

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS.....	i
TABLE DES MATIERES	ii
NOTATIONS ET ABREVIATIONS.....	v
INTRODUCTION GENERALE.....	1
CHAPITRE 1.....	2
GENERALITES SUR LE RESEAU WiMAX.....	2
1.1 Introduction.....	2
1.2 Historique	2
1.3 Les réseaux sans fils.....	3
1.3.1 Classification des réseaux sans fils.....	3
1.3.2 Types d'interconnexion et d'architectures des réseaux sans fils	6
1.4 Les spécifications 802.16	7
1.4.1 IEEE 802.16a.....	7
1.4.2 IEEE 802.16b.....	7
1.4.3 IEEE 802.16c/d.....	8
1.4.4 IEEE 802.16e.....	8
1.4.5 IEEE 802.16f.....	8
1.4.6 Les normes en cours de développement.....	8
1.4.7 Comparaison entre les différents standards 802.16.....	8
1.5 Architecture générale des réseaux WiMAX.....	9
1.5.1 Description de l'architecture cellulaire d'un réseau WIMAX.....	9
1.5.2 Description de l'architecture en couche d'un réseau WIMAX.....	11
1.6 La Qualité de Service dans le WiMAX	22
1.7 Domaines d'applications du réseau WiMAX	25
1.8 Conclusion	26
CHAPITRE 2.....	27
GESTION DE LA MOBILITE DANS LE RESEAU WiMAX MOBILE.....	27
2.1 Introduction.....	27

2.2 Généralités sur la gestion de la mobilité	27
2.2.1 <i>Les types de gestion de mobilité.....</i>	27
2.2.2 <i>Modes de fonctionnement des gestions de la mobilité.....</i>	28
2.2.3 <i>Objectifs de la gestion de la mobilité.....</i>	31
2.2.4 <i>Problèmes de la gestion de la mobilité.....</i>	31
2.3 Etude de la gestion de la mobilité dans le réseau WiMAX mobile.....	32
2.3.1 <i>Les particularités du réseau WiMAX mobile.....</i>	32
2.3.2 <i>La gestion de la mobilité dans le réseau WiMAX mobile.....</i>	39
2.4 Conclusion	50
CHAPITRE 3.....	51
SIMULATION DE LA GESTION DE MOBILITE DANS LE RESEAU WiMAX MOBILE	51
3.1 Présentation du logiciel MATLAB et GUI	51
3.2 Objectifs de la simulation.....	52
3.3 Simulation d'un handover	52
3.3.1 <i>Présentation de l'interface graphique.....</i>	53
3.3.2 <i>Déroulement de la simulation</i>	53
3.4 Simulation de la gestion de la mobilité.....	55
3.4.1 <i>Présentation de la simulation.....</i>	55
3.4.2 <i>Scénario de la mobilité</i>	56
3.4.3 <i>Paramètres de la simulation.....</i>	56
3.4.4 <i>Critères de performances.....</i>	57
3.4.5 <i>Présentation de l'interface graphique.....</i>	57
3.4.6 <i>Résultats des simulations.....</i>	58
3.5 Conclusion	62
CONCLUSION GENERALE	63
ANNEXE 1 LES INTERFACES GRAPHIQUES	64
ANNEXE 2 VOIX SUR IP (VoIP)	67
ANNEXE 3 TERMINOLOGIE DE LA MOBILITE.....	68
BIBLIOGRAPHIE	72
FICHE DE RENSEIGNEMENTS	75

RESUME.....	76
ABSTRACT	76



NOTATIONS ET ABREVIATIONS

1. Minuscules latines

d	Rayon de couverture
h_r	Hauteur d'antenne de réception
h_t	Hauteur d'antenne d'émission
s	Seuil

2. Majuscules latines

A	Messages pour assurer l'authentification du MSS et les fonctions d'autorisation du service
At	Ouverture effective de l'antenne
C	Cellule
G_m	Gain de l'antenne du mobile
G_r	Gain d'antenne de réception
G_t	Gain d'antenne d'émission
IB	Messages entre les stations de base
L	Perte du système
P_m	Puissance du mobile
P_r	Puissance reçue à la BTS
$P_r(d)$	Modèle de propagation radio
U	Messages pour assurer la mobilité
W	Watt

3. Minuscules grecques

π	Pi
-------	----

4. Abréviations

3GPP	Third Generation Partnership Project
4G	Quatrième Génération
AAA	Authentication Authorization Accounting
AAS	Adaptive Antenna System

ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
AES	Advanced Encryption Standard
AK	Authentication Key
AM	Amplitude Modulation
ANG	Access Network Gateway
AP	Access Point
AR	Access Router
ARQ	Automatic Repeat Request
ART	Autorité de Régulation des Télécoms
ASA	Authentication and Service Authorization
ASN	Access Service Network
ASN-GW	Access Service Network Gateway
ASP	Access Service Provider
ATM	Asynchronous Transfer Mode
BE	Best Effort
BLR	Boucle Locale Radio
BS	Base Station
BSHO	Base Station Handover
BTS	Base Transceiver Station
BWA	Broadband Wireless Access
CC	Convolutional Code
CID	Connection Identifier
CPS	Common Part Sublayer
CS	Convergence Sublayer
CSMA	Carrier Sense Multiple Access
CSMA/CA	CSMA with Collision Avoidance
CSN	Core Service Network
dB	Decibel
DCD	Downlink Channel Descriptor
DES	Data Encryption Standard
DFS	Dynamic Frequency Selection
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
DHCPv6	Dynamic Host Configuration Protocol version 6

DL-MAP	Downlink MAP
DNS	Domain Name System
DSA	Dynamic Service Addition
DSL	Digital Subscriber Line
EAP	Extensible Authentication Protocol
EHF	Extremely High Frequency
ertPS	Extended Real Time of Polling Service
FBSS	Fast Base Station Switching
FDD	Frequency Division Duplex
FEC	Forward Error Correction
FFT	Fast Fourier Transform
FM	Frequency Modulation
FTP	File Transfer Protocol
GHz	Giga Hertz
GPC	Grant per Connection
GPRS	General Packet Radio Service
GPSS	Grant per Subscriber Station
GSM	Global System for Mobile
GUI	Graphic User Interface
HA	Home Agent
HF	High Frequency
HMAC	Hashed Message Authentication Code
HO	Handover
HO-IND	Handover Indicator
HSDPA	High Speed Downlink Packet Access
Hz	Hertz
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IETF	Internet Engineering Task Force
IMS	IP Multimedia Subsystem
IP	Internet Protocol
IPv4	Internet Protocol version 4
IPv6	Internet Protocol version 6
Kbps	Kilobits par seconds

Km	Kilomètres
Km/h	Kilomètres par heure
L2	Layer 2
L3	Layer 3
LF	Low Frequency
LLC	Logical Link Control
LOS	Line Of Sight
LTE	Long Term Evolution
m	Mètres
MAC	Media Access Control
MAP	Medium Access Protocol
MATLAB	MATrix LABoratory
Mbps	Megabits par seconds
MBWA	Mobile Broadband Wireless Access
MDHO	Macro Diversity Handover
MF	Medium Frequency
MGCP	Media Gateway Control Protocol
MHz	Megahertz
MIMO	Multi In Multi Out
MIP	Mobile Internet Protocol
MN	Mobile Node
MPEG	Motion Picture Expert Group
MS	Mobile Station
ms	milliseconds
MSC	Mobile Switching Center
MSHO	Mobile Station Handover
MSS	Mobile Subscriber Station
NAP	Network Access Provider
NLOS	Non Line Of Sight
nrtPS	Non Real Time of Polling Service
NSP	Network Service Provider
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access

OSI	Open Systems Interconnection
PBTS	Puissance reçue de la BTS
PDA	Personal Digital Assistant
PDU	Protocol Data Unit
PHY	Physique
PKM	Privacy Key Management
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QoS	Quality Of Service
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
REG	Registration
REQ	Request
RLC	Radio Link Control
RNG	Ranging
RRM	Radio Resource Management
RS	Reed Solomon Code
RSA	Algorithme à clef public
RSP	Response
rtPS	Real Time of Polling Service
SA	Security Associations
SAID	Service Association Identifier
SAP	Service Access Point
SBC	SS Basic Capability
SDU	Service Data Unit
SFID	Service Flow Identifier
SHF	Super High Frequency
SIM	Subscriber Identity Module
SIP	Session Initiation Protocol
SLA	Service Level Agreement
SNMP	Simple Network Management Protocol
SOFDMA	Scalable Orthogonal Frequency Division Multiple Access
SS	Subscriber Station
STC	Space-Time Code
TCP	Transmission Control Protocol

TDD	Time Division Duplex
TDM	Time Division Multiplex
TDMA	Time Division Multiplexing Access
TEK	Traffic Encryption Key
TFTP	Trivial File Transfert Protocol
ToIP	Telephony over Internet Protocol
TV	Television
UCD	Uplink Channel Descriptor
UE	User Equipment
UHF	Ultra High Frequency
UIUC	Uplink Interval Usage Code
UL-MAP	Uplink MAP
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System
VHF	Very High Frequency
VoIP	Voice over IP
Wi-Fi	Wireless Fidelity
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access
WLAN	Wireless Local Area Network
WMAN	Wireless Metropolitan Area Network
WPAN	Wireless Personal Network
WRAN	Wireless Regional Area Network
WWAN	Wireless Wide Area Network

INTRODUCTION GENERALE

Aujourd'hui, les systèmes de communication sans fil sont de plus en plus présents dans notre vie quotidienne et ils tendent à remplacer l'utilisation excessive de câbles. Bien que les connexions à haut-débit de type ADSL se multiplient dans le monde, elles ne permettent pas la souplesse d'utilisation que procure un réseau radio sans fil surtout du point de vu mobilité.

Au niveau de la gestion de la mobilité, plusieurs réseaux sans fil rencontrent des problèmes lors du déplacement de l'utilisateur tels que la perte de la connexion lors d'un changement d'un réseau à un autre ou d'une station à une autre, la vitesse de déplacement de l'utilisateur et la gestion du nombre de mobile dans une cellule.

Pour y remédier à ces divers problèmes, on va voir une technologie normalisée par IEEE, le standard 802.16, également désigné sous le nom de WiMAX qui vise à s'appliquer des débits élevés, la qualité des services, la longue gamme et de bas coûts de déploiement à une technologie sans fil d'accès sur une échelle métropolitaine. Dans sa version mobile, on a le WiMAX mobile, également baptisé IEEE 802.16e, qui prévoit la possibilité de connecter des clients mobiles au réseau internet. Le WiMAX mobile ouvre ainsi la voie à la téléphonie mobile sur IP ou plus largement à des services mobiles hauts débits.

Ce qui nous amène à ce mémoire intitulé : « gestion de la mobilité dans le réseau WiMAX mobile » qui a pour but d'offrir un aperçu général sur le niveau de la QoS en se basant sur trois critères tels que le délai, les taux des paquets perdus et le débit avec le WiMAX mobile, en simulant plusieurs types de trafic, avec plusieurs niveaux de mobilité, et en appliquant le Hard Handover et le FBSS dans le cas du Handover de niveau 2.

Ce mémoire est subdivisé en trois parties. Premièrement, on va voir les généralités sur le réseau WiMAX. Deuxièmement, notre étude va se consacrer à la gestion de la mobilité dans le réseau WiMAX mobile. Et finalement, la simulation de cette gestion de mobilité qui est subdivisée en deux parties, en premier lieu un exemple d'handover et en deuxième lieu la gestion de la mobilité de six mobiles.

CHAPITRE 1

GENERALITES SUR LE RESEAU WiMAX

1.1 Introduction

WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) est une solution pour des réseaux MAN (Metropolitan Area Network) sans fil. En utilisant un accès WiMAX, on peut atteindre théoriquement un débit jusqu'à 70 Mbps avec une distance de 50 km. WiMAX se sert de la technologie micro onde avec plusieurs bandes de fréquences.

Par rapport au modèle OSI (Open Systems Interconnection), IEEE 802.16 se focalise comme tous les standards IEEE sur les couches 1 et 2. WiMAX prend en charge les transferts de type ATM (Asynchronous Transfer Mode) et IP (Internet Protocol). Pour cela il utilise une sous-couche de convergence qui permet la conversion des informations afin de les rendre exploitable par la couche MAC (Media Access Control).

WiMAX couvre des zones géographiques importantes sans la contrainte d'installation d'infrastructures coûteuses pour faire parvenir la connexion jusqu'à l'utilisateur. Le premier élément de l'architecture WMAN (Wireless Metropolitan Area Network) est la station de base (BS) qui couvre une certaine zone géographique où se situent des utilisateurs immobiles ou en mouvement relativement lent qui communiquent avec la BS selon le principe du point à multipoint.

Ce réseau peut fournir des débits importants et un passage à l'échelle en raison des capacités de canaux flexibles. Il offre une couverture importante, des services avec des exigences de QoS, ainsi qu'une sécurité importante. Le standard 802.16 couvre l'utilisation des bandes de fréquences de 10 à 66 GHz.

1.2 Historique

Apparu en juin 2001, WiMAX ou le retour de la BLR, la boucle locale radio (dont nous avons tant parlé voici quelques temps, est retombée dans l'oubli pour la majorité d'entre nous) est un standard de réseau sans fil métropolitain créé par les sociétés Intel et Alvarion en 2002 et ratifié par l'IEEE sous le nom de IEEE-802.16.

Cette technologie censée aller là où l'ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) ne va pas est basée sur l'émission radiophonique de porteuse à haut débit.

Premier standard du genre, il constitue une évolution importante qui modifie le paysage technologique pour les fournisseurs et les clients des réseaux à haut débit [7].

Alors que l'ART (Autorité de Régulation des Télécoms) proposait l'ouverture d'un créneau compris entre 26 et 28 GHz, voici que l'*Institute of Electrical and Electronic Engineers Standards Association* vient de valider le standard IEEE 802.16. La normalisation était prévue normalement pour 2005.

1.3 Les réseaux sans fils

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

Les réseaux sans fils, contrairement aux réseaux câblés permettent de relier très facilement des équipements distants d'une dizaine de mètres à quelques kilomètres. De plus l'installation de tels réseaux ne demande pas de lourds aménagements des infrastructures existantes comme c'est le cas avec les réseaux filaires.

En contrepartie se pose le problème de la réglementation relative aux transmissions radioélectriques du fait de la rareté des ressources radio. Ensuite les ondes hertziennes sont difficiles à confiner dans une surface géographique restreinte, il est donc facile pour un pirate d'écouter le réseau si les informations circulent en clair. Il est donc nécessaire de mettre en place les dispositions nécessaires de telle manière à assurer une confidentialité des données circulant sur les réseaux sans fils.

En résumé, la transmission sans fil dépasse de loin la limitation des câbles dans le domaine de l'infrastructure, mais limité par ses ressources et la sécurité de ses informations.

1.3.1 Classification des réseaux sans fils

Le choix de la technologie des réseaux sans fil s'effectue selon l'étendu de la couverture réseau et en fonction de ses caractéristiques comme la vitesse de transmission, le débit, le cout de l'infrastructure, la sécurité, la souplesse d'installation et d'usage, la consommation électrique et l'autonomie...Les deux figures 1.01 et 1.02 décrivent respectivement les différentes catégories de réseaux sans fil suivant leur étendu et les principales normes en fonction des débits portées [7] [22].



Figure 1.01 : *Classification par étendu des réseaux sans fils*

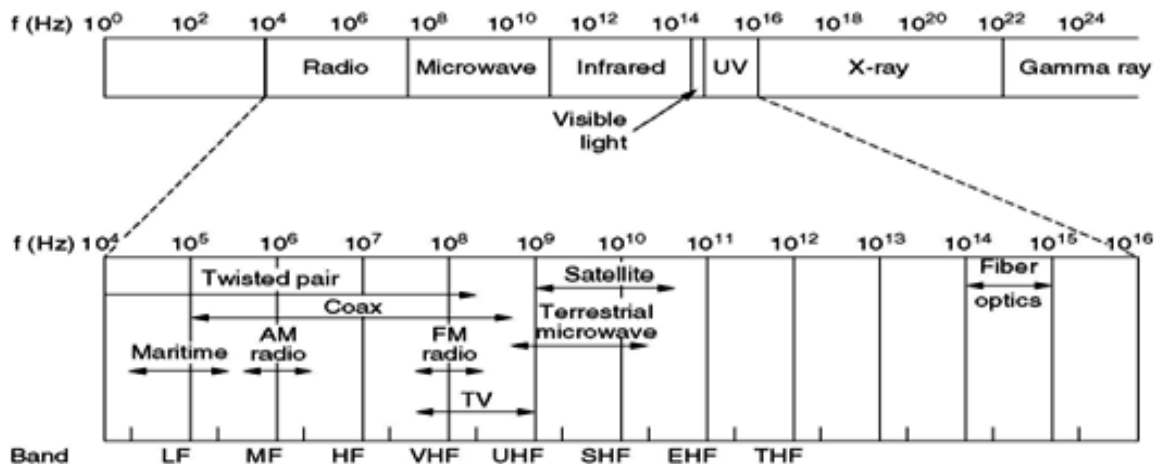


Figure 1.02 : *Classification par spectre électromagnétique*

1.3.1.1 WPAN

Issus de la norme 802.15, ils sont de l'ordre d'une dizaine de mètres et sont prévus pour l'interconnexion des différents périphériques autonomes entre eux tel que téléphone, PDA, portable, appareil photo... Leur fréquence se répartit sur la bande de 2400 à 2483.5Mhz et ne demande pas de licence d'exploitation.

1.3.1.2 WLAN

D'une portée d'une centaine de mètres, elle est issue de la norme 802.11 (Wifi) et ses dérivées. Les plus connues sont :

- La norme 802.11a qui offre un débit de 54Mbps dans la bande des 5.3Ghz,
- La norme 802.11b qui offre un débit de 11Mbps dans la bande des 2.4Ghz,

La norme 802.11g qui est un compromis avec les deux normes précédentes en offrant un débit de 54Mbps dans la bande des 2.4Ghz.

1.3.1.3 WMAN

C'est bien le type de réseaux dont nous nous intéressons le plus puisque c'est de là que le WiMAX tire son origine, qui lui même une technologie de nos jours. De portée de 2 à 50km c'est-à-dire équivalent à l'étendu d'une ville, il est issu de la norme 802.16 et ses dérivées (802.16a, 802.16c/b, 802.16e et 802.16f) et est destiné principalement pour les opérateurs de télécommunication. Aussi appelé BWA ou Boucle Locale Radio, la norme IEEE 802.16 offre une alternative aux réseaux câblés entre différents bâtiments ou un remplacement des lignes DSL.

1.3.1.4 WWAN

Issu de la norme 802.20 et aussi appelé MBWA, ce type de réseau est en cours de développement où le marché est encore dominé par l'UMTS et ses successeurs. Mais, est également connu sous le nom de réseau cellulaire mobile, cette norme doit permettre de créer des réseaux métropolitains mobiles qui ont pour but de déployer à l'échelle mondial des réseaux sans fil hauts débits.

Elle utilise des bandes de fréquences avec licence en dessous des 3.5GHz et peut offrir des débits maximum par utilisateur de 1Mbps en flux descendant et 300Kbps en flux montant avec des cellules de 15km maximum autorisant un déplacement des terminaux à plus de 250km/h (par exemple dans les Trains à Grandes Vitesses). Les principales technologies même concurrentes sont les suivantes :

- GSM (Global System for Mobile Communication ou Groupe Spécial Mobile)
- GPRS (General Packet Radio Service)
- UMTS (Universal Mobile Telecommunication System)
- WIMAX mobile ou 802.16e mais son évolution tend d'avantage à la norme 802.20 (standard de réseau sans fils poussé par Intel avec Nokia, Fujitsu et Prowim), d'ici 2010, le

WIMAX mobile sera plus utilisé pour les réseaux cellulaires hauts débits que pour les réseaux métropolitains. Basé sur une bande de fréquence de 2 à 11 GHz, offrant un débit maximum de 70 Mbits/s sur 50km de portée, certains le placent en concurrent direct de l'UMTS et de la LTE, même si ce dernier est davantage destiné aux utilisateurs itinérants.

A noter que cette norme 802.20 par rapport à l'UMTS qui fonctionnant sur des terminaux centrés voix est prévue pour des terminaux centrés données mais pouvant transférer voix et données.

1.3.1.5 WRAN

Issu de la norme IEEE 802.22 ce sont des réseaux sans fil couvrant une large zone géographique. Cette norme vise à créer des réseaux sans fil dont la zone de couverture est comprise entre 40 et 100km, en utilisant la bande de fréquence VHF/UHF entre 54 et 862Mhz (fréquence de télévision).

Afin d'éviter les interférences avec les canaux utilisés par les télévisions, il utilise seulement les fréquences qui ne sont pas attribuées aux chaînes de télévision.

Elle utilise un canal de 6.7 ou 8Mhz et peut avoir un débit de 18Mbps pour un canal de 6Mhz. Cette norme peut donc offrir un accès sans fil haut débit aux régions peu peuplées.

1.3.2 Types d'interconnexion et d'architectures des réseaux sans fils

1.3.2.1 Types d'interconnexion

Il existe deux types de liaison :

- Liaison point à point

Etant un cas particulier du mode infrastructure, il permet de connecter deux points du réseau grâce à deux antennes généralement bidirectionnelles.

- Liaison point à multipoint

Ayant un système central et des systèmes périphériques, seul le système central peut communiquer avec l'ensemble des terminaux. La gestion de l'ensemble peut s'effectuer par le centre.

1.3.2.2 Types d'architectures

On a deux types d'architectures :

- Réseau sans fil sans infrastructure

Les réseaux sans fil ou Ad-Hoc sont des réseaux distribués et spontanés qui sont composés uniquement de terminaux mobiles et utilisent en générale la liaison multipoint à multipoint. De ce fait, chaque nœud joue à la fois le rôle de routeur pour relayer les messages adjacents vers un nœud qui n'est pas situé dans un voisinage immédiat.

- Réseau sans fil avec infrastructure

Contrairement aux réseaux ad-hoc, les réseaux sans fil avec infrastructure sont composés de stations de base ou point d'accès et de terminaux mobiles ou nœuds mobiles, dont l'ensemble forme ce qu'on appelle réseaux cellulaires.

1.4 Les spécifications 802.16

Comme pour 802.11, plusieurs groupes de travail se chargent de développer les fonctions de WiMAX, d'approuver et de standardiser les évolutions apportées. Un aspect important des normes 802.16 consiste à définir la couche MAC (*Media Access Control*) pour supporter différentes spécifications de couches physiques (PHY). En effet, il est nécessaire de permettre à plusieurs fabricants d'équipement de différencier leurs offres, sans réduire l'interopérabilité, et de permettre l'utilisation de différentes bandes de fréquences. 802.16 fonctionne jusqu'à 124Mbps avec des canaux de 28 Mhz dans la bande 10-66GHz.

1.4.1 IEEE 802.16a

Publiée en avril 2003, 802.16a est la norme qui a réellement suscité de l'intérêt pour WiMAX. La norme 802.16a fonctionne pour un réseau sans fil fixe avec une portée allant jusqu'à 80 km pour raccorder des réseaux radio publics (hotspots), des entreprises (liaisons louées E1) et des particuliers (DSL). La réception s'effectue via une antenne extérieure. Travaillant dans la bande de fréquences 2-11GHz, elle permet aux opérateurs non licenciés de l'adopter. La bande passante théorique approche les 70 Mbps en utilisant des canaux de 20 MHz. Les topologies point-to-multipoint ainsi que des réseaux maillés sont acceptés et ne nécessitent pas une vue dépourvue d'obstacle.

1.4.2 IEEE 802.16b

Ce groupe de travail est chargé de développer les services de qualité (*QoS*) pour 802.16. Ainsi, la bande passante à la demande est un objectif atteint et constitue un avantage de 802.16, comme ATM (*Asynchronous Transfer Mode*). Cette norme définit des réseaux métropolitains sans fil utilisant des fréquences comprises entre 10 et 60Ghz.

1.4.3 IEEE 802.16c/d

Publiés en janvier 2003, 802.16c et 802.16d se chargent de l'interopérabilité en exposant des profils précis et spécifiant des combinaisons d'options possibles, décrivant les bases des tests de compatibilité.

1.4.4 IEEE 802.16e

La norme 802.16e, qui a été validée durant l'été 2005, constituera quant à elle une vraie révolution. Elle permettra d'utiliser le WiMAX en situation de mobilité. Les composants permettant de se connecter au réseau seront alors directement intégrés dans les PC portables. Intel prévoit d'incorporer les puces WiMAX dans sa prochaine version de PC Centrino. La vitesse de déplacement pourra excéder les 100 km/h mais l'immense avantage offert par cette norme sera le maintien des sessions lors d'un changement de point d'accès.

1.4.5 IEEE 802.16f

Cette norme a été publiée en janvier 2006. Elle Définit la possibilité d'utilisation de réseaux sans fil maillés (*mesh network*).

1.4.6 Les normes en cours de développement

On a respectivement les normes suivantes :

- IEEE 802.16g/h
- IEEE 802.16i/j
- IEEE 802.16k/Rev2
- IEEE 802.16m

1.4.7 Comparaison entre les différents standards 802.16

Le tableau ci-dessous, montre une brève comparaison entre les différents standards 802.16 [11].

	802.16	802.16 REVd	802.16e
Spectre	10 – 66 GHz	< 11 GHz	< 6, 11 GHz
Condition canal	Uniquement LOS	NLOS	NLOS
Débit	32 – 134 Mbps à 128 MHz	Jusqu'à 75 Mbps à 20 MHz	Jusqu'à 15 Mbps à 5 MHz

Modulation	QPSK, 16-QAM et 64-QAM	256-OFDM, QPSK, 16-QAM 64-QAM	256-OFDM, QPSK, 16-QAM 64-QAM
Mobilité	Fixe	Fixe	Normale
Bandes passantes	20, 25 et 28 MHz	Au choix entre 1.25 et 20 MHz	Comme 802.16a avec sous canaux montants pour conserver la puissance.
Rayon de cellule	1.61 – 4.83 Kms	4.83 – 8.05 Kms, max pour 48.28 Kms	1.61 – 4.83 Kms

Tableau 1.01 : *Spécificité techniques des différentes normes d'IEEE 802.16x*

1.5 Architecture générale des réseaux WiMAX

A la différence de l'UMTS qui évolue selon la norme GSM, le WiMAX quant à lui emprunte une architecture existante pour le moins, des réseaux informatiques et télécom de nouvelles générations mais plus spécifique par son réseau d'accès permettant une grande interopérabilité entre services et technologies.

1.5.1 Description de l'architecture cellulaire d'un réseau WiMAX

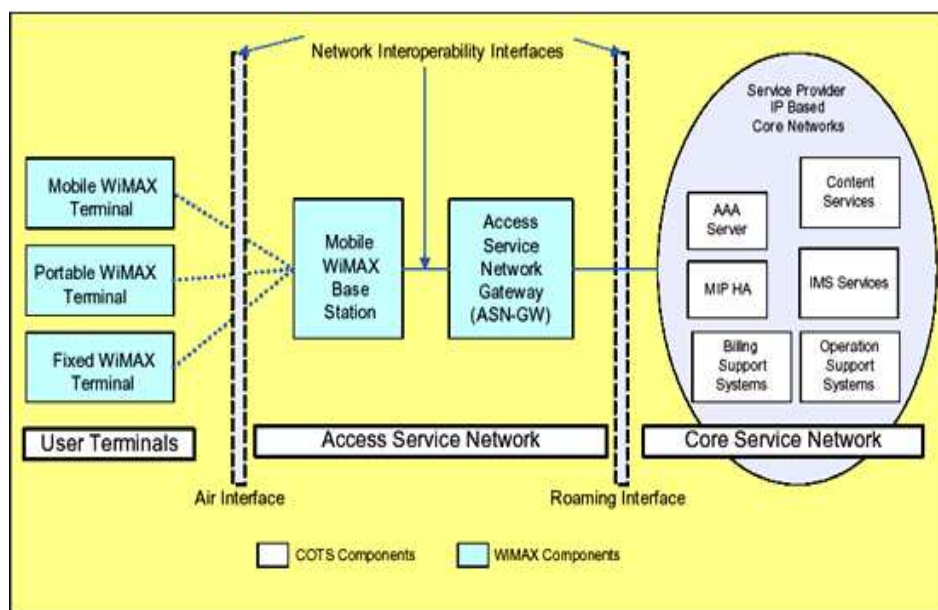


Figure 1.03 : *Architecture cellulaire d'un réseau WiMAX [21]*

1.5.1.1 Domaine de l'équipement usager ou terminaux

Le domaine de l'équipement usager (UE) comprend tous les équipements terminaux aussi variés soient-ils. Les terminaux sont des équipements (mobile ou fixe) à la fois émetteur et récepteur disposant d'un système d'exploitation pour supporter les cartes WaveMan pour le WiMAX mobile basé sur le 802.16e. L'UE constitue le vecteur qui permet à l'abonné d'accéder à l'infrastructure et donc à ses services par le biais d'une interface radio compatible WiMAX.

1.5.1.2 Domaine de l'infrastructure

Ce domaine comprend lui-même deux domaines : celui du réseau d'accès ASN (Access Service Network) et du réseau de connectivité IP CSN ou réseau cœur (Core Service Network). Ce partage des tâches distingue les fonctions propres à l'accès, c'est-à-dire les fonctions permettant d'acheminer les informations (trafic de données et trafic de signalisation) depuis l'utilisateur jusqu'au CSN, et celles qui concernent, par exemple, la gestion des requêtes, le contrôle d'admission, la gestion des services qu'il a souscrit, etc.

a. ASN (Access Service Network)

C'est le réseau d'accès du WiMAX regroupant un ou plusieurs passerelles et des stations de base BS. L'ASN assure la couverture radio et la gestion des fonctionnalités d'accès MAC comme le *paging* ou appel en diffusion sur toutes les cellules pour localiser le mobile, la gestion des ressources radio (RRM) et la mobilité entre les BS (pour la norme 802.16e). Les passerelles ASN-GW assurent l'interconnexion avec le CSN.

b. BS (Base Station)

Ressemblant aux stations cellulaires classiques, c'est le cœur de la technologie WiMAX, la BS fournit à l'UE les ressources radio et les mécanismes nécessaires pour accéder au réseau WiMAX. Elle comporte un ou plusieurs secteurs et intègre des fonctionnalités variant d'un équipement à un autre (bande de fréquence, gain, support du NLOS...) et qui font la différence en terme de performances et de coût. Enfin, tous les BS sont reliés entre eux par un réseau filaire ou backbone (fibre optique, faisceau hertzien) chargeant de l'opération de routage.

c. ASN-GW (Access Service Network-Gateway)

Ce sont des routeurs classiques permettant la collecte du trafic des BS et le routage des paquets dans le réseau. Ils permettent d'interconnecter plusieurs BS à la fois.

d. CSN (Core Service Network)

Regroupant des passerelles pour l'accès Internet, des routeurs, des serveurs ainsi que des bases de données; il forme un ensemble de fonctionnalités assurant la connectivité IP aux UE WIMAX. Il permet également le contrôle d'admission et gère la mobilité inter-ASN (pour le WIMAX mobile).

1.5.2 Description de l'architecture en couche d'un réseau WIMAX

Dans un réseau WiMAX, les couches hautes ne relèvent pas de la technologie WiMAX qui impacte essentiellement les couches physique (PHY) et MAC et certains aspects réseaux.

1.5.2.1 Couche physique

En WiMAX, la couche physique permet le codage et le décodage du signal. Elle fournit les spécifications de transmission et de bande de fréquence et, notamment, repose sur des canaux de fréquences de tailles variables, de 1,75 à 20 Mhz et une modulation adaptative.

Une des principales particularités de la norme 802.16 réside dans le fait que la couche physique est totalement adaptable en fonction de la qualité du signal reçu. La norme 802.16 définit la modulation et les différents systèmes de correction d'erreur utilisés.

a. La norme 802.16

La norme 802.16 utilisait des fréquences comprises dans la bande 11-66 GHz. A l'origine la conception des spécifications imposaient l'utilisation d'une propagation en « Line of Sight LOS» ou par vue directe c'est pourquoi la modulation d'une simple porteuse a été choisie et en raison de l'architecture point-multipoint la station de base transmet un signal TDM (Time Division Multiplex), avec une attribution d'un intervalle de temps (slot time) pour chacun.

C'est dans cette configuration que les performances du WiMAX sont les meilleures. La couche physique qui est utilisée est encore appelée « WirelessMan-SC. ». Elle supporte deux types de duplexage FDD (lien montant et lien descendant sur des canaux séparés, émissions simultanées) et TDD (le lien montant et le lien descendant partagent le même canal, pas d'émission simultanée).

b. Ajout de la norme 802.16a

L'ajout des plages de fréquences comprises entre 2 et 11 GHz a permis de s'affranchir de la nécessité d'être à vue de l'émetteur (Non Line of Sight NLOS). Et ainsi permettre une meilleure réception en cas d'obstacle entre l'émetteur et le récepteur. L'apparition de cette capacité a donné

l'opportunité d'effectuer de changements majeurs au niveau des spécifications de la couche physique pour les besoins des bandes de 2 à 11 GHz.

- Signal OFDM (multiplexage orthogonale par division de fréquence)

Il a été choisi car il supporte, en plus du LOS, le NLOS tout en maintenant un haut niveau d'efficacité spectral ce qui permet de maximiser le spectre disponible. Ce signal subit un traitement par bloc avec utilisation de la FFT (Fast Fourier Transformation) pour être égalisé dans le domaine spatial.

- Taille des canaux flexibles

Contrairement au Wifi et aux fréquences comprises entre 1 et 66 GHz où les bandes passantes sont fixées. Le WiMAX permet d'ajuster la taille de la bande passante de 1.25 Mhz à 20 Mhz. Ce qui est très important pour les opérateurs qui utiliseront des fréquences licenciées, ainsi ils seront sûrs d'utiliser tout le spectre alloué et aussi de l'adapter à la taille des canaux.

- DFS (Dynamic Frequency Selection)

Le standard WiMAX incorpore la capacité de sélectionner automatiquement la fréquence, ce qui permet de minimiser les interférences en recherchant automatiquement un canal non utilisé.

- Codage spatio-temporel

Ce codage est optionnel pour autoriser l'utilisation de 2 antennes de transmission à la station de base et d'une seule antenne pour le client. Avec dans le long terme, on a l'utilisation de systèmes MIMO (Multiple Input Multiple Output) afin d'améliorer la couverture et les taux de transmission.

c. Les techniques de modulations utilisées

La couche physique de la norme 802.16 définit trois types de modulation qui sont la modulation QPSK (Quadrature Phase Shift Keying), 16QAM (Quadrature Amplitude Modulation à 16 états), et 64QAM allant de la plus robuste à la plus efficace en termes de débit, en fonction de la distance entre la station de base et l'utilisateur.

- Modulation QPSK

Les informations sous forme de bits sont modulées avant d'être transmises sur la voie radio. La modulation QPSK est une modulation de phase largement utilisée dans les systèmes de communication à cause de sa robustesse face aux perturbations externes. En fonction des données à moduler, la porteuse est forcée dans une des quatre phases possibles, aussi appelée symbole.

- Modulation 16QAM et 64QAM

Les modulations 16QAM et 64QAM sont des modulations d'amplitude et de phase. La combinaison de ces différents états amène à 16 et 64 combinaisons possibles ce qui donne respectivement 4 bits et 6 bits par symboles.

d. Autres particularités de la couche physique

La transmission des données qui s'effectue par burst a été choisie afin de pouvoir supporter en même temps le TDD (Time Division Duplex) et le FDD (Frequency Division Duplex). Le profil de burst peut subir une adaptation dynamique de codage et de modulation en fonction des conditions d'émission-réception radio et quelque soit le type de duplexage choisi, ces paramètres peuvent être adaptés individuellement pour chaque station d'abonné. En bref le burst permet de définir ces paramètres de transmissions comme les schémas de modulation et de codage.

- FEC (Forward Error Correction)

La FEC est un mécanisme de correction d'erreur, il permet d'augmenter le débit et la résistance à l'environnement. Les données critiques (trames de control et d'accès initial) sont transmises avec une correction d'erreur encore plus robuste.

Les options de la FEC sont couplées avec QPSK (Quadrature Phase Shift Key), 16-QAM (Quadrature Amplitude Modulation) et 64-QAM. Ces associations permettent de privilégier la robustesse ou l'efficacité. Ainsi en fonction des conditions de transmission, nous aurons un débit optimisé.

Le mécanisme de correction d'erreur FEC (Forward Error Correction) utilisé est le code Reed-Solomon (RS) couplé à une convolution de code appelé code inner Convolution (CC) pour transmettre de manière robuste les données tout en maximisant le nombre de bit/seconde pour chaque station d'abonné.

Le codeur RS corrige les erreurs de profil au sein de la sélection des bits. Il est particulièrement utile pour les liens OFDM en présence de propagation multi trajets. Tandis que le codeur CC corrige les erreurs de bits indépendants. La fonction point par point du CC régit le taux des codes concaténés compatibles comme par spécification. Le support du codage Turbo est un outil optionnel pour accroître la couverture et/ou la capacité avec l'expansion de la latence et de la complexité du décodage [7].

- Les trames

Les trames durent de 0.5, 1 ou 2 ms. Une trame est divisée en slots physique pour permettre l'allocation et l'identification des transitions physiques. Un slot physique est défini par 4 symboles QAM. Dans la variante TDD de la couche PHY, le lien montant de la sous-couche suit le lien descendant sur la même fréquence porteuse. Dans la variante FDD, les sous-trames des liaisons montantes et descendantes coïncident dans le temps mais sont transmises sur des fréquences séparées. La partie TDM peut être suivie par un segment TDMA. Celui-ci permet de regagner la synchronisation si celle-ci a été perdue.

Les trames diffèrent à cause des demandes de bandes passantes dynamiques, la présence du profil de burst ou d'une portion TDMA. La station réceptrice destinataire d'une trame peut être directement mentionnée dans l'en-tête MAC plutôt que dans la « DL-MAP ». Les stations réceptrices écoutent directement les sous-trames du lien descendant qu'elles sont capables de recevoir. Ce qui signifie que les stations réceptrices full-duplex vont recevoir tous les profils de burst égaux ou plus robuste que ce lui qui avait été négocié avec la station de base.

Contrairement au lien descendant, le lien montant possède une bande passante garantie pour chaque usager. Cette bande passante est spécifiée dans la carte du lien montant en utilisant le profil de burst spécifié par l'UIUC (Uplink Interval Usage Code).

- Contrôle du lien radio

La technologie de la couche physique 802.16 demande un contrôle avancé du lien Radio (RLC), particulièrement pour détecter les changements de la couche physique d'un profil de *burst* à un autre. Le RLC doit vérifier ce changement éventuel, en plus des tâches habituellement dévolues, telles que les contrôles d'énergie et de portée des ondes.

Le RLC entre en œuvre lorsque la BS commence à émettre périodiquement en *broadcast* le profil du *burst* choisi pour le lien montant et le lien descendant. Le profil de *burst* qui sera utilisé sur un canal est déterminé en fonction de plusieurs facteurs, tels que les capacités de l'équipement, la pluie dans la région....

e. Techniques d'accès

L'efficacité spectrale élevée et la résistance aux trajets multiples font d'OFDM (***Orthogonal Frequency Division Multiplexing***), OFDMA (***Orthogonal Frequency Division Multiple Access***) et SOFDMA (***Scalable Orthogonal Frequency Division Multiple Access***) des technologies

extrêmement appropriées, pour satisfaire les demandes du trafic sans fil de données. Ceci les a rendu idéaux pour les nouvelles technologies, notamment, WiMAX.

f. Notion de profil

On appelle profil un couple « codage et modulation ». Vu qu'il existe une grande quantité possible de codages et trois modulations différentes, le nombre de profils pouvant être définis est très grand. Selon la qualité du signal reçu par le récepteur, il peut choisir de passer à un profil plus ou moins robuste.

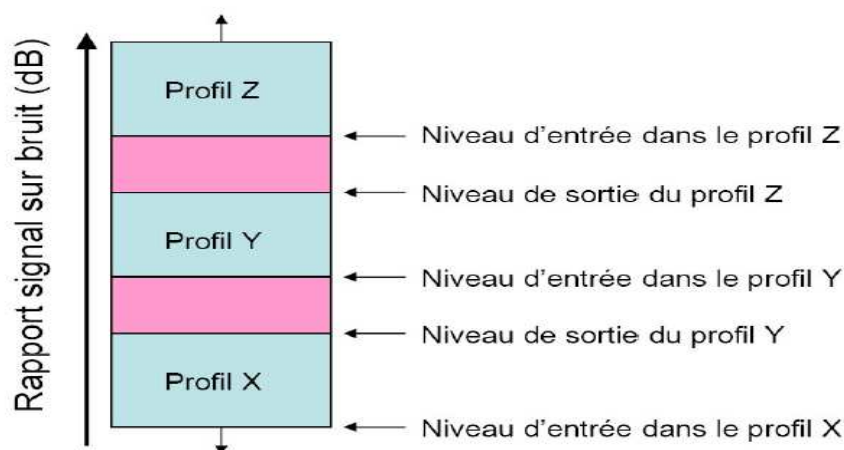


Figure 1.04 : *Principes de changement de profils [7]*

Le passage de tel ou tel profil passe par des hystérésis afin d'éviter, si le rapport signal sur bruit est exactement égal à un niveau d'entrée, de permuter trop souvent de profil.

g. Les différents types de couches de physique

On distingue trois types de couches physiques :

- WirelessMAN-SC2 : utilise un format de modulation avec une seule porteuse.
- WirelessMAN-OFDM : utilise un multiplexage orthogonal à division de fréquence avec 256 points de transformation. L'accès à cette couche physique s'effectue en TDMA.
- WirelessMAN-OFDMA : utilise un multiplexage orthogonal à division de fréquence avec 2048 points de transformation. Ce qui permet de supporter de multiples récepteurs.

Le tableau 1.02 ci-dessous les différents types de couches physiques [11] :

Désignation	Bande de fréquence	Type d'accès	Options	Duplexage
WirelessMANSC	10-66Ghz	LOS		TDD, FDD
WirelessMANSCa	2.5-11Ghz	NLOS	AAS, ARQ, STC	TDD, FDD
WirelessMAN-OFDM	2.5-11Ghz	NLOS	AAS, ARQ, STC, Mesh	TDD, FDD
WirelessMAN-OFDMA	2.5-11Ghz	NLOS	AAS, ARQ, STC	TDD, FDD
WirelessHUMAN	2.5-11Ghz	NLOS	AAS, ARQ, STC, Mesh	TDD

Tableau 1.02 : *Les différents types de couches physiques*

1.5.2.2 Interconnexion entre la couche MAC et couche physique

Le standard 802.16 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 tels que le duplexage FDD (Frequency Division Duplexing) et le duplexage TDD (Time Division Duplexing). A noter aussi que le standard spécifie trois longueurs de trame possibles : 0.5, 1 et 2 ms. [7]

a. Duplexage FDD (Frequency Division Duplexing)

Dans le mode FDD, la voie montante et la voie descendante 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 BS 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 SS utilisant le mode «full duplex » est capable d'écouter continuellement la voie descendante tandis qu'une SS fonctionnant en mode « half duplex » ne peut pas écouter la voie descendante pendant qu'elle transmet des données sur la voie montante.

La figure 1.05 présente le format de trame WiMAX en FDD [7].

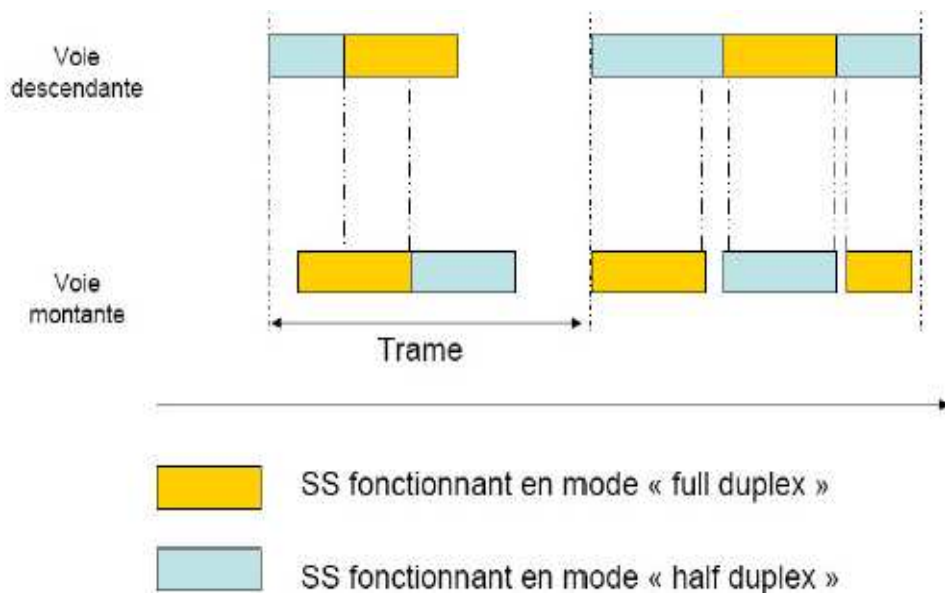


Figure 1.05 : *Format d'une trame WiMAX en mode FDD*

b. Duplexage TDD (Time Division Duplexing)

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

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

La figure 1.06 décrit le format des trames WIMAX en TDD [7] :

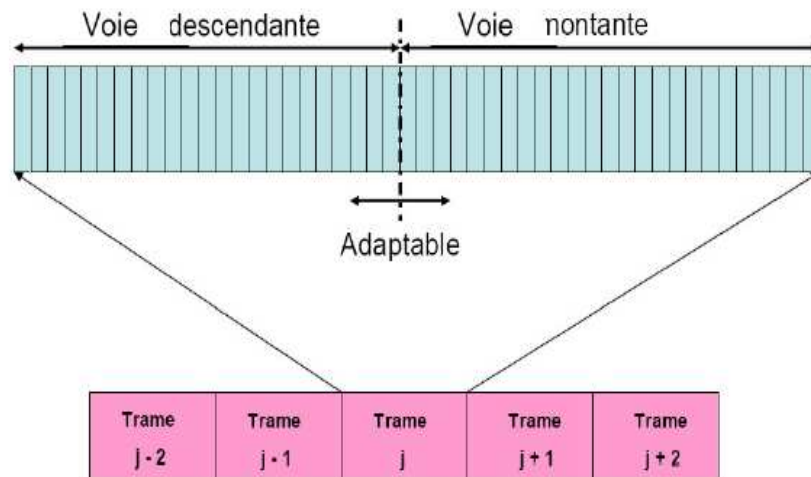


Figure 1.06 : *Format d'une trame WiMAX en mode TDD*

1.5.2.3 Couche MAC

a. Présentation

L'établissement des circuits et l'allocation de la bande passante sont gérés par les stations de base au niveau de la couche protocolaire appelée « MAC ».

La sous-couche MAC est selon les standards de réseaux informatiques IEEE 802.x, la partie inférieure de la couche de liaison de données dans le modèle OSI. Elle sert d'interface entre la partie logicielle contrôlant la liaison d'un nœud (LLC) et la couche physique (matérielle). Par conséquent, elle est différente selon le type de média physique utilisé (Ethernet, Token ring, WLAN...). Et une adresse MAC est une suite de 6 octets (souvent représentée sous la forme hexadécimale 01 :23 :45 :67 :89 : ab) qui caractérise ainsi chaque interface réseau.

En Wi-Fi, la couche MAC (Media Access Control) est basée sur la méthode d'accès CSMA/CA, qui a l'inconvénient de ne pas pouvoir garantir de QoS. En effet, le trafic de chaque station peut être perturbé par les autres stations, qui peuvent prendre la main sur la voie radio de façon aléatoire. Cela pose problème pour les applications temps-réel comme la Voix sur IP (VoIP). La couche MAC du WiMAX résout ce problème par un algorithme d'ordonnancement qui alloue des ressources d'accès à chaque station. Ainsi, le réseau peut contrôler les paramètres de QoS en répartissant dynamiquement l'allocation des ressources radio entre les stations, en fonction des besoins des applications. La bande passante offerte à chaque station peut être réduite ou augmentée, mais elle reste attribuée à la station. Cela permet à la fois de garantir la stabilité de l'accès en cas de surcharge, et d'optimiser la bande passante disponible.

b. Les sous couches de la couche MAC

Un aspect important des normes 802.16 consiste à définir la couche MAC (*Media Access Control*) pour supporter différentes spécifications de couches physiques. La couche MAC est divisée en trois sous couches [7] [22]:

- Service-Specific Convergence Sublayer ou couche de convergence (1ère sous couche MAC)

Cette sous couche de service spécifique de convergence a pour rôle de :

- jouer l'interface avec les couches supérieures ou bien avec les systèmes externes. Elle a entre autre la charge de classer les paquets selon leur provenance et leur destination afin de les répartir sur la bonne connexion MAC,
- convertir les données de taille variable qui ont été reçues (MAC PDUs (Protocol Data Units)) en bloc de taille fixe. Nous obtiendrons ainsi les blocs FEC. Ceux-ci ont tous une taille identique, seul le dernier peut être plus court. Un pointeur se trouve au début du bloc et pointe vers le prochain en-tête MAC PDU. Ainsi, s'il y a une erreur la resynchronisation peut être effectuée grâce à cette information. Sans ce mécanisme, lors d'une erreur une station pourrait perdre la totalité du burst,
- supprimer les en-têtes des paquets et les reconstituer afin d'améliorer la charge utile,
- transmettre les SDU (Service Data Unit) à la bonne connexion MAC. Elle permet également de préserver ou d'activer la QoS et d'allouer de la bande passante.

Il existe deux types de sous-couches de convergences. Elles permettent de traiter deux types de services : le trafic ATM et les paquets (IPv4, Ethernet, ...).

- Common Part Sublayer ou sous couche commune (2ème sous couche MAC)

Le WiMAX est un protocole point à multipoint, la couche MAC doit ainsi pouvoir supporter ce type d'architecture. En effet, une station de base communique avec différentes stations réceptrices. Pour ceci, elle utilise un lien descendant sur lequel elle utilise le multiplexage TDM pour les données. Le lien montant quant à lui est partagé entre tous les abonnés grâce au mode TDMA.

En WiMAX, tous les services sont mappés à une connexion. Ce mécanisme permet la demande de la bande passante, de la QoS, ... Les raccordements sont effectués grâce aux identifiants de connexion (CID). Certains d'entre eux nécessitent une bande passante sans interruption tandis que les autres se contentent d'une bande passante à la demande.

Chaque station réceptrice possède une adresse MAC. Elle sert d'identifiant d'équipement, mais durant les communications c'est le CID qui sera utilisé. Pour faciliter la gestion de la QoS et les paramètres de trafic, le transport de connexion est unidirectionnel.

La MAC réserve certaines connexions. Ceci est notamment le cas pour les broadcast et le multicast. Dans le cas du multicast, ce sont les stations réceptrices qui doivent rejoindre un groupe pour pouvoir bénéficier des informations transmises en multicast.

Elle contient les fonctions clés de la couche MAC. Elle détermine de quelle manière le médium va être partagé. C'est le cœur de la couche MAC à savoir qu'elle s'occupe de l'allocation de ressource, de l'établissement et de la maintenance des connexions, etc.

- Privacy Sublayer ou sous couche de protection (3ème sous couche MAC)

Cette sous couche contient les informations d'authentification et de cryptage. Elle s'occupe aussi du cryptage des données, de l'échange des clefs, etc.

Chaque station réceptrice contient deux certificats : le certificat digital X.509 et le certificat du fabricant. Ils établissent un lien entre l'adresse MAC et la clé publique RSA de la station de base. Ces informations sont envoyées de la station de base vers la station réceptrice dans une requête d'autorisation. Le réseau est ainsi capable de contrôler l'identité de la station réceptrice. Si la station réceptrice possède les droits nécessaires, elle sera autorisée à rejoindre le réseau. La station réceptrice émet un message d'authentification. La station de base va quant à elle répondre avec un AK crypté avec la clé publique de la station réceptrice.

Après la phase d'authentification, la station réceptrice doit s'enregistrer auprès du réseau. Cette démarche va permettre de déterminer les capacités de la station de base en termes d'initialisation et de connexion.

Le protocole IEEE 802.16 est basé sur le protocole PKM (Privacy Key Management). PKM est basé sur le concept d'association de sécurité (SAs : Security Associations). La SA est composée de méthode cryptographique mais aussi d'un matériel de cryptage associé. Chaque station réceptrice va établir une SA durant son initialisation. L'ensemble des connexions est mappé vers une SA, sauf le management des connexions basique et primaires.

Un effort particulier a été effectué au niveau du cryptage. Les méthodes de cryptages sont différentes en fonction des échanges. Le protocole PKM utilise les certificats digitaux x.509 avec l'encryptage en RSA à l'aide de la clé publique pour l'authentification et l'autorisation de

l'échange de clé pour la station réceptrice. Le trafic, quant à lui, est crypté à l'aide du protocole DES (Data Encryption Standard) avec une clé de 56 bits. Le vecteur d'initialisation dépend du compteur de la trame ; il sera ainsi différent d'une trame à l'autre. Les messages du protocole PKM sont eux-mêmes authentifiés en utilisant le protocole HMAC (Hashed Message Authentication Code) avec SHA-1. Ces messages seront notamment : les fonctions MAC vitales et l'initialisation de la connexion.

La figure présentée ci-dessous illustre la composition de la couche MAC, comme définie dans la norme 802.16 [8] :

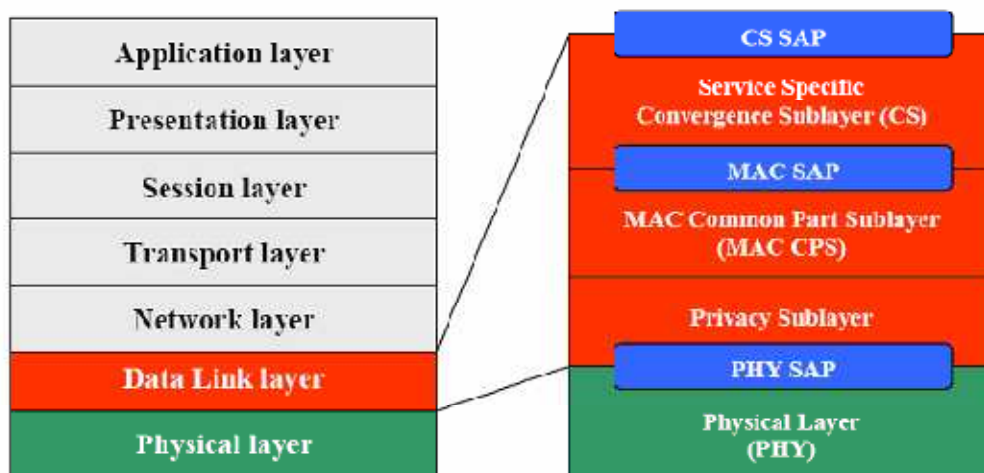


Figure 1.07 : *Structure de la couche MAC*

c. Les fonctions de la couche MAC

La sous-couche MAC s'occupe principalement de [28]:

- Reconnaître le début et la fin des trames dans le flux binaire reçu de la couche physique ;
- Délimiter les trames envoyées en insérant des informations (comme des bits supplémentaires) dans ou entre celles-ci, afin que leur destinataire puisse en déterminer le début et la fin ;
- Détecter les erreurs de transmission, par exemple à l'aide d'une somme de contrôle (checksum) insérée par l'émetteur et vérifiée par le récepteur ;
- Contrôler l'accès au média physique lorsque celui-ci est partagé.

Pour la norme IEEE 802.16, cette couche est responsable de l'établissement et du maintien de la connexion. Ainsi, elle est orientée connexion.

Les connexions sont référencées par un identifiant de connexion sur 16bits (CID) et peuvent demander la bande passante accordée continuellement (granted bandwidth), ou la bande passante sur demande. Les deux méthodes sont possibles.

Chaque SS a une adresse MAC standard sur 48bits, mais ceci sert principalement d'identifiant d'équipement, puisque les adresses primaires utilisées lors du fonctionnement sont les CID.

1.5.2.4 Couche IP ou Réseau du WIMAX

La couche réseau du WIMAX est commun à tout type de réseau informatique basé sur l' IEEE 802.x, c'est-à-dire, chargée d'adresser les messages et de convertir les adresses et noms logiques en adresses physiques (MAC). Elle détermine aussi l'itinéraire à emprunter de l'UE source à l'UE de destination. Elle choisit le chemin que doivent suivre les données en fonction des conditions du réseau, de la priorité du service et d'un certain nombre de facteurs.

Elle gère aussi les problèmes de trafic comme la communication, l'acheminement et l'encombrement des paquets de données sur le réseau.

- Responsable de l'adressage, de la traduction des adresses en nom logique.
- Définie le routage des paquets.
- Gère les problèmes de trafic, commutation de paquets, encombrement.

La couche réseau gère les connexions entre les nœuds (que ce soit stations de base ou routeurs) du réseau. Un service supplémentaire, fourni par la couche réseau, concerne la façon de router les paquets entre les nœuds d'un réseau.

La couche réseau sert à éliminer les congestions et à réguler le flot des données ; Cette couche permet aussi à deux réseaux différents d'être interconnectés en implémentant un mécanisme d'adressage uniforme. Wi-Fi et Ethernet possèdent, par exemple, différents types d'adresses. Pour interconnecter ces réseaux, vous avez besoin d'un mécanisme d'adressage compréhensible par les deux réseaux. Pour les réseaux TCP/IP, la couche réseau est implémentée en utilisant le protocole IP.

1.6 La Qualité de Service dans le WiMAX

Le WiMAX a été conçu dès le début pour prendre en charge la Qualité de Service (QoS). La couche MAC permet de différencier deux classes de stations d'abonnées (SS) [2] :

- GPC (Grant per Connection) : Où le débit est alloué explicitement par la BS à une connexion, et la SS emploie les ressources seulement pour cette connexion.

- GPSS (Grant per SS) : Où l'allocation de débit par la BS est faite par station d'abonné SS.

Elle va ensuite répartir ses ressources entre les différentes connexions.

Le WiMAX utilise des classes de services afin de permettre une QoS différente entre chaque communication selon le type de données supportées et en fonction des exigences de l'application.

Nous retrouvons notamment cinq classes de services [2] :

- Unsolicited Grant Services

Cette classe de service est utilisée pour transmettre des flux temps réels. La transmission doit s'effectuer avec des trames de taille fixe à intervalle régulier.

- Real-time Polling Services

Cette deuxième classe de service permet la transmission de flux temps réels de taille variable à intervalle régulier. Son utilisation convient très bien pour la transmission de vidéo MPEG.

- Extended Real-Time Polling Service

La classe de service ertPS est un mécanisme d'ordonnancement construit à mi-chemin entre UGS et rtPS. La station de base fournit des droits à émettre *unicast* d'une façon non sollicitée comme dans UGS ; cela permet de garantir la latence d'une demande de bande passante. Tandis que les attributions UGS sont de taille fixe, les attributions ertPS sont dynamiques. La station de base fournit des allocations périodiques sur le lien montant afin de demander de la bande passante et des transferts de données. Le service ertPS prend en charge les flux de service qui utilisent une taille variable de données sur une base périodique comme dans le cas de VoIP avec suppression de silence (avec détection d'activité). Au contraire, le service UGS prend en charge VoIP sans suppression de silence.

- Non-Real-time Polling Services

Cette classe de service permet la transmission de flux qui tolèrent des délais. De plus ces flux contiennent des trames de tailles variables. Seul le taux de transfert minimum est garanti. Ce type de qualité de service convient très bien aux transferts de fichiers : FTP.

- Best effort

Ce service ne donne aucune garantie sur l'acheminement des flux de données. Il convient tout de même à certaines utilisations, par exemple la navigation sur internet.

Le WiMAX utilise également des flux de services. Ils permettent de définir le moyen de communiquer. Chaque flux de service possède différentes caractéristiques. Nous distinguons trois types de flux que nous détaillerons par la suite.

Les différents types de flux :

- Provisionné

Un service suffisamment provisionné peut être soumis à une activation grâce au module de réglementation. Si les ressources nécessaires à ce service sont disponibles, un identifiant de connexion est lié.

- Admis

L'activation s'effectue en deux phases. Ce modèle conserve les ressources du réseau jusqu'à ce qu'une connexion soit établie, celle-ci à préalablement subi un contrôle de ressources.

- Actif

Un flux de service est considéré comme actif à partir du moment où son paramètre « ActiveQoSParamSet » est positionné. La station de base va ainsi lui fournir les ressources dont il a besoin.

Le tableau suivant présente les classes de service avec leurs paramètres respectifs [22] [23] :

Catégories	Applications	Significations	Spécifications
UGS Unsolicited Grant Service	VoIP, multimédia, circuit émulation	Conçue pour supporter un débit de bits constant et garanti	<ul style="list-style-type: none"> • Débit maximum de trafic soutenable • Latence maximale • Gigue tolérée • Politique de requête/transmission
rtPS Real-Time Polling Service	Streaming audio ou video, compressed video, multimedia	Il est à destination des services temps réel	<ul style="list-style-type: none"> • Débit minimum réservé • Débit maximum soutenable • Latence maximale • Politique de requête/transmission

ertPS Extended Real-Time Polling Service	Voix avec détection d'activité (VoIP), Trafic IP	Il est à destination des services temps réel prolongé	<ul style="list-style-type: none"> • Débit minimum réservé • Débit maximum soutenable • Latence maximale • Gigue tolérée • Politique de requête/transmission
nrtPS Non-Real-Time Polling Service	FTP File Transfer Protocol	Il est à destination des services non temps réel, mais sans garantie de temps de réponse	<ul style="list-style-type: none"> • Débit minimum réservé • Débit maximum soutenable • Priorité du trafic
BE Best Effort Service	Transfert de données, Web, emails, http, Trafic IP	Une classe de service peut être allouée éventuellement à chaque connexion utilisateur	<ul style="list-style-type: none"> • Débit maximum soutenable • Priorité du trafic • Politique de requête/transmission

Tableau 1.03 : *Classes de QoS du réseau WiMAX*

1.7 Domaines d'applications du réseau WiMAX

WiMAX est envisagé à la fois pour les réseaux de transport et de collecte, et pour les réseaux de desserte. Dans le cas de la collecte, il s'agit du backhauling de hotspots, c'est-à-dire la liaison des hotspots Wi-Fi à Internet non pas par des dorsales filaires (ADSL notamment), mais par une dorsale hertzienne.

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

Dans le premier cas (collecte), seuls les équipements de réseau sont WiMAX, et le marché est orienté vers les opérateurs. Dans le deuxième cas, on doit imaginer des terminaux (ordinateurs, PDA, téléphones) WiMAX, et en particulier des puces à la fois Wi-Fi et WiMAX (Fin 2004, des annonces ont déjà été faites en ce sens...).

Coté usagers, la couverture et les débits rendus possibles, le caractère à terme de mobilité, et des coûts de production et de déploiements qu'on espère réduits ouvrent la voie à de nombreuses applications.

Citons-en quelques-unes :

- Couvertures classiques de hotspots : zones d'activités économiques, parcs touristiques... ;
- Déploiements temporaires : chantiers, festivals, infrastructure de secours sur une catastrophe naturelle ;
- offres triple Play : données, voix, vidéo à la demande ;
- Gestion des transports intelligents ;
- Systèmes d'information géographique déportés ;
- Notion d'hôpital étendu ;
- Sécurité maritime et sécurité civile.

1.8 Conclusion

Dans ce premier chapitre, le réseau WiMAX désigne dans le langage courant un ensemble de standards et techniques du monde des réseaux métropolitains sans fil WMAN appartenant à la quatrième génération.

Le but de ce réseau est d'augmenter les débits et d'offrir un bon niveau de QoS pour un nombre limité de stations d'abonnés grâce à des architectures à l'image des normes imposées par l'IEEE dans le standard 802.16.

CHAPITRE 2

GESTION DE LA MOBILITE DANS LE RESEAU WiMAX MOBILE

2.1 Introduction

Un réseau 4G devra être fondé sur une technologie qui résistera aux coupures causées par le déplacement d'un terminal mobile entre des cellules couvertes par cette technologie. Cela se passe de façon qu'un utilisateur en communication ne perde pas sa connexion en cours, tout en réduisant la latence causée par le handover de manière à respecter les délais exigés par le trafic temps-réel. Dans ce contexte, ce chapitre traitera l'étude de la gestion de la mobilité dans le WiMAX mobile dans un souci d'améliorer le niveau de QoS pour le trafic temps-réel.

2.2 Généralités sur la gestion de la mobilité

La gestion de la mobilité est une fonction essentielle des réseaux mobiles. Contrairement aux réseaux fixes traditionnels, la position géographique du terminal de l'abonné varie au cours du temps. Il est donc nécessaire d'intégrer au réseau mobile des fonctions de gestion de la mobilité permettant de joindre l'abonné quelle que soit sa position dans le réseau ou, plus généralement, d'assurer une continuité de service fourni à l'abonné indépendamment de sa localisation dans la zone de service de l'opérateur.

Dans un environnement cellulaire, les dimensions des cellules du réseau et les vitesses de déplacement des usagers peuvent être très variées. Il est donc important de gérer la mobilité des usagers d'une manière efficace, tant du point de vue de l'utilisateur (les perturbations induites sur le service fourni à l'utilisateur doivent être faibles que possible) que du point de vue du réseau (le surcroît de charge induit par les fonctions de mobilité ne doit pas perturber le fonctionnement du réseau).

2.2.1 Les types de gestion de mobilité

D'une manière simplifiée, la gestion de la mobilité est séparée en deux parties distinctes suivant les deux modes de fonctionnement possibles d'un mobile sous tension : le mode veille et le mode connecté.

2.2.1.1 La mobilité en mode veille

En mode veille (idle), le mobile est sous tension, mais aucune connexion n'est établie entre le mobile et le réseau. A fortiori, aucun échange de données usager n'est possible dans ce mode.

Ce mode fonctionnement est nouveau par rapport à la téléphonie filaire traditionnelle. En téléphonie cellulaire, même lorsque le mobile n'est pas engagé dans une communication il est nécessaire de maintenir un certain niveau d'activité, conséquence du déplacement de l'utilisateur dans la couverture radio.

Les sections suivantes décrivent les principales fonctions mise en œuvre dans le cadre de la mobilité en mode veille :

- La localisation géographique des usagers en mode veille grâce aux zones de localisation ;
- Les mécanismes de sélection et de ré-sélection de cellule utilisés par le mobile en mode veille ;
- La diffusion d'informations système dans les différentes cellules du réseau d'accès.

2.2.1.2 La mobilité en mode connecté

L'objectif des fonctions de mobilité en mode connecté est de suivre un usager connecté au réseau au cours de ses déplacements dans la couverture cellulaire du réseau d'accès.

2.2.2 Modes de fonctionnement des gestions de la mobilité

2.2.2.1 Gestion de la mobilité radio

Le mode de fonctionnement de la gestion de la mobilité radio fonctionne comme suit [10] :

- Radiorecherche (paging): détermine la cellule exacte de l'unité mobile appelée.
- Relève (handoff): gère le déplacement de l'unité mobile ayant un appel en cours entre les cellules.

a. Procédure de radiorecherche (paging)

La procédure de radiorecherche se déroule comme suit [10] :

- Consiste à identifier la cellule actuelle d'une unité mobile afin d'établir une communication.
- Radiorecherche dans les réseaux à couverture et densité importantes peut être catastrophique à cause du volume de signalisation.
- Pour optimiser l'utilisation des ressources, il faut regrouper plusieurs cellules du réseau en zone de localisation.

- Chaque zone de localisation est contrôlée par un serveur de zones de localisation.

b. Gestion de relève

La relève se produit quand l'unité mobile active ayant un appel en cours change de cellule, exige l'attribution d'un nouveau canal à l'appel. La gestion de relève se déroule comme suit [10] :

- Processus de transfert automatique de la communication d'une station de base à une autre lors d'un changement de cellule de l'unité mobile.
- Relève simple se produit dans le cas où le changement de cellule s'effectue sans changement de commutateur.
- Relève complexe se produit lorsque le transfert de cellule entraîne un changement de commutateur, auquel cas des opérations de mises à jour doivent être réalisées et s'accompagne d'un changement de MSC, ce qui entraîne une forte consommation des ressources du réseau. Il faut donc trouver des mécanismes pour réduire au mieux les coûts qu'une telle opération engendre. Un des moyens consiste à optimiser l'affectation de cellules aux commutateurs.

2.2.2.2 Gestion de la mobilité réseau

Le mode de fonctionnement de la gestion de la mobilité réseau fonctionne comme suit [10] :

- Sélection/ré-sélection de cellules: permettre à l'unité mobile de choisir une cellule particulière dans la zone de localisation.
- Gestion de localisation: consiste essentiellement à diviser la zone de couverture du système en plusieurs zones géographiques appelées zone de localisation.

a. Sélection / ré-sélection de cellules

Cette sélection/ré-sélection de cellules permet à l'unité mobile de choisir une cellule particulière dans la zone de localisation pour pouvoir enregistrer les informations diffusées par le réseau aux mobiles, se connecter au réseau dans le cas où une communication doit être établie et signaler ses déplacements au réseau. Les paramètres de sélection se situent au niveau du signal reçu par le canal de diffusion et l'état de la cellule.

b. Gestion de localisation

Chaque zone de localisation est composée d'une ou de plusieurs cellules et desservie par un serveur de localisation.

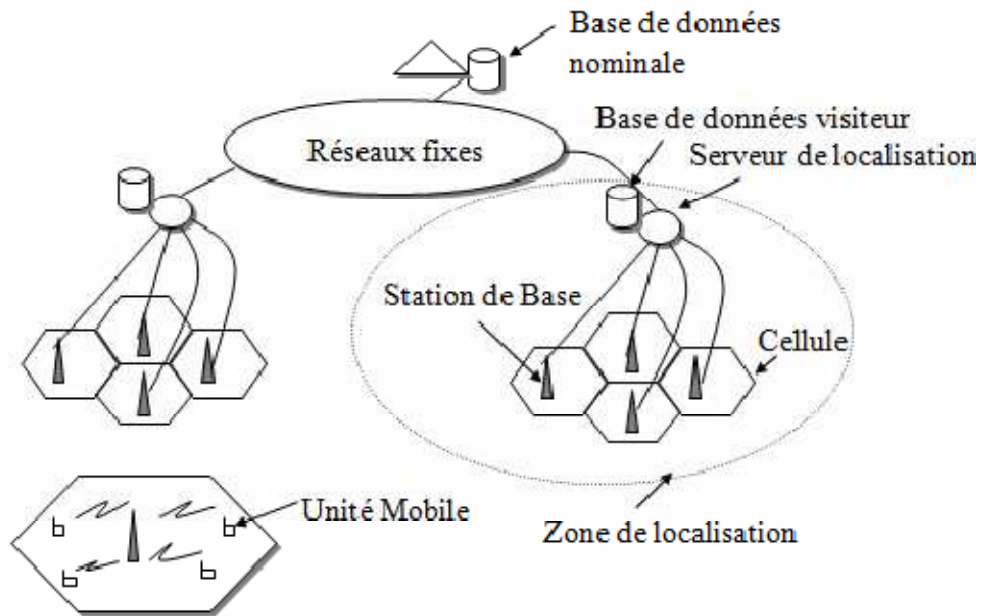


Figure 2.01 : *Gestion de localisation [10]*

Cette gestion de localisation se déroule comme suit :

- Mise à jour/enregistrement de localisation
- Recherche de localisation/livraison d'un appel
- Mise à jour/enregistrement de localisation
 - Mettre à jour la base de données nominale
 - Annuler l'enregistrement dans la base de données visiteur de l'ancienne zone
 - Enregistrer auprès de la base de données visiteurs de la nouvelle zone

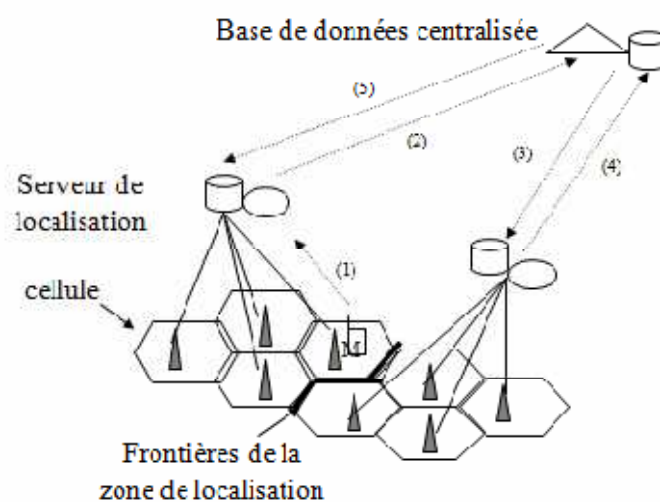


Figure 2.02 : *Mise à jour de localisation [10]*

➤ Recherche de localisation/livraison d'un appel

- Accéder à la base de données nominale pour identifier la zone actuelle de l'unité mobile
- Interroger la base de données visiteurs de la zone actuelle
- Affecter un numéro de routage à la zone de l'appelant

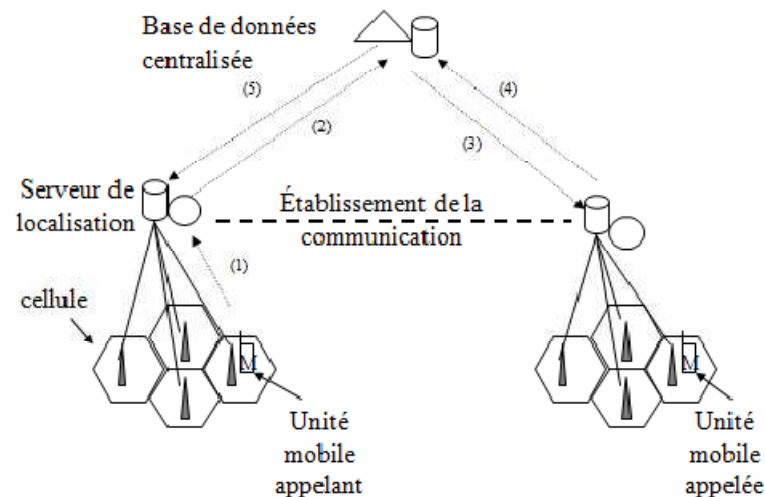


Figure 2.03 : Recherche de localisation [10]

2.2.3 Objectifs de la gestion de la mobilité

Le but de la gestion de la mobilité est de :

- Assurer la continuité de la session en cours soit de poursuivre une communication en cours
- Réduire les délais et le trafic de signalisation
- Fournir une meilleure qualité de service
- Optimiser l'utilisation des ressources
- Permettre aux usagers de disposer de services télécoms (émission/réception) sur une zone de couverture

2.2.4 Problèmes de la gestion de la mobilité

- Les utilisateurs sont de plus en plus mobiles
- Garantir la continuité de la session en cours
- Réduire le délai de relèvement, le délai de bout-en-bout, la gigue et la perte de paquets
- Fournir une bonne qualité de service aux usagers

- Minimiser le coût de signalisation
- Optimiser l'utilisation des ressources du réseau

2.3 Etude de la gestion de la mobilité dans le réseau WiMAX mobile

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

2.3.1 Les particularités du réseau WiMAX mobile

2.3.1.1 Les cellules dans WiMAX IEEE 802.16e

On définit trois types de cellules hiérarchiques différentes dans IEEE 802.16e qui peuvent soutenir la mobilité. Le tableau 2.01 prouve que la largeur de bande offerte dépend de la vitesse, d'endroit et de déplacement d'un utilisateur mobile. Le fait de fournir l'accès à un utilisateur mobile, on exige l'appui du handover. Dans IEEE 802.16e cette notion est établie entre les cellules intra et inter-opérateurs. Les différents types de cellules hiérarchiques sont macro, micro et Pico. La différence des tailles des cellules est la même que pour UMTS.

Type de cellule	Rayon en [km]	Vitesse maximale [km/h]	Capacité en (DL) [Mbps]
<i>Macro</i>	~15	~150	~1 – 10
<i>Micro</i>	~1	Véhiculaire	~30
<i>Pico</i>	~0.1	Piéton	~70

Tableau 2.01 : Propriétés des cellules définies dans IEEE 802.16 e [8]

2.3.1.2 Eléments du réseau WiMAX – IEEE 802.16e

Comme mentionné le but de l'extension « e » est de fournir l'accès nomade/mobile. Dans la norme IEEE 802.16e il n'y a aucun modèle détaillé de référence comme ceux présentés dans la section de la technologie UMTS. Cependant les éléments du réseau sont présentés dans un modèle de réseau pour des communications mobiles.

Le modèle de référence se compose en des groupes de station de base BSs (*Base Station*) servant une station mobile MSS (*Mobile Subscriber Station*) dans un secteur géographique donné. La BS est reliée au *backbone* via un câble ou une liaison radio d'une manière filiale administrative représentant le réseau fournisseur.

Les différents fournisseurs peuvent cohabiter leurs réseaux dans les mêmes zones. Pour assurer les procédures d'authentification, d'autorisation et de comptabilité AAA (*Authorization Authentication and Accounting*), la gestion, l'approvisionnement et d'autres fonctions et objectifs, les fournisseurs réseaux peuvent utiliser des serveurs spécifiques. Ils sont désignés sous le nom ASA-servers (*Authentication and Service Authorization Servers*), ils sont aussi responsables de ces fonctionnalités. Les fournisseurs peuvent mettre en application un simple ou plusieurs ASA-servers d'une façon centralisée ou distribuée.

Le tableau 2.02 ci dessous décrit les différentes entités mobiles qui sont définis dans la norme IEEE 802.16 e.

Entités	Description
MSS	Station mobile (M obile S ubscriber S tation), contient les couches MAC et physique.
BS	Station de base (B ase S tation).
ASA Server(s)	Serveur d'autorisation d'authentification et de service. Ces serveurs sont facultatifs, et peuvent être mis en application comme entité distribuée.

Tableau 2.02 : *Entités relatives de mobilité dans IEEE 802.16 e [8]*

Le contrôle du handover peut être soit localisé dans les BSs ou distribué dans des ASA serveur(s). La figure ci dessous illustre un simple exemple où un utilisateur approche de sa BS cible et engendre une relation avec le serveur d'autorisation d'authentification et de service (ASA).

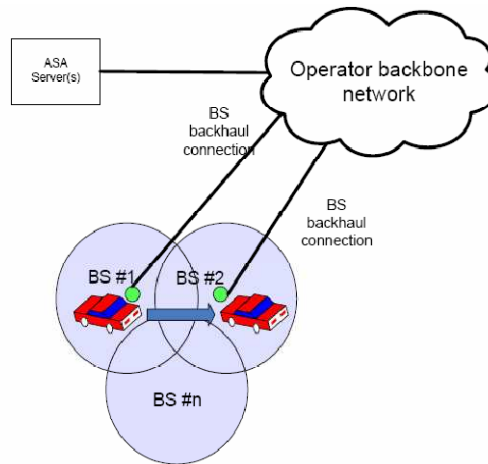


Figure 2.04 : *Modèle du réseau IEEE 802.16 e [8]*

La figure 2.04 illustre un utilisateur émigrant de BS#1 à BS#2 ayant pour résultat un HO. L'accès sans fil est fourni par la BS qui est reliée au réseau de base des opérateurs (*Operator backbone network*) via une liaison filaire ou sans fil. Le(s) ASA Server(s) est relié directement au réseau de base.

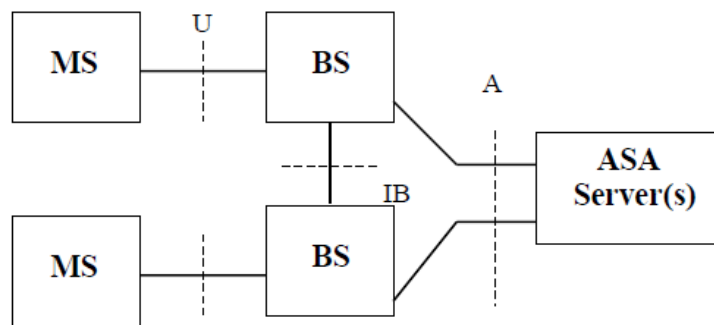


Figure 2.05 : *Modèle logique de référence IEEE 802.16 e [8]*

Ce modèle définit les principaux éléments et interfaces qui sont décrits dans le tableau 2.03 [8]

Point de référence	Eléments spécifiés par 802.16e	Commentaires
U	Messages pour assurer la mobilité	
IB	Messages entre les BSs.	Les protocoles de transport sont non spécifiés.
A	Messages pour assurer l'authentification du MSS et les fonctions d'autorisation du service	Les protocoles de transport sont non spécifiés.

Tableau 2.03 : *Les points de référence du modèle IEEE 802.16e*

2.3.1.3 La sécurité

Le WiMAX Mobile est l'une des meilleures technologies sans fil au niveau de la sécurité. Les principales caractéristiques qu'offre cette technologie sont les suivantes [22] :

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

2.3.1.4 Architecture du WiMAX mobile

L'architecture du WiMAX mobile [9], [14], [15] est composée de terminaux mobiles (MS) qui communiquent via un lien radio avec une station de base (BS) qui joue le rôle d'un relais avec une infrastructure terrestre fondée sur le protocole IP. Les BSs sont connectées à un élément du réseau appelé ASN-GW utilisé comme passerelle (Gateway) pour gérer le raccordement des BSs avec le réseau IP.

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

La dernière composante de l'IEEE 802.16e est le NSP (Network Service Provider). Cette entité fournit l'accès au réseau IP et offre aux abonnés l'accès aux services réseau. Le NSP contrôle un ou plusieurs CSN (Connectivity Service Network) qui est le cœur du réseau WiMAX.

L'architecture de l'IEEE 802.16e est illustrée ci-dessous [2] :

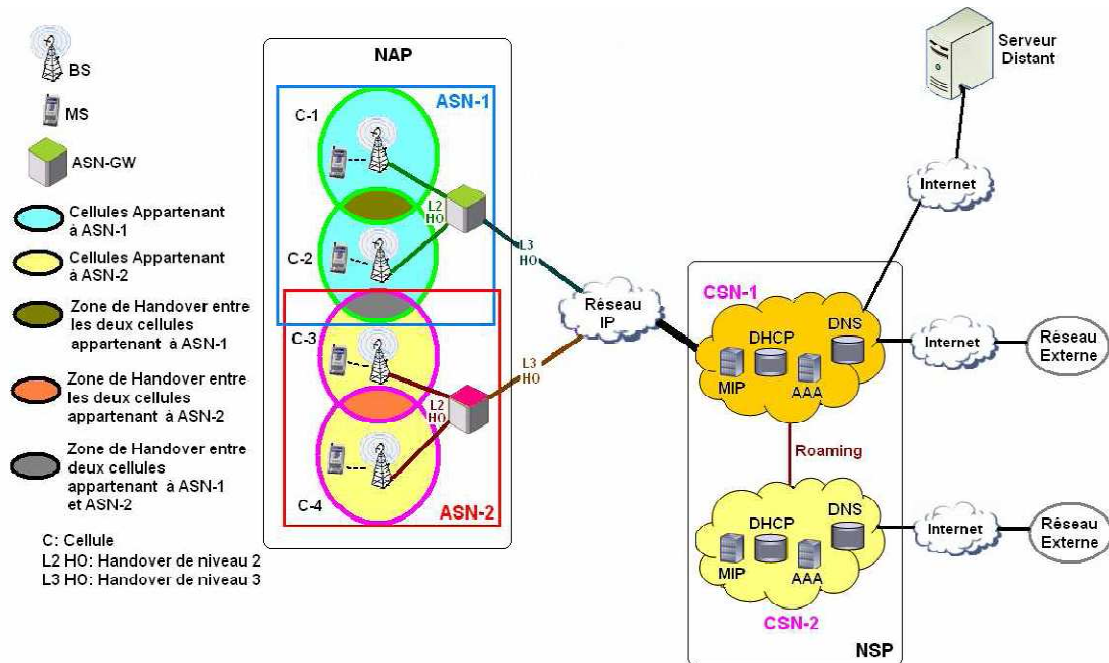


Figure 2.06 : Architecture du WiMAX mobile

Les fonctions des différents éléments formant l'architecture du réseau WiMAX mobile sont décrites ci-dessous.

a. Network Access Provider (NAP)

Une entreprise qui fournit l'infrastructure d'accès radio à un ou plusieurs fournisseurs de services de réseau.

b. Network Service Provider (NSP)

Une entité qui fournit la connectivité IP et les services réseau aux abonnés compatibles avec le niveau de service établi. Pour fournir ces services, un NSP établit des ententes contractuelles avec un ou plusieurs programmes d'action nationaux.

Un NSP peut également établir des accords de Roaming (changement d'opérateur par une station mobile en gardant sa même identité) avec d'autres fournisseurs de services réseau et des ententes

contractuelles avec des tiers fournisseurs de l'application (par exemple ASP) pour fournir des services IP aux abonnés.

c. Core Service Network (CSN)

C'est la représentation logique des fonctions du NSP, par exemple :

- Raccordement à Internet.
- Authentification, autorisation et gestion.
- Gestion de l'adresse IP.
- Mobilité et Roaming entre ASNs.
- Gestion de la politique et de la QoS fondée sur le SLA (Service Level Agreement).

Elle contient des éléments de gestion comme le DHCP, l'AAA, l'HA, etc.

d. Access Serving Network (ASN)

C'est la représentation logique des fonctions du NAP, exemple :

- Interface d'entrée au réseau 802.16.
- Gestion des ressources radio et contrôle d'admission.
- Gestion de la mobilité.
- QoS et politique de renforcement.
- Acheminement pour la sélection de CSN.

Elle contient une ou plusieurs stations de bases responsables de la communication avec les abonnés, et un ou plusieurs ASN-GW qui constituent une passerelle qui assure la connexion des BSs avec le CSN.

e. ASN Gateway (ASN GW)

Elément du réseau WIMAX qui agit comme une entité logique dans le système WIMAX. Il sert à représenter une agrégation du plan de contrôle des entités fonctionnelles avec la fonction correspondante dans l'ASN ou la fonction résidente dans le CSN, ou une autre fonction dans l'ASN.

- Les fonctionnalités de l'ASN GW sont :

Gère la mobilité, le Handover (transfert intercellulaire) et l'expédition des paquets appelés forwarding. Il agit comme une passerelle. Il contrôle les ressources radio. Il renforce la QoS et la classification des fonctions et se charge de la gestion et de la sécurité.

- Les fonctions de l'ASN-GW sont :
 - Gestion de localisation et du Paging.
 - Serveur pour la session réseau et le contrôle de la mobilité.
 - Contrôle d'admission et mise en cache des profils d'abonnés, et des clés de chiffrement.
 - AAA (Authentication Authorization Accounting) client/proxy.
 - Fournit les fonctionnalités de l'agent étranger.
 - Routage IPv4 et IPv6 pour sélectionner le CSN.

f. La station de base

Située dans l'ASN et responsable de la communication sans fil avec les abonnés.

g. Les terminaux d'abonnés

Sont des équipements spéciaux équipés d'une carte WiMAX qui permet la communication avec ce réseau. Ils sont situés dans la zone de couverture d'une BS pour pouvoir communiquer avec cette dernière.

2.3.1.5 QoS dans le WiMAX mobile

En effet, si un utilisateur fixe a actuellement besoin de QoS, il en est de même pour les utilisateurs mobiles. Cependant, cette mobilité rend encore plus complexe la gestion des ressources déjà suffisamment problématique.

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

Dans la couche MAC, la QoS est fournie par l'intermédiaire des flots de service comme illustré dans la figure suivante [6] [15] :

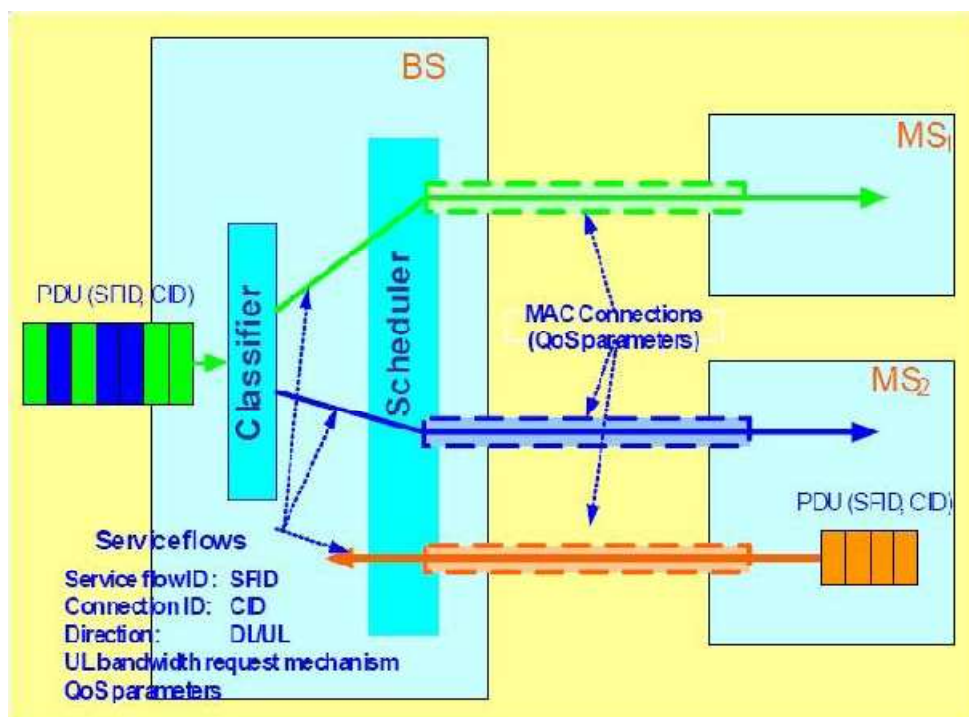


Figure 2.07 : *QoS dans le WiMAX mobile*

Avant de fournir un certain type de service de données, la station de base et le terminal de l'utilisateur établissent d'abord un lien logique unidirectionnel entre les *peer* MAC nommé connexion. Ensuite, l'*outbound* MAC associe des paquets traversant l'interface MAC dans un flot de service afin d'être délivré à travers la connexion. Les paramètres de QoS associés avec le flot de service définissent l'ordonnancement de la transmission à l'interface radio. La couche MAC est orientée connexion. En fait, on a une QoS par connexion établie. Chaque connexion est affectée aux flots de services et la bande passante est négociée par l'intermédiaire de la signalisation.

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

2.3.2 La gestion de la mobilité dans le réseau WiMAX mobile

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

2.3.2.1 Gestion de la puissance

Le WiMAX mobile présente deux modes : Sleep mode et Idle mode. [6]

a. Sleep mode

Le mode Sleep est un état durant lequel le terminal mobile pré-négocie des périodes d'absence de l'interface radio de sa station de base. Durant ces périodes, le mobile n'est pas disponible. Ce mode vise à minimiser la consommation de la batterie du mobile ainsi que l'utilisation des ressources de la station de base. Notons que dans ce mode, le mobile collecte des informations des cellules adjacentes afin d'effectuer un handover en cas de réception d'un meilleur signal d'une station de base voisine.

b. Idle mode

Le mode Idle est un état durant lequel le mobile est disponible d'une façon périodique et peut recevoir des messages de diffusion provenant de multiple station de base sans effectuer d'enregistrement. Ce mode présente l'avantage de désactiver le processus de handover qui consomme en puissance de la part du mobile et encombre de plus l'interface radio de la station de base tout en conservant la possibilité de pager le mobile et lui fournir des alertes au cas de provenance de trafic en DL.

2.3.2.2 Gestion de l'initialisation et de l'entrée d'une SS dans un réseau WiMAX mobile

Chaque SS est identifiée par une adresse MAC unique qui sera utilisée pour l'initialisation et l'entrée d'une SS dans un réseau IEEE 802.16e.

Nous allons maintenant en décrire les différentes phases (voir Figure 2.08). [4]

a. L'écoute du canal descendant (BS vers SS) et la synchronisation avec une BS

Si la SS s'est déjà connectée par le passé à un réseau IEEE 802.16e, elle utilise ces paramètres pour tenter de réacquérir ce canal descendant. Si cela échoue ou si la SS ne possède pas de tels paramètres, elle scanne les différents canaux descendants jusqu'à l'obtention d'un signal descendant valide qui va permettre à la SS et à la BS de se synchroniser au niveau physique.

b. L'obtention des paramètres de transmission sur les canaux montants (SS vers BS) et descendants

La couche MAC peut alors se synchroniser en obtenant au moins un message DL-MAP. Elle restera synchronisée tant qu'elle continuera à recevoir les messages DL-MAP et DCD (*Downlink*

Channel Descriptor) correspondant à ce canal. La SS doit alors attendre la réception d'un message UCD (*Uplink Channel Descriptor*) décrivant les paramètres de transmission d'un canal montant adaptés à ses besoins. Si elle n'en reçoit pas ou s'ils ne conviennent pas, elle cherchera un autre canal descendant. Si les paramètres conviennent, la couche MAC considérera le canal montant valide tant qu'elle recevra des messages UL-MAP (*Uplink map*) et UCD.

c. La phase de « ranging » et d'ajustement des paramètres

La SS doit adapter ses paramètres de transmission (la puissance par exemple) en fonction de la BS. Pour cela, après réception d'un message UL-MAP, la SS va envoyer un message RNG-REQ (*Ranging Request*) auquel la BS va répondre par un RNG-RSP (*Ranging Response*).

Dans ce message, la BS va préciser les CIDs (*Connection Identifiers*) de deux paires de connexions dites « de gestion » (un CID pour chaque paire) associés à cette SS :

- Une « basique » utilisée pour échanger des messages MAC de gestion, courts et urgents.
- Une « primaire » utilisée pour échanger des messages MAC de gestion plus longs et plus tolérants en termes de délai.
- De plus, à chaque réception d'un message RNG-RSP, la SS doit ajuster ses paramètres de transmission et renvoyer un RNG-REQ jusqu'à ce que le RNG-RSP contienne la notification Ranging Successful.

d. La négociation des paramètres de base

La SS envoie à la BS un message SBC-REQ (*SS Basic Capability Request*) qui contient d'une part les propriétés de la SS dont la BS a besoin pour l'allocation de bande passante et d'autre part des informations telles que la puissance maximale de transmission et la puissance actuelle de transmission. La BS répond en validant ou non ces paramètres.

e. La phase d'autorisation et d'échange de clef (optionnelle)

Si l'option PKM (*Privacy Key Management*) est activée, la SS et la BS doivent réaliser cette phase avant l'enregistrement de la SS. Cette étape consiste donc à la réalisation du protocole PKM version 1 ou 2 qui, en résumé, est composé des étapes suivantes :

- La BS authentifie l'identité de la SS
- La BS fournit à la SS une AK (*Authentication Key*)

- La BS fournit à la SS des SAIDs (*Service Association Identifier*) qui correspondent à chacun des services auxquels la SS a souscrit.
- Pour chaque SAID, la SS lance une procédure d'échange de TEK (*Traffic Encryption Key*) pour valider l'utilisation de ce service.

f. L'enregistrement de la SS

La SS a envoyé un message REG-REQ (*Registration Request*) à la BS en précisant si l'option PKM était activée. Une fois cette phase achevée, la BS répond par un message REG-RSP (*Registration Response*). Pour une SS ayant indiqué qu'elle est une SS autogérée (option *managed SS*), un nouveau CID lui sera attribué pour une paire de connexions de gestion « secondaire » utilisée pour échanger des messages standards du type DHCP (*Dynamic Host Configuration Protocol*), TFTP (*Trivial File Transfert Protocol*), SNMP (*Simple Network Management Protocol*), etc. La SS est alors autorisée à entrer dans le réseau. Une SS autogérée peut aussi indiquer dans le REG-REQ quelle version d'IP (IPv4 ou IPv6) elle veut utiliser pour sa connexion de gestion « secondaire ». Les étapes suivantes ne concernent plus que les SS autogérées.

g. L'établissement de la connectivité IP

Cette étape se fait au travers de la connexion de gestion « secondaire ». Le protocole utilisé sera DHCP dans le cas d'une SS utilisant IPv4 et DHCPv6 ou IPv6 Stateless Address Autoconfiguration dans le cas de l'utilisation d'IPv6.

h. L'établissement de la date et de l'heure

Cette étape permet à la SS et la BS de synchroniser leur date et heure au travers du Time Protocol [24] en utilisant la connexion de gestion « secondaire ».

i. Le transfert des paramètres opérationnels (optionnel)

Cette étape permet à la SS d'obtenir un fichier de configuration contenant des informations telles que l'adresse IP du serveur de logiciels ainsi que des informations spécifiques au constructeur de l'équipement. Elle est réalisée par le protocole TFTP en utilisant la connexion de gestion « secondaire ».

Ces différentes phases sont illustrées dans la figure suivante [4] :

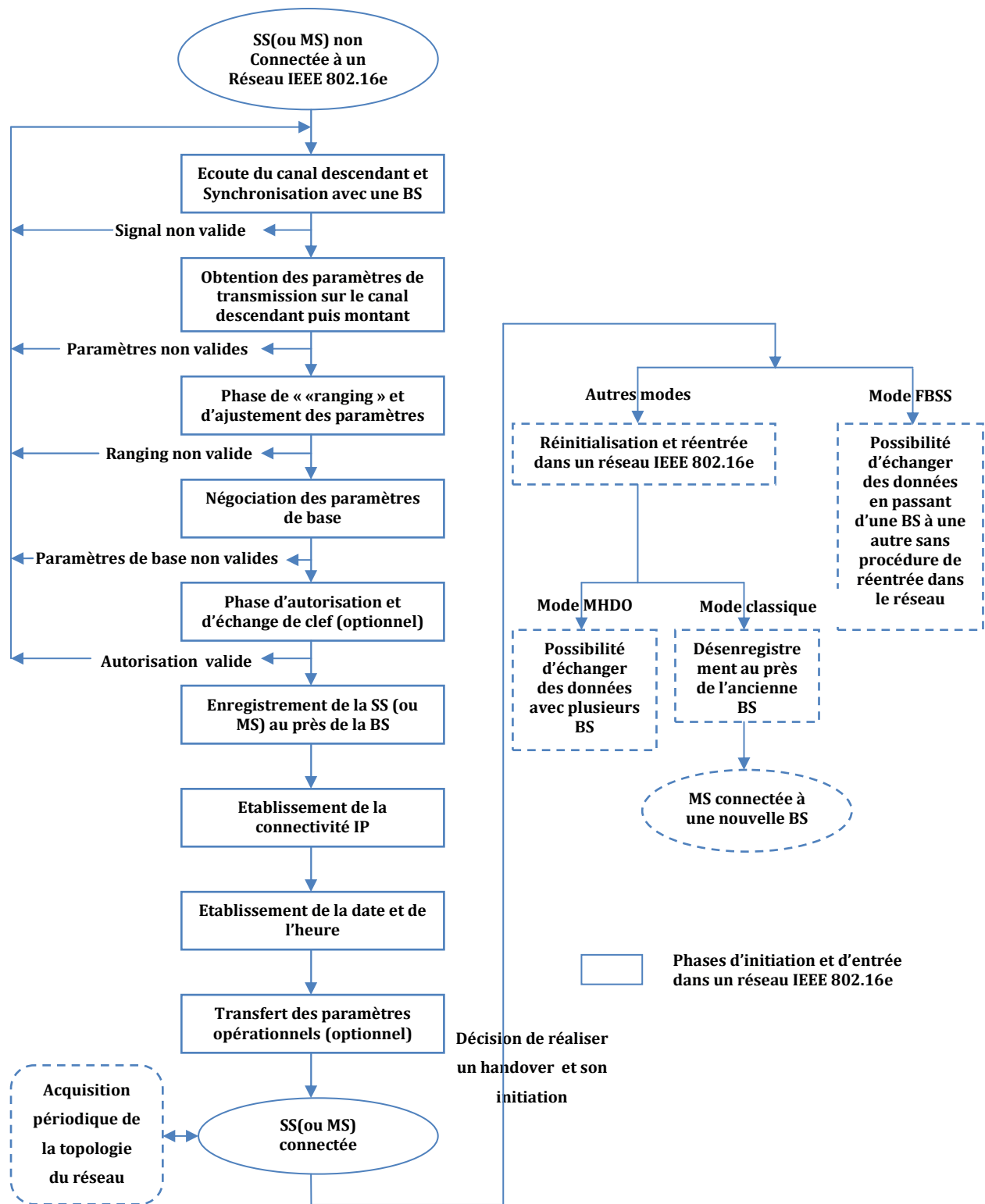


Figure 2.08 : *Processus d'initialisation et d'entrée dans un réseau IEEE 802.16e ainsi que les différents modes de handover*

2.3.2.3 Les types de handover

Les types de handover sont [2] :

- Handover horizontal : entre deux cellules WiMAX, il est divisé à son tour en deux types:
 - Handover intra-domaine : entre deux cellules WiMAX couvertes par deux stations de base gérées par la même passerelle ASN-GW
 - Handover inter-domaine : entre deux cellules WiMAX couvertes par deux stations de base gérées par deux passerelles ASN-GW différentes
- Handover diagonal : entre deux cellules gérées par deux technologies proposées par le même organisme (par exemple entre IEEE 802.11 et IEEE 802.16 ou encore entre 3GPP-UMTS et 3GPP-HSDPA).
- Handover vertical : entre deux cellules gérées par différentes technologies (par exemple entre WiMAX et UMTS).

2.3.2.4 Procédure de handover

Le handover ou le transfert intercellulaire est l'ensemble des fonctions et des opérations mises en œuvre entre une ou plusieurs stations de service et une station mobile, pour permettre à cette dernière de changer de cellule et de bénéficier des services d'une autre cellule au lieu de l'ancienne. La station mobile aura la possibilité de continuer sa communication en cours avec un minimum d'interruption, sachant que les deux cellules impliquées sont gérées par un ou plusieurs réseaux.

Afin de prendre en compte la mobilité des usagers, le standard met en place une procédure de handover utilisable dans les cas suivants [2]:

- Quand la station mobile MS (*Mobile Station*) peut être pris en compte avec une meilleure qualité de signal par une autre station de base (mouvement du terminal, affaiblissement du signal ou interférence).
- Quand le terminal mobile peut être pris en compte avec une meilleure QoS par une autre station de base (équilibre de charge, contrôle d'admission, ou attentes en termes de QoS).
- Une indisponibilité signalée par la station de service, soit parce qu'elle est tombée en panne, ou qu'elle est trop chargée par d'autres mobiles en communication, ou bien encore que le

signal d'une autre station de service devient meilleur que le sien. Dans l'un de ces cas, s'il existe d'autres stations de service voisines disponibles, le handover sera établi.

- Beaucoup d'interférences entre les stations mobiles dans une même cellule. Dans ce cas un mobile décide de changer de cellule pour subir moins d'interférences.

a. Handover « break before make »

C'est la procédure classique de hard handover : le terminal se déconnecte de sa station de base de service avant de se connecter à la station de base cible. Il y a donc une coupure dans la communication. Par conséquent, ce mode de handover ne fonctionne que si la mobilité est lente. La procédure de handover comporte plusieurs étapes [2] :

- Ré-sélection de cellule

Le terminal utilise les informations recueillies lors des scrutations, associations, annonces, pour évaluer l'intérêt d'une station de base voisine comme cible d'un handover. Une telle procédure n'implique pas la terminaison de la connexion avec la station de base de service, et n'est pas forcément suivie d'une décision de handover.

- Entrée dans le réseau

L'entrée dans le réseau comprenant la synchronisation avec les liens descendants/montants, le ranging (obtention des paramètres du lien descendant et montant), la négociation des capacités, l'authentification par échange de clés et l'enregistrement du terminal auprès de la station de base. Si l'enregistrement est réussi, on établit la connectivité IP et les connexions de transport ; la station de base cible devient la station de base de service.

- Terminaison du contexte terminal

Le terminal envoie, à la station de base de service, une indication avec l'option de relâchement des ressources. La station quant à elle arme le temporisateur "retenue des ressources". Lorsque ce temporisateur expire, la station de base de service met fin à toute connexion avec le terminal et détruit les informations le concernant. Si la station de base de service reçoit un message provenant de la station de base cible indiquant que le terminal y a été attaché, la station de base de service peut supprimer le contexte du terminal même avant l'expiration du temporisateur.

- Baisse de connectivité pendant le handover

Quand un terminal détecte une baisse de connectivité pendant l'entrée dans le réseau d'une station de base cible, il peut essayer de reprendre la communication avec sa station de base de service en envoyant un message d'annulation de handover.

- Coordination de transmission

Quand le terminal termine le handover, il faut maintenir la continuité de la transmission entre l'ancienne et la nouvelle station de base de service vers le terminal.

Le fonctionnement du mécanisme Hard Handover est illustré dans la figure ci-dessous [2] [29] :

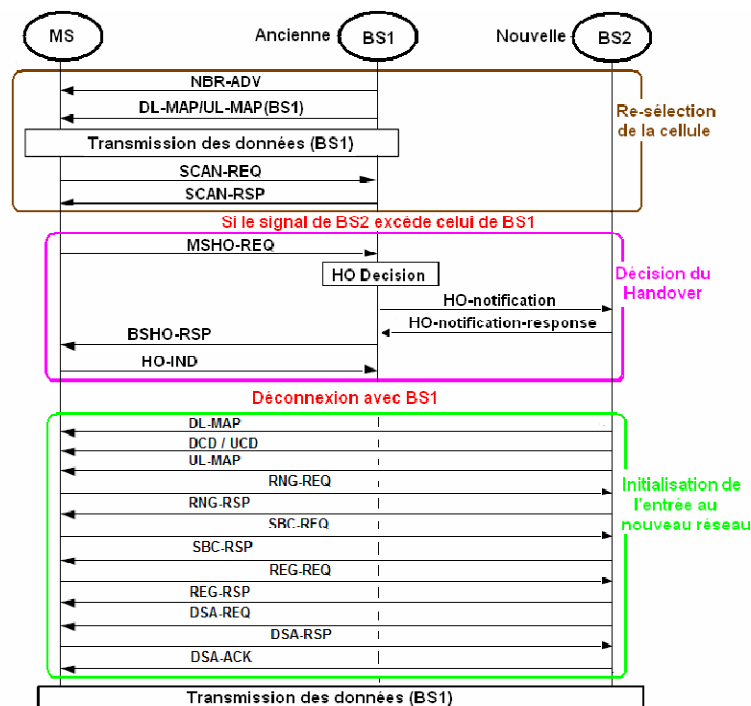


Figure 2.09 : Fonctionnement du hard handover

La description des messages illustrés dans la figure 2.06 est présentée ci-dessous [2] [29] :

- NBR-ADV : message d'avertissement des voisins
- DL-MAP / UL-MAP : messages de contrôle des liens montants et descendants
- SCAN-REQ / SCAN-RSP : requêtes et réponses du Scan des intervalles d'allocation
- MSHO-REQ : requête de demande de Handover par le mobile
- BSHO-RSP : réponse sur la requête de demande Handover par la BS
- HO-IND : message d'indication de Handover
- DCD/UCD : messages de contrôle sur la description du canal en liens montant/descendant
- RNG-REQ / RNG-RSP : requête et réponse sur la portée

- SBC-REQ / SBC-RSP : requête et réponse sur la capacité de base du mobile
- REG-REQ / REG-RSP : requête et réponse sur l'enregistrement du mobile
- DSA-REQ/DSA-RSP/DSA-ACK : requête, réponse et acquittement sur l'addition du service dynamique.

Au début, la MS échange ses données avec la BS1 (ancienne BS), et en même temps elle scrute le réseau pour la détection des nouveaux signaux des BSs voisines. Quand elle détecte un signal d'une BS supérieur à celui de son ancienne BS, la MS passe à la procédure de la décision du Handover : elle informe son ancienne BS de sa décision, et cette dernière contacte la BS cible pour lui transmettre la demande de la MS. Si tout se passe bien, la BS cible va accepter la demande, ensuite la BS1 enverra une notification d'acceptation à la MS. La MS commencera alors la procédure de Handover en alertant l'ancienne BS. La MS va interrompre la connexion avec la BS1, et commencer une procédure d'échange des messages avec BS2 pour se connecter définitivement à cette dernière, et échanger ses données avec elle.

b. Modes optionnels du handover

En plus de la procédure de hard handover, il existe deux modes optionnels de handover (FBSS (*Fast BS Switching*) et MDHO (*Macro Diversity Handover*)). La prise en charge de ces modes est paramétrée lors de la phase d'enregistrement. Le jeu de diversité est un ensemble contenant une liste des stations de base actives pour le terminal. La notion de station de base active surpasse la notion de station de base « associée » : en effet, l'enregistrement a eu lieu, et donc l'ouverture des connexions de gestion secondaires aussi. [2]

Une entité prenant en charge le MDHO/FBSS doit gérer le jeu de diversité, dans lequel une station de base ancre est désignée. Nous notons que la coordination de transmission n'est effectuée que dans le mode FBSS, et se déroule de la même manière que dans le hard handover.

➤ FBSS (commutation rapide de station de base)

Le handover FBSS nécessite plusieurs conditions [1] :

- les stations de base, qui sont synchronisées sur une référence temporelle commune, ont une structure de trame (trame = unité de temps) synchronisée et utilisent les mêmes fréquences.
- les trames envoyées par les stations de base à un moment donné doivent parvenir au terminal pendant l'intervalle de préfixe OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*).
- les stations de base doivent partager et se transmettre le contexte MAC. Il contient les informations que le terminal et la station de base s'échangent lors de l'entrée dans le réseau, par

exemple l'état d'authentification, afin qu'un terminal authentifié/enregistré auprès d'une station de base du jeu de diversité soit aussi automatiquement auprès des autres stations de base de l'ensemble.

Le terminal est servi par une seule station de base à un instant donné : la station de base ancre, qui est donc considérée comme sa station de base de service. Les données du terminal sont reçues par toutes les stations de base du jeu de diversité mais seule la station de base ancre va les interpréter. Le terminal ne communique qu'avec la station de base ancre pour le sens montant et descendant, mais les autres stations de base actives doivent être prêtes à envoyer des données au terminal dans n'importe quelle trame. En effet, d'une trame à l'autre, la station de base ancre peut changer au sein du jeu de diversité. En FBSS, on parle plutôt de commutation rapide de station de base. C'est un changement de station de base ancre qui n'induit pas de coupure, car les connexions de gestion sont déjà en place entre le terminal et les stations de base actives. Il s'agit juste pour le terminal d'ouvrir les connexions de transport vers la nouvelle station de base ancre. L'avantage est de ne pas devoir utiliser des messages de signalisation de handover quand on veut changer de station de base ancre, car la commutation de station de base ancre est effectuée sans invoquer la procédure de handover classique. Le mécanisme de FBSS est illustré dans la figure ci-dessous [2] [29] :

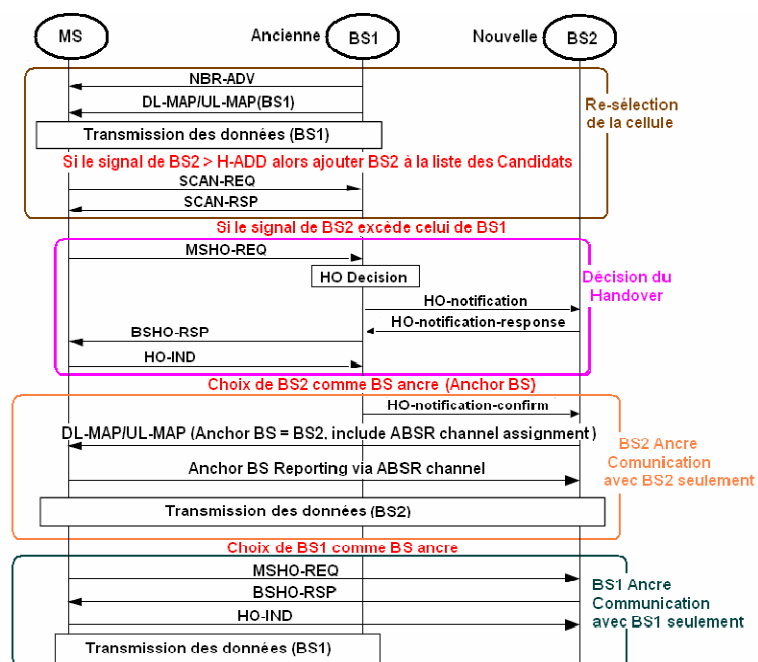


Figure 2.10 : Fonctionnement du FBSS

Jusqu'à l'étape où la MS se connecte avec la nouvelle BS, le déroulement est identique à celui du MDHO. Ensuite, la MS choisit par exemple la nouvelle BS (BS2) comme BS ancre et échange ses

données avec elle seule, tout en restant connectée avec l'ancienne BS (BS1) mais sans échange de données avec cette dernière. Si par exemple après un certains temps, la MS se re-déplace dans la direction de l'ancienne BS, et que le signal de cette dernière redevient meilleur que celui de la nouvelle BS, la MS peut re-choisir l'ancienne BS comme BS ancre. La procédure de déconnexion est semblable à celle de MDHO.

➤ MDHO (soft handover)

Avec un soft handover, le terminal est servi par toutes les stations de bases du jeu de diversité. Ce mode se fonde sur la capacité du terminal à communiquer simultanément avec plusieurs stations de base. Au fil du temps et de ses déplacements, le terminal va modifier son jeu de diversité. [1]

Une illustration du mécanisme MDHO est présentée dans la figure ci-dessous [2] [29] :

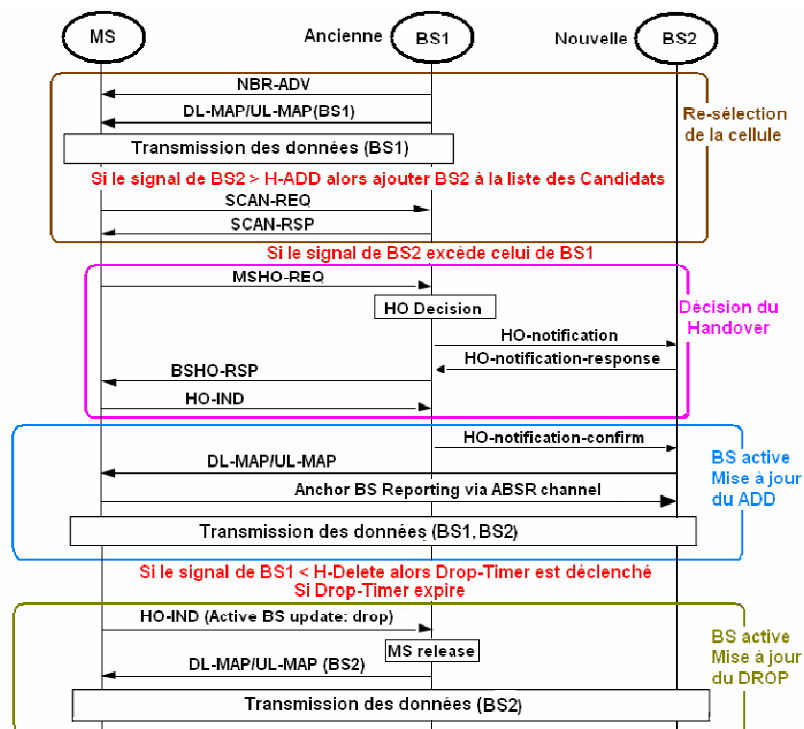


Figure 2.11 : Fonctionnement du MDHO

Au début, comme avec le mécanisme Hard Handover, la MS communique ses données avec la BS1, et scrute en même temps le réseau à la recherche de nouveaux signaux. La différence à ce stade avec le Hard Handover, est que quand la MS détecte un signal de BS supérieur à un seuil déjà fixé (H-Add), elle ajoute cette BS à la liste des BSs candidats (Diversity Set).

Ensuite, quand elle détecte un signal d'une BS qui est déjà dans sa liste de candidates avec une puissance supérieure à celle de son ancienne BS, elle décide de faire le Handover avec la nouvelle

(BS2). L'accord sera accompli comme en Hard Handover, sauf que quand la MS recevra une notification de l'acceptation du Handover par la BS2, elle ne se déconnectera pas de l'ancienne BS. La MS poursuivra donc sa connexion avec la BS1, et se connectera aussi avec la BS2. Elle communiquera alors ses données avec les deux BSs en même temps. Par la suite, si le signal d'une BS avec laquelle elle est connectée devient inférieur à un autre seuil fixé (H-Delete) ; une temporisation sera déclenchée (Drop-Timer). Si elle expire et que le signal de la BS reste inférieur au seuil, la MS se déconnectera de cette BS, et poursuivra sa communication avec l'autre BS.

Dans le sens descendant, le terminal reçoit la même trame MAC, au même instant, en provenance de chacune des stations de base du jeu de diversité. Il effectue ensuite la combinaison de diversité en combinant le signal des différentes stations de base, il en fabrique un seul grâce à un récepteur de type RAKE. Il y a un gain de diversité car le terminal profite de la réception de plusieurs PDUs pour limiter les erreurs en combinant les informations. Dans le sens montant, le trafic provenant du terminal est reçu par toutes les stations de base du jeu de diversité. Le MDHO requiert les mêmes conditions que le FBSS, mais en plus : les stations de base utilisent le même ensemble de CIDs (*Connection ID*) pour les connexions établies avec le terminal. Les stations de base doivent utiliser le même type de PDU MAC/PHY. Enfin, le terminal doit pouvoir prendre en charge plusieurs connexions simultanées. [1]

2.4 Conclusion

Le but principal de cette étude est de montrer l'efficacité du mécanisme de handover et plus particulièrement du FBSS par rapport au hard handover pour du trafic temps-réel dans le cas où les stations mobiles se déplacent à grande vitesse.

Notons aussi que le niveau de QoS se dégrade en fonction de la charge de l'environnement par les stations mobiles, et en fonction des vitesses des mobiles c'est-à-dire moins il y a de mobiles et moins la vitesse est grande, la QoS est meilleure.

CHAPITRE 3

SIMULATION DE LA GESTION DE MOBILITE DANS LE RESEAU WiMAX MOBILE

3.1 Présentation du logiciel MATLAB et GUI

MATLAB est un acronyme pour « MATrix LABoratory ». Ce logiciel a été développé par la société MathWorks. Il est un langage informatique de haut niveau à la fois puissant et simple d'utilisation dédié principalement aux calculs scientifiques.

MATLAB est un système interactif, convivial de calcul numérique et de visualisation qui ne nécessite pas de connaître la programmation. Il a comme élément de base la matrice, l'utilisateur ne s'occupe pas des allocations mémoires ou de ré-dimensionnement comme dans les langages classiques. Il possède néanmoins une panoplie complète d'objets graphiques qui permettent, d'une part d'afficher les résultats de calculs sous des formes variées (point, courbe, surface, graphique) et d'autre part, de créer des interfaces graphiques (GUI) permettant à l'utilisateur d'interagir avec le programme.

Le GUI est une interface imagée à un programme. Il peut faciliter des programmes à employer en leur fournissant en aspect cohérent et des commandes intuitives comme des boutons poussoirs, boîtes de liste, glisseurs, menus et ainsi de suite (radiobutton, edit, listbox,...) appelés handles.

Le GUI devrait se comporter d'une façon compréhensible et prévisible, de sorte qu'un utilisateur sache à quoi s'attendre quand lui ou elle effectue une action. Par exemple, quand un dé clic de souris se produit sur un bouton poussoir, le GUI devrait lancer l'action décrite sur l'étiquette du bouton.

Dans MATLAB, un GUI peut également montrer des données en forme de tableaux ou en tant que parcelles de terrain, et peut grouper les composants relatifs. Chaque composant, et le GUI lui-même, est associé à une ou plusieurs routines écrites par l'utilisateur connues sous le nom de « callback ». L'exécution de chaque « callback » est déclenchée par une action particulière d'utilisateur telle qu'une poussée de bouton, le dé clic de souris, le choix d'un article de menu, ou le curseur passant au dessus d'un composant.

Le GUIDE, l'environnement graphique de développement d'interface utilisateur de MATLAB, fournit un ensemble d'outils pour créer les GUI. Il stocke la disposition de GUI dans un fichier FIG-file (.fig). A partir de ce fichier, le GUIDE produit automatiquement un fichier M-file (.m) qui montre comment le GUI fonctionne.

3.2 Objectifs de la simulation

Dans cette simulation, les objectifs sont subdivisés en deux parties :

- En premier lieu, nous allons montrer un extrait d'handover pour un seul mobile au niveau de trois stations de base dont le but est de permettre à ce mobile de changer d'une station de base à une autre sans avoir de coupure de communication.
- En deuxième lieu, on va se baser sur la gestion de la mobilité de 6 mobiles au niveau de 4 BTS. Le but est de permettre à ces mobiles de faire des échanges de trafic (vidéo, VoIP et data) dépendant de la vitesse de déplacement du mobile au moment des deux types d'handover (Hard Handover et FBSS) que nous nous basons dans l'étude de cette deuxième partie de la simulation.

3.3 Simulation d'un handover

Notons que dans cette simulation, on applique l'équation générale des Télécommunications déterminée par la formule :

$$P_r = \frac{(P_m \cdot G_m \cdot A_t)}{(4\pi \cdot d^2)} \quad (3.01)$$

Avec :

P_r : la puissance reçue à la BTS

P_m : la puissance du mobile

G_m : le gain de l'antenne du mobile

A_t : l'ouverture effective de l'antenne de la BTS

On a réalisé la simulation dans une architecture de trois cellules noté BTS1, BTS2 et BTS3.

Dans cette simulation on a pris le seuil $s=0,001$. Et notons que la décision du handover se fait grâce aux différences de puissance reçue dans chaque BTS.

Exemple : si $P_{BTS1} - P_{BTS2} < s$ donc il y a handover

Notons aussi que dans cette simulation la trajectoire du mobile est rectiligne c'est-à-dire qu'on a imposé les coordonnées de cette trajectoire.

L'architecture du réseau est personnalisée lors de la simulation c'est-à-dire les valeurs sont fixées lors de la simulation :

- Distance BTS1-BTS2 = 750

- Distance BTS1-BTS2 = 850
- Distance BTS1-BTS2 = 950
- $At = 3$
- $P_m = 20$
- $G_m = 10$
- Le point de départ a pour coordonnées : $x=100$; $y=100$
- Le point d'arrivée a pour coordonnées : $x=900$; $y=300$
- Les puissances sont en watt(W) et les distances sont en mètres(m)

3.3.1 Présentation de l'interface graphique

La fenêtre de l'interface graphique se présente comme suit :

- Une partie pour la présentation de la mobilité d'un mobile caractérisé par un schéma composé d'une architecture de trois BTS
- Une partie pour présenter les différentes données composée de :
 - Des informations concernant le BTS
 - Des différentes valeurs prises par le mobile
 - Et les valeurs personnalisées utilisées lors de la simulation
- On peut voir aussi tous les résultats durant le trajet du mobile :
 - Les puissances reçues par chaque BTS
 - Les distances séparant le mobile à chaque BTS
 - Une barre qui montre le BTS connecté et son état c'est-à-dire si il y a déclenchement du handover
- Et enfin il y a quatre boutons :
 - Placer : pour introduire des valeurs et placer le mobile
 - Simuler : pour faire les différents mesures
 - Précédent : pour revenir au menu
 - Quitter : pour quitter la simulation du handover

3.3.2 Déroulement de la simulation

Le bouton « simuler » permet de passer au déplacement du mobile.

Dans cette partie, le mobile se déplace en débutant au point de départ et ne s'arrête qu'au point d'arrivée.

Le mobile passe du BTS2 au BTS1 donc il y a déclenchement du handover.

D'après les mesures on peut voir que :

- Puissance reçue de la BTS1=0,000333051
- Puissance reçue de la BTS2=0,000411892
- Puissance reçue de la BTS 3=0,000128316

On a $P_{BTS1} - P_{BTS2} < s$; d'où déclenchement du handover.

La figure suivante montre le déclenchement du handover lors de la simulation :

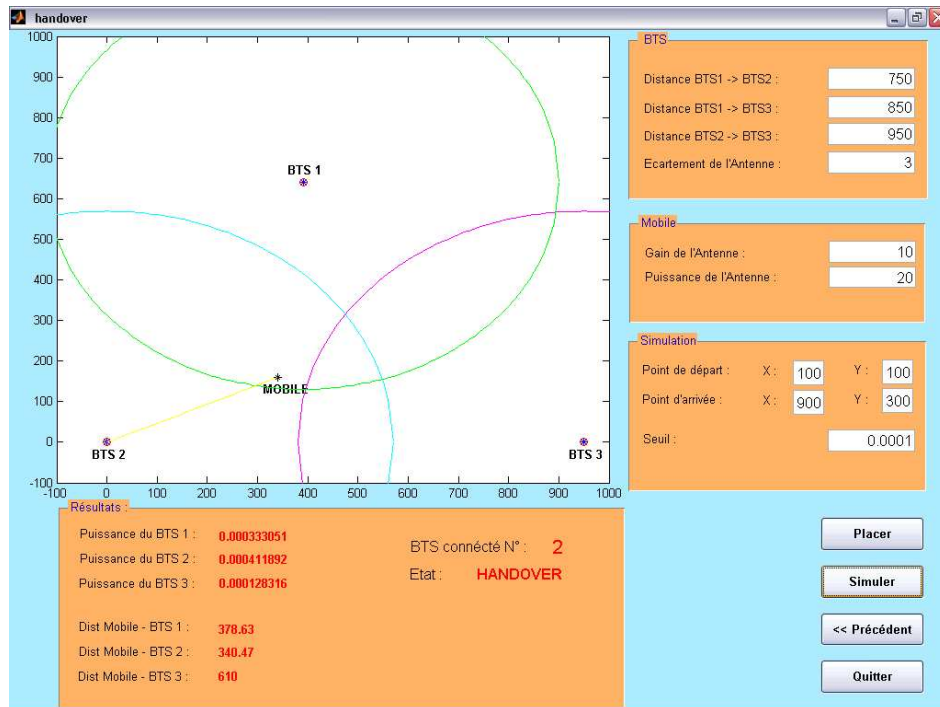


Figure 3.01 : Déclenchement du handover

Dans cette figure, le BTS2 est encore connecté et va passer à la connexion du BTS1

On peut voir aussi la variation des distances et des puissances

3.3.2.1 Variation des distances

On a les résultats suivants :

- La distance qui sépare le mobile du BTS1 diminue puis s'éloigne petit à petit c'est-à-dire que le mobile est à 600m de la BTS1, se rapproche de 450m et continue sa trajectoire vers la BTS3.
- Dans le cas de la BTS2, le mobile est à 150m et la quitte jusqu'à 950m vers les autres BTS
- Et enfin le mobile se rapproche du BTS3 de 900m jusqu'à 300m

3.3.2.2 Variation des puissances

Pour la variation des puissances, on peut voir que si le mobile se rapproche d'une station de base la puissance augmente.

- En premier lieu, le mobile est connecté à la BTS2 ce qui explique la puissance reçue supérieur à $10.10^{-4}W$ puis le mobile la quitte d'où la diminution brusque de cette puissance.
- Dans le cas de la BTS1, le mobile passe un certain temps dans sa zone de couverture et la quitte après donc la puissance reçue augmente puis diminue.
- Enfin dans la BTS3, le mobile se rapproche petit à petit de celui-ci d'où une augmentation de la puissance.

3.4 Simulation de la gestion de la mobilité

Cette étude a comme but d'offrir un aperçu général sur le niveau de la QoS dans un environnement dense (peuplé) couvert par le WiMAX mobile. Pour cela nous allons simuler un modèle de mobilité illustrant une zone urbaine, avec différents niveaux de mobilité (grande, moyenne et faible) et différents types de trafic (multimédia et données).

Le modèle de mobilité proposé est composé de quatre cellules de différentes tailles, contenant des stations mobiles qui se déplacent dans toutes les directions avec des vitesses variables comprises entre 20 et 90 km/h, et qui utilisent des trafics VoIP, vidéo et données.

Dans le cas d'un Handover de niveau 2, nous allons appliquer deux techniques et comparer leurs résultats : Hard Handover et Soft Handover/FBSS.

3.4.1 Présentation de la simulation

Les quatre BSs appartiennent au même ASN géré par un CSN. Les stations mobiles se déplacent dans les cellules avec des vitesses variables. Dans la cellule numéro 1, la vitesse maximale autorisée pour le déplacement est de 90 km/h. Dans la cellule numéro 2, la vitesse maximale autorisée est de 70 km/h. Dans les cellules de numéro 3 et 4, la vitesse maximale autorisée pour le déplacement est de 50 km/h.

Notre but dans cette étude est d'offrir un aperçu général sur le niveau de la QoS dans une zone urbaine avec le WiMAX mobile pour plusieurs types de trafic. Donc, au cours de leurs déplacements, les mobiles vont échanger avec leurs correspondants plusieurs types de trafic (vidéo : Visioconférence, VoIP et données).

3.4.2 Scénario de la mobilité

Dans nos simulations, nous nous concentrerons sur le déplacement de six mobiles. Au début, nos 6 mobiles vont partir du même point localisé dans une entreprise située dans la cellule numéro 3 (les utilisateurs des mobiles sont des employés de l'entreprise). Ensuite chacun des six mobiles va rejoindre une destination finale (maison et hôtel) en suivant un chemin spécifié. Ces six stations mobiles vont communiquer durant tous leurs déplacements avec des correspondants situés dans des réseaux étrangers fixes. Les dix stations mobiles sont à la fois des sources et des destinataires de flux.

Les vitesses des mobiles dépendent de leur localisation par rapport aux cellules. Les vitesses sont choisies aléatoirement entre 20 et 90 km/h selon une loi uniforme.

Les mobiles de numéro 1 et 4 vont échanger avec leurs correspondants un trafic de type vidéo. Les mobiles de numéro 2, 3, et 5 vont utiliser un trafic VoIP, le mobile numéro 6 va échanger du trafic Data.

Concernant le déplacement des mobiles et leurs passages par des zones de Handover, les mobiles de numéro 1, 2, 4, 5 et 6 vont effectuer un seul Handover intra-ASN (L2 HO). Le mobile de numéro 3 ne va exécuter aucun Handover.

3.4.3 Paramètres de la simulation

Les paramètres pour notre simulation sont illustrés dans le tableau ci-dessous :

Cellules	Cellule 1	Cellule 2 & 3	Cellule 4
Puissance du signal (P_t)	15 W		
Rayon de couverture (distance d)	2 Km	1.5 Km	1 Km
Modèle de propagation radio	$P_r(d) = \frac{P_t G_t G_r h_t^2 h_r^2}{d^4 L}$		
Gain d'antenne d'émission (G_t)	1 dB		
Gain d'antenne de réception (G_r)	1 dB		
Perte du système (L)	1 dB		
Hauteur d'antenne d'émission (h_t)	1.5 m		
Hauteur d'antenne de réception (h_r)	1.5 m		
Modulation	OFDMA		
Fréquence	3.5 GHz		
Multiplexage	TDD		

Tableau 3.01 : Paramètres de la simulation

Le temps de la simulation est fixé à 24 minutes. Au cours de ce temps, les six mobiles se déplaceront suivant les scénarios déjà décrits. Pendant la simulation, et au cours du processus de Handover, nous appliquerons les deux mécanismes FBSS et Hard Handover quand un mobile effectue un transfert intercellulaire de niveau 2. Les résultats seront calculés toutes les 3 minutes de la simulation.

La taille d'un paquet vidéo (Visioconférence) est fixée à 4960 octets, et la taille d'un paquet VoIP est fixée à 160 octets. Pour les données, la taille d'un paquet est fixée à 1000 octets.

3.4.4 Critères de performances

Les critères de performance fixés dans ce travail pour déterminer le niveau de la QoS sont :

- le délai de bout en bout ;
- le taux des paquets perdus ;
- Et enfin le débit.

3.4.5 Présentation de l'interface graphique

La fenêtre de l'interface graphique se présente comme suit :

- Une partie pour la présentation de la gestion de la mobilité caractérisée par un schéma composé une architecture de quatre BTS et six mobiles. Cette partie est composée par deux boutons :
 - Carte : pour afficher une petite carte au démarrage
 - Gestion : pour démarrer la simulation
- Une partie pour présenter les courbes des délais de bout en bout pour nos 6 mobiles en appliquant les mécanismes FBSS et Hard Handover.
- Une partie pour présenter les résultats des taux des pertes avec le FBSS et Hard Handover.
- Une partie pour présenter les débits des mobiles utilisant le trafic vidéo et VoIP
- Et enfin il y a deux boutons :
 - Précédent : pour revenir au menu
 - Quitter : pour quitter la simulation de la gestion de la mobilité et revenir à l'accueil principal.

3.4.6 Résultats des simulations

3.4.6.1 Délais

Concernant les résultats des simulations, nous allons commencer par présenter les courbes des délais de bout en bout pour nos 6 mobiles en appliquant les mécanismes FBSS et Hard Handover sur les mêmes mobiles qui effectuent un Handover de niveau 2.

Les deux figures présentent les résultats des délais pour les mobiles numéros 1, 2, 3, 4, 5 et 6 (qui vont effectuer un Handover de niveau 2) en appliquant le Hard Handover et le FBSS.

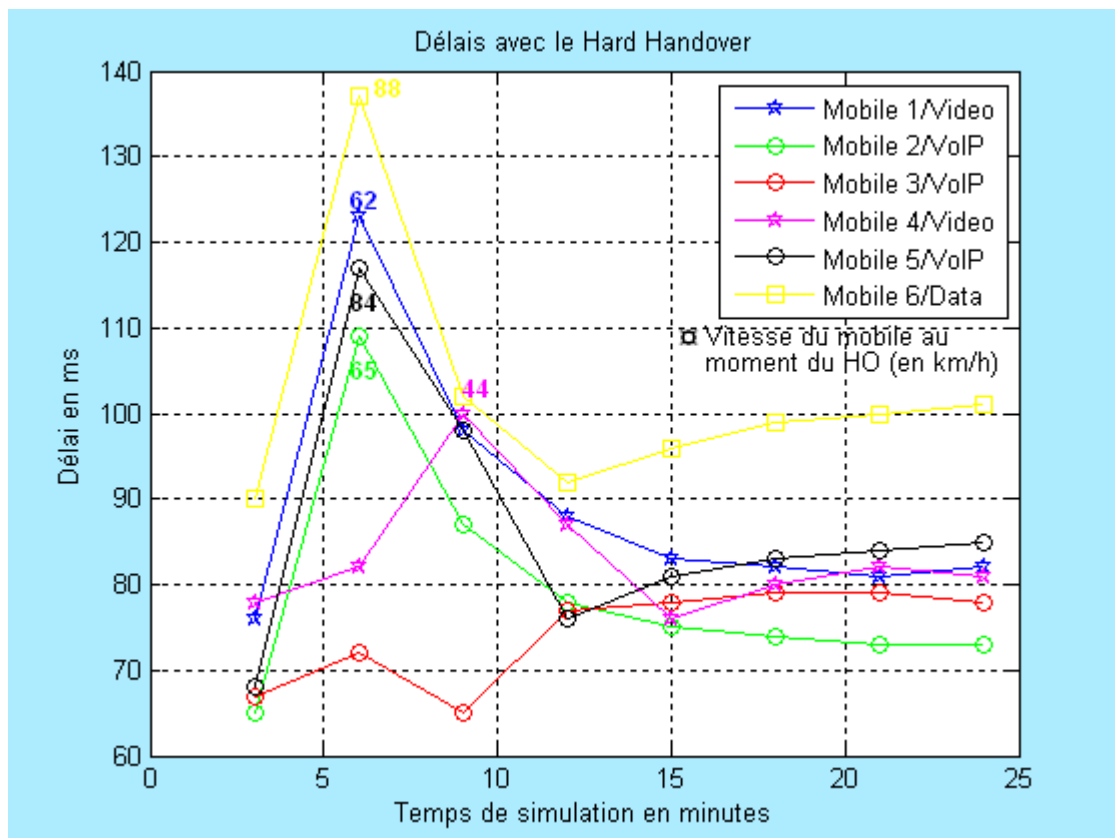


Figure 3.02 : Délais avec le Hard Handover

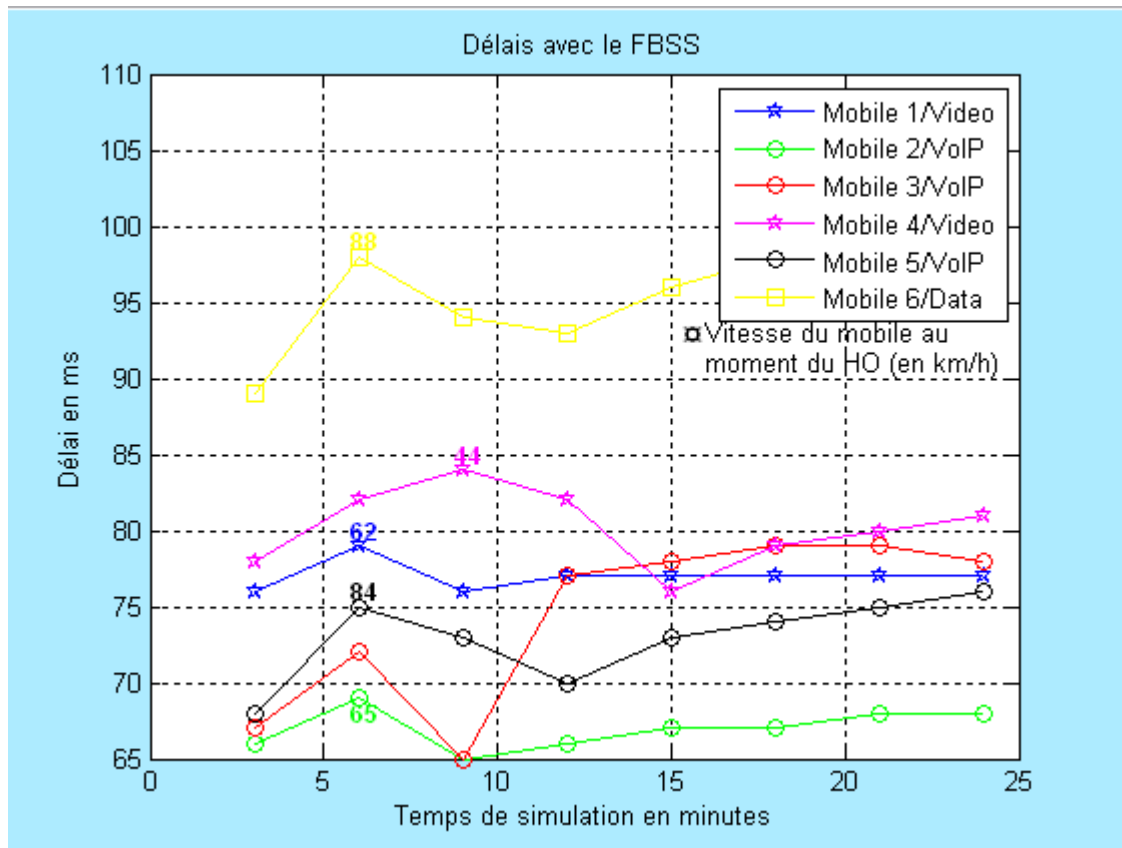


Figure 3.03 : Délais avec le FBSS

Dans ces deux figures (FBSS et Hard Handover), la première différence que nous remarquons en comparant les résultats obtenus avec les deux mécanismes concerne les délais des mobiles durant le processus du HO. Le mécanisme FBSS diminue considérablement les délais pendant le Handover par rapport au Hard Handover. La raison est qu'il n'y a pas d'interruption de la communication durant le Handover avec le FBSS.

Notons aussi que si la vitesse d'un mobile est supérieure à 50 km/h, la QoS commence à se dégrader avec le Hard Handover (les valeurs des délais dépassent 100 ms). La QoS est considérée comme mauvaise dans ce cas, contrairement au cas du FBSS où les résultats ne dépassent pas les 100 ms, même durant le Handover.

3.4.6.2 Taux de pertes

Nous allons présenter maintenant les résultats des taux de paquets perdus.

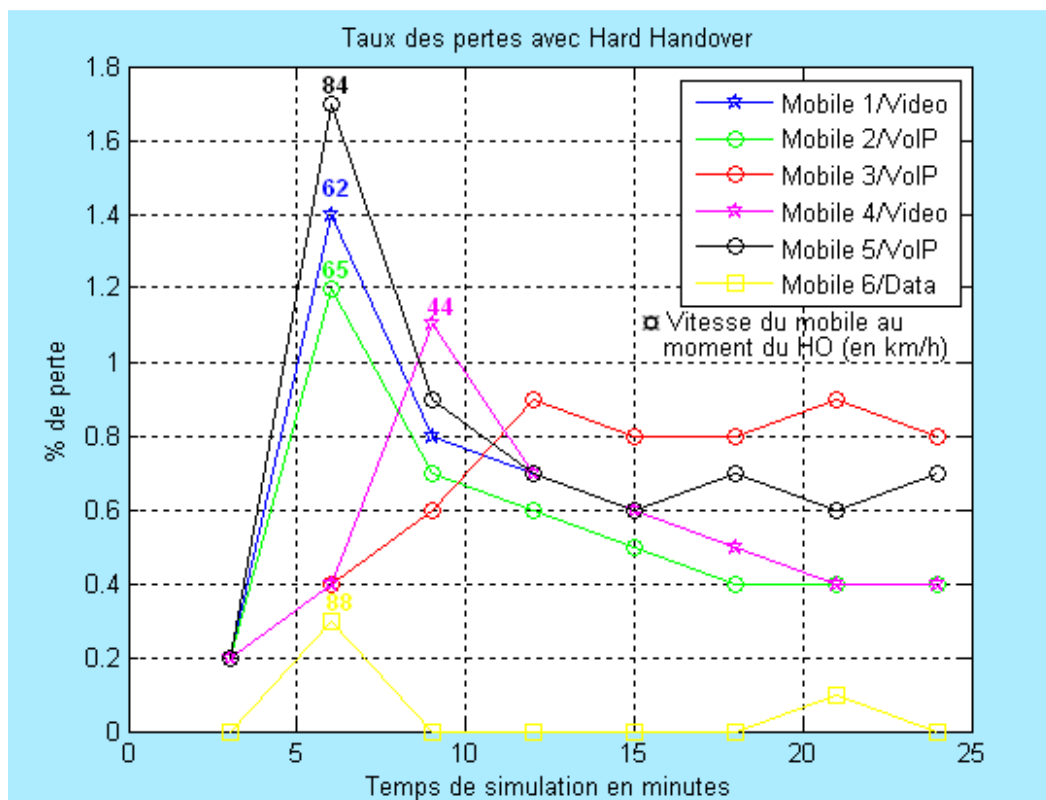


Figure 3.04 : Taux des pertes avec Hard Handover

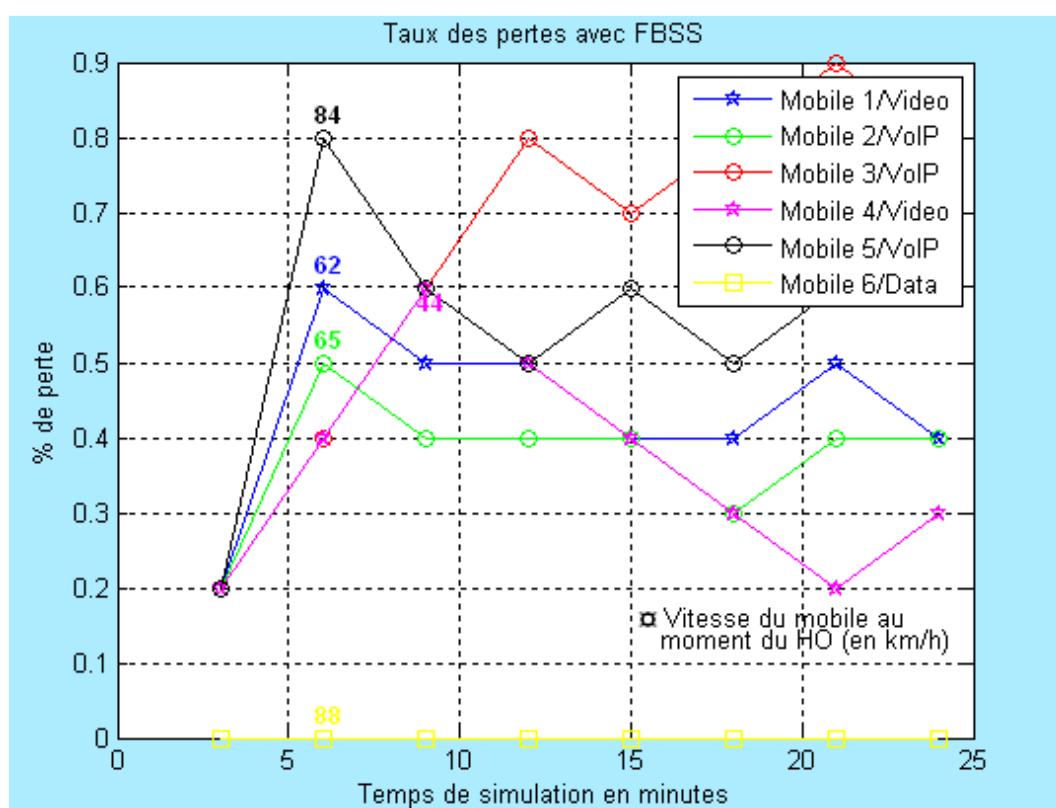


Figure 3.05 : Taux des pertes avec FBSS

Comme pour les délais dans les figures 3.02 et 3.03, si la vitesse d'un mobile dépasse 50 km/h durant le Handover, le taux de perte des paquets dépasse 1% avec le Hard Handover, ce qui n'est pas acceptable pour du trafic temps-réel. Par contre, si nous regardons les résultats obtenus avec le FBSS, les taux de pertes ne dépassent pas 1% même pendant le Handover.

3.4.6.3 Débits des mobiles

Nous allons présenter maintenant dans les deux figures qui suivent : les débits observés des mobiles qui utilisent le trafic vidéo, et les débits des mobiles qui échangent du trafic VoIP :

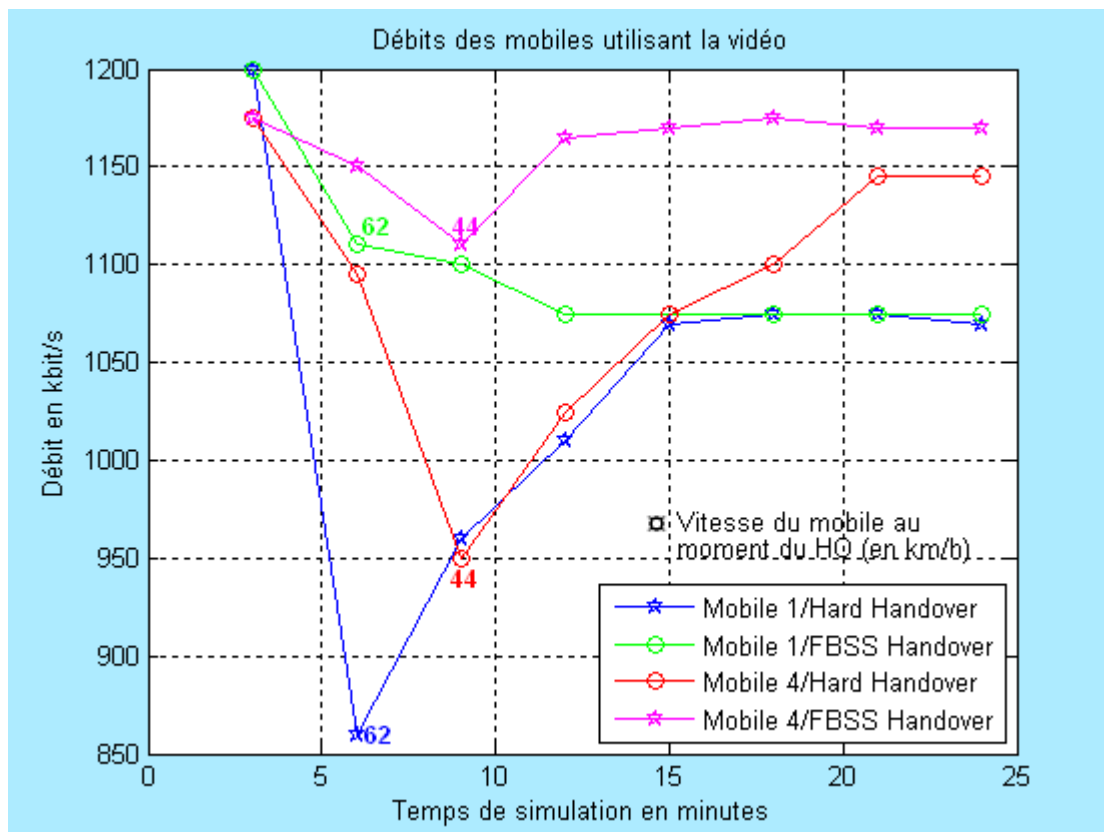


Figure 3.06 : *Débits des mobiles utilisant la vidéo*

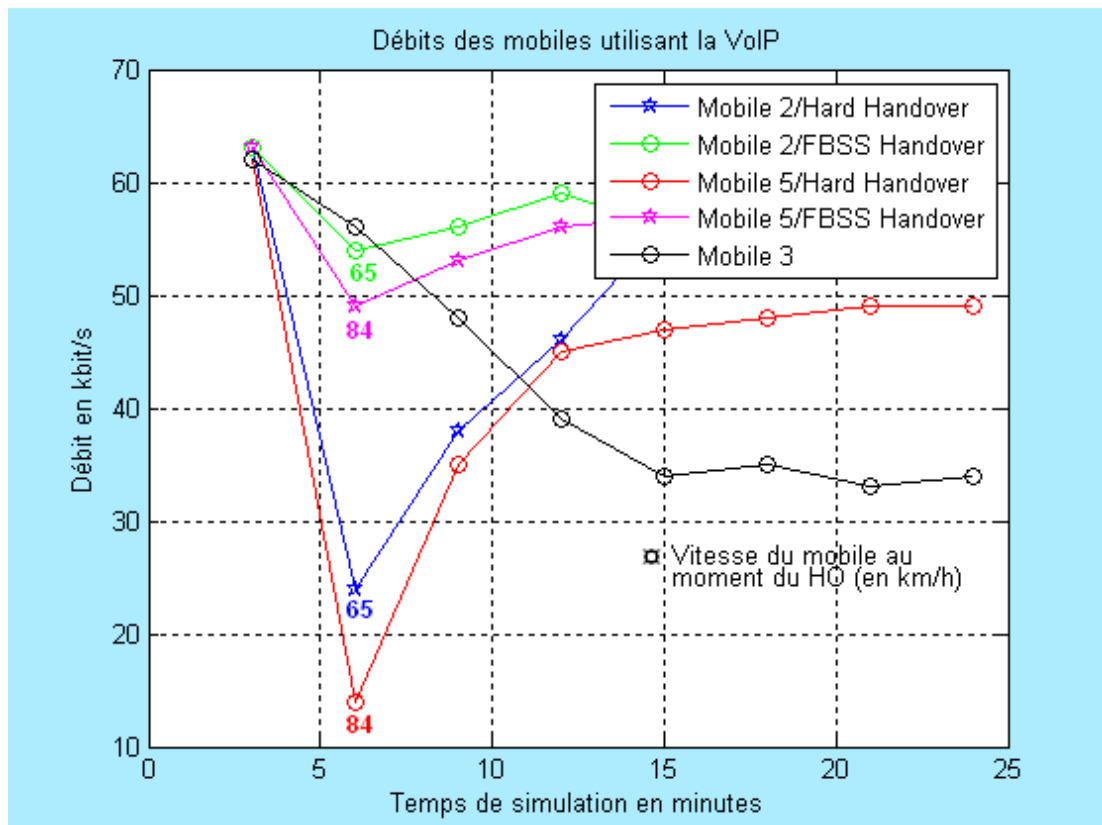


Figure 3.07 : Débits des mobiles utilisant la VoIP

Dans la figure 3.06, il est clair que seule la technique de Handover qui garde le débit stable même pendant le Handover est le FBSS. Concernant la figure 3.07 traitant la VoIP, le FBSS est toujours le meilleur.

3.5 Conclusion

Concernant la première partie de cette simulation, nous pouvons en conclure que le handover est déclenché par l'infériorité de la différence entre la puissance reçue de deux stations de base par rapport au seuil.

Du point de vu de la seconde partie, les résultats de simulations dans le cas de figure que nous avons retenu nous permettent de conclure qu'avec le Hard Handover, le niveau de QoS est acceptable pour du trafic temps réel avec une vitesse de déplacement allant jusqu'à 50 km/h. Le mécanisme FBSS donne de très bons résultats surtout pour les trafics temps-réel émanant des mobiles se déplaçant à grande vitesse durant le Handover. Tout se passe sans interruption des services. Mais, avant d'appliquer le FBSS, il est nécessaire de vérifier le niveau d'occupation des ressources dans les BSs. Dans ce contexte, on peut fixer par exemple un seuil décisif pour l'utilisation ou non du FBSS en fonction des ressources.

CONCLUSION GENERALE

Le choix d'une technologie sans fil dépend de l'usage que l'on souhaite en faire. Le WiMAX est l'une de ces nouvelles technologies. Cette technologie permet d'assurer la mobilité des utilisateurs. Pour maintenir la connexion au cours de leurs déplacements, le processus de handover joue un rôle très important au niveau de la gestion de la mobilité. Dans ce mémoire, nous avons présenté le WiMAX mobile comme étant une technologie de référence dans la gestion de la mobilité.

En premier lieu, on a pu présenter le réseau WiMAX globalement. Pour cela, nous avons décrit toutes les particularités du réseau afin de montrer sa performance et sa différence par rapport aux autres réseaux sans fil existants.

Ensuite, une étude de la gestion de la mobilité dans le réseau WiMAX mobile nous a montré qu'au cours du handover dans le WiMAX mobile, un problème majeur se manifeste quand un usager mobile se déplace à une grande vitesse. Le problème se résume au fait que la QoS se dégrade et qu'une coupure de service est inévitable d'autant plus que la plupart des normes de communications mobiles utilisent la technique du Hard Handover pour des raisons de gain de ressources. Ce genre de problème n'est pas du tout acceptable dans le cas d'un trafic temps-réel sensible au délai d'où la technique du FBSS qui est meilleure face à cette situation.

Et enfin, pour montrer l'efficacité de la technique du FBSS par rapport à celui du Hard Handover, nous avons simulé une mobilité faible et moyenne de six mobiles. Il apparaît que pour le trafic temps réel et une mobilité de niveau 2, il y a un seuil au-delà duquel le Hard Handover ne répond plus aux besoins de QoS. Au-delà de cette vitesse, l'utilisation du mécanisme FBSS sera appréciée par le trafic temps réel, mais à condition de vérifier la disponibilité des stations de bases, car ce mécanisme est gourmand en ressources.

En bref, il apparaît clairement que pour traiter efficacement la mobilité de niveau 2 des systèmes homogènes et encore plus des systèmes hétérogènes, une solution unique n'est pas satisfaisante. Il vaudra mieux combiner ces techniques en particulier en tenant compte des paramètres environnementaux et des besoins en QoS des utilisateurs.

En vue d'une nouvelle perspective, on peut s'intéresser à la gestion de la mobilité au sein de la technologie LTE en prenant comme référence les solutions que nous avons étudiées dans ce mémoire.

ANNEXE 1

LES INTERFACES GRAPHIQUES

A1.1 Fenêtre d'accueil et du menu



Figure A1.01 : Fenêtre d'accueil

En cliquant sur « Entrer », on a le menu suivant :



Figure A1.02 : Fenêtre du menu

A1.2 Les fenêtres du handover

En cliquant sur le bouton « HANDOVER » dans le menu, on a la fenêtre suivante :

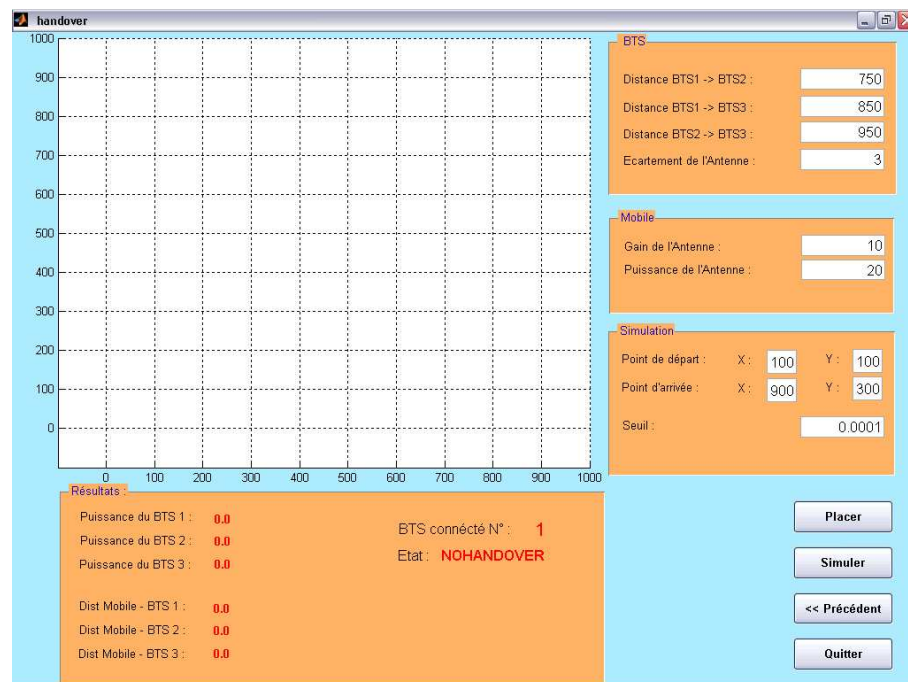


Figure A1.03 : Fenêtre du Handover

En cliquant sur le bouton « Placer », on a l'architecture du réseau, le point d'arrivée et départ du mobile.

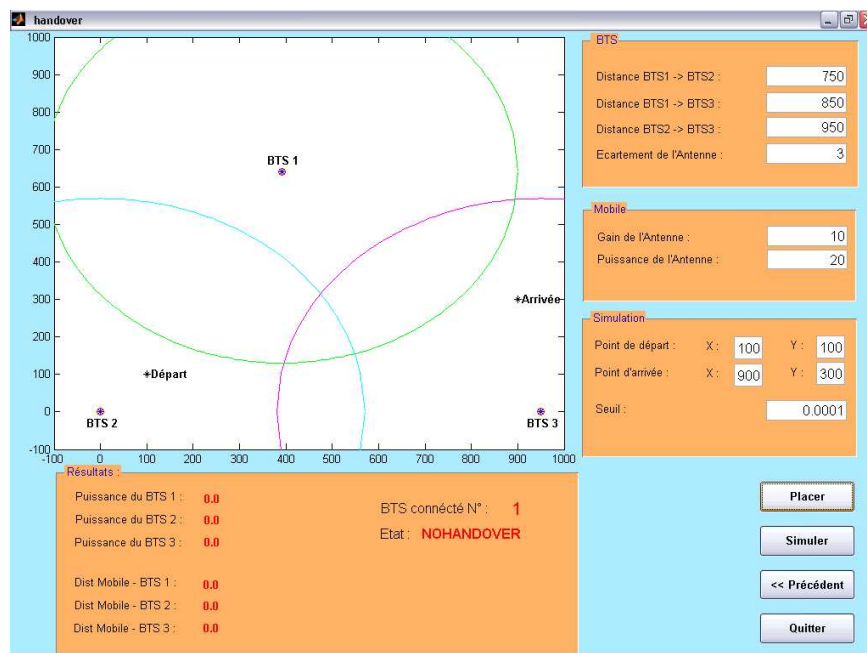


Figure A1.04 : Fenêtre de l'emplacement des données

A1.3 La gestion de la mobilité

En cliquant sur le bouton « GESTION DE LA MOBILITE » dans le menu, on a la fenêtre suivante :

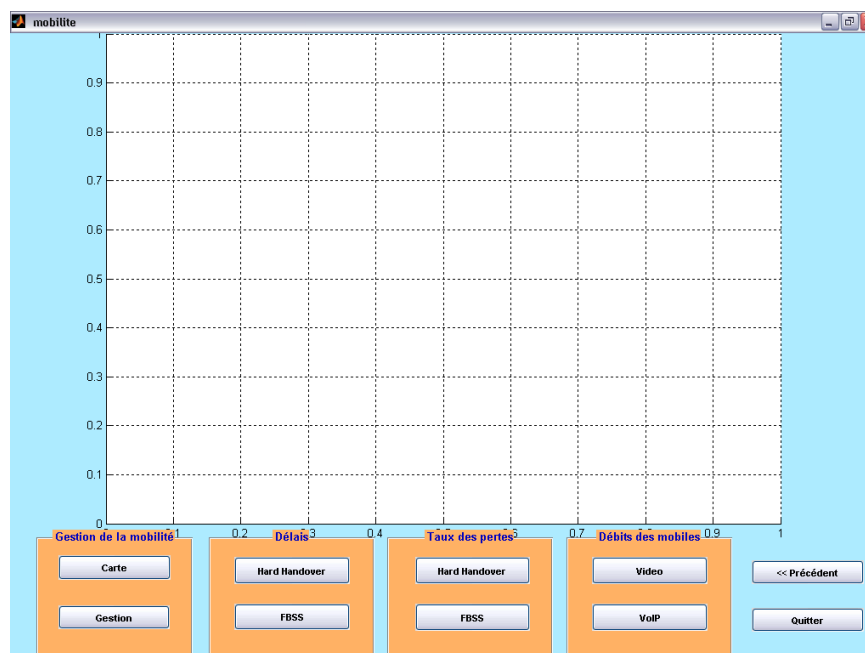


Figure A1.05 : Fenêtre de la gestion de la mobilité

En cliquant sur le bouton « Gestion », on a le scénario de mobilité.

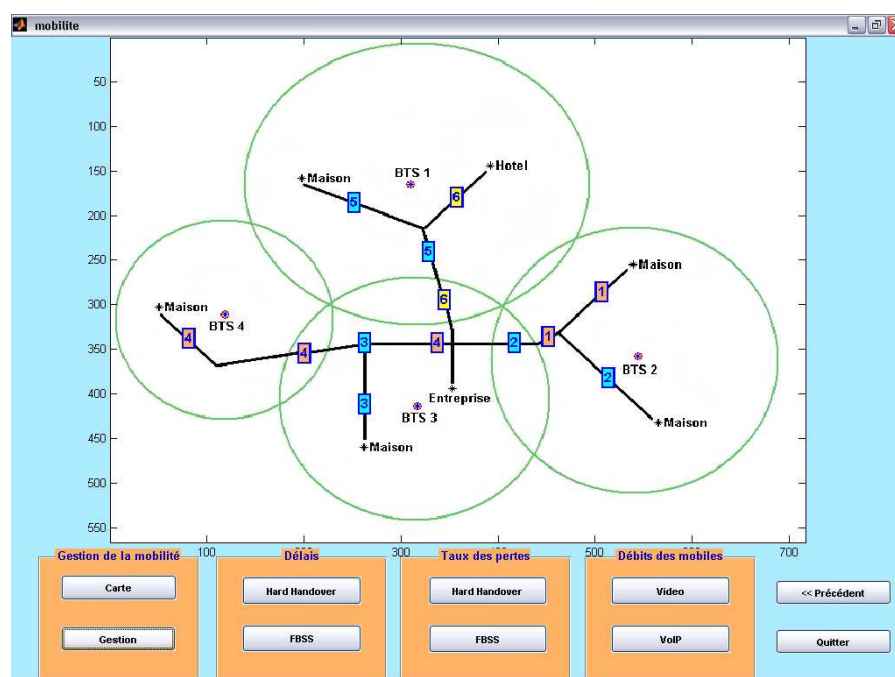


Figure A1.06 : Fenêtre de la gestion de la mobilité

ANNEXE 2

VOIX SUR IP (VoIP)

La voix sur réseau IP, ou « VoIP » pour Voice over IP, est une technique qui permet de communiquer par la voix via l'Internet ou tout autre réseau acceptant le protocole TCP/IP. Cette technologie est notamment utilisée pour supporter le service de téléphonie IP (« ToIP » pour Telephony over Internet Protocol).

A2.1 Les standards supportant la VoIP

Jusqu'à présent, il existe trois standards ou protocoles qui permettent la mise en place d'un "service" VoIP. Le plus connu est le standard H.323 qui sera détaillé dans la section suivante.

Ensuite, plus ancien, le MGCP. Le plus récent est le SIP qui, également, sera détaillé dans une des sections suivantes. J'attire l'attention sur le fait que H.323 est plus difficile à mettre en œuvre par rapport à SIP et que sa description est plus complexe.

A2.2 Architecture VoIP

Voici le schéma général de l'utilisation de la VoIP en entreprise :

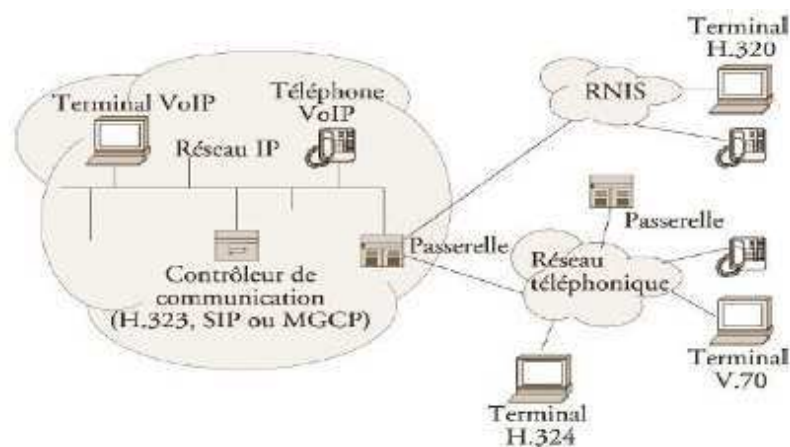


Figure A2.01 : Schéma général de l'utilisation de la VoIP en entreprise

A2.3 Avantages de la VoIP

La VoIP offre de nombreuses nouvelles possibilités aux opérateurs et utilisateurs qui bénéficient d'un réseau basé sur IP. Les avantages les plus marqués sont les suivants :

- Réduction des coûts
- Standards ouverts et interopérabilité multifournisseur
- Choix d'un service opéré

ANNEXE 3

TERMINOLOGIE DE LA MOBILITE

Le terme de mobilité peut être défini comme la capacité d'un utilisateur d'accéder, quelle que soit sa localisation, à l'ensemble des services auxquels il a accès habituellement en environnement fixe et câblé. Cette définition générique traduit l'idée principale de mobilité mais englobe un grand nombre de concepts qu'il convient de préciser.

Il existe plusieurs types de mobilité : la mobilité personnelle, mobilité de session, mobilité de service, mobilité de terminal et la mobilité de réseau.

A3.1 La mobilité personnelle

La notion de mobilité personnelle décrit la possibilité de joindre un utilisateur par le même identifiant logique où qu'il soit, quelque soit l'appareil de communication ou terminal (PC, laptop, téléphone portable, etc.) qu'il utilise et cela indépendamment de la technologie d'accès (GSM, Wi-Fi, Ethernet, etc.). Ainsi, un même identifiant peut être associé à différents terminaux et plusieurs identifiants peuvent être associées au même terminal. [4]

A3.2 La mobilité de session

La mobilité de session doit permettre à un utilisateur de maintenir ses sessions actives tout en changeant de terminal. Ainsi, un utilisateur ayant une communication de VoIP sur son Smartphone peut, en arrivant à son bureau de travail, choisir de continuer sa conversation sur son PC sans qu'il y ait rupture de communication. [4]

A3.3 La mobilité de service

La mobilité de service doit permettre à un utilisateur d'accéder aux services auxquels il a souscrit auprès de son fournisseur d'accès où qu'il se situe (éventuellement chez un autre fournisseur d'accès) et quel que soit le type de terminal ou de technologie qu'il utilise. Ainsi, en prenant l'exemple de la VoIP, l'utilisateur, où qu'il se trouve, aura accès à la liste de ses contacts, au blocage d'appel, aux préférences de médias et plus généralement à toutes les options souscrites pour ce service. [4]

A3.4 La mobilité de terminal

La mobilité de terminal doit permettre à un utilisateur de maintenir ses sessions actives et de rester joignable depuis l'extérieur tout en changeant de réseau ou de sous réseau IP (et donc de point

d'accès ou point de rattachement). Dans ce cas là, l'utilisateur ne change pas de terminal au cours de sa session. Différentes terminologies sont alors utilisées pour désigner les sous-catégories de ce type de mobilité. Tout d'abord, on peut distinguer [4]:

- **La mobilité horizontale ou intra-technologie**, dans laquelle un utilisateur se déplace de cellule en cellule à l'intérieur d'une même technologie d'accès. C'est le cas, par exemple, d'un utilisateur qui se déplace à l'intérieur du réseau Wi-Fi de son entreprise. Dans ce cas, la mobilité est généralement gérée par le système Wi-Fi en lui-même par l'intermédiaire de messages échangés par les différentes bornes d'accès qui le composent.

- **La mobilité verticale ou inter-technologie**, dans laquelle un utilisateur va changer de technologie d'accès. Il peut ainsi passer du GSM au Wi-Fi, au WiMAX, au satellite ou encore au Bluetooth, etc. Ce changement peut intervenir lorsque l'utilisateur se déplace (on peut alors parler de mobilité diagonale car l'utilisateur change à la fois de technologie et de cellule) mais aussi pour des raisons de qualité de service ou de sécurité par exemple.

Ensuite, on peut séparer deux autres catégories de mobilité de terminal qui dépendent du fait que l'utilisateur change ou pas de domaine :

- **La mobilité intra-domaine**, dans laquelle un utilisateur se déplace à l'intérieur d'un même domaine administratif, c'est-à-dire un domaine sous la responsabilité d'une seule et même autorité. Typiquement, un opérateur constitue un domaine administratif. Ce domaine peut être constitué ou non de plusieurs technologies.

- **La mobilité inter-domaine** qui intervient lorsque l'utilisateur change de domaine administratif au cours de ses déplacements.

Ces termes peuvent par exemple être adaptés dans le cas de différents opérateurs voulant s'accorder sur les politiques à mettre en place lorsqu'un utilisateur se déplace entre deux réseaux d'accès appartenant à deux opérateurs différents.

D'autres termes sont aussi utilisés pour définir différents niveaux de mobilité. Ainsi, en se basant sur l'architecture présentée par la Figure A3.01 comprenant des passerelles de réseau d'accès (ANG, *Access Network Gateway*), des routeurs d'accès (AR, *Access Router*) et des points d'accès (AP, *Access Point*), l'IETF a défini, trois catégories distinctes de mobilité qu'un nœud mobile (MN, *Mobile Node*) peut réaliser:

- **La mobilité intra-lien ou mobilité de niveau 2** qui définit une mobilité entre deux points d'accès sans fil d'un même réseau d'accès. Typiquement, ce cas de mobilité n'implique que des mécanismes de niveau 2 ou du moins, aucune reconfiguration de réseau ou sous réseau IP n'est nécessaire. Cependant, de la signalisation de niveau réseau ou supérieur peut être requise pour les échanges de messages entre points d'accès. Ce type de mobilité est en fait une sous-catégorie de la mobilité horizontale ou intra-technologie.
- **La micro-mobilité ou mobilité locale** qui désigne une mobilité à l'intérieur d'un même réseau d'accès mais qui implique des mécanismes de reconfiguration de réseau ou sous réseau IP. Cependant, bien que les termes « micro » ou « local » soient utilisés, cela n'implique pas que la zone géographique couverte par le réseau d'accès en lui-même ne puisse pas être importante. On peut alors parler de gestion localisée de la mobilité lorsque la signalisation permettant de maintenir la connectivité IP est restreinte au réseau d'accès. [4] [9]
- **La macro-mobilité ou mobilité globale** qui désigne une mobilité entre différents réseaux d'accès impliquant une reconfiguration IP, sans tenir compte du type de technologie. La gestion de la mobilité ne peut pas se faire localement et peut impliquer d'importants changements au niveau du routage des paquets de bout-en-bout. [4] [9]

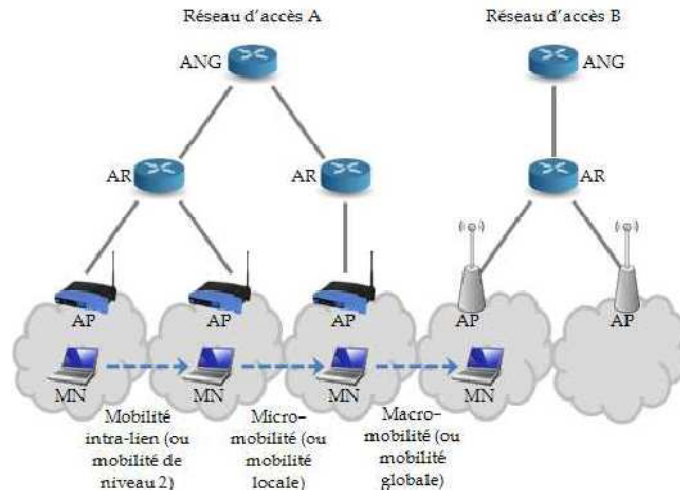


Figure A3.01 : Terminologie IETF de la mobilité

Enfin, la mobilité de terminal peut être divisée selon sa « granularité » ; se distinguent alors trois catégories :

- **La mobilité discrète ou « nomade »** qui désigne un utilisateur qui se déplace et donc qui change de point de rattachement sans avoir de communication en cours.

- **La mobilité continue** qui désigne un utilisateur qui se déplace en ayant des communications en cours. Il reste joignable durant son déplacement mais ses communications peuvent subir une interruption due aux différentes étapes de rattachement au nouveau point d'accès, d'attribution d'une nouvelle adresse IP, etc.

- **La mobilité sans interruption ou « sans couture »** qui désigne un utilisateur qui se déplace en ayant des communications en cours sans que celles-ci ne subissent la moindre interruption.

A3.5 La mobilité de réseau

On parle de mobilité de réseau lorsque un ensemble de réseaux ou sous réseaux connectés à l'Internet par l'intermédiaire d'un ou plusieurs routeurs mobiles changent leur point de rattachement à l'Internet. Ce type de mobilité peut par exemple intervenir lorsque un réseau, mis en place à l'intérieur d'un véhicule (train, bateau, voiture, bus, avion, etc.) souhaite accéder aux services IP en cours de déplacement. Ces réseaux embarqués à bord de véhicules peuvent être de différentes natures : par exemple, un réseau de capteurs déployé dans un bateau qui échange des données nécessaires à la navigation, ou encore un réseau d'accès déployé à l'intérieur d'un train pour permettre aux usagers de se connecter lors de leur trajet. [4]

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Salhani M., « *Modélisation et Simulation des Réseaux Mobiles de 4^{ème} Génération* ». Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse, 23 Octobre 2008.
- [2] Bchini T., « *Gestion de la Mobilité, de la Qualité de Service et Interconnexion de Réseaux Mobiles de Nouvelle Génération* », Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse, 10 Juin 2010.
- [3] Mian S., « *WiMAX ou l'évolution des réseaux sans fil* », Lex Electronica, volume 11 numéro 1, 2006.
- [4] Jacquemin B., « *Architectures pour la Mobilité et la Qualité de Service dans les Systèmes Satellites DVB-S2/RCS* », Thèse de doctorat, Université Toulouse 3 Paul Sabatier, 24 Juin 2010.
- [5] Kahn K., « *Evolution of WiMAX, Beyond Fixed Access Networks* », Intel, 2005.
- [6] El Hajj P., Dahbi N., « *Etude de la Technologie WiMAX Mobile* », Telecom SudParis, 3^{ème} année Ingénieur VAP/RSM, 20 Janvier 2010.
- [7] Defez N., « *Le WiMAX* », Université Montpellier II, DESS TNI, Décembre.2004.
- [8] Fetoui Z., « *Etude des mécanismes de Handover inter-systèmes UMTS-WiMAX* », Rapport de projet de fin d'études, Ecole Supérieure des communications de Tunis, A-U : 2006-2007.
- [9] Valois F., « *Gestion de la mobilité* », Cours Architectures des réseaux mobiles, Dépt. Télécoms, INSA Lyon, Janvier 2002.
- [10] Samuel P., Maurice M., « *Introduction aux réseaux mobiles* », Innovation dans la pratique du génie, Geninov, 2008.
- [11] Hasan M.A., « *Performance Evaluation of WiMAX/IEEE 802.16 OFDM Physical Layer* ». Thesis of Master of Science in Technology, Espoo, June 2007.
- [12] Parsa K., « *Survey of WiMAX, LTE and UMB* », <http://www.clicktoconvert.com>, 30 December 2007.
- [13] Radha G., Krishna S., Rao V., Radhamani G., « *WiMAX a Wireless Technology revelation* », Auerbach Publications Taylor & Francis Group, 2008.

- [14] Shao J., « *WiMAX Scheduling* », UC Berkeley, Mai 2006.
- [15] Raj J. « *WiMAX System Modeling Methodology* », <http://www.cse.wustl.edu/~jain>, Washington University in Saint Louis and WiMAX Forum, Mai 2009.
- [16] Halidou O., Mrabet R., « *Gestion de la Qualité de Services par les Règles de Politiques dans IP au dessus de 802.16* », Université Mohammed V – Souissi, Mars 2005.
- [17] Ibrahimi K., « *Gestion des ressources des réseaux mobiles de nouvelle génération par rapport à la mobilité des utilisateurs* », thèse doctoral, Université d'Avignon, 20 Novembre 2009.
- [18] Toramanian V., Germain M., Péliks G., « *WiMAX à l'usage des communications haut débits : Un peu de technique* », Forum ATENA, Janvier 2009.
- [19] WiMAX Forum, « *WiMAX's technology for LOS and NLOS environments* ». 2006.
- [20] Lax M.C., Dammander A., « *WiMAX - A Study of Mobility and a MAC-layer: Implementation in GloMoSim* », Master's Thesis in Computing Science, Avril 2006.
- [21] Jalloul L.M.A., Alex S.P., « *Evaluation Methodology and Performance of an IEEE 802.16e System* », IEEE Communications, 7 Décembre 2006.
- [22] WiMAX forum. « *A Technical Overview and Performance Evaluation* », Mobile WiMAX-Part1, Aout 2006.
- [23] WiMAX forum. « *A Comparative Analysis* », Mobile WiMAX-Part2, Mai 2006.
- [24] Baudron J., « *WiMAX à l'usage des communications haut débits : WiMAX et la QoS* », Forum ATENA, Janvier 2009.
- [25] Salhani M., Dhaou R., Beylot A-L., « *Performance of WiMAX Networks using Horizontal Handover with Channel Reservation Channel Mechanism* », IEEE Vehicular Technology Conference, Marina Bay, Singapore, 14 May 2008.
- [26] Wang H., Li W., Agrawal D.P., « *Dynamic Admission Control and quality of service for 802.16 Wireless MAN* », Wireless Telecommunications Symposium, 2005.
- [27] Akkari N., « *A new approach for Mobility and QoS Management for Vertical Handover in Next Generation Networks* », thèse de doctorat, Ecole Nationale Supérieure des Télécommunications Paris, 15 Décembre 2006.

- [28] Borcoci E., « *WiMAX Technologies: Architecture, Protocols, Resource management and Applications* », Tutorial, Bucharest, Roumanie, Juin 2008.
- [29] IEEE Std, « *Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems* », IEEE 802.16e, Part 16, 2006.
- [30] Wikipedia, « *WiMAX* », <http://fr.wikipedia.org/wiki/WiMax>
- [31] World Wide Web Consortium, « *WiMAX* », <http://www.WiMax-fr.com/>
- [32] Media Independent Handover Services, « *IEEE 802.16* », <http://www.ieee802.org/16/>

FICHE DE RENSEIGNEMENTS

Nom : ANDRIANAIVONDRIAKA
Prénoms : Nirina Alain
Téléphone : 032 72 100 17 / 034 91 253 45
Adresse : Lot IB 190 à Andoharanofotsy
ANTANANARIVO 102



Titre du mémoire :
« **GESTION DE LA MOBILITE DANS LE RESEAU WiMAX MOBILE** »

Nombre de pages : 76

Nombre de tableaux : 07

Nombre de figures : 33

Mots clés : WiMAX, mobile, mobilité, gestion, réseau, QoS, couche MAC

Directeur de mémoire : Monsieur RATSIHOARANA Constant

RESUME

En résumé, ce mémoire présente le WiMAX mobile comme étant une technologie qui peut remédier à l'amélioration de l'efficacité spectrale et à augmenter la capacité de gestion du nombre des mobiles dans une cellule. Cette technologie tend à offrir des débits élevés en situation de mobilité à grande ou faible vitesse. Il vise aussi à permettre et à faciliter l'interconnexion et l'interopérabilité entre différentes technologies existantes en rendant transparent à l'utilisateur le passage entre les réseaux. Enfin, il vise à éviter l'interruption des services durant le transfert intercellulaire, et à basculer l'utilisation vers le tout IP. Cependant, la présentation de la comparaison entre les deux types d'handover tels que le FBSS et le hard handover montre comment on peut aborder les problématiques de la qualité de service (QoS) en situation de mobilité au sein de cette technologie WiMAX mobile pour du trafic temps réel.

ABSTRACT

In short, this memory presents mobile WiMAX as being a technology which can cure the improvement of the spectral effectiveness and to increase the capacity of management of the number of the mobiles in a cell. This technology tends to offer high flows in situation of mobility to high or low speed. It also aims allowing and facilitating the interconnection and interworking between various existing technologies while making transparent with the user the passage between the networks. Lastly, it aims avoiding the interruption of the services during the intercellular transfer, and rocking the use towards whole IP. However, the presentation of the comparison between the two types of handover such as the FBSS and the hardware handover show how one can approach the problems of quality of service (QoS) in situation of mobility within this mobile WiMAX technology for traffic real time.