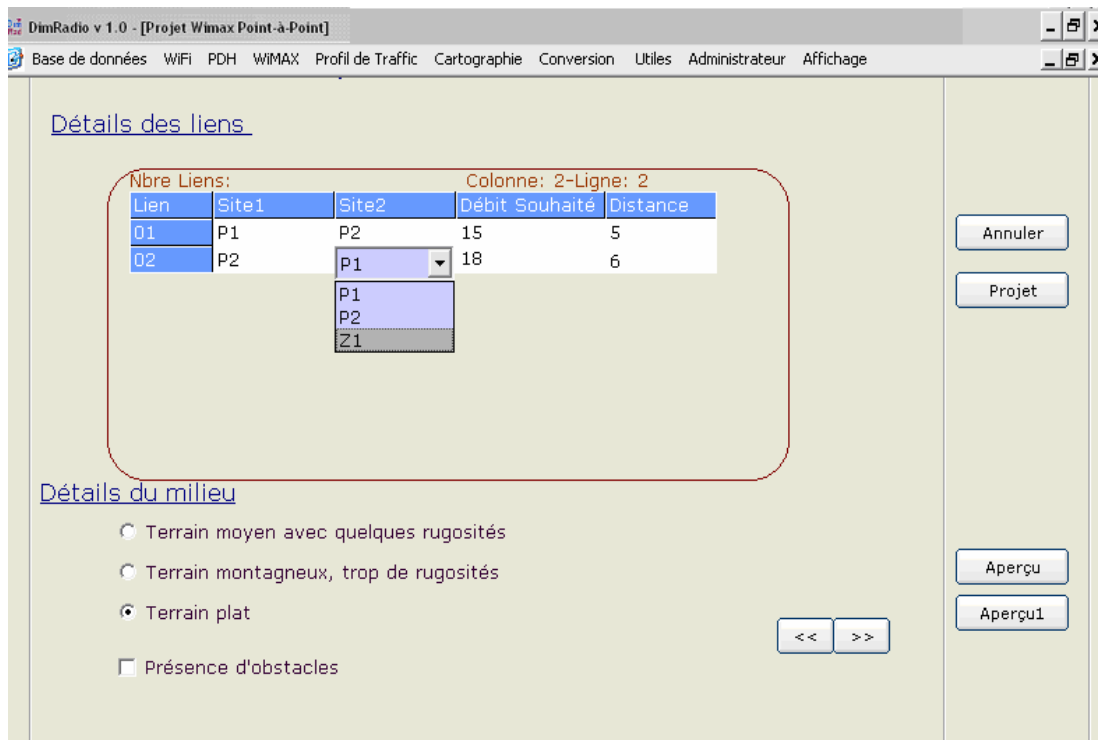


Figure III.15 : Détails des lien et la le zone de déploiement

Après la spécification des besoins, nous passons à la phase de sélection des équipements qui correspondent plus aux objectifs fixés.

Dans notre cas, on le fait sur une optimisation de la marge pour ne pas entraîner un surdimensionnement inutile.

The screenshot shows the DimRadio v 1.0 software interface. At the top, there is a menu bar with options: Base de données, WiFi, PDH, WIMAX, Profil de Traffic, Cartographie, Conversion, Utiles, Administrateur, Affichage. Below the menu, there are two dropdown menus: Milieu: Normal and Standard: 802.16e.

The main interface is divided into two columns for Site 1 and Site 2. Each column contains the following parameters:

- Pont: MP 11
- Puissance(dBm): 11 (Site 1) and 17 (Site 2)
- Débit: 18
- Antenne: Autre
- Autre antenne Gain(dBi): 10 (Site 1) and 7 (Site 2)
- Cable: LMR400
- Longueur du câble(m): 20 (Site 1) and 15 (Site 2)

On the right side, there are four buttons: Annuler, Calculer, Report, and Fermer.

Below the input fields, there is a section titled "Résultats" with a field for "Longueur du lien: 6000 (m)".

The results are displayed in a table:

Antenne 1		Cable 1		PIRE	Antenne 2		Cable 2		PIRE	Perte Max
Modèle	Gain(dBi)	Long	Perte(dB)		Modèle	Gain(dBi)	Long	Perte(dB)		
AIR-ANT1729	6	2	1.6	15.4	AIR-ANT1949	13.5	1	0.22	30.28	-113.984

Below the table, it says "Marge obtenue = 1.696".

Figure III.16 Bilan de liaison

### **Conclusion**

Dans ce chapitre, il a été question de la présentation des fondamentaux de l'outil de dimensionnement de la norme Wimax, que ce soit pour une architecture Point à Point ou Point à Multipoint. Et ce, en présentant tout d'abord les principaux besoins fonctionnels et leurs interaction avec l'outil, et en terminant par la présentation des interfaces.

## Conclusion Générale

Au terme de cette étude, nous sommes parvenu à la mise en œuvre un outil d'aide à la décision pour le dimensionnement de la norme 802.16 e, et ce quelque soit l'architecture radio choisie.

Ceci a été possible en tenant compte des exigences du client, des équipements utilisées, des l'environnement de la zone de déploiement.

Pour parvenir à la réalisation de notre outil, nous avons commencé d'abord par détailler les spécificités de la norme 802.16 e.

S'appuyant sur ces concepts, nous avons présenté la méthodologie de dimensionnement appropriée en fonction de l'architecture radio, et les contraintes associée à cette dernière.

C'est ainsi que nous avons pu terminer en exposant la démarche de conception de l'outil depuis, la phase de la spécification des besoins fonctionnels jusqu'à la réalisation des interfaces.

Aussi, à la fin de la réalisation de notre outil, il nous est apparu que ce dernier pouvait être amélioré. Et que cela demanderait des scénarii plus élaborés, qui lui permettrait une ouverture vers l'introduction de nouvelles applications.

## Bibliographie/Netographie

- [1] Document Electronique (pdf) : IEEE-Part 1- : Air Interface for Fixed BroadBand Wireless Access System- IEEE Computer Society and the IEEE Microwave Theory and Techniques Society-October2004
- [2] Hassan Yagoobi- "Scalable OFDMA Physical Layer in IEEE 802.16 WirelessMAN"- Intel Technology Journal, Vol 08- August 2004.
- [3] Wimax Forum-Wimax\_Part1 : A technical Overview and Performance Evolution –August 2006
- [4] Doug Gray- Mobile WiMAX: A Performance and Comparative Summary -September 2006
- [5] Document Electronique (pdf) :Sik Choi, Gyung-Ho Hwang , Taesoo Kwon, Ae-Ri Lim, and Dong-Ho Cho, Department of Electrical Engineering and Computer Science,Korea Advanced Institute of Science and Technology(KAIST) Telecommunication R&D Center, Samsung Electronics Co. Ltd., Korea- Fast Handover Scheme for Real-Time Downlink Services in IEEE 802.16e BWA System
- [6] www.manager.com- Benjamin Charles : WiMAX : Quelle sécurité ?
- [7]Sami Tabbane-Cours ingénierie des réseaux cellulaires-Sup'Com 2006
- [8] Klas Johansson-Cost Efficient Provisioning of Wireless Access Systems-Licentiate Thesis in Telecommunications-Stockhom,april 2004
- [9]Timo Smura –Techno-economic Analysis of IEEE 802.16 a based Fixed Wireless Access Network Helsinki,April 2004
- [10] Hoymann C.,Püttner M.,Forkel I.-The Hyperman Standard aperformance Analysis in Proceeding of the IST Mobile & Communication summit –June 2003
- [11]IEEE 802.16 Working Group. "Channels models for fixed wireless applications",Document802.16.3c-01/29r4.July,2001

[12] C. L. Hong, I. J. Wassell, G. E. Athanasiadou, S. Greaves and M. Sellars, "Wideband Channel Measurements and Characterisation for Broadband Wireless Access", Proceedings of the Twelfth International Conference on Antennas and Propagation, 2003 (ICAP 2003), vol. 1, April 2003.

## Annexes



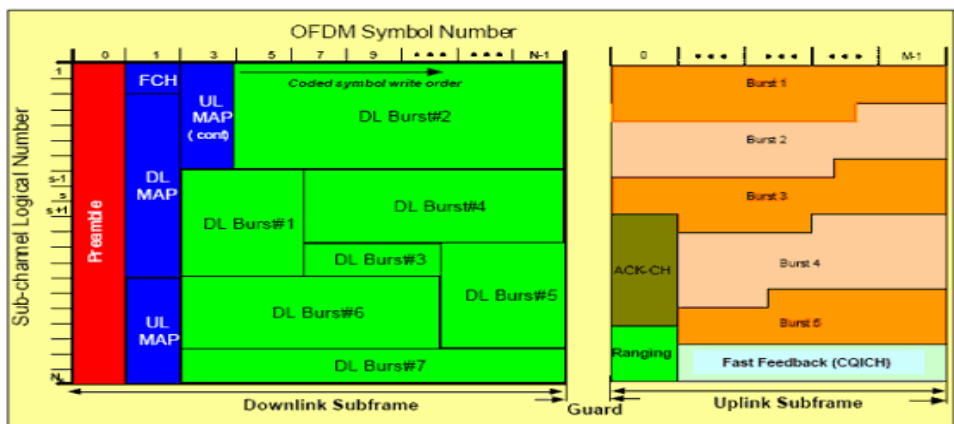
# Les caractéristiques de la Norme 802.16e

### I. Les caractéristiques de S-OFDMA

Le caractère adaptatif de la technique d'accès de la norme 802.16e réside dans le fait de la constance de l'intervalle de garde entre les fréquences qui est une conséquence de l'ajustement de la taille de la FFT en fonction de la largeur de la bande, comme le montre le tableau suivant.

Parameters	Values			
System Channel Bandwidth (MHz)	1.25	5	10	20
Sampling Frequency ( $F_s$ in MHz)	1.4	5.6	11.2	22.4
FFT Size ( $N_{FFT}$ )	128	512	1024	2048
Number of Sub-Channels	2	8	16	32
Sub-Carrier Frequency Spacing	10.94 kHz			
Useful Symbol Time ( $T_b = 1/f$ )	91.4 microseconds			
Guard Time ( $T_g = T_b/8$ )	11.4 microseconds			
OFDMA Symbol Duration ( $T_s = T_b + T_g$ )	102.9 microseconds			
Number of OFDMA Symbols (5 ms Frame)	48			

### II. La structure de la trame

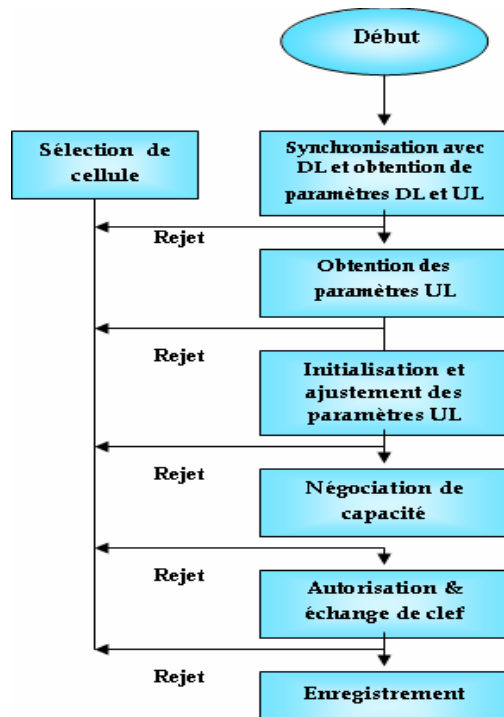


La figure précédente présente l'agencement des bursts au sein d'une trame, avec les différents champs :

- le champ FCH (Frame Control Header) : donne l'information sur la configuration de la trame
- UL ranging : ce champ est alloué à la SS pour l'ajustement de puissance et la demande de la bande passante
- UL CQICH (Channel Quality Indicator Channel) : alloué à la SS pour l'envoi des informations concernant l'état du canal.
- ACK CH : canal d'acquiescement utilisé par le mécanisme ARQ

Il est à noter que le champ MAP définit la manière et l'ordonnancement des différents bursts à envoyer et ceux reçus.

### III. Le déroulement de l'association d'une station mobile à la station de base



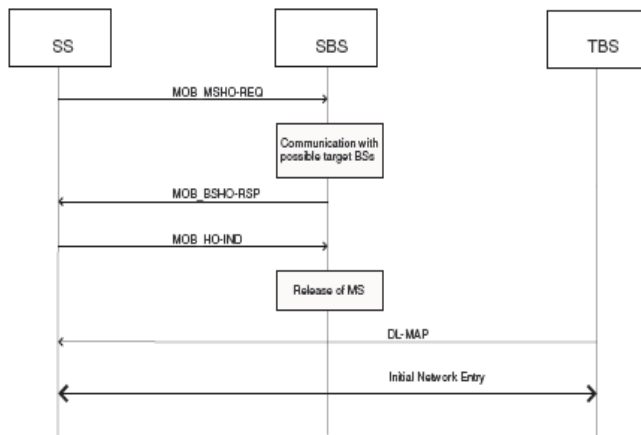
# Handover



Comme présenté dans le chapitre 1, le handover est un mécanisme qui permet de garantir la gestion de la mobilité.

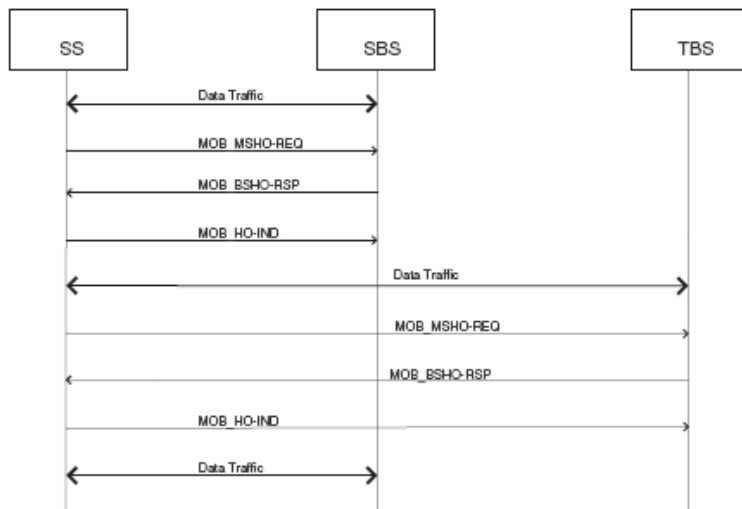
Nous avons présenté pour ainsi dire deux mécanismes de handover.

D'une part le Hard Handover, qui implique une rupture de connexion de notre SS en mouvement d'avec sa BS #1 (SBS) à laquelle il était premièrement rattaché. Pour ensuite se remettre en relation avec la BS#2 (TBS) dont le niveau de champ est supérieur à celui de BS#1. En ce sens que le SS ne dialogue qu'avec une seule BS à la fois.



Echange de messages lors d'un Hard HO

D'autre par les mécanismes de handover facultatifs, qui eux requiert une liste de BS qui sont toutes en dialogue avec le SS. Ce qui permet d'avoir une diversité possible soit dans UL.



Echange de messages lors d'un FSHO

## Présentation de la notation UML



UML (Unified Modeling Language), qui peut se traduire en français par langage unifié pour la modélisation, est un langage de modélisation objet qui permet de modéliser de manière claire et précise la structure et le comportement d'un système indépendamment de toute méthode ou de tout langage de programmation.

### 1. Les diagrammes d'UML

UML définit des diagrammes structurels et comportementaux pour représenter respectivement les vues statiques et dynamiques d'un système.

#### Définition d'un diagramme

Un diagramme est la représentation graphique d'un ensemble d'éléments qui constituent un système. La plupart du temps, il se présente sous la forme d'un graphe connexe où les sommets correspondent aux éléments et les arcs aux relations. Les diagrammes servent à visualiser un système sous différentes perspectives et sont donc des projections dans un système.

#### 1.1 Présentation des diagrammes d'UML

UML définit neuf sortes de diagrammes pour représenter les différents points de vue de modélisation. La liste des différents diagrammes est la suivante :

- **Diagrammes de classes** qui représentent la structure statique en termes de classes et de relations.
- **Diagrammes d'objets** qui représentent la structure statique en termes d'objets et de liens.
- **Diagrammes des cas d'utilisation** qui représentent les fonctions du système vues par l'utilisateur.
- **Diagrammes de séquence** qui sont une représentation temporelle des objets et de leurs interactions.

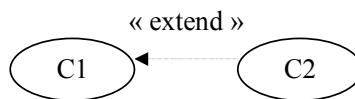
- **Diagrammes de collaboration** qui sont une représentation spatiale des objets, des liens et des interactions.
- **Diagrammes d'états-transitions** qui visualisent des automates d'états finis représentant le comportement d'une classe en terme d'états.
- **Diagrammes d'activités** qui visualise un graphe d'activités qui modélise le comportement interne d'une méthode.
- **Diagrammes de composants** qui décrivent les composants et leurs dépendances dans l'environnement de réalisation.
- **Diagrammes de déploiement** qui montrent la disposition physique du matériel composant le système.

### 1.2 Relation entre diagrammes de cas d'utilisation d'UML

#### Relation « extend »

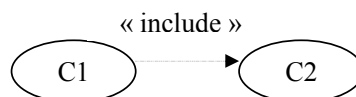
Cette relation permet d'identifier les comportements alternatifs, exceptionnels

En ce sens que si la condition C2 étend la condition C1, cela suppose que C2 est un complément de C1 et que C1 peut avoir lieu sans son complément.



#### Relation « include »

Cette relation dénote de la possibilité de factorisation. En effet, cette relation permet d'identifier un sous ensemble commun à plusieurs cas d'utilisation. Cela suppose que si la condition C1 inclut (utilise) la condition C2, cela revient à dire que toute activation de C1 entraîne celle de C2



## Résumé

**WiMAX** : acronyme pour *Worldwide Interoperability for Microwave Access* est une famille de normes, dont la norme 802.16 e fait partie, définissant les connexions à haut-débit par voie hertzienne

La norme 802.16 e, standard défini par l'IEEE, est une évolution de son prédécesseur la norme 802.16d.

C'est une norme qui a été développée dans le but de pouvoir offrir à un utilisateur en mouvement les mêmes niveaux de qualité de service et de sécurité offert à un utilisateur fixe, bénéficiant des services d'un fournisseur d'accès.

De plus, cette technologie métropolitaine a pour ambition l'interconnexion des points d'accès sur l'étendue d'une ville.

L'objectif de cette étude est la mise en œuvre d'un outil d'aide au dimensionnement de la norme 802.16 e.

Mots Clés :  
Norme 802.16 e, Modèles de Propagations, NLOS, Dimensionnement