

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE AMMAR TELIDJI LAGHOUAT

FACULTE DES SCIENCES ET SCIENCES DE L'INGENIERIE
DEPARTEMENT DE GENIE INFORMATIQUE

MEMOIRE DE MASTER

FILIERE: INFORMATIQUE

OPTION: RESEAUX, SYSTEMES ET APPLICATIONS REPARTIS (ReSar)

Theme:

ETUDE DU MECANISME DE HARD HANDOVER DANS LES RESEAUX WiMAX (IEEE 802.16E)

Presente par:

ALLAOUI ISMAIL

Soutenu devant le jury compose de:

M ^r	L. BEN SAAD	Université de Laghouat	(Président)
M ^r	N. CHAIB	Université de Laghouat	(Examinatrice)
M ^r .	A. BIRANE	Université de Laghouat	(Rapporteur)

ANNEE 2012

Je dédie ce mémoire
A mon idole dans cette vie mon père (Que Dieu le protège)
A ma mère qui m'a éclairé mon chemin et qui m'a encouragé et soutenue
tout au long de mes études
A mes chers frères et soeurs pour leurs aides précieuses et leurs
encouragements qu'ils m'attribuaient
À mes oncles et mes tantes
A tous mes fidèles amis
A tous les professeurs et enseignants universitaires
qui m'ont permis, par leurs efforts, d'atteindre un tel niveau de formation.
A tous mes collègues de promotion master informatique.

REMERCIEMENTS

TOUT d'abord, merci à Allah le tout puissant et miséricordieux, qui m'a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.

En second lieu, je tiens à remercier mon encadreur Mr :A.BIRANE, ces précieux conseils et son aide durant toute la période du travail.

Mon vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont portés à mon recherche en acceptant d'examiner mon travail et de l'enrichir par leurs propositions.

Un énorme remerciement pour mes amis Tedjani Djamel et Kerrache Chaker Abdelaziz qui m'a beaucoup aidé dans ce mémoire Enfin, je tiens également à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Enfin je remercie les membres du jury qui ont bien voulu accepter, et ce malgré, leur lourdes et exaltantes responsabilités pour procéder à l'évaluation de ce modeste travail.

Merci à tous et à toutes.

RÉSUMÉ

CE mémoire traite le mécanisme de handover dans le réseaux WiMAX. Nous allons d'abord introduire le concept de gestion de mobilité et les réseaux WiMAX, ce qui va nous permettre de mettre l'accent sur le problème de handover.

Nous avons étudié le mécanisme de hard handover dans une zone rurale avec haute vitesse dans les réseaux WiMAX, cette étude sera validée par une simulation en utilisant l'outil NS-2.

Mots-clés : Réseaux WiMAX, QoS, Simulation, NS-2.

ABSTRACT

THIS thesis treats the handover mechanism in WiMAX networks. We first introduce the concept of mobility management and WiMAX networks, which will allow us to focus on the problem of handover.

We study the mechanism of hard handover in a rural area with high speed in WiMAX networks, this mechanism will be validated by simulation using the NS-2.

Key-words : WiMAX networks, QoS, Simulation, NS-2.

TABLE DES MATIÈRES

TABLE DES MATIÈRES	vi
LISTE DES FIGURES	ix
LISTE DES TABLEAUX	x
INTRODUCTION GÉNÉRALE	3
1 NOTIONS GÉNÉRALES	5
INTRODUCTION	6
1.1 RÉSEAU WiMAX	6
1.1.1 Caractéristiques techniques	6
1.1.1.1 Couche physique	7
1.1.1.2 Techniques d'accès	7
1.1.1.3 Couche MAC	7
1.1.2 Fonctionnement de WiMAX	8
1.1.2.1 La boucle locale	8
1.1.2.2 La fonction desserte	9
1.1.2.3 La fonction collecte	9
1.1.3 Les spécifications 802.16	9
1.1.3.1 802.16a	9
1.1.3.2 802.16c/d	10
1.1.3.3 802.16e	10
1.2 WiMAX MOBILE	11
1.2.1 Architecture du WiMAX mobile	11
1.2.2 Mobilité dans l'IEEE 802.16e.	13
1.3 QoS DANS LE WiMAX	13
1.4 AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DE WiMAX	14
1.4.0.1 Les avantages	14
1.4.0.2 Les inconvénients	15
CONCLUSION	15
2 GESTION DE LA MOBILITÉ ET DU HANDOVER DANS LES RÉSEAUX WiMAX	17
INTRODUCTION	18
2.1 GÉNÉRALITÉS SUR LA GESTION DE LA MOBILITÉ	18
2.2 HANDOVER	19
2.2.1 Classification de handover	19
2.2.1.1 Selon le mode d'attachement	19
2.2.1.2 Selon le type de la technologie sans fil	19
2.2.1.3 Selon le niveau de contrôle du handover	20
2.2.2 Le Processus de handover	20

2.2.2.1	Sélection des cellules	20
2.2.2.2	Initiation et décision du handover	21
2.2.2.3	Scanning	21
2.2.2.4	Re-entrer au Réseau	21
2.2.2.5	Arrêt de Service	21
2.2.2.6	Annulation du handover	21
2.2.3	Handover dans le réseau WiMAX	21
2.2.4	La procédure de HO dans 802.16e	22
2.2.4.1	Niveau De Signal	22
2.2.4.2	Charge De trafic	22
2.2.4.3	Acquisition de la topologie du réseau	22
2.2.4.4	Announcement de la topologie du réseau	22
2.2.4.5	Scanning	23
2.2.4.6	La procédure d'association	23
2.3	LA GESTION DE LA MOBILITÉ DANS WiMAX MOBILE	23
2.3.1	Micro-Mobilité en utilisant des Protocoles de Niveau 2	23
2.3.1.1	Hard Handover IEEE 802.16e	24
2.3.1.2	Soft Handover IEEE 802.16e	25
2.3.2	Les protocoles de Macro-Mobilité dans WiMAX	28
2.3.2.1	Mobile IPv4	28
2.3.2.2	Mobile IPv6	29
2.3.3	Limitations de handover dans le standard WiMAX mobile	30
2.3.3.1	Latence de handover au niveau 2	30
2.3.3.2	Latence de handover au niveau 3	30
	CONCLUSION	31
3	SIMULATIONS ET RÉSULTATS	33
	INTRODUCTION	34
3.1	MODÉLISATION RÉSEAU	34
3.1.1	NS-2	34
3.1.1.1	Définition	34
3.1.1.2	Utilisation du simulateur	35
3.1.1.3	Développement de nouveaux composants	35
3.1.2	Implémentation du Media Independent Handover (MIH)	36
3.1.2.1	Architectures et fonctionnements	36
3.1.2.2	MAC layer support for MIH	37
3.1.2.3	Les extensions de mobilité pour NS-2	37
3.1.2.4	Support des interfaces multiples	38
3.2	MODÈLE DES SIMULATIONS ET SCÉNARIOS DE MOBILITÉ	38
3.2.1	Modèle des simulations	38
3.2.2	Scénarios de mobilité	39
3.2.3	Paramètres des simulations et critères de performance	39
3.2.3.1	Paramètres des simulations	39
3.2.3.2	Critères de performance	40
3.3	LA PROGRAMMATION TCL	40
3.3.1	Présimulation	40
3.3.2	Simulation	41
3.3.3	Post simulation	41
3.4	RÉSULTATS DES SIMULATIONS	41
	CONCLUSION	43

CONCLUSION ET PERSPECTIVES	45
A ANNEXE : SCRIPT DE SIMULATION	47
A.1 LE SCRIPT TCL (RÉSEAU WiMAX)	48

LISTE DES FIGURES

1.1	Modulation adaptative.	7
1.2	Pile protocolaire de WiMAX.	8
1.3	Interconnexion entre WiMAX et différents types de réseaux [?].	10
1.4	Handover de niveau 2.	14
2.1	Réalisation du hard Handover	24
2.2	Fonctionnement du Hard Handover	25
2.3	Macro Diversity Handover	26
2.4	Fonctionnement du MDHO	26
2.5	Fast Base Station Switching	27
2.6	Fonctionnement du FBSS	28
2.7	Inter-ASN Handover (Macro-Mobilité)	29
2.8	Fonctionnement de MIPv4	29
3.1	Visualisation Nam de l'exemple.tcl [?].	35
3.2	Architecture du MIH [?]	36
3.3	Modèle des simulations	38
3.4	Délais moyens pour vidéo	41
3.5	Délais moyens pour VoIP	42
3.6	Pertes moyennes	42
3.7	Débits moyens / VoIP	43

Liste des tableaux

1.1	Spécificités techniques des différentes normes de IEEE 802.16x.	11
2.1	Types de HO définis dans IEEE 802.16e.	22
2.2	Explication des (MAC Management Messages) [?].	23
3.1	Les principaux composants de NS-2.	35
3.2	Vitesse moyenne V_e	39
3.3	Paramètres des simulations sous NS2	40

ACRONYMES

AP	Access Point
ASA	Authentication and Service Authorization
ATM	Asynchronous Transfer Mode
BE	Best Effort
BS	Base Station
BSC	Base Station Controller
CBR	Constant Bit Rate
CDMA	Code Division Multiple Access
CN	Core Network
CN	Correspondent Node
CRNC	Controlling RNC
CSMA/CA	Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance
CSMA/CD	Carrier Sense Multiple Access/Collision Detect
DL	Downlink
DSDV	Destination-Sequenced Distance-Vector
FBSS	Fast Base Station Switching
FDD	Frequency Division Duplex
FA	Foreign Agent
FTP	File Transfer Protocol
GMSC	Gateway MSC
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile Communications
GW	Gateway
HO	Handover
IEEE	Institute of Electrical
Electronic Engineers	
IP	Internet Protocol
LOS	Line of Site
MAC	Medium Access Control
MAN	Metropolitan Area Networks
MIH	Media Independent Handover
MIPv6	Mobile Internet Protocol Version 6
MIMO	Multiple Input Multiple Output
MIP	Mobile IP
MIPv6	Mobile IP version 6
MN	Mobile Node
MPEG	Moving Picture Experts Group
MS	Mobile Station
MSC	Mobile Services Switching Centre
MSS	Mobile Subscriber Station
NAM	Network Animator

NAP	Network Access Provider
NOAH	NO Ad-Hoc Routing Agent
ND	Neighbour Discovery
NIST	National Institute of Standards and Technology
NLOS	No line of Site
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
OSI	Open Systems Interconnection
Paging	radiomessagerie
PHY	Physical Layer
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QoS	Quality of Service
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
RA	Router Advertisement
RS	Router Solicitation
RTP	Real-time Transport Protocol
DCD	Downlink Channel Descriptor
UCD	Uplink Channel Descriptor
UDP	User Datagram Protocol
UL	Uplink
SAP	Service Access Point
SFQ	Stochastic Fair Queuing
SOFDMA	Scalable Orthogonal Frequency Division Multiple Access
TCL	Tool Control Language
TDD	Time Division Duplex
UGS	Unsolicited Grant Service
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
VoIP	Voice over IP
Wi-Fi	Wireless Fidelity
WiMAX	Worldwide interoperability for Microwave Access
WLAN	Wireless Local Area Network
WMAN	Wireless Metropolitan Networks
2G	2nd Generations (Mobile System)
3G	3rd Generation (Mobile System)
3GPP	3rd Generation Partnership Project
4G	4th Generation (Mobile System)

INTRODUCTION GÉNÉRALE

DE nos jours, on assiste à un développement rapide des systèmes de communication mobile. Une nouvelle gamme d'accès radio tels que l'UMTS (Universal Mobile Telecommunication System), IEEE 802.11, Hiperlan, WLAN (Wireless Local Area Network) et WiMAX (Worldwide interoperability for Microwave Access) tentent à remplacer ou compléter la technologie radio existante du GSM (Global System for Mobile communications). Ainsi, avec cette diversité des réseaux d'accès, les réseaux mobiles de prochaine génération devront, être capables d'offrir, aux utilisateurs mobiles, des services haut débit permettant de transmettre voix, images et vidéo ainsi que des connexions Internet quelque soit le lieu et à n'importe quel moment.

La solution idéale est de pouvoir profiter du roaming ou de la convergence intégrée entre ces technologies. La convergence bi-mode permet également de transmettre des données ou de la voix par le réseau le moins coûteux, plus avantageux que l'autre et, bien entendu disponible à un certain moment. De tels appareils ont passé le stade de développement pour être approuvés. Dans ce même élan de convergence, les opérateurs de télécommunication bénéficient de la capacité de fournir les mêmes services ; voix, données, SMS, téléchargement, etc. via un autre type de réseau, WiMAX, en parallèle aux réseaux cellulaires traditionnels. Les téléchargements sur Internet de tout type de documents multimédias ; vidéo, musiques, films ?, étant devenus courant, la convergence WiMAX/WiMAX permettre de passer d'un réseau à l'autre sans devoir fermer sa connexion.

Le but de ce projet de fin d'étude est de modéliser une architecture de développement permettant de mettre en oeuvre ce principe et d'analyser les performances du handover inter-système entre les réseaux WiMAX et WiMAX (802.16 e).

Ainsi, nous commencerons en premier chapitre par présenter des concepts généraux sur les WiMAX, nous détaillerons et comparons les architectures et les principes de fonctionnement de système. Dans le deuxième chapitre, nous détaillerons les mécanismes de handover, ainsi que la gestion de la mobilité, nous traiterons aussi les besoins et les exigences nécessaires du mobile et du réseau pour le support du handover entre WiMAX et WiMAX.

Finalement, nous évaluerons les performances du handover horizontale (handover WiMAX vers WiMAX) en simulant différents types d'application. Suite à ces résultats, nous soulignerons les limites du modèle, ainsi que des propositions à évoquer dans le travail futur.

NOTIONS GÉNÉRALES



SOMMAIRE

INTRODUCTION	6
1.1 RÉSEAU WiMAX	6
1.1.1 Caractéristiques techniques	6
1.1.1.1 Couche physique	7
1.1.1.2 Techniques d'accès	7
1.1.1.3 Couche MAC	7
1.1.2 Fonctionnement de WiMAX	8
1.1.2.1 La boucle locale	8
1.1.2.2 La fonction desserte	9
1.1.2.3 La fonction collecte	9
1.1.3 Les spécifications 802.16	9
1.1.3.1 802.16a	9
1.1.3.2 802.16c/d	10
1.1.3.3 802.16e	10
1.2 WiMAX MOBILE	11
1.2.1 Architecture du WiMAX mobile	11
1.2.2 Mobilité dans l'IEEE 802.16e.	13
1.3 QOS DANS LE WiMAX	13
1.4 AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DE WiMAX	14
1.4.0.1 Les avantages	14
1.4.0.2 Les inconvénients	15
CONCLUSION	15

DANS ce chapitre, nous allons présenter le concept des réseaux WiMAX et les caractéristiques inhérentes ainsi que quelques domaines d'application de ces réseaux. Nous introduisons également le mécanisme de Handover dans ce genre de réseaux.

INTRODUCTION

Toujours en cours de recherches et de standardisation, le réseau 4G (4ème génération) [?], [?], [?], [?], [?]. Ce réseau a également pour objectif d'abolir les frontières de la mobilité. Avec le réseau 4G, un utilisateur pourra se connecter où qu'il se trouve : à l'intérieur des bâtiments avec les technologies Bluetooth, UWB ou WiFi, à l'extérieur (dans la rue et les lieux publics) avec l'UMTS ou le WiMAX en général, le passage d'un réseau à l'autre deviendra transparent pour l'utilisateur. Les débits supposés sont entre 20 et 100 Mb/s à longue portée et en situation de mobilité, et 1 Gb/s à courte portée vers des stations fixes. Par définition, la 4G assure la convergence de la 3G avec les réseaux de communication radio fondés sur le protocole IP. La connexion devra être possible quel que soit le mode de couverture. Supposées comme candidates potentielles pour une validation 4G sont [?] :

- Long Term Evolution (LTE) poussée par les Européens, avec Ericsson en tête suivi de Nokia et Siemens.
- WiMAX version 802.16m soutenu par Intel sachant que le WiMAX a été ajouté à la liste des standards 3G par l'ITU le 19/10/2007 [?].
- Ultra Mobile Broadband (UMB) soutenu par le fondateur américain Qualcomm (fabriquant des puces).

La 4ème génération vise à améliorer l'efficacité spectrale et à augmenter la capacité de gestion du nombre de mobiles dans une même cellule. Elle tente aussi d'offrir des débits élevés en situation de mobilité et à offrir une mobilité totale à l'utilisateur en établissant l'interopérabilité entre différentes technologies existantes. Elle vise à rendre le passage entre les réseaux transparent pour l'utilisateur, à éviter l'interruption des services durant le transfert intercellulaire, et à basculer l'utilisation vers le tout-IP.

1.1 RÉSEAU WiMAX

WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) [?], [?], [?], [?], [?] est une solution pour des réseaux MAN sans fil. En utilisant un accès WiMAX, on peut atteindre théoriquement un débit jusqu'à 70 Mb/s avec une distance de 50 km. WiMAX se sert de la technologie micro onde avec plusieurs bandes de fréquences. Par rapport au modèle OSI, 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 et IP. Pour cela il utilise une souscouche de convergence qui permet la conversion des informations afin de les rendre exploitable par la couche MAC. 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 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 canal 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.

1.1.1 Caractéristiques techniques

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

1.1.1.1 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 les points suivants :

- Des canaux de fréquences sont de tailles variables, de 1,75 à 20 Mhz.
- Une modulation adaptative : Selon les besoins, différentes couches physiques peuvent être utilisées par la couche MAC. Au niveau physique, on utilisera par exemple différentes méthodes de modulation (QPSK, QAM 16, QAM 64) pour gérer l'envoi des bits sur le support (figure 1.1).
- Multiplexage : Pour gérer le partage des porteuses sur les voies montantes et descendantes, des techniques de multiplexage sont utilisées : TDD (Time Division Duplex) et FDD (Frequency Division Duplex).
- Méthodes d'accès : Il est nécessaire de partager un support unique entre plusieurs utilisateurs. Une politique d'accès au support est donc mise en place, en l'occurrence, le WiMAX utilise TDM/TDMA (Time Division Multiplexing / Time Division Multiple Access).

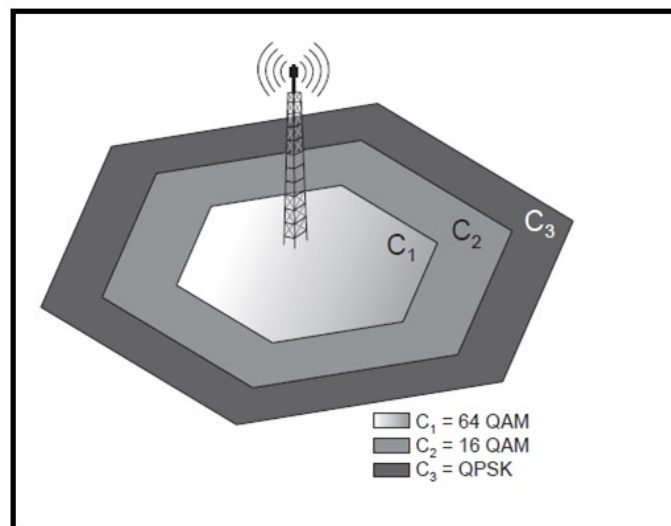


Figure 1.1 – Modulation adaptative.

1.1.1.2 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.

1.1.1.3 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 :

- **Sous couche 1** : sous couche de service spécifique de convergence (service specific convergence).
Joue le rôle d'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.
- **Sous couche 2** : sous couche commune. (Common Part Sublayer) Contient les fonctions clés de la couche MAC. Elle détermine de quelle manière le médium va être partagé. C'est le coeur 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 .
- **Sous couche 3** : sous couche de protection (privacy sublayer). Contient les informations d'authentification et de cryptage. Elle s'occupe aussi du cryptage des données, de l'échange des clefs, etc .

La figure présentée ci-dessous illustre la composition de la couche MAC, comme définie dans la norme 802.16 (figure1.2) :

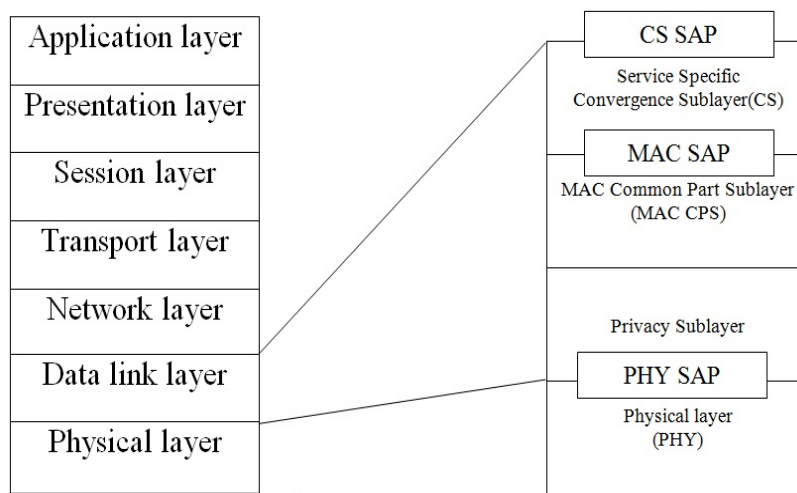


Figure 1.2 – Pile protocolaire de WiMAX.

1.1.2 Fonctionnement de WiMAX

1.1.2.1 La boucle locale

Quand on parle de boucle locale, on parle généralement des câbles qui partent du répartiteur, c'est-à-dire l'endroit situé dans le central téléphonique et où se font l'ensemble des connexions entre les abonnés et les infrastructures, jusqu'à la prise téléphonique. La boucle locale n'est pas nécessairement constituée par des câbles, elle peut également utiliser les ondes hertziennes, on parle alors de Boucle Locale Radio (BLR) [?]. La boucle locale radio est une technologie de connexion sans fil à haut débit. Elle utilise les ondes hertziennes et peut être qualifiée de bidirectionnelle puisque la communication peut se faire dans le sens opérateur/client mais également dans le sens contraire (client/opérateur). Le principe est simple. D'un côté, l'opérateur émet des paquets de données sous

formes d'ondes radios grâce à des antennes reliées à de l'équipement spécialisé, de l'autre un client est muni d'une antenne et un modem afin de réceptionner ces paquets.

1.1.2.2 La fonction desserte

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

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

1.1.2.3 La fonction collecte

Dans un réseau, la collecte consiste à relier les points d'accès (hot spots Wifi ou DSLAM) assurant ainsi la connexion avec Internet. On appelle ce mécanisme le backhauling de hots spots. Contrairement à la desserte, la collecte se fait en "ligne de vue" (LOS), grâce à des émetteurs WiMAX placés suffisamment haut. Un hotspot est un lieu public de forte affluence où tout le monde peut connecter son ordinateur portable ou son assistant personnel sur Internet grâce à un accès à un réseau sans fil.[?]

1.1.3 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, comme les smart antenna (cf. plus bas), 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 (figure1.3).

1.1.3.1 802.16a

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. Travaillant dans la bande passante 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. La figure ci-dessous est fournie par Intel.

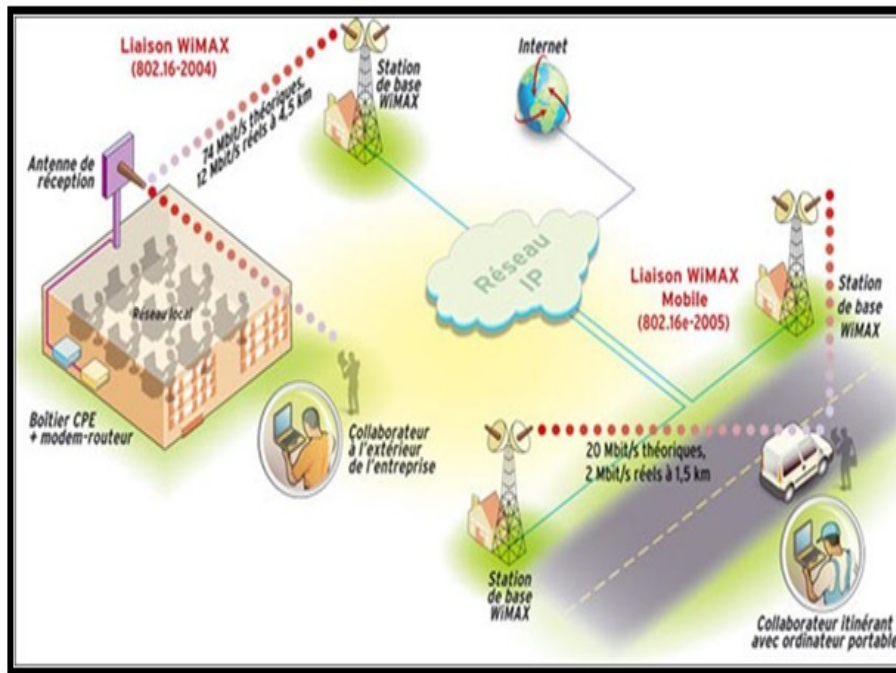


Figure 1.3 – Interconnexion entre WiMAX et différents types de réseaux [?].

Pratiquement, les bandes de fréquences possibles sont 3.5GHz et 10.5GHz pour l'utilisation internationale, 2.5-2.7 GHz aux Etats-Unis et les bandes libres 2.4GHz et 5.725-5.825 GHz.

1.1.3.2 802.16c/d

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

1.1.3.3 802.16e

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.

la figure ci-dessous, fourni par [?], montre une brève comparaison entre les différents standards 802.16 (figure??).

1.2 WiMAX MOBILE

Le WiMAX mobile (Standard IEEE 802.16e) [?], [?] ,est la version qui apporte la mobilité au WiMAX fixe tout en restant interopérable avec celui-ci. A partir d'une station de base (BS) vers des clients mobiles (MS) se déplaçant à moins de 120 km/h en passant d'une antenne à l'autre, l'IEEE 802.16e prévoit la transmission de données à des débits allant jusqu'à 30 Mb/s sur une zone de couverture d'un rayon inférieur à 3,5 km. Pour bénéficier des services de cette technologie, les équipements mobiles devront intégrer un composant dédié.

Au niveau de l'interface physique, IEEE 802.16e utilise la méthode d'accès OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) qui permet d'adapter les canaux de manière dynamique.

	802.16	802.16d	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	Nomade
Bandes passantes	20, 25 et 28 MHz	Au choix entre 1.25 et 20 MHz	Comme 802.16a avec sous canaux montants.
Rayon de cellule	1.61 _ 4.83	Kms 4.83 _ 8.05 Kms, max pour 48.28 Kms	1.61 _ 4.83 Kms

TABLE 1.1 – Spécificités techniques des différentes normes de IEEE 802.16x.

1.2.1 Architecture du WiMAX mobile

L'architecture du WiMAX mobile [?], [?], [?] 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 coeur du réseau WiMAX.

Les fonctions des différents éléments formant l'architecture du réseau WiMAX mobile sont décrites ici :

1. Network Access Provider (NAP)

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

2. 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 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.

3. Connectivity Serving Network (CSN)

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.

4. Access Serving Network (ASN)

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.

5. 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.

Fonctionnalités de l'ASN GW :

Gère la mobilité, le Handover (transfert intercellulaire) et le 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.

Fonctions de l'ASN-GW :

- 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.

6. La station de base

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

7. Les terminaux '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.

1.2.2 Mobilité dans l'IEEE 802.16e.

Fonctions relatives au déplacement du MS Il y a trois fonctions principales de gestion du déplacement de la station mobile :

- Data Path : prend en charge la configuration du chemin et la transmission des données.
- MS Context : s'occupe de l'échange des informations relatives au MS dans le réseau coeur.
- Handover : c'est la fonction la plus intéressante, elle s'occupe de la signalisation et prend les décisions relatives au passage entre les cellules.

Handover de niveau 2 (ASN Anchored Mobility Management) Mobilité Intra-ASN (entre BSs de même ASN / Handover de couche 2 du modèle OSI) (figure1.4) :

- Micro mobilité.
- Pas de mise à jour de l'adresse IP.

Deux types de Handover :

- Hard Handover : Début du nouveau service avec la nouvelle BS après la déconnexion avec l'ancienne BS (délai d'arrêt). La station communique avec une seule BS.
- Soft Handover : Début du nouveau service avec la nouvelle BS avant la déconnexion avec l'ancienne BS (pas de délai d'arrêt). La MS communique avec plusieurs BSs en même temps, et maintient une liste de BSs active set. Il propose deux techniques : le MDHO et le FBSS.

1.3 QoS DANS LE WiMAX

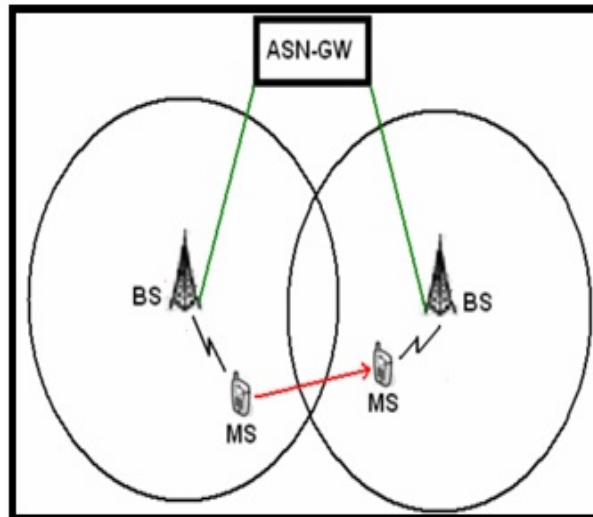


Figure 1.4 – Handover de niveau 2.

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'abonnés (SS) :

- 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 propose des classes de services pour offrir une QoS différente entre les communications. Les classes de QoS sont :

- Unsolicited Grant Service (UGS) : Ce type de service est utilisé pour des flux temps réel générant des paquets de taille fixe et de façon périodique comme de la transmission de voix sans suppression de silences.
- Real-Time Polling Service (rtPS) : Ce service concerne les flux temps réel générant périodiquement des paquets de taille variable comme de la vidéo encodée en MPEG.
- Non-Real-Time Polling Service (nrtPS) : Ce service est conçu pour les flux ne nécessitant pas de temps réel, utilisant des paquets de taille variable, comme du transfert de fichiers (FTP) à haut débit.
- Best Effort (BE) : Ce service est le plus simple de tous, il est utilisé pour tous les flux ne nécessitant pas de qualité de service particulière.

1.4 AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DE WiMAX

Les avantages et les inconvénients du WiMAX peuvent se résumer comme suit [?] :

1.4.0.1 Les avantages

- La possibilité de réutilisation d'une fréquence dédiée à une BTS pour augmenter la capacité du système, ainsi le système peut supporter des centaines d'utilisateurs.
- L'allocation de fréquences se fait de façon sectorielle quand le nombre d'utilisateurs augmente.
- Cout faible, le WiMAX permet un déploiement plus rapide sans nécessité de gros travail de génie civile.
- Permet de connectivités internet sans fil à haut débits sur de longues distances.
- Peut servir plusieurs clients à la fois.
- Un signale malgré les obstacles.
- Perspective de nomadisme.

1.4.0.2 Les inconvénients

- Pour avoir des distances et des débits optimaux, l'émetteur et le récepteur doivent être en « ligne de vue ». Hors « ligne de vue », les débits chutent rapidement.
- Le débit est partagé entre les usagers d'une même antenne centrale.
- Nécessité de déservir les stations de base WiMAX par un réseau de collecte (fibre optique, faisceau hertzien...).
- Nécessité de disposer d'une licence : seuls les détenteurs d'une licence sont à même de déployer des réseaux Wimax ; Le nombre de licences délivrées est limité.
- Nécessité de disposer d'un point haut : afin d'assurer la meilleure couverture possible, l'émetteur doit être placé sur un point haut (pylône, chateau d'eau, etc.).

CONCLUSION

Le WiMAX fixe (IEEE 802.16) est une technologie radio de longue portée qui offre un bon niveau de QoS pour un nombre limité de stations d'abonnés fixes. La version mobile du WiMAX (IEEE 802.16e), est une technologie prometteuse qui offre une certaine QoS pour des terminaux mobiles qui se déplacent à une vitesse maximale de 120 km/h. La portée, ainsi que les débits offerts par cette technologie dépendent de l'environnement des utilisateurs (zone rurale ou urbaine). Enfin, la version la plus évoluée de la gamme WiMAX (IEEE 802.16m) toujours en cours de recherche, est une technologie qui est prévue offrir des débits d'ordre supérieur avec un bon niveau de QoS. Cette technologie devra assurer aussi la rétrocompatibilité entre le WiMAX fixe et mobile.

GESTION DE LA MOBILITÉ ET DU HANDOVER DANS LES RÉSEAUX WiMAX

2

SOMMAIRE

INTRODUCTION	18
2.1 GÉNÉRALITÉS SUR LA GESTION DE LA MOBILITÉ	18
2.2 HANDOVER	19
2.2.1 Classification de handover	19
2.2.1.1 Selon le mode d'attachement	19
2.2.1.2 Selon le type de la technologie sans fil	19
2.2.1.3 Selon le niveau de contrôle du handover	20
2.2.2 Le Processus de handover	20
2.2.2.1 Sélection des cellules	20
2.2.2.2 Initiation et décision du handover	21
2.2.2.3 Scanning	21
2.2.2.4 Re-entrer au Réseau	21
2.2.2.5 Arrêt de Service	21
2.2.2.6 Annulation du handover	21
2.2.3 Handover dans le réseau WiMAX	21
2.2.4 La procédure de HO dans 802.16e	22
2.2.4.1 Niveau De Signal	22
2.2.4.2 Charge De trafic	22
2.2.4.3 Acquisition de la topologie du réseau	22
2.2.4.4 Annonce de la topologie du réseau	22
2.2.4.5 Scanning	23
2.2.4.6 La procédure d'association	23
2.3 LA GESTION DE LA MOBILITÉ DANS WiMAX MOBILE	23
2.3.1 Micro-Mobilité en utilisant des Protocoles de Niveau 2	23
2.3.1.1 Hard Handover IEEE 802.16e	24
2.3.1.2 Soft Handover IEEE 802.16e	25
2.3.2 Les protocoles de Macro-Mobilité dans WiMAX	28
2.3.2.1 Mobile IPv4	28
2.3.2.2 Mobile IPv6	29
2.3.3 Limitations de handover dans le standard WiMAX mobile	30
2.3.3.1 Latence de handover au niveau 2	30
2.3.3.2 Latence de handover au niveau 3	30
CONCLUSION	31

Ce chapitre a pour objectif de décrire la gestion de la mobilité dans les réseaux WiMAX, ainsi que le mécanisme de Handover avec ses deux types soft et hard handover.

INTRODUCTION

Afin de satisfaire un consommateur de plus en plus exigeant, les réseaux mobiles de prochaine génération y inclus le WiMAX, devront être capables d'offrir des services haut débit permettant la transmission de voix, d'images et de vidéos ainsi que des connexions Internet. Dans les systèmes mobiles, le handover est un processus crucial pour pouvoir fournir à un abonné l'accès à un service indépendamment du temps et de sa position. Pour atteindre ces objectifs, il est nécessaire de concevoir des mécanismes de mobilité permet de fournir les services souhaités tout en gardent la QoS acceptable durant le transfert de session.

Dans ce chapitre, nous présenterons en premier les concepts de base liés à la gestion de la mobilité, ensuite nous expliquerons le support de la mobilité proposé dans WiMAX mobile.

Dans une deuxième partie, nous analyserons en détaille les performances des protocoles de mobilité proposés dans WiMAX.

2.1 GÉNÉRALITÉS SUR LA GESTION DE LA MOBILITÉ

La gestion de la mobilité est une opération fondamentale pour n'importe quel réseau mobile. L'objectif principal de la gestion de mobilité est de maintenir des informations sur la position des terminaux mobiles et de gérer leurs connexions lorsqu'ils se déplacent dans les zones de couvertures.

La gestion de la mobilité inclut deux procédures [?] : la gestion de la localisation et la gestion des handovers. La gestion de la localisation permet de fournir au réseau des informations sur la position courante d'un terminal mobile.

Cette fonctionnalité comprend :

- le processus d'inscription de la localisation, où le terminal mobile est authentifié et sa position est mise à jour.
- le paging, où la position du terminal mobile est recherchée pendant l'initialisation d'une nouvelle session.

Le handover est le processus par lequel une communication établie est maintenue alors que le terminal mobile se déplace à travers le réseau cellulaire (même principe pour les réseaux sans fil); elle implique que la communication puisse passer d'un canal physique à un autre avec une coupure sans conséquences (c'est à ce moment qu'apparaissent les problématiques liées à la gestion de la mobilité). Ce handover peut engendrer ou non un handover des couches supérieures selon que les points d'attache (PoA) sont sur le même lien réseau ou non, on parlera dans ce cas d'une mobilité IP, c'est la version 4 de ce protocole (IPv4) qui est notamment utilisé sur l'Internet. Cependant, cette version commence à montrer ces limites en raison du nombre d'adresses IP disponibles.

Pour faire face à ce problème, une nouvelle version du protocole IP a été développée par l'organisme de standardisation IETF. Baptisée IPv6, cette nouvelle version propose désormais des adresses codées sur 128 bits ce qui devrait permettre l'adressage de plusieurs centaines de milliards de machines. Nous expliquons tous d'abord les principes de base du handover, ainsi que les différents protocoles (de niveau 2 et 3) qui visent à assurer cette fonctionnalité.

2.2 HANDOVER

Le Handover ou le transfert intercellulaire est l'ensemble des fonctions et des opérations mises en oeuvre 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.

Le Handover intervient dans trois cas :

- Une station mobile en mouvement passe d'une cellule à une autre.
- 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.

2.2.1 Classification de handover

Dans la littérature, le handover peut classifier selon différents critères, nous présentons dans cette section un regroupement :

2.2.1.1 Selon le mode d'attachement

Trois cas peuvent être distingués selon que l'ancien lien est libéré avant (hard handover), pendant (seamless handover) ou après (soft handover) l'établissement du lien avec le nouveau PoA.

* Hard handover

Dans ce cas le terminal mobile ne gère qu'un canal radio unique à la fois, la nouvelle liaison est établie après la libération de l'ancienne, qui traduit par une interruption plus au moins longue de la communication pendant le transfert.

* Seamless handover

Dans ce type de handover, la nouvelle liaison est établie en parallèle avec l'ancienne et le flux de données est transféré par le mobile sur les deux liens. Pendant le handover, seul l'ancien est actif, à la fin du handover le nouveau flux de données est activé.

* Soft handover

Ce handover a été introduit dans les systèmes CDMA, dans ce handover deux liens et deux flux correspondants sont activés pendant une période plus ou moins longue, le mobile est donc connecté simultanément avec deux cellules.

2.2.1.2 Selon le type de la technologie sans fil

Les types de Handover sont :

* **Handover horizontal**

entre deux cellules gérées par la même technologie (par exemple entre deux cellules WiMAX), il est divisé à son tour en deux types :

- Handover intra-domaine : entre deux cellules du même domaine réseau (par exemple entre deux cellules WiMAX couvertes par deux stations de base gérées par la même passerelle ASN-GW).
- Handover inter-domaine : entre deux cellules de domaines différents mais de la même technologie (par exemple 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).

2.2.1.3 Selon le niveau de contrôle du handover

Durant l'exécution de la procédure de handover, différentes entités réseau peuvent intervenir (les PoA, le mobile, le coeur réseau) et coopérées afin d'assurer le transfert de la session en cours, selon le degré de l'intervention de chaque entité dans : les mesures, le déclenchement et la décision de handover le handover peut être,

- Implémenté dans le mobile .
- Implémenté dans les PoA.
- Ou ailleurs dans le réseau, par exemple dans un serveur de mobilité .

Le contrôle peut être implémenté sous forme de coopération entre ces entités :

- Le mobile assisté le handover (Mobile Assisted Handover).
- Le réseau assisté le handover (Network Assisted Handover).

2.2.2 Le Processus de handover

Dans la norme 802.16 e [?], le processus de handover est défini dans des étapes, y compris les différentes phases pour qu'un MSS émigre d'une station de base à une autre. Les différentes étapes sont :

2.2.2.1 Sélection des cellules

La sélection/resélection des cellules peut être exécutée de différentes manières par un MSS en employant l'information du voisin BS acquise par le message de « MOB - NBRADV », ou en prenant une décision indépendante des intervalles de balayage pour qu'un MSS fait balayer et identifie ces stations de base voisines. Le résultat de ceci est employé pour

évaluer l'intérêt d'un handover de MSS d'un BS à l'autre.

2.2.2.2 Initiation et décision du handover

N'importe quel genre de handover commence par une décision qui peut être prise par le MSS ou la station de base serveuse, dans tous les cas, la décision est annoncée par les messages de gestion de la mobilité de la couche MAC ; MOB MSHO-REQ ou MOB BSHO-REQ.

2.2.2.3 Scanning

Le MSS peut balayer la station de base cible dans la liaison montante et aussi bien que la liaison descendante. Le balayage et la synchronisation peuvent se réduire si le MSS a reçu le message de MOB NBR-ADV, parce qu'il inclut la station cible, la fréquence, DCD et UCD.

2.2.2.4 Re-entrer au Réseau

Le but de cette procédure est d'obtenir une connexion d'un MSS à une BS cible qui va devenir la station de base serveuse. L'exécution d'un handover est déterminée par les informations échangées entre le MSS et la BS.

2.2.2.5 Arrêt de Service

Fondamentalement c'est le point où tous les raccordements qui sont reliés à la station de base serveuse précédente sont libérés.

2.2.2.6 Annulation du handover

Le handover peut être décommandé par MSS à tout moment.

2.2.3 Handover dans le réseau WiMAX

Fondamentalement 802.16e a prolongé la couche MAC pour l'appui du HO entre les cellules aussi bien entre les opérateurs qui est devenu plus flexible en ce qui concerne l'inter-compatibilités d'opérateurs. Le roaming est une condition absolue pour la nouvelle norme, alors que HO sans couture est désiré. Un HO sans couture est un handover avec peu de perte, il est en fait une combinaison de Soft et de Fast handover.

La prise de décision de HO est fondamentalement déterminée par le BS qui fournit le meilleur QoS (Quality of Service). Le MSS mesure la puissance relative aux plusieurs BSs, il peut également acquérir la synchronisation et l'information d'ajustement de fréquence du BSs voisin. IEEE travaille aujourd'hui sur HO intra RAT (Radio Access Technology), alors que le but de notre travail est inter RAT et plus spécifiquement entre UMTS et 802.16e. Les HOs suivants sont définis dans IEEE 802.16e (tableau2.1).

Type de Handover	Classifications secondaires	
Intra RAT	Intra Fréq.	Hard HO
		Soft HO
	Inter Fréq.	Intra modus (TDD _ TDD)
		Inter modus (FDD _ TDD)
Inter RAT	Exemple : 802.16 e _ UMTS	
	Exemple : 802.16 e _ WLAN	

TABLE 2.1 – Types de HO définis dans IEEE 802.16e.

2.2.4 La procédure de HO dans 802.16e

La raison d'exécuter un HO peut être fondamentalement pour deux raisons différentes [?] :

2.2.4.1 Niveau De Signal

Si le niveau de signal fourni par une station de base n'est pas satisfaisant, il peut avoir comme conséquence des atténuations et dégradation de la qualité du signal. Ceci se produit par exemple quand un MSS sort de la zone de couverture de sa station de base serveuse.

2.2.4.2 Charge De trafic

Si à un moment donné, un MSS est relié à une station de base qui est fortement hargé, celle-ci ne peut pas fournir une largeur de bande optimale ou un QoS, alors qu'une voisine peut fournir un meilleur service si elle a un niveau de trafic plus bas. Un tel handover assure l'équilibrage de charge. Pour exécuter un HO, il y a donc beaucoup de variables qui doit être évalué. La politique de gestion de HO tient compte de cette évaluation. Les algorithmes complexes déterminent si un HO sera lancé ou pas. La situation est la même pour UMTS.

2.2.4.3 Acquisition de la topologie du réseau

La présente partie définit la relation entre la gestion de mobilité de la couche MAC et le handover [?]. Les différents messages de gestion de la mobilité de la couche MAC sont expliqués. Ces messages sont présentés dans la figure 2.2.

2.2.4.4 Annonceur de la topologie du réseau

Pour annoncer et diffuser des informations sur la topologie de réseau, la station de base utilise le message de gestion de mobilité de la couche MAC "MOB NBR-ADV" selon les spécifications. De cette façon un MSS obtiendra des informations sur les stations de base voisines et sur leurs canaux. L'information est fournie également par les messages de transmission des stations de base DCD/UCD (Downlink/Uplink Channel Descriptor).

2.2.4.5 Scanning

Une BS peut informer un MSS de l'intervalle de balayage à utiliser. Cet intervalle sera utilisé par le MSS pour balayer les stations de base cibles appropriées à un handover. Le MSS peut également demander un intervalle de balayage par l'émission du Message " Mob SCN-REQ. Dans ce message, le MSS indique la durée estimée qu'elle exige pour balayer. Quand le balayage est exigé, il doit être établi, le MSS et la station de base doit demander un groupe d'intervalles de balayage ainsi le nombre de MOB SCN-REQ peut être réduit.

2.2.4.6 La procédure d'association

La procédure d'association est un procédé qui est exécuté optionnellement pour préparer un temporisateur au handover, c-à-d de stocker et de s'étendre des informations sur les stations de base potentielles du MSS avant d'effectuer un handover. Il y a aussi un timer pour s'assurer la validité de ces informations. La BS qui est désignée pour être la station de base cible est connue sous le nom BS associée.

Le tableau 2.2 présente les différents messages de la couche MAC pour la gestion de mobilité (MAC Management Messages).

MOB_BSHO-REQ	La BS peut transmettre le message MOB_BSHO-REQ quand elle veut initialiser un handover. En recevant ce message, le MSS peut balayer ces BSs voisins recommandés dans ce message.
MOB_MSHO-REQ	Le MSS peut transmettre ce message, quand il veut initialiser un handover.
MOB_NBR-ADV	Ce message est employé par le système pour fournir au MSS les informations sur le réseau et pour lui définir la BS voisine quand il veut entrer dans le réseau.
MOB_SCN-REQ	Ce message peut être envoyé par un MSS demandant l'intervalle de balayage, il peut donc balayer pour déterminer ses BSs voisines disponibles ainsi que leurs convenances pour effectuer un HO.
MOB_SCN-RSP	C'est le message envoyé par la BS quand elle reçoit le message MOB_SCN-REQ envoyé par le MSS.

TABLE 2.2 – Explication des (MAC Management Messages) [?].

2.3 LA GESTION DE LA MOBILITÉ DANS WIMAX MOBILE

2.3.1 Micro-Mobilité en utilisant des Protocoles de Niveau 2

Les protocoles de mobilité interviennent généralement au cours du Handover. Il existe plusieurs niveaux de mobilité faisant référence au modèle OSI. Le niveau de mobilité le plus bas, est le niveau 2 qui correspond à la couche liaison du modèle OSI. Ce niveau de mobilité est connu sous le nom Micro Mobilité. Par définition, la Micro Mobilité concerne le déplacement d'une station mobile entre deux points d'attachement situés sur le même réseau sans changement de son adresse IP courante. Dans le WiMAX mobile, on parle de Micro Mobilité lorsqu'une station mobile effectue un transfert intercellulaire entre deux cellules gérées par la même passerelle (ASN-GW). Dans ce cas la station mobile ne change pas d'adresse IP et garde toujours son ancienne adresse. Dans la suite nous allons

présenter des mécanismes de Handover de niveau 2 utilisés par le standard IEEE 802.16e : Hard Handover et Soft Handover (MDHO et FBSS) [?], [?], [?], [?].

2.3.1.1 Hard Handover IEEE 802.16e

Le mécanisme du Hard Handover est appliqué généralement dans le cas d'une mobilité relativement lente ou moyenne. Durant le Handover, ce mécanisme oblige la station mobile à interrompre la connexion avec l'ancienne station de base avant d'établir la connexion avec la nouvelle station de base (mécanisme Break-Before-Make). Dans ce cas, le mobile ne peut communiquer qu'avec une seule station de base au cours d'une communication (figure 2.1).

Ce mécanisme est bénéfique du point de vue de l'allocation des ressources, mais en cas

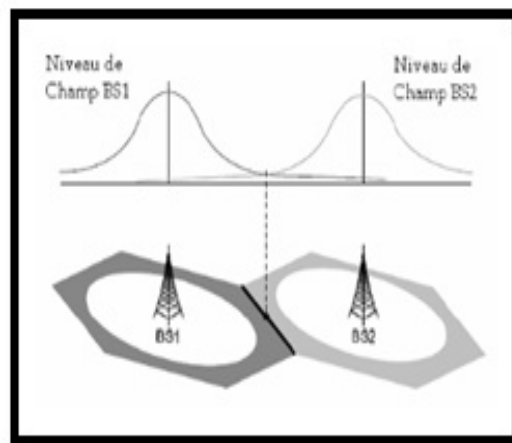


Figure 2.1 – Réalisation du hard Handover

d'échange du trafic temps-réel de volume important, ou dans le cas du déplacement du mobile avec une vitesse importante, ce mécanisme provoque une interruption de service au cours du Handover, ce qui n'est pas bon pour du trafic temps-réel.

Le fonctionnement du mécanisme Hard Handover est illustré dans la figure ci-dessous 2.2 :

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. La description des messages illustrés dans la figure 2.2 est :

- * **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/descen-

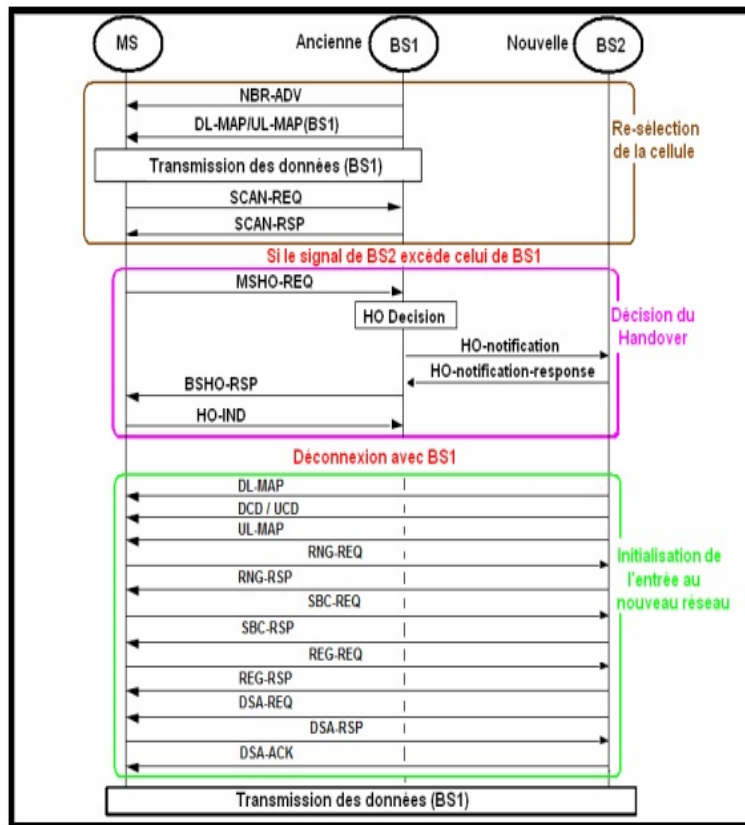


Figure 2.2 – Fonctionnement du Hard Handover

dant.

- * **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.

2.3.1.2 Soft Handover IEEE 802.16e

Le Soft Handover est appliqué dans le cas d'une mobilité importante. Il propose deux techniques : le MDHO et le FBSS.

* MDHO

Durant le Handover, le MDHO (Macro Diversity Handover) permet à la MS de se connecter aux stations de base voisines appartenant à une liste de BSs (Diversity Set) maintenue par la MS avant d'interrompre la connexion avec l'ancienne station de base (mécanisme Make-Before-Break). Dans ce cas le mobile communique avec plusieurs stations de base en même temps (figure 2.3).

Contrairement au Hard Handover, ce mécanisme utilise beaucoup de ressources radio vu qu'il se connecte à plusieurs BSs en même temps, mais il permet d'éviter l'interruption du service au cours du Handover.

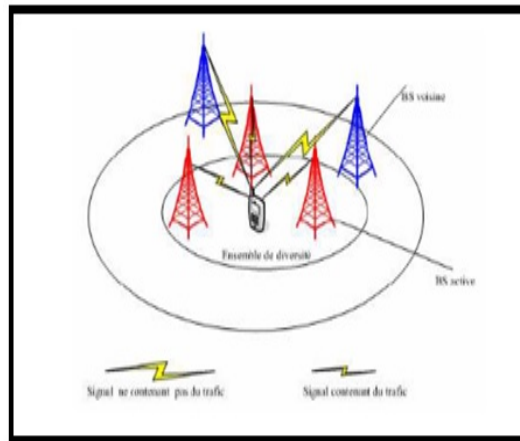


Figure 2.3 – Macro Diversity Handover

Une illustration du mécanisme MDHO est présentée dans la figure ci-dessous 2.4 :

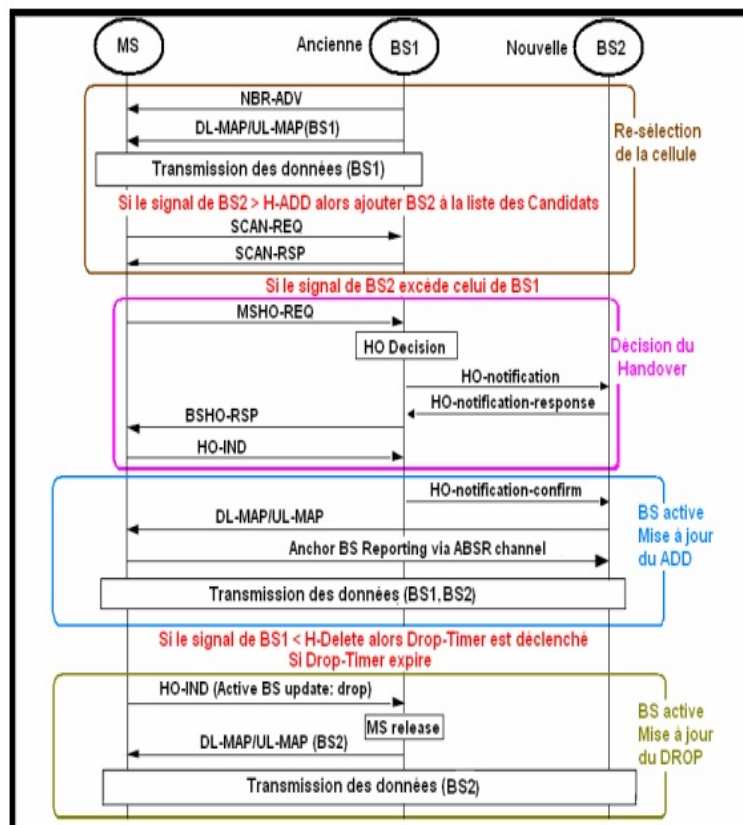


Figure 2.4 – Fonctionnement du MDHO

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.

*** FBSS**

Le FBSS (Fast Base Station Switching) est très proche du MDHO dans son principe (Make-Before-Break). Il ajoute une technique qui se résume dans le fait que le mobile peut choisir parmi les BSs avec lesquelles il est connecté une seule qui sera appelée BS ancre (Anchor BS). Il va échanger avec cette BS ancre tous ses données ainsi que les messages de signalisation. La MS aura le droit de changer de BS ancre quand elle le voudra, à condition qu'elle choisisse une nouvelle BS ancre parmi la liste des BSs appartenant à son Diversity Set avec lesquelles elle est connectée. Généralement, la MS change de BS ancre quand cette dernière n'est plus disponible en nombre de connexions ou en ressources, ou bien encore quand le signal d'une autre BS candidate deviendra meilleur que celui de sa BS Ancre courante (figure 2.5).

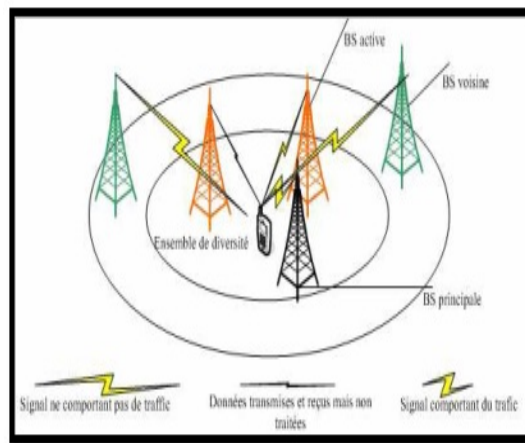


Figure 2.5 – Fast Base Station Switching

Le mécanisme de FBSS est illustré ci-dessous 2.6 :

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.

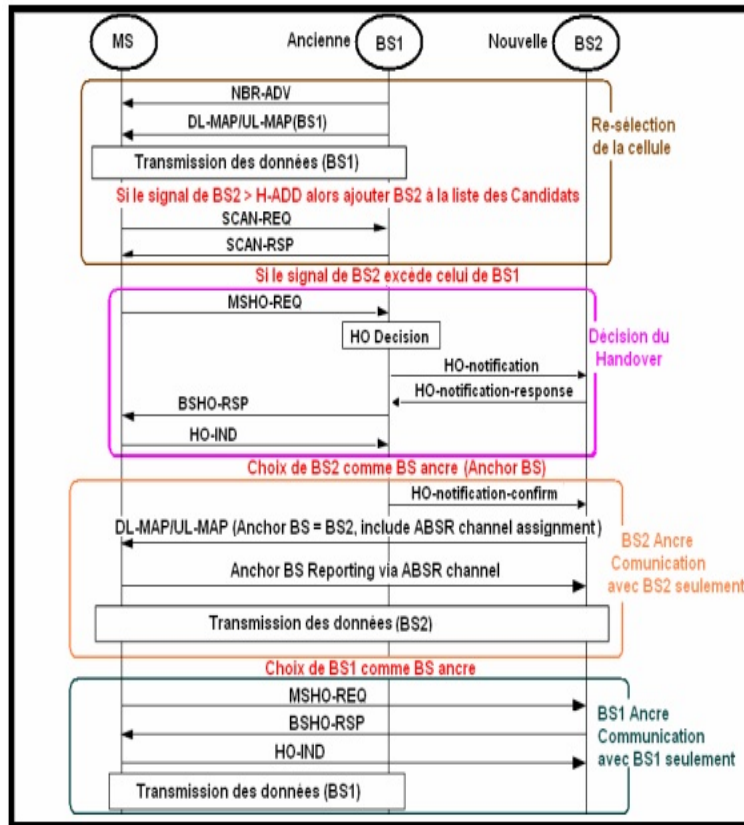


Figure 2.6 – Fonctionnement du FBSS

2.3.2 Les protocoles de Macro-Mobilité dans WiMAX

La mobilité de niveau réseau est connue également sous le nom Macro-Mobilité. Il s'agit de gérer le déplacement d'un utilisateur mobile entre deux domaines différents (figure2.7). Ce déplacement nécessitera une mise à jour de la base de données : "Location Directory" et une mise à jour de l'adresse IP courante de la station mobile. La station mobile effectue dans ce cas un transfert intercellulaire entre deux cellules gérées par différentes passerelles. Par exemple dans le cas de l'IEEE 802.16e, le mobile passe entre deux cellules couvertes par deux stations de base gérées chacune par un ASN-GW différent. Dans ce cas, la station mobile doit mettre à jour son adresse IP courante pour s'adapter avec le nouveau réseau qui gère la deuxième cellule.

2.3.2.1 Mobile IPv4

Le protocole Mobile IPv4 [?], aussi nommé Client Mobile IP (CMIP) et proposé par un groupe de travail de l'IETF, vient ajouter des nouvelles extensions au protocole IP pour permettre la mobilité. Ce protocole est déjà fort ancien, et il n'a pas connu de succès en raison des délais induits. Il permet à l'utilisateur de s'enregistrer dans un réseau étranger, et de se connecter par le biais de son réseau mère via une combinaison de FA (Foreign Agent) et de HA (Home Agent).

Le principe de fonctionnement de MIP est décrit ci-dessous (figure2.8) : Quand une station mobile se déplace dans un réseau autre que son réseau mère, un routeur du réseau visité (FA) peut agir en tant qu'agent relais. Il diffuse périodiquement des paquets dans le réseau

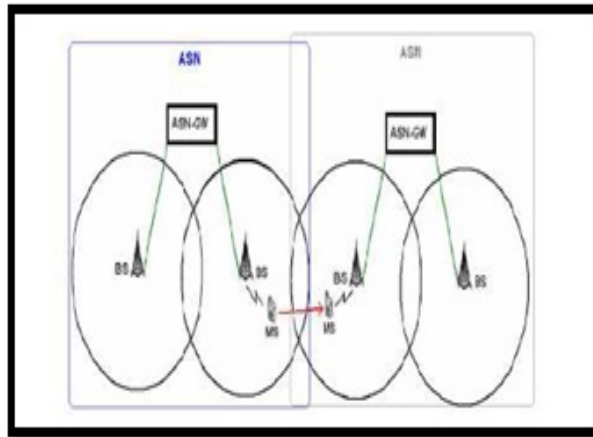


Figure 2.7 – Inter-ASN Handover (Macro-Mobilité)

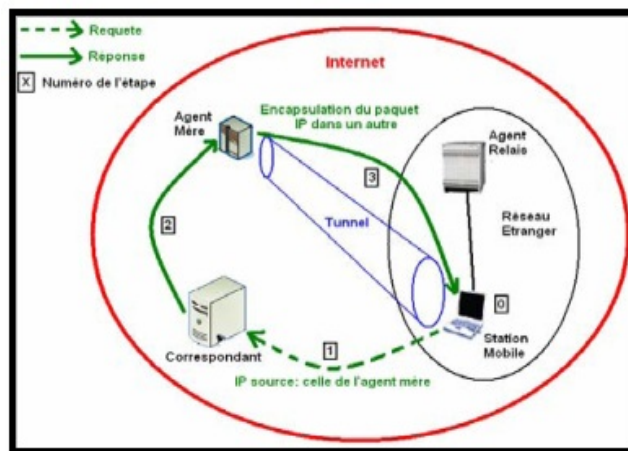


Figure 2.8 – Fonctionnement de MIPv4

pour détecter les nouveaux venus. Il détecte alors l'arrivée de la nouvelle station mobile et l'ajoute au réseau étranger en lui attribuant une nouvelle adresse IP temporaire (cette méthode nécessite une réserve d'adresses pour la gestion des mobiles).

1. Ensuite, quand le mobile décide de communiquer avec un correspondant depuis le nouveau réseau, il envoie une requête vers son correspondant grâce à sa nouvelle adresse IP.

L'adresse source du paquet IP envoyé ne correspond pas à l'adresse IP courante du mobile, mais elle correspond à l'adresse de son agent mère (HA) du réseau de rattachement.

2. Le correspondant renverra sa réponse vers l'agent mère du réseau de rattachement.
3. L'agent mère crée alors un tunnel avec le mobile et envoie directement le paquet vers ce dernier.

2.3.2.2 Mobile IPv6

Actuellement, la mobilité utilisant le protocole IPv4 avec le mécanisme MIPv4 souffre d'un problème important qui consiste à l'échange triangulaire au cours d'une communication. Cette méthode oblige les paquets de passer par l'agent mère de l'utilisateur avant

d'arriver au correspondant, ce qui augmente forcément le délai.

MIPv6 [?] a été proposé pour résoudre ce problème grâce à un système de correspondance d'adresses qui permet à l'agent mère de l'utilisateur en mobilité d'envoyer sa nouvelle adresse à son correspondant. Et son correspondant pourra le contacter directement grâce à cette adresse via un tunnel qu'il créera pour cela.

2.3.3 Limitations de handover dans le standard WiMAX mobile

2.3.3.1 Latence de handover au niveau 2

Les handovers de niveau 2 tel qu'il est décrit dans la norme, ne permet pas de satisfaire les contraintes des communications temps réel. En effet, le temps de latence généré dépasse généralement le seuil de 50 millisecondes.

La phase de découverte, réalisée à l'aide de processus de scanning constitue la cause principale du temps de latence introduit dans les communications sans fil. Utilisant le message MOB NBR-ADV diffusé périodiquement par la station de base service (serving base station), le mobile collecte les informations sur les stations voisines. Le scanning. Le but de la phase de scanning est de trouver un ensemble de station de base convenables (Neighbor List) en terme de qualité de signal, pour compléter la phase de Ré-entrer au réseau. Durant cette phase le mobile scanner plusieurs canaux et synchroniser avec toutes les stations voisines dans le sens descendant DL (Downlink).

Utilisant le message MOB NBR_ ADV diffusé périodiquement par la station de base service (serving base station), le mobile collecte les informations sur les stations voisines la couche physique (canal radio), la couche MAC (adresses MAC), la bande passante et la QoS de toutes les stations voisines.

Durant la phase de scanning deux grands problèmes sont rencontrés :

- La procédure de scanning est un cycle de plusieurs itérations, aucune transmission durant le scanning, ainsi les données sont stockés dans un Buffer dans la station service ou dans le mobile dans le sens downlink ou uplink respectivement, cette interruption ne permet pas de respecter les latences des applications temps réel [?] et diminuera la QoS.
- La phase de scanning a un grand effet sur le durée total de handover, sa durée dépend proportionnellement du nombre des stations à scanner, en plus l'effet indésirable de ping-pong (via et viens entre deux cellules), qui oblige le mobile d'entré dans un processus de scanning long et infinie, à cause de la décision non final de handover, par conséquent on aura des interruptions répétitifs, avec consommation excessive d'énergie.

En résumé, la procédure de handover de niveau 2 génère des interruptions lors de scanning, qui perturbe la QoS de trafic en cours en termes de délai et jigue, avec des contraintes de stockages et d'énergie, le problème devient sérieux si on prendra en considération la charge de réseau, la vitesse rapide et aléatoire de mobile.

2.3.3.2 Latence de handover au niveau 3

Les terminaux mobiles peuvent également réaliser un handover de niveau 3 à la suite d'un handover de niveau 2. Le temps de déconnexion total peut donc encore être augmenté par les mécanismes du protocole MIPv6, et devient non souhaitable (à l'ordre de quelques secondes) pour les applications en temps réel tel que la VoIP.

Trois facteurs sont principalement mis en cause :

*** la détection du nouveau lien IPv6**

La détection du déplacement de niveau 3 est réalisée lors de la réception d'un message RA (i.e. Router Advertisement). Le temps nécessaire à la détection dépend donc de la fréquence à laquelle ces messages sont envoyés par les routeurs d'accès.

*** la vérification de l'unicité de la nouvelle adresse temporaire**

Lorsqu'un terminal acquiert une nouvelle adresse IPv6 (de manière automatique ou manuelle), il doit vérifier au préalable que cette adresse est unique sur le lien avant de pouvoir l'utiliser.

Pour ce faire, le terminal mobile réalise une procédure appelée DAD (Duplicate Address Detection [?]) qui tire parti du protocole de découverte des voisins disponible dans IPv6. Dans la pratique, cette procédure ajoute un délai supplémentaire au temps total de déconnexion de niveau 3.

Dès la configuration d'une nouvelle adresse IPv6, le terminal mobile doit attendre entre 0 et 1 seconde avant d'envoyer sa première requête de vérification qui consiste en un message NS (Neighbor Solicitation). Par défaut lors du DAD, un terminal émet un unique NS. Si au bout d'une seconde il n'a pas reçu de NA (Neighbor Advertisement) lui indiquant que sa nouvelle adresse est déjà attribuée, il conclut qu'elle est unique sur le lien et peut l'utiliser pour communiquer.

*** la mise à jour de la nouvelle adresse auprès de l'agent mère**

Enfin, le délai d'acheminement des paquets entre l'agent mère et la localisation courante du terminal peut également contribuer à l'augmentation du temps total de déconnexion. Suite au déplacement d'un terminal mobile dans un nouveau sous-réseau, l'agent mère continue d'envoyer les paquets de données vers l'ancienne localisation du terminal tant qu'il n'a pas reçu de nouvelles notifications.

Le terminal s'étant déplacé, ces paquets sont donc définitivement perdus.

Dès la fin de la configuration de la nouvelle adresse (après la terminaison de DAD), le délai de réception des paquets de données sur le nouveau lien IPv6 dépend donc directement du délai d'acheminement des paquets entre l'agent mère et le terminal (et vice versa). Plus ils sont éloignés en termes de distance réseau, plus la mise à jour de l'adresse temporaire va être longue.

CONCLUSION

En général, le Handover de niveau 2 s'applique dans le cas où la station mobile change de services de la station émettrice (BS dans le cas de WiMAX) qui gère sa cellule courante à une autre qui gère une deuxième cellule chevauchée avec la première. La condition nécessaire au cours du Handover de niveau 2 est que les deux stations émettrices sont gérées par une même passerelle qui les lie avec le réseau coeur IP. Et dans ce cas on dit que les stations émettrices appartiennent au même domaine, sachant que la station mobile ne nécessite pas une mise à jour de son adresse IP courante. Le Hard Handover est un protocole de niveau 2 très connu et très employé par les opérateurs. Son seul inconvénient c'est qu'il oblige la station mobile de rompre la connexion avec l'ancienne station émettrice avant de se connecter avec la nouvelle, et cela génère un délai important et des pertes de paquets qui ne sont pas acceptables par le trafic temps-réel. Son grand avantage est qu'il n'est pas

du tout gourmand en ressource vu que la station mobile n'a le droit de se connecter qu'avec une seule station émettrice à la fois. Le Soft Handover, peu employé par les opérateurs vu qu'il consomme beaucoup de ressources, surtout avec le protocole MDHO qui autorise à la station mobile de communiquer avec toutes les stations émettrices au même temps. Le grand avantage du Soft Handover c'est la continuité de la communication sans interruption au cours du Handover de niveau 2 par un utilisateur, ce qui permet de répondre aux exigences de trafics temps-réel. Mais l'utilisation du Soft Handover doit être soumise à des conditions de disponibilité des ressource.

Le FBSS qui est plus récent que le MDHO, utilise moins de ressources que le MDHO, et cela grâce à la technique qu'il emploie, et qui permet de communiquer avec une seule station émettrice élue tout en restant connecté avec les stations émettrices voisines. En général le FBSS est très efficace dans le cas de mobilité à grande vitesse avec échange de trafic temps-réel sensible au délai.

SIMULATIONS ET RÉSULTATS

SOMMAIRE

INTRODUCTION	34
3.1 MODÉLISATION RÉSEAU	34
3.1.1 NS-2	34
3.1.1.1 Définition	34
3.1.1.2 Utilisation du simulateur	35
3.1.1.3 Développement de nouveaux composants	35
3.1.2 Implémentation du Media Independent Handover (MIH)	36
3.1.2.1 Architectures et fonctionnements	36
3.1.2.2 MAC layer support for MIH	37
3.1.2.3 Les extensions de mobilité pour NS-2	37
3.1.2.4 Support des interfaces multiples	38
3.2 MODÈLE DES SIMULATIONS ET SCÉNARIOS DE MOBILITÉ	38
3.2.1 Modèle des simulations	38
3.2.2 Scénarios de mobilité	39
3.2.3 Paramètres des simulations et critères de performance	39
3.2.3.1 Paramètres des simulations	39
3.2.3.2 Critères de performance	40
3.3 LA PROGRAMMATION TCL	40
3.3.1 Présimulation	40
3.3.2 Simulation	41
3.3.3 Post simulation	41
3.4 RÉSULTATS DES SIMULATIONS	41
CONCLUSION	43

DANS ce chapitre, nous décrivons l'environnement de simulation et les différents modules que nous avons utilisé, nous présentons également les résultats obtenus par la simulation.

INTRODUCTION

Cette partie a comme but d'étudier le mécanisme Hard Handover dans le WiMAX mobile, par l'application de mécanisme Hard Handover sur la fonction de différentes vitesses des stations mobiles et de réduire l'interruption du service dans le cas de trafic sensible au délai durant le Handover de niveau 2 d'un mobile se déplaçant à grande vitesse. Pour rendre cette hypothèse réaliste, nous nous plaçons dans un contexte de zone rurale. Pour cela, un modèle composé d'une autoroute est mis en place dans une zone rurale située entre deux villes. Des stations mobiles circulant à grande vitesse dans les deux sens de l'autoroute communiquent au travers d'applications de type VoIP ou transfert vidéo de type Visioconférence.

3.1 MODÉLISATION RÉSEAU

La modélisation réseau est la définition d'une architecture rendant possible la simulation et l'analyse de performances des éléments constitutifs du réseau.

La modélisation réseau implique l'utilisation d'un simulateur logiciel capable de définir un réseau en terme de noeuds, liens et technologies.

Dans cette partie sont abordés le simulateur logiciel NS-2 sous la plateforme Linux, son support technologique (WiMAX) et ses extensions. Les conflits entre le simulateur et les extensions ainsi que les conflits entre les extensions sont détaillés. Enfin, une solution de modélisation est proposée.

Pour illustrer l'objectif de la modélisation, il est utile de la présenter à l'aide d'un scénario de simulation.

3.1.1 NS-2

NS-2 est bâti selon les idées de la conception par objets, de la réutilisation du code et de la modularité. Il est aujourd'hui un standard de référence dans le domaine de la simulation logicielle. Ce logiciel est dans le domaine public, son utilisation est gratuite. Il a pour objectif la construction d'un simulateur multi-protocoles pour permettre l'étude d'interaction entre les protocoles et le comportement d'un réseau. Le simulateur contient des bibliothèques pour la génération de topologies réseaux, des trafics ainsi que des outils de visualisation tel que l'animateur réseau NAM (Network ANimator) [?] [?].

3.1.1.1 Définition

Le simulateur NS-2 est particulièrement adapté à l'étude de réseau à commutation de paquets et à la réalisation de simulations. Il contient les fonctionnalités nécessaires à l'étude des algorithmes de routage unicast ou multicast. Des protocoles de transport, de session, de réservation, des services intégrés, des protocoles d'application comme http. De plus le simulateur possède une palette de systèmes de transmission, d'Ordonnanceurs et de politiques de gestion de file d'attente pour effectuer des études de contrôle de congestion. Les principaux composants de NS-2 sont illustrés dans la (tableau3.1) :

Application	Web, ftp, telnet, générateur de trafic (CBR..)
Transport	TCP, UDP, RTP, SRM
Routage	Statique, dynamique, multicas..
Gestion de file d'attente	RED, Drop Tail, Token bucket
Discipline de service	CBQ, SFQ, DRR, Fair queueing
Système de transmission	CSMA/CD, CSMA/CA, point à point

TABLE 3.1 – Les principaux composants de NS-2.

3.1.1.2 Utilisation du simulateur

Du point de vue utilisateur, la mise en oeuvre de NS-2 se fait via une étape de programmation en langage tcl qui décrit la topologie du réseau et le comportement de ses composants, vient ensuite l'étape de simulation et enfin l'interprétation des résultats. Avant d'éclaircir le scénario générale, on s'intéresse à un scénario simple n'impliquant qu'une topologie simple de quatre machines fixes communiquant l'une avec l'autre via trois Présentation du simulateur Modélisation du système à simuler liaisons. Dans la terminologie NS, une machine s'appelle un noeud. Un noeud peut contenir des agents (TCP, UDP...), ces agents pouvant supporter un type d'application (FTP, CBR, ...) [?]. Cette simulation s'effectue via le script tcl suivant : Exemple.tcl [?] [?] (voir Annexe). L'exécution de NAM dans la procédure « finish » permet la visualisation dynamique des paquets circulant entre les noeuds (figure2.2) :

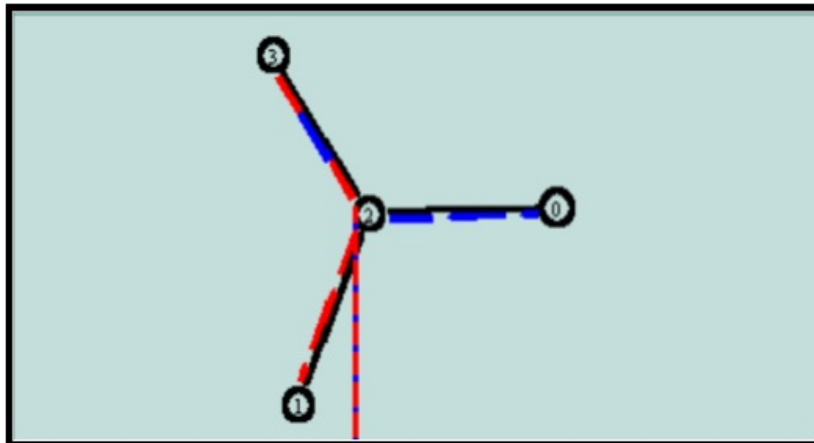


Figure 3.1 – Visualisation Nam de l'exemple.tcl [?].

Logiquement on observe une perte de paquets dans le noeud n2 due à la liaison n2-n3 de 1Mbps. Alors que n0 et n1 envoient leurs paquets à un débit de 800 Kb/s. Le fichier « out.reh » contient à lui des informations brutes sur les paquets (voir Annexe).

3.1.1.3 Développement de nouveaux composants

NS est en réalité un programme relativement complexe écrit en C++ et interfacé via Tcl. Pour, modifier le comportement d'objets existants ou en concevoir de nouveaux, il est donc nécessaire de passer par une étape d'implémentation en C++. Cette étape de développement pour la simulation du scénario de handover est détaillée

dans ce qui suit [?] [?] [?].

3.1.2 Implémentation du Media Independent Handover (MIH)

Vu les limitations de NS-2 pour l'évaluation et la simulation des scénarios de handover et de mobilité, IEEE 802.21 a développé le module MIH dans le cadre du projet « Seamless Mobility Project », ce module contient toutes les fonctionnalités nécessaires pour simuler les scénarios de handover du couche 2 et 3 et de supporter la mobilité hétérogène, il intègre aussi différentes technologies de réseau (802.11, 802.16, Bluetooth, UMTS..)

3.1.2.1 Architectures et fonctionnements

La figure 3.2 représente l'interaction du fonctionnement du MIH (MIHF) avec les différents composants du noeud. Le MIH est mis en application d'un agent qui peut envoyer des paquets de la couche 3 au MIHF à distance. Le MIHF contient la liste des interfaces locales, on peut ainsi obtenir leur statut et commander leur comportement. L'utilisateur de MIH est également mis en application d'un agent au MIHF pour recevoir des événements des interfaces locales à distance [?].

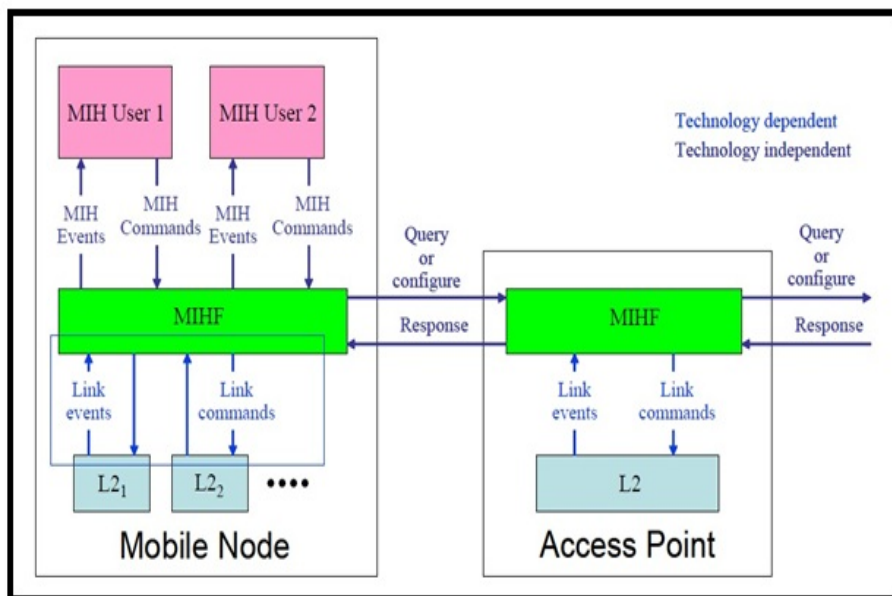


Figure 3.2 – Architecture du MIH [?]

L'échange des informations à travers les couches a été ajouté au NS-2 en modifiant la couche MAC et en liant le MIHF aux couches MAC par l'intermédiaire du langage TCL.

1. **MIHF** Comme cité précédemment, le MIHF prolonge la classe Agent défini dans NS-2 pour permettre à chaque MIHF d'envoyer et de recevoir des paquets de la couche 3. Le MIHAgent est au centre de l'implémentation. Il communique avec les couches inférieures (c à d couche MAC) et les couches plus élevées (c.-à-d. utilisateurs de MIH). La classe manipule la liste d'utilisateurs de MIH et les informations de leur enregistrement.

Elle permet également la manipulation des communications avec des MIHFs extérieurs.

Enfin elle fournit une interface indépendante de médias (MIH_SAP) et une autre interface dépendante de médias (MIH_LINK_SAP et les primitifs spécifiques de médias) [?].

2. **MIH User** Les utilisateurs de MIH sont des entités qui se servent des fonctionnalités de MIHF, ils servent à optimiser les mécanismes de handover. Puisqu'il y a un nombre infini de réalisations selon les politiques de préférence ou de réseau d'utilisateur, l'exécution fournit une classe abstraite MIHUser qui peut être facilement prolongée.

Le MIHUser envoie des commandes et reçoit des événements/messages du MIHF. Pour augmenter la rentabilité, l'implémentation fournit également une série de classes abstraites qui contiennent des fonctionnalités utilisées généralement. L'IFMNGMT fournit des fonctionnalités de gestion d'acheminement de paquets. En utilisant le langage TCL, l'utilisateur peut enregistrer les acheminements des paquets qui sont employés dans le noeud.

Ceci facilite le module de handover en trouvant les acheminements des paquets qui doivent être réorientés. Il reçoit également des événements de l'agent de ND quand un nouveau préfixe est détecté ou quand il est expiré. Le MIPV6Agent ajoute les possibilités de redirection des paquets à l'utilisateur de MIH. Quand un acheminement doit être réorienté, un message doit être envoyé au noeud de source pour l'informer de la nouvelle adresse ou l'interface à employer. En conclusion, la classe de handover fournit un calibre pour les modules de handover et le calcul d'une nouvelle adresse après la réussite d'un handover [?]. (Voir Annexe).

3.1.2.2 MAC layer support for MIH

Les couches MAC ont été modifiées pour inclure les fonctions de MIH_LINK_SAP et pour manipuler la génération de déclenchement du handover.

Le MIH_LINK_SAP a été ajouté à la classe MAC de sorte que le MIH manipule des objets MAC autant que possible [?].

3.1.2.3 Les extensions de mobilité pour NS-2

En plus de l'implémentation de MIH, des modèles de mobilité sont inclus pour soutenir les mécanismes de handover dans NS-2, ils incluent [?] :

- Intégration des technologies multiples (UMTS, Bluetooth, 802.16) à tenir compte des handover hétérogènes.
- Modification de l'implémentation du (802.11) pour soutenir des handover.
- Définir une conception générique pour des noeuds avec des interfaces multiples.
- Support des algorithmes de découverte des voisins et de changement et mise à jour d'adresse.

3.1.2.4 Support des interfaces multiples

Afin d'évaluer les mécanismes de handover dans l'environnement hétérogène, nous avons intégré des paquets multiples fournissant des technologies additionnelles. Ce qui suit est une liste de technologies supplémentaires au paquet :

- UMTS : le code source est basé sur le code d'EURANE . La modification inclut le soutien de l'adressage hiérarchique.
- IEEE 802.16 : développé intérieurement et se concentrant sur les aspects de mobilité de la technologie (802.16e).

La difficulté rencontrée est que le support des interfaces multiples n'est pas été intuitif dans NS-2. En outre, les paquets externes ne suivent pas nécessairement la même structure de noeud que celle définis dans le modèle de base. Par exemple, les algorithmes de cheminement sont différents. Pour cette raison, un travail s'est avéré pour permettre à chaque technologie de fonctionner indépendamment des autres.

3.2 MODÈLE DES SIMULATIONS ET SCÉNARIOS DE MOBILITÉ

3.2.1 Modèle des simulations

Le modèle proposé pour les simulations (illustré dans la figure 3.3) est fondé sur une autoroute d'une longueur égale à 75 km. L'autoroute est couverte par quatre stations de base (BSs) ayant chacune un rayon de couverture fixé à 10 km. Les diamètres des zones de Handover entre les cellules varient entre 1 et 3 km. Les stations de base appartiennent au même ASN (Access Service Network). Les véhicules portant les stations mobiles qui communiquent, se déplacent dans les deux sens de l'autoroute à grande vitesse.

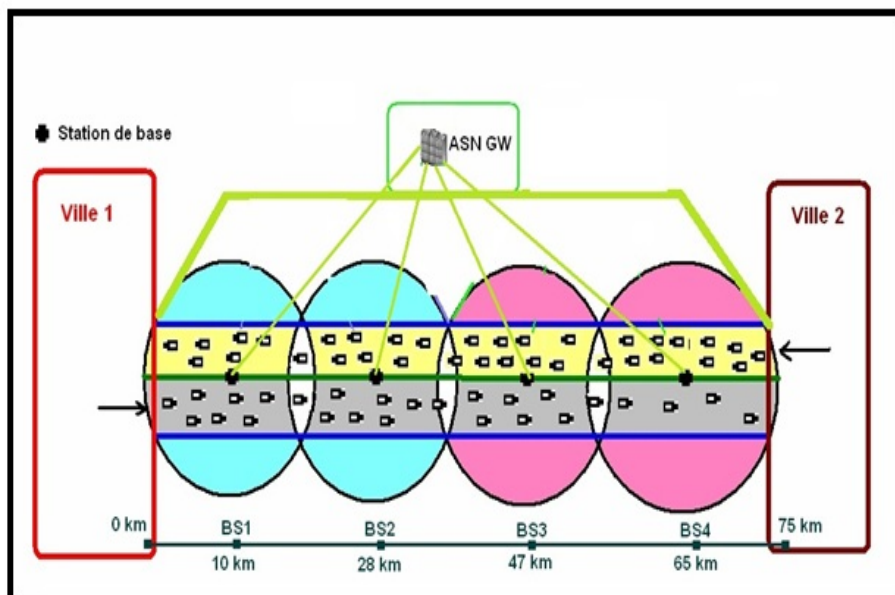


Figure 3.3 – Modèle des simulations

3.2.2 Scénarios de mobilité

Dans cette étude, nous allons considérer plusieurs scénarios de mobilité pour chaque vitesse moyenne (tableau). Nous allons supposer au début de chaque scénario un nombre N de stations mobiles uniformément réparties sur l'autoroute de longueur L , et ces N mobiles (la moitié utilise du trafic VoIP l'autre du trafic Vidéo) vont se déplacer avec des vitesses différentes. L'idée est de ne pas démarrer avec une autoroute vide nos simulations de façon à gagner dans la convergence de nos estimations.

Ils sont répartis uniformément sur l'autoroute. Nous allons noter V_e la vitesse moyenne des véhicules que l'on injecte à l'entrée de l'autoroute. Les vitesses proposées pour les simulations sont calculées suivant les règles illustrées dans le tableau ci-dessous. Une fois qu'un véhicule est rentré sur l'autoroute, sa vitesse restera constante (tableau 3.2) :

Vitesse moyenne V_e en km/h à l'entrée de l'autoroute	Règles		
90	60% de véhicules qui se déplacent à une vitesse entre 70 et 90 km/h	30% de véhicules qui se déplacent à une vitesse entre 90 et 110 km/h	10% de véhicules qui se déplacent à une vitesse entre 110 et 130 km/h
100	30% de véhicules qui se déplacent à une vitesse entre 70 et 90 km/h	40% de véhicules qui se déplacent à une vitesse entre 90 et 110 km/h	30% de véhicules qui se déplacent à une vitesse entre 110 et 130 km/h
110	30% de véhicules qui se déplacent à une vitesse entre 80 et 100 km/h	40% de véhicules qui se déplacent à une vitesse entre 100 et 120 km/h	30% de véhicules qui se déplacent à une vitesse entre 120 et 140 km/h
120	10% de véhicules qui se déplacent à une vitesse entre 80 et 100 km/h	30% de véhicules qui se déplacent à une vitesse entre 100 et 120 km/h	60% de véhicules qui se déplacent à une vitesse entre 120 et 140 km/h

TABLE 3.2 – Vitesse moyenne V_e

3.2.3 Paramètres des simulations et critères de performance

3.2.3.1 Paramètres des simulations

Toutes les simulations qui vont suivre ont été mises en oeuvre à l'aide de l'outil NS2. Pour démarrer une simulation sous NS2, un ensemble de paramètres de la station mobile et du réseau doivent être fixés. Dans le tableau 3.3 nous présentons quelques paramètres; certains sont définis par défaut dans le simulateur comme ceux de l'antenne émettrice et du canal, d'autres sont calculés suivant un modèle de propagation radio bien défini comme les seuils et le rayon de couverture.

Le temps de simulation d'un seul scénario est fixé à 40 minutes de déplacement des mobiles dans l'autoroute. Et après chaque 4 minutes de simulation, nous présentons la moyenne des résultats calculés pour tous les mobiles répartis sur l'autoroute.

Puissance du signal (P_t)	15 W
Seuil de réception (RXThresh)	7.59375e-15 W
Seuil de la porteuse d'envoi (CSThresh)	2.13841e-16 W
Rayon de couverture (Distance)	10 Km
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	OFDM
Fréquence (Freq)	3.5 GHz
Multiplexage	TDD
Type de paquets vidéo et VoIP	CBR/UDP
Mode de partage de débit entre utilisateurs	En fonction de la charge de la cellule, du type de trafic et du privilège donné à chaque abonné

TABLE 3.3 – Paramètres des simulations sous NS2

Les stations mobiles présentes dans le système sont à la fois des sources et des destinataires de flux.

Concernant le trafic échangé : la taille d'un paquet vidéo sera fixée à 4960 octets, et la taille d'un paquet VoIP sera fixée à 160 octets (les tailles des paquets choisies ont été déjà adoptées par plusieurs exemples de programmes TCL codés et présentés par NIST [?], [?], et utilisés dans le cas du WiMAX sous le simulateur NS2).

3.2.3.2 Critères de performance

Pour évaluer la performance du mécanisme Hard Handover, des paramètres influant sur la QoS sont simulés, et un critère d'indication est calculé.

Les critères fondés sur la QoS sont :

- La moyenne des délais de bout en bout; sachant que le délai de bout en bout est le temps que prend un paquet pour être transmis depuis une source vers une destination.
- La moyenne des taux de perte des paquets.
- La moyenne des débits; sachant que le débit est la quantité d'informations transmises via un canal de communication dans un intervalle de temps donné.

3.3 LA PROGRAMMATION TCL

Le travail se déroule en trois phases : présimulation, simulation et post simulation.

3.3.1 Présimulation

Cette première phase consiste à paramétrer et configurer notre réseau.

3.3.2 Simulation

Cette phase est consacrée à l'exécution du programme principal `handover.tcl`. A partir des fichiers définis dans la phase de pré-simulation, le simulateur enregistre le déroulement du scénario dans un fichier trace nommé `trace.tr` ou `trace.reh`.

A la fin de la simulation, nous obtenons un fichier trace complet. Il s'agit d'un fichier de données structurées qui renferme tous les événements survenus pendant la simulation. Le fichier trace sera par la suite filtré pour en extraire l'information à interpréter.

3.3.3 Post simulation

Dans cette étape le filtrage du fichier trace à lieu, l'opération est réalisée à l'aide du logiciel AWK. C'est un logiciel d'interprétation de scripts qui sert à extraire des données de fichiers textes, à la manière des logiciels de gestion de base de données. Le fichier trace sera successivement filtré par les fichiers `delay.awk` et `loss.awk` et `débit.awk`

- `delay.awk` donne le délai de transmission des paquets .
- `loss.awk` donne le taux des paquets perdus qui présente le rapport des paquets perdus sur le nombre total des paquets générés.
- `débit.awk` donne le débit de transmission des paquets.

La dernière étape consiste à tracer les courbes qui illustrent les résultats de nos simulations. Nous avons utilisé pour le traçage des courbes le logiciel Excel.

3.4 RÉSULTATS DES SIMULATIONS

Nous présentons maintenant quelques résultats de la moyenne des délais de bout en bout, en fonction de V_e pour $N = 10$ et $N = 20$

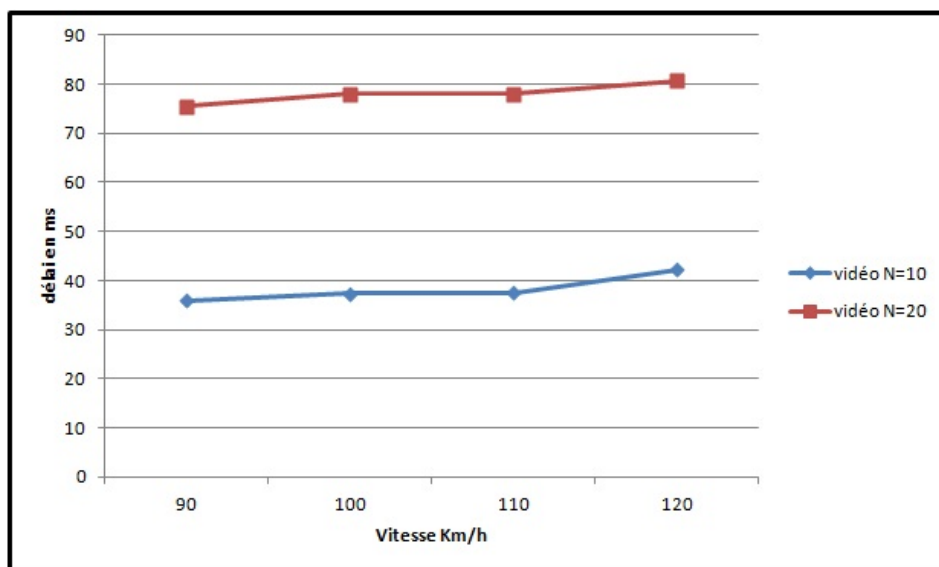


Figure 3.4 – Délais moyens pour vidéo

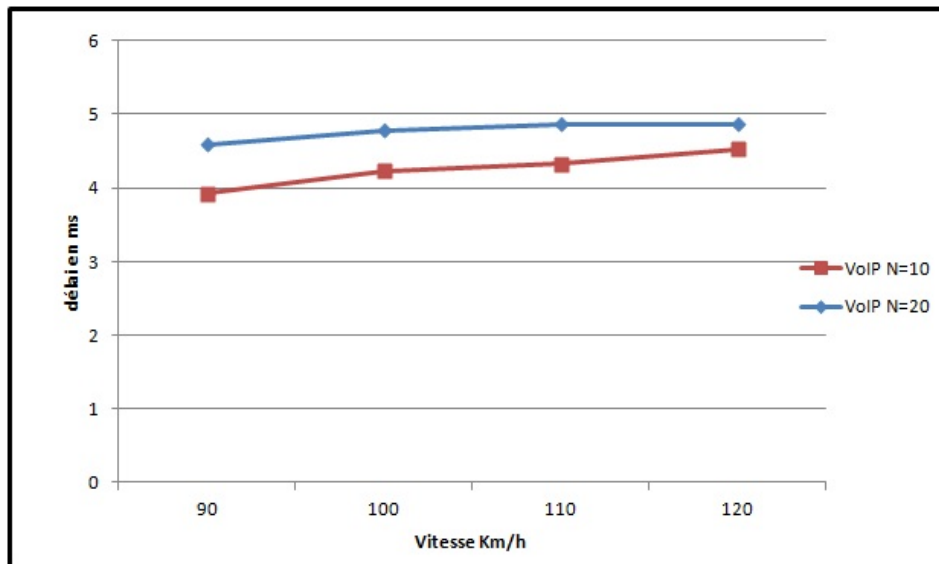


Figure 3.5 – Délais moyens pour VoIP

Nous remarquons dans les figures 3.4 et 3.5 , que les délais augmentent en fonction de V_e , et que les résultats obtenus avec une charge N de 10 mobiles sont meilleurs que ceux obtenus avec $N=20$ et c'est logique a cause de la charge sur les stations de base, ainsi l'augmentation de N entraîne la dégradation des délais.

L'écart entre les deux courbes de la figure 3.5 est justifié par la taille des paquets Enfin, avec le Hard Handover, les délais se dégradent plus en fonction de V_e .

Nous procédons maintenant à la présentation de quelques résultats de la moyenne des taux des paquets perdus, en fonction de V_e .

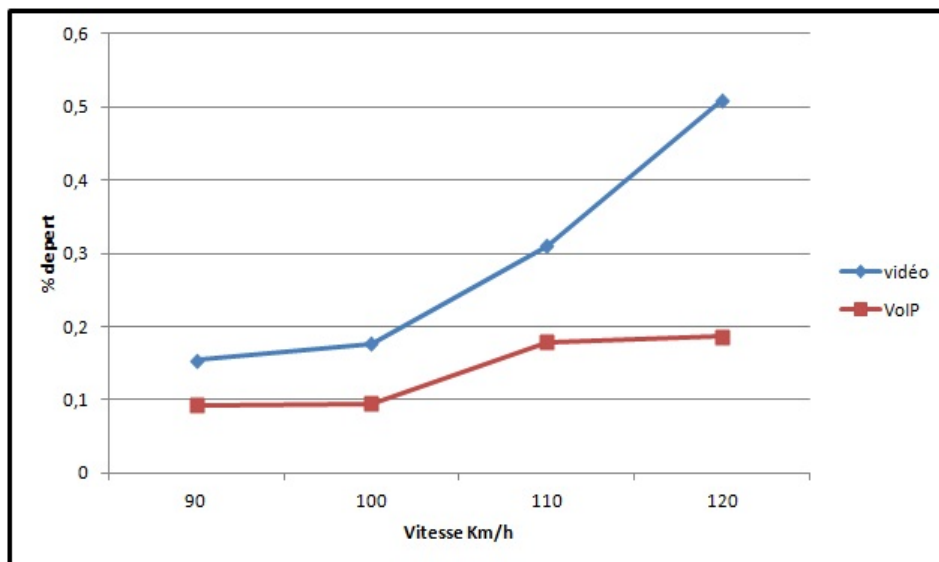


Figure 3.6 – Pertes moyennes

Dans la figure 3.6 Le taux des paquets perdus augmente avec V_e . La perte des paquets se manifeste surtout au cours du HO, où le volume de trafic envoyé dépasse un certain seuil qui déclenche la perte des paquets.

L'augmentation de la courbe bleue est plus considérable a cause de la taille du paquet vidéo donc la transmission de ce dernier prend plus de temps et alors plus de possibilité de perte, dans se cas la perte d'un paquet vidéo est plus influente.

Nous allons maintenant présenter quelques résultats de la moyenne des débits en fonction de V_e pour $N = 10$ et $N = 20$ avec le trafic VoIP.

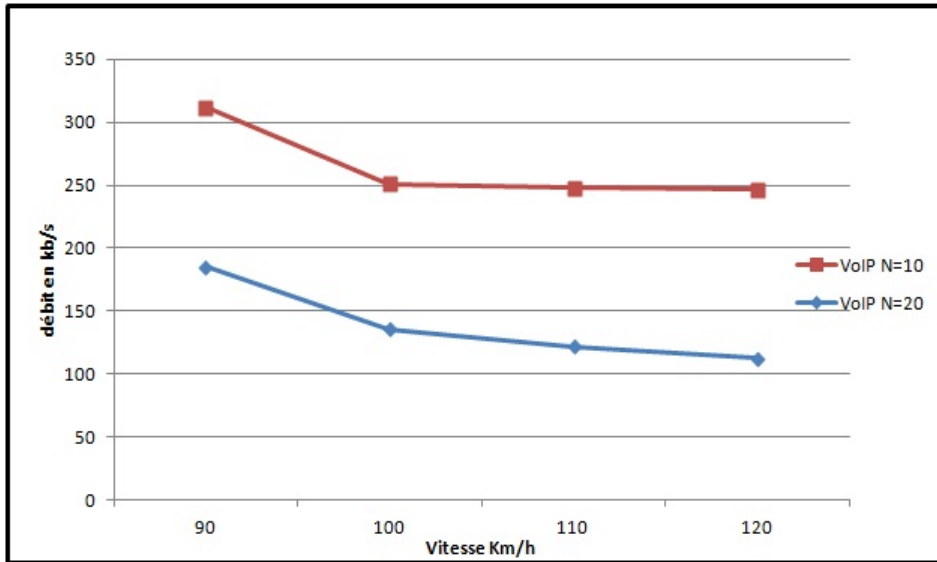


Figure 3.7 – Débits moyens / VoIP

Dans cette figure 3.7 le débit diminuer logiquement avec l'augmentation de la vitesse de mouvement en raison de l'augmentation du nombre de handover que les BS subits dans un court intervalle de temps ainsi que le taux de perte élevé causé par la haute vitesse.

CONCLUSION

D'après les résultats obtenus en simulant le mécanisme de hard handover on peut dire que l'augmentation du nombre de stations mobiles ainsi que la vitesse élevé diminue la qualité de service.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

WiMAX est l'une de ces nouvelles technologies. Elle est fondée sur le standard IEEE 802.16, et porte beaucoup de promesses pour l'avenir.

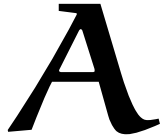
Cette technologie, dans sa version mobile, ou encore le IEEE 802.16e, permet d'assurer la mobilité des utilisateurs. Pour maintenir la connexion au cours de leurs déplacements, le processus de Handover joue un rôle très important.

Au 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 communication 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.

Après avoir étudié le mécanisme de hard Handover, on a constaté une dégradation de QoS avec l'augmentation de la vitesse ou l'augmentation du nombre de noeuds. Malgré cette dégradation, la perte n'est pas très considérable et le débit reste acceptable.

Comme perspective de ce travail on peut étudier l'autre mécanisme de Handover, qui est le soft Handover.

ANNEXE : SCRIPT DE SIMULATION



SOMMAIRE

A.1 LE SCRIPT TCL (RÉSEAU WiMAX)	48
--	----

A.1 LE SCRIPT TCL (RÉSEAU WiMAX)

```

#=====
#                               initialisation des variables globales                               #
#=====

set default_modulation      OFDM_16QAM_3_4 ;#OFDM_BPSK_1_2

#define debug values

Mac/802_16 set debug_ 1
Mac/802_16 set t21_timeout_ 20

Mac/802_16 set lgd_factor_ 1.8 ;#note: the higher the value the earlier the
trigger
Mac/802_16 set client_timeout_ 60 ;#to avoid BS disconnecting the SS
Agent/WimaxCtrl set adv_interval_ 1.0
Agent/WimaxCtrl set default_association_level_ 0
Agent/WimaxCtrl set synch_frame_delay_ 0.5
Agent/WimaxCtrl set debug_ 1
# =====
#                               Definition des options                               #
# =====
set val(chan)      Channel/WirelessChannel ;# type de canal
set val(prop)      Propagation/TwoRayGround ;# model de propagation
set val(netif)     Phy/WirelessPhy/OFDM ;# type d'interface reseau
set val(mac)       Mac/802_16 ;# type d'interface mac
set val(ifq)       Queue/DropTail/PriQueue ;# type de la file d'attente
set val(ll)        LL ;# link layer type
set val(ant)       Antenna/OmniAntenna ;# model d'antenne
set val(x)          100000 ;# X dimension du topology
set val(y)          50000 ;# Y dimension du topology
set val(ifqlen)    50 ;# Nbre max des Packets ->
file
set val(seed)      0.0 ;# grain random
set val(adhocRouting) NOAH ;# protocole de routage
set val(stop)      2400 ;# temps de simulation(duree)
#=====
#                               Definition des paramètres des antennes                               #
#=====

Antenna/OmniAntenna set X_ 0
Antenna/OmniAntenna set Y_ 0
Antenna/OmniAntenna set Z_ 1.5 ;# hauteur d'antenne
Antenna/OmniAntenna set Gt_ 1 ;# gain d'antenne
Antenna/OmniAntenna set Gr_ 1

#=====
#                               define zone de couverture de station de base                               #
#=====

Phy/WirelessPhy set Pt_ 15
Phy/WirelessPhy set RXThresh_ 7.59375e-15 ;#10000m radius
Phy/WirelessPhy set CStresh_ 2.13841e-16 ;

#=====
#                               Definition des valeur de debug                               #
#=====

Agent/MIH set debug_ 1
Agent/MIHUser/IFMNGMT/MIPV6/Handover/Handover1 set debug_ 1

```

A. Annexe : Script de simulation

```

Agent/MIHUser/IFMNGMT/MIPV6/Handover/Handover1 set case_ 3
Agent/MIHUser/IFMNGMT/MIPV6 set debug_ 1

# =====
#                               Creation d'instance de simulateur et topologie                               #
# =====
set ns_ [new Simulator]                ;# nouvelle simulation
$ns_ use-newtrace                       ;# nouveau fichier trace
set topo [new Topography]              ;# Nouvelle Topologie
# =====
#                               Creation des fichiers trace pour NS et NAM                               #
# =====
set tracefd [open wimax.reh w]
set namtrace [open wimax.nam w]
set topo [new Topography]              # création de la topographie
set mesure [open $bw w]
$ns_ trace-all $tracefd
$ns_ namtrace-all-wireless $namtrace $val(x) $val(y)

# =====
#                               Mis en place dans la hi archie de routage (nécessaire #
#                               pour l'acheminement sur une station de base)                               #
# =====
$ns node-config -addressType hierarchical
AddrParams set domain_num_ 5           ;# Nombre de domaine
lappend cluster_num 1 1 1 1 1         ;# Nombre cluster pour
                                         #chaque domaine
AddrParams set cluster_num_ $cluster_num
lappend eilastlevel 2 25 25 25 25     ;# Nombre de noeuds pour
chaque
                                         #cluster (1 pour l'
                                         #activation et
                                         #les autres pour les noeuds
                                         # mobiles + station de base
                                         )
AddrParams set nodes_num_ $eilastlevel
# =====
#                               Procedure de Terminaison de la simulation                               #
# =====
proc finish {} {
    global ns tracefd tracefd val namtrace
    $ns flush-trace
    close $namtrace
    close $tracefd
    exec wimax.nam &
    exit 0
}
# =====
#                               Creation d'un "sink node" et un routeur.                               #
# =====

set sinkNode [$ns node 0.0.0]
$sinkNode set X_ 47500.0                # fournir des coord (fixe)   la
$sinkNode set Y_ 27000.0                # station de base n ud
$sinkNode set Z_ 0.0

set router [$ns node 0.0.1]
$router set X_ 47500.0
$router set Y_ 27000.0
$router set Z_ 0.0
set channel [new $opt(chan)]           #creation de channel

```

A. Annexe : Script de simulation

```
# =====
# =====
#                               Le programme Principale                               #
# =====
#                               Definition de la topologie                               #
# =====
$topo load_flatgrid $val(x) $val(y)
# =====
#                               Creation du God ( voisinage )                               #
# =====
create-god [expr (nbr + 4)] # nbr + 2 (station de base et
                           #le noeud Ã©vier)
# =====
#                               Configuration des points d'accÃ©es (stations de bases)       #
# =====
$ns node-config -adhocRouting $opt(adhocRouting) \
                -llType $opt(ll) \
                -macType $opt(mac) \
                -ifqType $opt(ifq) \
                -ifqLen $opt(ifqlen) \
                -antType $opt(ant) \
                -propType $opt(prop) \
                -phyType $opt(netif) \
                -channel [new $opt(chan)] \
                -topoInstance $topo \
                -wiredRouting ON \
                -agentTrace ON \
                -routerTrace ON \
                -macTrace ON \
                -movementTrace OFF
# =====
#                               Creation des points d'accÃ©es (station de base)             #
# =====
Mac/802_16 set debug_ 1
set bstation [$ns node 1.0.0]
$bstation random-motion 0
$bstation set X_ 20000.0
$bstation set Y_ 25000.0
$bstation set Z_ 0.0
set clas [new SDUClassifier/Dest]

[$bstation set mac_(0)] add-classifier

set bs_sched [new WimaxScheduler/BS]

$bs_sched set-default-modulation $default_modulation
$bs_sched set-contention-size 5
[$bstation set mac_(0)] set-scheduler $bs_sched
[$bstation set mac_(0)] set-channel 0
set wimaxctrl [new Agent/WimaxCtrl]
wimaxctrl set-mac [$bstation set mac_(0)]
$ns attach-agent $bstation $wimaxctrl
# .. #
# .. #
# .. #
# .. #
```

A. Annexe : Script de simulation

```

#
#
#
# =====
#                               Ajouter des informations voisin du BS           #
# =====
$wimaxctrl add-neighbor [$bstation1 set mac_(o)] $bstation1
$wimaxctrl1 add-neighbor [$bstation set mac_(o)] $bstation

$wimaxctrl1 add-neighbor [$bstation2 set mac_(o)] $bstation2
$wimaxctrl2 add-neighbor [$bstation1 set mac_(o)] $bstation1

$wimaxctrl2 add-neighbor [$bstation3 set mac_(o)] $bstation3
$wimaxctrl3 add-neighbor [$bstation2 set mac_(o)] $bstation2

# =====
#                               Création des noeuds mobiles                       #
# =====
$ns node-config -wiredRouting OFF \
                -macTrace ON

# =====
#   Création d'un noeud dans chaque cellule pour l'initialiser           #
# =====
Mac/802_16 set debug_ 1
set m_node_(o) [$ns node 1.0.1]           ;# creation des noeuds avec ses
        adresse.
$m_node_(o) random-motion 0                ;# désactiver mouvement aléatoire
$m_node_(o) base-station [AddrParams addr2id [$bstation node-addr]] ;#
        attacher la station
$m_node_(o) set X_ [expr 1000.0]           # mobile avec la BS
$m_node_(o) set Y_ 1000.0
$m_node_(o) set Z_ 0.0
set clas [new SDUClassifier/Dest]
[$m_node_(o) set mac_(o)] add-classifier $clas
set ss_sched [new WimaxScheduler/SS]
[$m_node_(o) set mac_(o)] set-scheduler $ss_sched
[$m_node_(o) set mac_(o)] set-channel 0
set nd_mn [$m_node_(o) install-nd]
#
#
#
#
#
#
#
#
# =====
#                               Creation des noeuds avec leurs adresses         #
# =====
Mac/802_16 set debug_ 1
set wl_node_(1) [$ns node 1.0.3] ;
$wl_node_(1) random-motion 0 ;
$wl_node_(1) base-station [AddrParams addr2id [$bstation node-addr]] ;

$wl_node_(1) set X_ 12000.0
$wl_node_(1) set Y_ 23000.0
$wl_node_(1) set Z_ 0.0

#////////////////////////////////////

```

A. Annexe : Script de simulation

```

set wclas [new SDUClassifier/Dest]
[$wl_node_1] set mac_(0) add-classifier $wclas
#Creation d'un ordonnanceur pour les MSS
set w_sched [new WimaxScheduler/SS]
[$wl_node_1] set mac_(0) set-scheduler $w_sched
[$wl_node_1] set mac_(0) set-channel 0

set nd_mn [$wl_node_1] install-nd]
# installation de "interface manager" dans la MS et CN
set handover [new Agent/MIHUser/IFMNGMT/MIPV6/Handover/Handover1]
$wl_node_1 install-ifmanager $handover
$nd_mn set-ifmanager $handover
$handover nd_mac $nd_mn [$wl_node_1] set mac_(0) ;

# Installation de MIH dans la station mobile
set mih [$wl_node_1] install-mih]

$handover connect-mih $mih ;#creation de connection entre MIH et "iface
management"

set tmp2 [$wl_node_1] set mac_(0)]
$tmp2 mih $mih
$mih add-mac $tmp2
#////////////////////////////////////

# ..
# #
# ..
# #
# ..
# #
# ..
# #
# ..
# #

# =====
# Creation des agents #
# =====
for {set i 1} {$i <= nbr} {incr i} {
set null_($i) [new Agent/Null]
$ns attach-agent $sinkNode $null_($i)
set udp_($i) [new Agent/UDP]
$ns attach-agent $wl_node_($i) $udp_($i)
$ns connect $udp_($i) $null_($i)
set cbr_($i) [new Application/Traffic/CBR]
$cbr_($i) set interval_ 0.01
$cbr_($i) attach-agent $udp_($i)
}
for {set i 1} {$i <= 5} {incr i} {

$udp_($i) set packetSize_ 160 #VoIP
$cbr_($i) set packetSize_ 160

}
for {set i 6} {$i <= 10} {incr i} {

$udp_($i) set packetSize_ 4960 #vidéo
$cbr_($i) set packetSize_ 4960

}
}

```

A. Annexe : Script de simulation

```
# =====
#                               Installez MIH dans BS                               #
# =====
set mih [$bstation install-mih]
set tmp_bs [$bstation set mac_(0)]
$tmp_bs mih $mih
$mih add-mac $tmp_bs

set mih [$bstation1 install-mih]
set tmp_bs [$bstation1 set mac_(0)]
$tmp_bs mih $mih
$mih add-mac $tmp_bs

set mih [$bstation2 install-mih]
set tmp_bs [$bstation2 set mac_(0)]
$tmp_bs mih $mih
$mih add-mac $tmp_bs

set mih [$bstation3 install-mih]
set tmp_bs [$bstation3 set mac_(0)]
$tmp_bs mih $mih
$mih add-mac $tmp_bs

#=====
#                               Creation d'un lien entre "sink node" et "router"                               #
#=====

$ns duplex-link $sinkNode_ $router 100Mb 1ms DropTail

# =====
#                               Creation d'un lien entre "router" et les stations de bases                               #
# =====

$ns duplex-link $router $bstation 100Mb 18ms DropTail
$ns duplex-link $router $bstation1 100Mb 3ms DropTail
$ns duplex-link $router $bstation2 100Mb 3ms DropTail
$ns duplex-link $router $bstation3 100Mb 3ms DropTail

# =====
#                               L'execution des scenarios de la simulation                               #
# =====
$ns at 0.0 "$wl_node_(1) setdest 75000.0 23000.0 25.0"
$ns at 0.0 "$wl_node_(2) setdest 75000.0 23001.0 25.0"
$ns at 0.0 "$wl_node_(3) setdest 75000.0 23002.0 27.77"
$ns at 0.0 "$wl_node_(4) setdest 10000.0 27000.0 25.0"
$ns at 0.0 "$wl_node_(5) setdest 10000.0 27001.0 33.33"
$ns at 0.0 "$wl_node_(6) setdest 10000.0 27002.0 27.77"
$ns at 0.0 "$wl_node_(7) setdest 10000.0 27003.0 25.0"
$ns at 0.0 "$wl_node_(8) setdest 10000.0 27003.0 25.0"
$ns at 0.0 "$wl_node_(9) setdest 75000.0 23001.0 25.0"
$ns at 0.0 "$wl_node_(10) setdest 75000.0 23002.0 27.0"
#
#
#
#
#
#
#
#
#
#
```

A. Annexe : Script de simulation

```
for {set i 1} {$i <= nbr} {incr i} {
  $ns at $traffic_start "$cbr_($i) start"
  $ns at $traffic_stop "$cbr_($i) stop"
}
# =====
#                               Finalisation de la simulation et debut du RUN                               #
# =====
$ns_ at [expr $val(stop) + 0.01] "finish";# Finir la Simulation apres(STOP)
puts "debut de la simulation ..."      ;# Ecrire "debut de la simulation.."
$ns_ run                                  ;# Debut du NAM
```

le Script TCL (Réseau WiMAX)