



UNIVERSITE ELHADJ LAKHDER - BATNA
FACULTE DES SCIENCES DE L'INGENIEUR
DEPARTEMENT D'INFORMATIQUE



Mémoire

présenté en vue de l'obtention du diplôme

Magister en Informatique

Option: Ingénierie des systèmes informatiques (ISI)

Présenté et soutenu publiquement par :

Azeddine DJENNANE

Titre :

**La gestion de la mobilité dans les réseaux WiMAX
802.16e**

JURY

Dr. BELATTAR Brahim	Président	Maître de conférences A, université de Batna.
Dr. ZIDANI Abdelmadjid	Examineur	Maître de conférences A, université de Batna
Dr. MAMRI Ramdane	Examineur	Maître de conférences A, université de Constantine.
Pr. BILAMI Azeddine	Rapporteur	Professeur, université de Batna.

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier Monsieur le professeur Azeddine Bilami, Professeur à l'Université de BATNA, mon directeur de thèse, pour son encadrement, ses nombreux conseils et son soutien, ainsi que la motivation et la confiance qu'il m'a prodiguées, pour bien mener cette thèse.

Je remercie également l'ensemble des membres du jury : le Docteur Belattar Brahim, Dr Zidani Abdelmadjid, Dr Mamri remdane, pour avoir consacré leur temps à examiner ce travail malgré leurs nombreuses responsabilités, je leur suis reconnaissant pour l'attention qu'ils ont portée à mon travail.

Je remercie très sincèrement Monsieur Mohamed FEHAM, professeur à l'université de TLEMCEM, pour ses conseils.

Mes remerciements vont aussi à mon ami Hicham BOUGHERARA, pour son aide.

Finalement, je dois remercier ma famille. Merci pour ILHAM pour ces encouragements et sa patience, pendant ces dernières années plus difficiles dans ma vie.

Table des matières

Introduction générale.....	1
CHAPITRE I LES RESEAUX WIMAX	
I.1. Introduction	4
I.2. Tour d’horizon sur les réseaux sans fil	5
I.2.1. Réseau Personnel sans fil – WPAN (Wireless Personal Area Network).....	6
I.2.2. Réseau Local sans fil – WLAN (Wireless Local Area Network)	7
I.2.3. Réseau Métropolitain sans fil – WMAN (Wireless Metropolitan Area Network).....	7
I.2.4. Réseau Régional sans fil – WRAN (Wireless Regional Area Network)	8
I.2.5. Les réseaux mobiles et sans fil	9
I.3. Réseau WIMAX	10
I.3.1. Standard de l’interface air IEEE 802.16	10
I.3.2. Pile protocolaire	11
I.3.2.1. La couche physique	12
I.3.2.2. La couche MAC IEEE 802.16e	12
I.3.2.3. Fonctionnalités	12
I.3.3. Qualité de service	14
I.3.3.1. Paramètres de QoS	15
I.3.3.2. QoS dans Le WiMAX.....	17
I.3.3.2.a. Connexion	17
I.3.3.2.b. Flux de service	18
I.3.3.2.c. Classes de services	18
I.3.4. WiMAX mobile	19
I.3.4.1. Architecture du WiMAX mobile	19
I.3.4.2. Mobilité dans l’IEEE 802.16e	22
I.3.4.3. Comparaison entre WiMAX, LTE et UMB	22
I.3.4.4. Comparaison entre 802.16e et 802.11e	23
I.4. Conclusion	24
CHAPITRE II GESTION DE LA MOBILITE DANS LE WIMAX MOBILE	
II.1. Introduction	27
II.2. Généralités sur la gestion de la mobilité	27
II.2.1. Le handover	28
II.2.2. Nécessité d’un handover	28
II.2.3. Les étapes du handover	29
II.2.4. Classification de handover	30
II.2.4.1. Selon le mode d’attachement	30
II.2.4.2. Selon le type de la technologie sans fil	30
II.2.4.3. Selon la portée de la mobilité	31
II.2.4.4. Selon les couches du modèle OSI	31
II.2.4.5. Selon le niveau de contrôle du handover	31
II.3. La gestion de la mobilité dans WiMAX mobile	32
II.3.1. Les protocoles de Micro-Mobilité dans WiMAX.....	32
II.3.1.1. Hard handover IEEE 802.16e	33
II.3.1.1.a. Sélection des cellules	34

II.3.1.1.b. Initiation et décision du handover	36
II.3.1.1.c. Entrée dans le réseau	36
II.3.1.1.d. Coordination de transmission	36
II.3.1.2. Soft handover IEEE 802.16e	36
II.3.1.2.a. MDHO (soft handover)	36
II.3.1.2.b. FBSS (commutation rapide de station de base).....	37
II.3.2. Les protocoles de Macro-Mobilité dans WiMAX	38
II.3.2.1. Mobile IPv4.....	39
II.3.2.2 Mobile IPv6	40
II.3. Conclusion	44

CHAPITRE III OPTIMISATION DU HANDOVER

III.1. Introduction.....	46
III.2. Limitations de handover dans le standard WiMAX mobile.....	46
III.2.1. Latence de handover au niveau 2	46
III.2.2. Latence de handover au niveau 3.....	49
III.3. Optimisation du handover dans WiMAX mobile	50
III.3.1. Les travaux dans la couche 2.....	51
III.3.1.1. Single neighbour BS scanning scheme	51
III.3.1.2. Hybrid Predictive Base Station (HPBS) Selection	52
III.3.1.3. Fast Group Scanning Scheme	52
III.3.1.4. Cost-Effective Target BS Selection Scheme	52
III.3.1.5. Fast Handover Scheme Based on Mobile Locations	52
III.3.1.6. Adaptive channel scanning	53
III.3.2. Les travaux dans la couche 3.....	54
III.3.2.1. Amélioration de MIPv6.....	55
III.3.2.1.a. Optimistic DAD	55
III.3.2.1.b. Advanced DAD	55
III.3.2.2. Micro /Macro mobilité.....	56
III.3.2.2.a. Hierarchical MIPv6 (HMIPv6)	56
III.3.2.3. Les optimisations Cross Layer	58
III.3.2.3.a. Fast handover for MIPv6 (FMIPv6).....	59
III.3.3. Discussion	62
III.4. Conclusion	64

CHAPITRE IV APPROCHE DE MOBILITE PROPOSEE

IV.1. Introduction.....	66
IV.2. Les insuffisances de FMIPv6	66
IV.3. Schéma proposée : Le protocole OFMIPv6	68
IV.3.1. La description du protocole	68
IV.3.1.1. La phase de la pré-négociation	71
IV.3.1.2. Optimisation de handover de niveau 2.....	74
IV.3.1.2.a. Réduction du temps de scanning	75
IV.3.1.3. Optimisation de handover de niveau 3.....	76
IV.3.1.3.a Suppression de processus de détection du mouvement	76
IV.3.1.3.b Optimisation de DAD:VDAD	76
IV.4. Evaluation des performances	78

IV.4.1.Modèle analytique	79
IV.4.2.Résultats de calcul numérique	81
IV.5. Conclusion	82
Conclusion et perspectives	83
Bibliographie	84

Liste des figures

Figure 1.1 : Catégories de Réseaux sans fil	6
Figure 1.2 : Les Réseaux mobiles et sans fil	9
Figure 1.3 : Standard IEEE 802.16.....	11
Figure 1.4 : Architecture de la pile protocolaire 802.16e	11
Figure 1.5 : Architecture du WiMAX mobile	21
Figure 2.1 : Intra-ASN Handover (Micro Mobilité).....	32
Figure 2.2 : Fonctionnement du Hard Handover.....	33
Figure 2.3 : Fonctionnement du MDHO	37
Figure 2.4 : Fonctionnement du FBSS	38
Figure 2.5 : Inter-ASN Handover (Macro-Mobilité).....	38
Figure 2.6 : Fonctionnement de MIPv4.....	40
Figure 2.7 : Fonctionnement de MIPv6.....	41
Figure 3.1 : La procédure de scanning dans IEEE 802.16e	47
Figure 3.2 : Le protocole HMIPv6	57
Figure 3.3 : Types de communication cross layer	58
Figure 3.4: Protocole FMIPv6 sous WIMAX mobile en mode prédictive (IETF RFC 5270)	60
Figure 4.1 : Le protocole OFMIPv6.....	70
Figure 4.2 : Décomposition de cellules en zones de Handover.....	72
Figure 4.3 : Le modèle du réseau	78
Figure 4.4 : Le délai total de handover (mode prédictive)	82

Liste des tableaux

Table 1.1 : Classement de QoS au niveau de délai d'acheminement	16
Table 1.2: Applications multimédias et paramètres de QoS correspondants	17
Table 1.3 : Classes de QoS IEEE 802.16e	18
Table 1.4 : Comparaison entre 802.16e, 802.16m, LTE et UMB	23
Table 1.5 : Comparaison entre 802.16e, 802.11e	24
Table 3.1 : Les besoins en QoS selon le type de trafic	53
Table 4.1 : Paramètres d'évaluation de handover	81

Introduction générale

Les réseaux sans fil (WPAN, WLAN, WMAN) ont connu dans ces dernières années une croissance significative avec une orientation vers le multimédia, cette croissance pose des nouvelles problématiques notamment la prise en charge de la mobilité avec une QoS souhaitée pour ce type d'application. Offrir un bon support de la mobilité est la seule condition de succès de ces réseaux face aux réseaux cellulaires (GSM, UMTS), qui offrent un support mature (*Mobility in Mind*) de la mobilité dès son conception.

Le WiMAX est une technologie récente porteuse de beaucoup de promesses pour le déploiement de contenu multimédia, né par un couplage entre les avantages des réseaux WLAN : débit ; et les réseaux 3G : couverture large. Souvent il souffre des problèmes liés à la gestion de la mobilité. Dans un réseau WiMAX mobile, le déplacement d'un utilisateur implique parfois un changement de station de base service (SBS) du réseau, on désigne généralement ce fait comme étant un handover de niveau 2 si les deux stations de base se situent dans des réseaux différents, le changement de BS implique aussi le changement du réseau pour cet utilisateur, on dénomme généralement cette situation par un handover de niveau 3, du fait que cet utilisateur devrait changer son réseau d'attachement et son adresse IP pour maintenir la connexion à Internet.

La procédure du handover de niveau 2 dans les réseaux WiMAX est gérée par la norme IEEE 802.16e, et celle de niveau 3 est gérée par le protocole IP Mobile [3]. Aucune décision pour l'architecture IP d'un réseau WiMAX est prise en compte pour le moment, le groupe IEEE 802.16 a défini que la couche MAC et a laissé au NWG de WiMAX Forum la tâche de standardisation de la couche IP. Cette situation rend les travaux qui visent à intégrer les différents protocoles de la mobilité IP à la couche MAC 802.16e, un domaine de recherche très active et encore ouvert.

Nous concentrons dans un premier temps dans notre mémoire, sur la mobilité de niveau 2. L'analyse nous a permis de conclure que le processus de scanning qui a pour objectif de trouver un nouveau point d'attachement (PA), est l'étape qui doit être concernée par toute optimisation intéressante dans la procédure de Handover. Dans la deuxième partie, nous focalisons sur les problématiques liées à la mobilité IP, notamment le choix du protocole de mobilité convenable

parmi les différentes propositions existées (HMIPv6, FMIPv6, PMIPv6). Nous décidons de travailler sur le nouveau protocole de mobilité FMIPv6 à base d'architecture *Cross Layer*, à cause de l'incapacité des approches traditionnelles, basés sur le modèle OSI à offrir un bon support pour les services multimédias et temps réel qui constituons l'objectif de l'internet de la nouvelle génération. Nous améliorons le protocole FMIPv6 pour qu'il soit bien intégré dans la procédure de handover de la couche MAC IEEE 802.16e, dont le but est de minimiser le délai et la signalisation lors du handover, et fournir un meilleur couplage entre les procédures de handover des couches MAC et IP. Ce dernier point a été négligé lors de la conception de ce nouveau protocole, qui a fournit un cadre générale de mobilité indépendant de toute technologie MAC sous-jacente.

Pour cela notre mémoire est structuré autour de quatre chapitres, organisés comme suit :

- *Le premier chapitre* concerne les généralités sur les réseaux sans fil, et particulièrement notre axe de recherche, le WiMAX mobile.
- *Le deuxième chapitre* présente la problématique qui nous intéresse dans WiMAX mobile, notamment la gestion de la mobilité avec QoS.
- *Dans le troisième chapitre* nous présentons un état de l'art sur les travaux d'optimisation de handover dans les niveaux 2 et 3 du réseau WiMAX mobile, une discussion est faite afin de comprendre le contexte et les limites de ces travaux. Notre concluons après l'analyse que le protocole FMIPv6 est le meilleurs choix pour le support de l'internet haut débit mobile.
- *Dans le quatrième chapitre* on est arrivé à ce stade, à dégagé les problématiques qui entravent le protocole FMIPv6 a supporté l'internet mobile avec QoS, notamment l'effet de la grande vitesse du mobile sur l'exécution rapide de handover, cela est dû au couplage faible des procédures de handover des couches MAC et IP. On a proposé une optimisation globale, utilisant l'information de la localisation du mobile afin de préparer à l'avance certaines étapes de handover, et réagir aux scénarios de mobilité à grande vitesse; nous évaluons à l'aide d'un modèle analytique notre proposition.

A la fin, nous soulignons les lignes sur les chemins de recherches qui nécessitent encore plus d'exploration dans WiMAX mobile, et qui feront l'objectif de nos futures recherches.

CHAPITRE I

LES RÉSEAUX WIMAX

I.1. Introduction

Un réseau sans fil est un type de réseau qui permet des communications via les ondes radioélectriques et se substitue aux habituels câbles. A cette fin, des bornes sont installées pour délimiter une zone de couverture. Les utilisateurs peuvent en profiter à condition de disposer d'un adaptateur pour émettre et recevoir des données sur ce réseau. Cet adaptateur peut prendre la forme d'un boîtier, d'une carte PCI ou encore, pour les ordinateurs portables, d'une carte au format PCMCIA. Comme les réseaux sans fil permettent à des utilisateurs de communiquer sans mettre en place d'infrastructures lourdes, telles que des réseaux filaires, ils répondent bien à la demande des utilisateurs qui veulent se connecter facilement à Internet à n'importe quel endroit.

Ces dernières années, grâce aux avancées de l'électronique, du traitement du signal, et de coût d'utilisation plus abordable, les réseaux sans fil se développent très rapidement et représentent un marché énorme. Les réseaux sans fil sont plus faciles à implanter dans des bâtiments, où il est impossible d'installer des câbles convenablement ; tel que les vieux bâtiments, les sites classés (exemple : châteaux et monuments historiques), lors des manifestations temporaires (congrès, foires, salons, expositions, et autre manifestation sportives). On peut aussi avoir recours à ce type de réseau lorsqu'on veut interconnecter des bâtiments à moindre coût (i.e., sans location d'une liaison spéciale chez un opérateur). On peut imaginer une application industrielle, où les nœuds seront en fait des robots mobiles qui pourront se déplacer librement dans l'usine. Ou bien encore, dans des environnements hostiles à l'homme tels que des cratères de volcans pour surveiller leur activités ou bien le long d'une faille géologique. Dans les campus universitaires, l'utilisation des réseaux sans fil peut être très utile pour les étudiants qui pourront se connecter sur leurs comptes et travailler à partir de la bibliothèque ou leurs chambres.

Les transmissions radios dans les réseaux sans fil sont toutefois soumises à de nombreuses contraintes, liées à la nature de la propagation des ondes radios et aux méthodes de transmissions, rendant ce type de transmission non suffisante. Le signal transmis est sujet à nombreux phénomènes dont la plupart ont un effet de dégradation sur la qualité du signal. Cette dégradation se traduit en pratique par des erreurs dans les messages reçus qui entraînent des pertes d'informations pour l'utilisateur ou le système.

Le WIMAX est le premier réseau de la famille IEEE qui a des caractéristiques intéressantes (couverture large, prise en compte de la QoS, mobilité, débit, etc.), permettent le qualifié comme un support convenable pour les applications temps réel et multimédias.

Dans ce chapitre introductif, nous commencerons dans un premier lieu par décrire les différentes technologies de réseaux sans fil, nous introduisons également le concept de la mobilité qui est le sujet de notre mémoire. Dans la deuxième partie, on présentera en détaille le réseau WIMAX, plus spécifiquement le : standard, pile protocolaire, QoS, et le Handover. On terminera par une comparaison entre WIMAX et les technologies mobiles concurrentes.

I.2. Tour d'horizon sur les réseaux sans fil

Plusieurs technologies de réseaux sans fil existent, les caractéristiques principales des différentes technologies sont la fréquence d'émission utilisée, la modulation, la puissance et la sensibilité du signal radio, le débit et la portée du réseau. Pour l'instant, les principales technologies des réseaux sans fil sont : IEEE 802.15.1/Bluetooth, IEEE 802.15.3/UWB, IEEE 802.11/Wi-Fi, et IEEE 802.16/WiMax. Puisque les différents organismes de normalisation et les différents constructeurs tentent chacun d'imposer leur technique, ces différentes technologies ne sont pas compatibles entre elles. Leurs débits de transmission vont de 1Mbit/s (Bluetooth) à 480 Mbit/s (UWB).

Il est possible de classer les réseaux sans fil de plusieurs manières, selon que nous nous intéressons à un critère ou à un autre (portée, débit, architecture, services...). Nous faisons une classification des normes IEEE souvent appelée les réseaux informatiques sans fil, selon la portée comme elle est décrite dans la figure suivante, une deuxième classification sera présenter dans la section I.2.5, qui permet de distinguer entre les réseaux mobiles et sans fil :

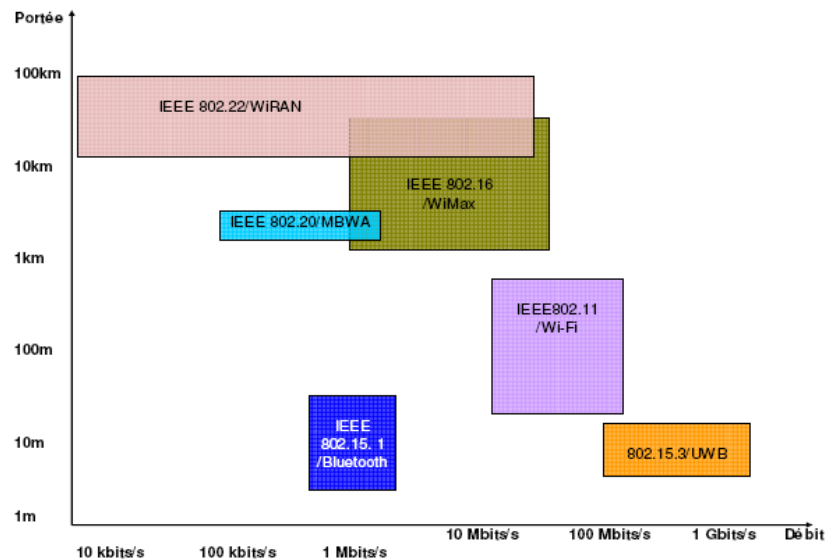


Figure 1.1: Catégories de Réseaux sans fil

I.2.1. Réseau Personnel sans fil – WPAN (Wireless Personal Area Network)

Ce sont des réseaux avec d'une portée d'une dizaine de mètres, ce type de réseau sert généralement à relier des périphériques (imprimante, téléphone portable, appareils domestiques,...) appartenant à un même utilisateur et distants de quelques mètres. Ils existent plusieurs technologies utilisées pour les WPAN :

- La principale technologie WPAN est la technologie Bluetooth, lancée par Ericsson en 1994, proposant un débit théorique de 1 Mbps pour une portée maximale d'une trentaine de mètres. Bluetooth connue aussi sous le nom IEEE 802.15.1, possède l'avantage d'être très peu gourmand en énergie, ce qui le rend particulièrement adapté à une utilisation au sein de petits périphériques. La version 1.2 réduit notamment les interférences avec les réseaux Wi-Fi.
- La technologie ZigBee (aussi connue sous le nom IEEE 802.15.4) permet d'obtenir des liaisons sans fil à très bas prix et avec une très faible consommation d'énergie, ce qui la rend particulièrement adaptée pour être directement intégré dans de petits appareils électroniques (appareils électroménagers, hifi, jouets, ...).
- L'UWB (Ultra-Wide Band) connue sous le nom IEEE 802.15.3, a pour objet de réaliser un environnement sans fil à très haut débit pour un réseau personnel. Il est utilisé en

particulier pour la mise en œuvre d'un port similaire à un USB sans fil en offrant des débits de 480Mbit/s.

Malgré les qualités de cette technologie, actuellement elle ne connaît pas un grand succès par rapport au WiMAX et LTE. Peut être parce qu'elle n'est pas soutenue par plusieurs industriels connus comme les autres, ou l'installation de ses équipement pose un problème ; mais dans tous les cas elle reste une technologie avancée qui propose une bonne QoS avec prise en charge de la mobilité des utilisateurs.

I.2.2. Réseau Local sans fil – WLAN (Wireless Local Area Network)

Ce sont des réseaux avec une portée d'une centaine de mètres. IL existe plusieurs technologies concurrentes, la principale norme est IEEE802.11/Wi-Fi.

- Le WiFi (ou IEEE 802.11), soutenu par l'alliance WECA (Wireless Ethernet Compatibility Alliance) offre des débits allant jusqu'à 54Mbps sur une distance de plusieurs centaines de mètres. Il connecte des ordinateurs portables, des équipements de bureau, des équipements personnels (PDA)... en créant un réseau sans fil couvrant un rayon de dizaines de mètres et tolérant une mobilité à très petite vitesse,

Le WIFI est un standard très à la mode actuellement, sa version 802.11e vient ajouter une certaine QoS pour les utilisateurs. Les inconvénients majeurs de cette technologie sont la courte portée, et le non prise en charge des utilisateurs mobiles. Une version plus évoluée du WIFI (IEEE 802.11s) est proposée récemment pour résoudre ces problèmes en proposant le mode MESH (Ad-Hoc), où les stations mobiles peuvent jouer eux-mêmes le rôle d'un point d'accès pour permettre plus de couverture aux utilisateurs. Elle prend en charge aussi une certaine mobilité des utilisateurs (faible ou moyenne vitesse).

I.2.3. Réseau Métropolitain sans fil – WMAN (Wireless Metropolitan Area Network)

Ce sont des réseaux avec une portée de 2 à 50 kilomètres, l'envergure d'une ville. Cette technologie est destinée principalement aux opérateurs de télécommunication. Les principales normes sont IEEE802.16/WiMax et IEEE 802.20/MBWA.

- IEEE 802.16/WiMax est avant tout une famille de normes, définissant les connexions à haut débit par voie hertziennes. WiMax est également un nom commercial pour ces normes, comme l'est Wi-Fi pour 802.11. Par rapport au modèle OSI 802.16 se focalise comme tous les standards IEEE sur les couches 1 et 2, et décrit des technologies hertziennes destinées principalement à des architectures point-multipoint : à partir d'une antenne centrale, plusieurs répéteurs propagent les signaux vers des terminaux pour leur donner un accès. Les réseaux basés sur la technologie IEEE 802.16 ont une portée de l'ordre de quelques dizaines de kilomètres.

Le but premier du WiMax était de permettre la création de réseaux métropolitains fixes à très hauts débit. La norme 802.16e, publiée le 24 Juin 2004, utilise une fréquence entre 2 et 6 GHz et offre un taux de transmission théorique pouvant atteindre 74 Mbit/s. Elle apporte aussi un certain niveau de mobilité au WiMax : Les utilisateurs peuvent se déplacer jusqu'à 60km/h en conservant un débit de 15 Mbit/s.

La norme IEEE802.16/WiMax sera détaillée dans le paragraphe I.4.

- IEEE 802.20/MBWA est un standard en cours de développement permettant plus de mobilité que le WiMax et plus de débit que l'UMTS. Cette technologie utilise des fréquences inférieures à 3,5 GHz avec une cellule d'un rayon de 2,5Km et peut offrir 1 Mbits/s par utilisateur. Des versions utilisant un canal plus large de 5 MHz pourraient permettre des débits de 4 Mbit/s en descente et 1,2 Mbit/s en montée pour chaque utilisateur. Le MBWA autorise des déplacements pouvant aller jusqu'à 250km/h avec un débit d'1Mbit/s.

I.2.4. Réseau Régional sans fil – WRAN (Wireless Regional Area Network)

Ce sont des réseaux sans fil à haut débit couvrant une large zone géographique. Les principales normes sont IEEE 802.22.

- IEEE 802.22/WRAN La norme IEEE 802.22 vise à créer des réseaux sans fil dont la zone de couverture est comprise entre 40 et 100 km, en utilisant la bande de fréquence VHF/UHF (Very High Frequency/Ultra High Frequency) entre 54 et 862 MHz (fréquence

de télévision). Pour éviter des interférences avec les canaux utilisés par la télévision, il utilise seulement les fréquences qui ne sont pas attribuées aux chaînes de télévision. 802.22 utilise un canal de 6, 7 ou 8 MHz et peut avoir un débit de 18Mbit/s pour un canal de 6MHz.

I.2.5. Les réseaux mobiles et sans fil

Les termes mobile et sans fil sont souvent utilisés pour décrire les systèmes existants, tels que le GSM, IS95, IEEE 802.11, Bluetooth, etc. Il est cependant important de distinguer les deux catégories de réseaux que recourent les concepts de mobile et de sans fil de façon à éviter toute confusion. Prenez l'exemple [1] du téléphone sans cordon de résidence. Ce téléphone donne accès au RTC (réseau téléphonique commuté), le réseau classique de téléphone, ou au RNIS (Réseau numérique à intégration de services). Le support de communication utilise l'interface radio pour qu'un abonné puisse appeler depuis son jardin ou sa cuisine, mais ce dernier doit toujours resté au voisinage de son réseau d'abonnement. En cas de mobilité dépassant ces limites, l'utilisateur est contraint de contacter un opérateur local pour souscrire un nouvel abonnement ce genre de systèmes offrent le sans fil sans la mobilité.

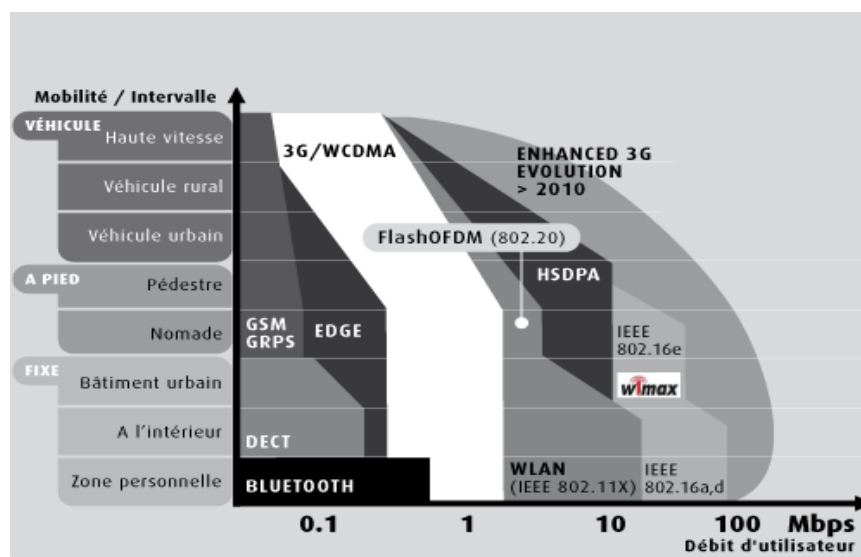


Figure 1.2: Les Réseaux mobiles et sans fil

Les standards sans fil permettent aux mobiles de communiquer entre eux dans un même réseau d'accès, mais ils ne sont pas prévus généralement pour permettre de passer d'un réseau d'accès à un autre comme les systèmes mobiles cellulaires. Ils sont donc plus adaptés à des réseaux locaux dans des lieux identifiés tels qu'une salle de conférence, un campus universitaire et des lieux de passage : aéroports, gares, etc. En fait, ce sont les motivations de la naissance du WiMAX, large portée et haut débit mobile, qu'on va l'expliquer en détail dans la section suivante.

I.3. Réseau WIMAX

Le réseau WiMAX désigne dans le langage courant un ensemble de standards et techniques du monde des réseaux métropolitains sans fil WMAN (Wireless Metropolitan Area Network).

Le standard IEEE 802.16, ou WiMAX permet le raccordement sans fil d'entreprises ou de particuliers sur de longues distances à haut débit. WiMAX apporte une réponse appropriée pour certaines zones rurales ou difficilement accessibles, qui sont aujourd'hui privées d'accès à l'Internet à haut débit pour des raisons de coût. Cette technologie vise donc à introduire une solution complémentaire au DSL (Digital Subscriber Line) et aux réseaux câblés d'une part, et à interconnecter des hotspots WiFi d'autre part. WiMAX est principalement fondé sur une topologie en étoile bien que la topologie maillée soit possible. La communication peut être réalisée en ligne de vue (LOS : Line Of Sight) ou non (NLOS).

I.3.1. Standard de l'interface air IEEE 802.16

Plusieurs standards IEEE 802.16 (Figure 1.3) ont été définis : IEEE 802.16 (2001) dédié aux systèmes LOS (10-66 GHz), IEEE 802.16c (2002) qui fonctionne sur la bande des fréquences 10-66 GHz et IEEE 802.16a pour les systèmes NLOS (2-11 GHz). Les deux derniers standards retenus sont IEEE 802.16 (2004) [2] pour les terminaux fixes – WiMAX fixe et IEEE 802.16e (2005) [3] pour les terminaux mobiles – WiMAX mobile.

La dernière mouture du standard qui nous intéresse ici est le standard IEEE 802.16 2005 qui couvre les terminaux mobiles et définit des mécanismes évolués de gestion des handovers. La version 802.16m, gardera la même architecture et la même pile protocolaire que le 802.16e est en cours de standardisation, permet de qualifier WiMAX comme une technologie candidate à la 4G.

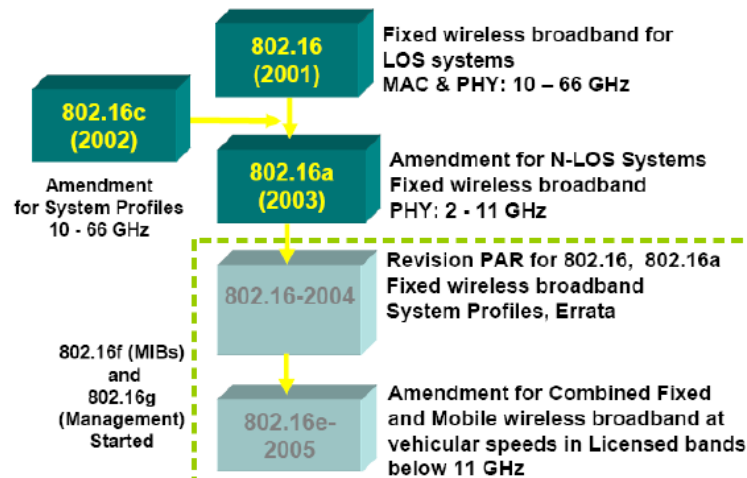


Figure 1.3: Standard IEEE 802.16

I.3.2. Pile protocolaire

La pile protocolaire du standard IEEE 802.16e est focalisée sur les couches PHY et MAC comme on peut le voir sur la Figure 1.4. Dans la structure de la pile protocolaire du WiMAX, il existe une couche physique et trois sous-couches MAC.

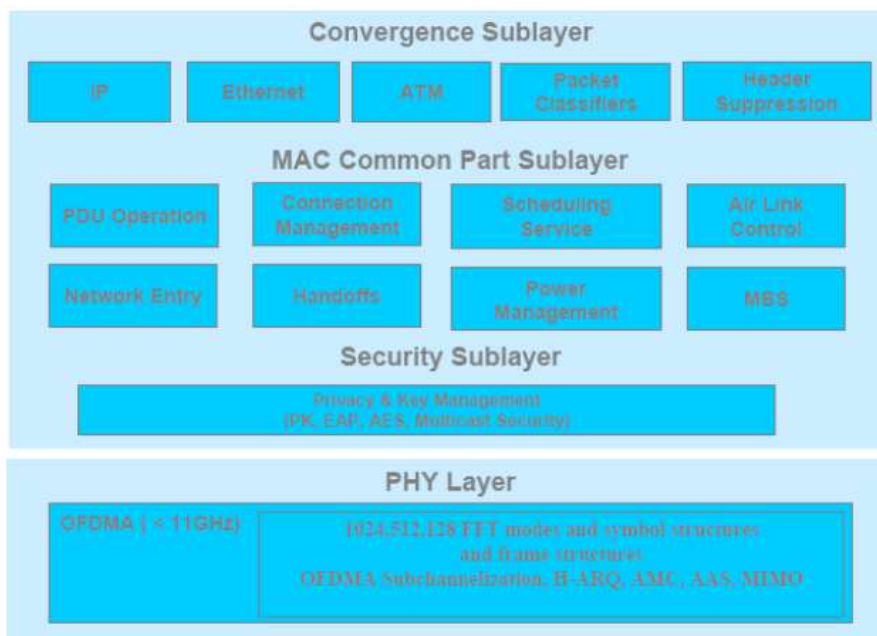


Figure 1.4: Architecture de la pile protocolaire 802.16e

I.3.2.1. La couche physique

- *Modulation* : 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.
- *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).

I.3.2.2. La couche MAC IEEE 802.16e

- **Service-Specific Convergence Sublayer (1^{ère} sous couche MAC)**

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.

- **Common Part Sublayer (2^{ème} sous couche MAC)**

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 de protection (3^{ème} sous couche MAC)**

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

I.3.2.3. Fonctionnalités

Nous pouvons classer les fonctionnalités assurées par les différentes couches du standard, selon les besoins suivants [4] :

- **Le passage à l'échelle** : la couche PHY permet le passage à l'échelle en utilisant de façon adaptative la bande passante de 1,25 à 20 MHz pour le standard WiMAX fixe. Le profil global du WiMAX mobile est proposé de 5 MHz à 10 MHz. Des mécanismes de réutilisation flexible de fréquence et de planification sont également proposés.
- **Le haut débit** : la trame MAC est de taille importante avec un faible *overhead*. Au niveau physique, WiMAX utilise des mécanismes FEC (*Forward Error Control*) avancés et une modulation adaptative. L'utilisation de technique H-ARQ (*Hybrid Automatic Repeat Request*) permet de réduire les pertes de paquets. H-ARQ est une technique permettant de combiner la technique FEC fondée sur l'utilisation de turbo-codes avec une stratégie de retransmission permettant l'échange d'informations entre l'émetteur et le récepteur. Les améliorations portent aussi sur l'adaptation de la technique MIMO (*Multiple Input Multiple Output*) et la mise en œuvre d'une formation adaptative de faisceaux.
- **La QoS** : plusieurs types de trafic sont pris en compte. La QoS est négociée au niveau du flux de service, à l'établissement de la connexion et un cadre général avancé de l'ordonnancement est défini. Une modulation et un codage sont mis en place ainsi que le choix de technique de reprise (ARQ, H-ARQ).
- **La mobilité** : elle comprend la définition de plusieurs mécanismes : *hard/soft handover*, *fast base station switching handover* (handover FBSS) et contrôle de puissance avec les modes «*sleep et idle*».
- **La sécurité** : Elle comprend plusieurs mécanismes évolués dont : authentification d'EAP (*Extensible Authentication Protocol*), chiffrement avec AES-CCM (*Advanced Encryption Standard CCM (Counter with CBC-MAC) mode*), mode d'authentification CMAC (*Cipher-MAC*), certificats X.509 (un standard de cryptographie de l'ITU-T pour les infrastructures à clés publiques (PKI)), clé de rattachement (*key binding*) et possibilités d'authentification du dispositif et de l'utilisateur.

Nous allons aborder en détail les points qui nous intéressent, notamment la mobilité (dans le chapitre II) et la QoS (dans la section suivante), car ils constituent l'objectif de notre mémoire : la mobilité avec QoS.

I.3.3. Qualité de service

Le développement d'Internet a suscité un engouement croissant à la fois pour de nouveaux modes de communication, tel que l'e-mail, la messagerie instantanée, et pour de nouvelles applications multimédias, telles que la diffusion vidéo ou audio sur Internet, la VoIP, la Vidéo conférence, les jeux interactives. La nature de ces nouvelles applications impose des exigences qualitatives spécifiques, par exemple, le faible délai, la large bande de passante et la fiabilité. Or, actuellement, Internet se base sur le modèle "Meilleur effort" (en anglais Best Effort). Le modèle "Meilleur effort" maximise l'utilisation de ressources de réseaux tout en simplifiant l'opération des équipements intermédiaires de réseaux. Avec ce modèle, tous les paquets sont traité indépendamment les uns des autres et sont servis identique avec la gestion dite "Premier entre premier servi" (en anglais First In, First Out – FIFO) dans les équipements intermédiaires de réseaux. Cette politique de gestion est simple à mettre en œuvre, mais lorsque la file d'attente est pleine, il conduit à la perte de tous les nouveaux paquets entrants, donc il pénalise toutes les sources indifféremment de leur responsabilité dans la congestion.

Pour répondre aux différentes demandes qualitatives des utilisateurs, la réalisation de QoS devient primordiale. Le terme QoS se réfère aux moyennes de régulariser instantanément les acheminements de paquets dans les réseaux. Selon les besoins des utilisateurs, les paquets peuvent transiter plus ou moins vite dans chaque section de réseau en fonction de la charge des liaisons ou des équipements de réseaux. En cas de saturation, certains paquets peuvent être perdus. Par conséquent, le concept de QoS consiste en comment gérer au mieux les paquets et par quel moyen.

Deux mécanismes aux finalités différentes sont mis en œuvre dans les équipements de réseaux pour gérer les paquets qui sont en attente de traitement: le mécanisme de gestion de file d'attente et le mécanisme d'ordonnancement. Le premier détermine comment éliminer certains paquets, en cas de congestion, au sein d'une même file d'attente d'un équipement de réseaux. Le deuxième a pour objectif de distribuer la ressource entre différentes files d'attente correspondant chacune à une classe de service différente. L'IETF a proposé ainsi deux modèles pour identifier les différents flux dans les réseaux: le modèle Intégration de services (en anglais Integrated Service - IntServ) [7] et le modèle Différentiation de services (en anglais Differentiated Service - DiffServ) [8].

Nous décrivons d'abord les paramètres de QoS qui caractérisent les demandes qualitatives des applications. Ensuite, nous présentons la QoS dans la norme IEEE 802.16e, qui fonctionne avec le modèle DiffServ.

I.3.3.1. Paramètres de QoS

Une séquence de paquets envoyés d'une source vers une destination est appelée un flux.

Les besoins qualitatives d'un flux peuvent être caractérisés par quatre paramètres : la bande passante/débits (en anglais Bandwidth), le délai d'acheminement (en anglais Delay), la variation du délai/Gigue (en anglais Jitter) et la perte de paquet (en anglais Packet loss).

- **Bande passante/Débits**

Il définit le volume maximal d'information (bits) que le réseau est capable d'accepter ou de délivrer par unité de temps. Le débit maximum dépend de la couche qu'on parle. Par exemple, le débit de la couche liaison de données représente la capacité de transport, mesurée en bits/s, dans laquelle les données n'incluent pas les bits nécessaires pour les entêtes des trames. Lorsqu'on se place à une couche supérieure à la couche réseau, on considère que la capacité du lien (en anglais throughput) correspond au volume effectif de données des applications transmis. La capacité utile du lien (en anglais good put) est égale au nombre total de bits issus de l'application et correctement transmis par unité de temps.

- **Délai d'acheminement**

Il caractérise l'intervalle du temps entre l'émission et la réception d'un paquet. Le délai comporte du délai de propagation, du délai de transmission, du délai d'attente dans la file d'attente, et du délai de traitement dans les équipements intermédiaires de réseaux. La contrainte de délai en termes de QoS est variable selon les applications de l'Internet.

Par exemple, l'ITU (International Telecommunication Union) précise les classes de QoS dans G.114 pour la transmission téléphoniques au niveau du délai est montrées dans le tableau 1.1 [9] :

Classe	Délai d'acheminement	commentaire
1	0 à 150ms	Satisfaisante
2	150 à 300 ms	Faible interactivité
3	300 à 700 ms	Devient half-duplex
4	Au delà de 700 ms	Inutilisable sans half-duplex

Tableau 1.1 : Classement de QoS au niveau de délai d'acheminement

- **Variation du délai/Gigue**

Il correspond à une variation du délai d'acheminement. Elle est due au fait que les paquets sont en effet susceptibles de traverser les différents chemins et les différents des équipements intermédiaires de réseaux entre une source et une destination. Par conséquent, le délai d'acheminement pour les paquets n'est surement pas le même. Ce phénomène mené au problème de synchronisation, tel que les paquets de la voix ou la vidéo doivent être arrivé dans son ordre. Pour compenser la variation du délai, le récepteur utilise souvent des mémoires tampons (en anglais buffers) pour synchroniser les paquets arrivés. Cependant, ce mécanisme de synchronisation rallonge le délai d'acheminement.

- **Perte de paquet**

Elle correspond soit à la non-réception d'un paquet, soit à la réception d'un paquet erroné pour la destination.

En conclusion les applications ont des exigences diverses en matière de ces quatre paramètres. Le tableau 1.2 synthétise les demandes de QoS pour les différents types des applications multimédias [10].

Type d'application	Détails	Qualité de service requise
Diffusion vidéo (Télévision Internet, Vidéo à la demande)	MPEG2, MPEG4	Débits : 64 Kbits/s à 2 Mbits/s Délai : 250 ms Gigue : compensables par la mémoire tampon
Diffusion audio (Radio Internet)	MP3, AAC, OggVorbis	Débits : de 32 Kbits/s à 256 Kbits/s Délai : 100 –150 ms Gigue : compensables par la mémoire tampon
VoIP	PCM-MIC, G.711	Débit : 6,4 Kbits/s à 64 Kbits/s Délai : 150 ms à 300 ms Gigue : 0 à 50 ms Pertes : < 0,1 %
Vidéo conférence	Architecture : H.323 Résolution vidéo (H.263) : de SUB-QCIF (128 × 96) à 16CIF (1 408 × 1 152)	Débit : 64 Kbits/s à 1 920 Kbits/s Délai : de l'ordre de 150 ms à 300 ms Gigue : 0 ms à 50 ms Pertes : < 0,1 %
Session Interactive	SSH, Telnet, VNC, T120	Débits variables Délai de l'ordre de 600 ms Pertes nulles

Tableau 1.2 : Applications multimédias et paramètres de QoS correspondants

I.3.3.2. QoS dans Le WiMAX

Le WiMAX a été conçu dès le début pour prendre en charge la Qualité de Service (QoS), cela est réalisé par le biais d'allocations à chaque connexion entre le terminal et la station de base (appelés flux de service dans la terminologie IEEE 802.16) pour une classe spécifique de QoS. Nous décrivons quelques terminologies en relation avec la QoS, dans un monde WiMAX :

I.3.3.2.a. Connexion

Le lien dans un réseau IEEE 802.16 est un lien logique unidirectionnel entre la station de base (BS) et le niveau MAC du terminal utilisateur SS (Subscriber Station) [4]. Il y a un indicateur de la destination, les requêtes de transmission sont véhiculées séparément.

Enfin, certaines propriétés de QoS sont associées à chaque connexion. L'activation par la station de base repose sur les dispositifs suivants : enregistrement du terminal utilisateur, modification de service du terminal utilisateur et connexions de base établies au « ranging initial » pour les

messages MAC de gestion intolérants au délai. Les sessions de niveau plus élevé peuvent partager la même connexion MAC, les connexions se partageant l'interface air.

I.3.3.2.b. Flux de service

Pour véhiculer les paquets. Nous pouvons distinguer les services suivants [4] :

- Caractérisation des paramètres de QoS (latence, gigue et débit garanti).
- Caractérisation des processus d'allocation de la bande passante.
- Gestion de la QoS pour la connexion.

D'autre part, les flux de service sont dynamiques ; cela signifie qu'ils peuvent être créés, modifiés, ou supprimés à l'aide d'une série de messages de gestion MAC.

I.3.3.2.c. Classes de services

Les stations de base et les terminaux utilisent un flux de service avec une classe appropriée de QoS (plus d'autres paramètres, tels que la bande passante et le délai) pour s'assurer que les données applicatives reçoivent le traitement de QoS approprié à l'application.

Le Tableau 1.3 montre les cinq classes de service de QoS spécifiées dans le réseau 802.16e.

Service	Definition	Typical Applications
Unsolicited Grant Service (UGS)	Real-time data streams comprising fixed-size data packets issued at periodic intervals	T1/E1 transport, VoIP without silence suppression.
Extended Real-time Polling Service (ErtPS)	Real-time service flows that generate variable-sized data packets on a periodic basis	VoIP with silence suppression.
Real-time Polling Service (rtPS)	Real-time data streams comprising variable-sized data packets that are issued at periodic intervals	MPEG Video
Non-real-time Polling Service (nrtPS)	Delay-tolerant data streams comprising variable-sized data packets for which minimum data rate is required	FTP with guaranteed minimum throughput
Best Effort (BE)	Data streams for which no minimum service level is required and therefore may be handled on a space-available basis	HTTP

Tableau 1.3 : Classes de QoS IEEE 802.16e [3]

I.3.4. WiMAX mobile

Le WiMAX mobile (Standard IEEE 802.16e) [3] 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.

I.3.4.1. Architecture du WiMAX mobile

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

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

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

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

- **Network Access Provider (NAP) :**

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

- **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.

• **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.

• **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.

• **ASN Gateway (ASN GW) :**

Élément 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.

• **La station de base :**

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

• **Les terminaux d'abonnés :**

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

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

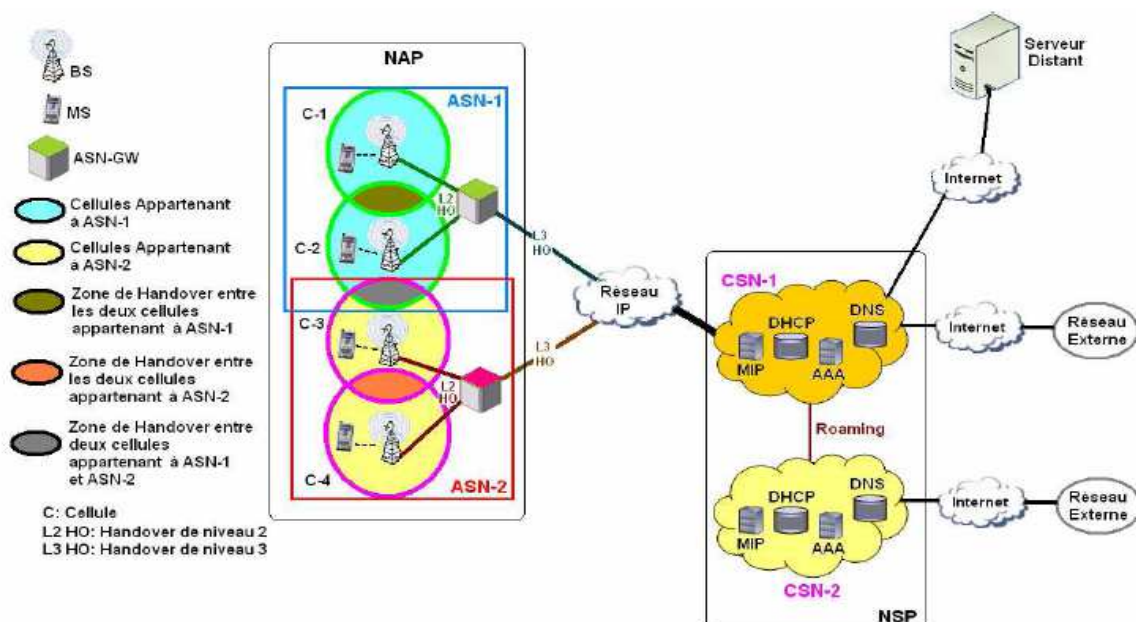


Figure 1.5: Architecture du WiMAX mobile [6]

I.3.4.2. Mobilité dans l'IEEE 802.16e

Dans les systèmes mobiles, le handover est un processus crucial pour pouvoir fournir à un abonné l'accès à un service indépendamment du temps. Les utilisateurs mobiles ne peuvent pas naturellement obtenir l'accès à une même station de base BS en se déplaçant. En entrant dans un secteur qui fournit un meilleur raccordement par une nouvelle BS, l'ancienne doit être libérée et la nouvelle connexion doit être établie [9].

Afin de prendre en compte la mobilité des usagers, le standard met en place une procédure de handover utilisable dans les cas suivants [4] :

- Quand la station mobile MS (Mobile Station) peut être prise en compte avec une meilleure qualité de signal par une autre station de base (mouvement du terminal, affaiblissement du signal ou interférence).
- Quand le terminal mobile peut être pris en compte avec une meilleure QoS par une autre station de base (équilibre de charge, contrôle d'admission, ou attentes en terme de QoS).

Rappelons que la procédure du handover de niveau 2 dans les réseaux WIMAX est gérée par la norme IEEE 802.16e [3], et celle de niveau 3 est gérée par le protocole IP Mobile [11]. Aucune décision pour l'architecture IP d'un réseau WIMAX est prise en compte pour le moment, le groupe IEEE 802.16 a défini que la couche MAC est laissée au NWG de WIMAX Forum la tâche de standardisation de la couche IP [12] [13]. Ce qui nous encourage à nous concentrer sur cet axe de recherche, ouvert et très actif.

Dans le chapitre II, nous allons présenter en détail la gestion de la mobilité dans les réseaux WiMAX, les problématiques ainsi que les solutions proposées dans la littérature.

I.3.4.3. Comparaison entre WiMAX, LTE et UMB

Nous allons présenter dans le tableau 1.4, une étude comparative entre WiMAX et les technologies candidates à la 4G : 802.16e/ 802.16m, LTE et UMB [14], [15], [16]. Notons que la nouvelle génération des réseaux 4G, sera formée de l'interconnexion de tous les réseaux qui existent, afin de fournir une connexion ubiquitaire.

	802.16e	802.16m	LTE	UMB
Cœur de réseau	IP	IP	IP	IP
Max des Débits Lien Descendant Lien Montant (pour 20 Mhz)	75 Mb/s 25 Mb/s	> 130 Mb/s > 75 Mb/s	100 Mb/s 50 Mb/s	288 Mb/s 75 Mb/s
Technologie d'accès	OFDMA	OFDMA	OFDM, SC-FDMA	OFDMA
Technique avancée des antennes	MIMO	MIMO, beamforming	MIMO	MIMO, SDMA, beamforming
Bande Passante du canal	1.25 à 20 MHz	5 à 20 MHz	1.25 à 20 MHz	1.25 à 20 MHz
Mobilité supportée	120 Km/h	350 km/h	> 350 Km/h	> 300 km/h
Totale mobilité	Oui	Oui	Oui	Oui
Economie d'énergie	Oui	Oui	Oui	Oui
Couverture de la cellule (zone dense)	2-7 Km	1-7 Km	5 Km	1-5 Km
Capacité de cellule	100-200 utilisateurs	> 200	> 200 à 5 MHz > 400 pour une large BP	> 200
Héritage	IEEE 802.16a jusqu'à 802.16d	IEEE 802.16a jusqu'au e	GSM/GPRS/UMTS/HSDPA	CDMA2000/ EV-DO
Mode de Duplexage	FDD + TDD	FDD + TDD	FDD + TDD	FDD
Efficacité Spectrale	3.75 Bit/Sec/Hz	8 Bit/Sec/Hz	5 Bit/Sec/Hz	5 Bit/Sec/Hz

Tableau 1.4 : Comparaison entre 802.16e, 802.16m, LTE et UMB

I.3.4.4. Comparaison entre 802.16e et 802.11e

Le tableau ci-dessous présente une comparaison entre IEEE 802.16e et IEEE 802.11e, cette comparaison nous amène à mieux comprendre et savoir les complémentarités de ces systèmes [17], [18].

	IEEE 802.11e	IEEE 802.16e
Déploiement	Courte couverture (locale)	Large couverture
Couverture	Jusqu'à 150 m à l'intérieur & Jusqu'à 500 m à l'extérieur	Jusqu'à 3.5 Km dans une zone urbaine (NLOS)
	Plus la distance augmente plus le débit diminue	
Bandes de fréquence	2.4 , 2.5 et 5 GHz	Entre 2 et 6 GHz (NLOS)
Débit (théorique)	Jusqu'à 54 Mb/s	Jusqu'à 30 Mb/s
	Dépend de la vitesse du mobile et la distance par rapport au BS/AP	
Type de mobilité supporté	Basse Mobilité	Basse, simple et pleine Mobilité
Réseau Cœur	IP	IP
Modulation	OFDM	Scalable OFDMA
Spectre	License-exempt	Licensed & License-exempt
Certification	WIFI alliance	WIMAX forum
Classes de service QoS		
	Voice Video Controlled load Excellent effort Best effort Background	UGS rt-PS nrt-PS BE
Mapping entre classes de QoS		
"VoIP"	Voice	UGS
"Video Conference"	Video	UGS
"Streaming"	Voice / Video	UGS
"Instant message, E-commerce & On-line Game"	Best effort / Video	rt-PS / nrt-PS
"Web Browsing"	Best effort	nrt-PS
"E-mail & File Transfer"	Background	BE

Tableau 1.5 : Comparaison entre 802.16e, 802.11e

1.4. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté différentes technologies de réseaux sans fil, en particulier les réseaux IEEE 802.16/WiMAX. 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 développement, est une technologie qui est prévue d'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.

Actuellement dans le monde, le WiMAX commence à être déployé surtout aux Etats-Unis, vu que c'est une technologie Américaine proposée par l'organisme IEEE. Il commence aussi à être déployé dans quelques pays de l'Asie, ainsi qu'en Europe. La situation n'est pas claire ici en Algérie à cause de la concurrence entre les technologies 3G (UMTS) du monde Telecom et WiMAX, pourtant que le WiMAX est la solution idéale pour les pays en cours de développement. La décision d'implémenter de l'internet à haut débit mobile à base de telle ou telle technologie, ne sera pas forcément basée sur des critères techniques ou économiques, les sociétés de Telecom savent bien cette vérité.

CHAPITRE II

GESTION DE LA MOBILITÉ

DANS LE WIMAX MOBILE

II.1. 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, avec le support de la mobilité. 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 détail les performances des protocoles de mobilité proposés dans WIMAX, en particulier la mobilité IP afin de dégager les insuffisances et bien définir la problématique, qui sera la cible de nos améliorations au futures chapitres de cette mémoire.

II.2. 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 [19] : 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 : i) le processus d'inscription de la localisation, où le terminal mobile est authentifié et sa position est mise à jour, ii) 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'attachements (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. En effet, les adresses IPv4 sont codées sur 32 bits, ce qui permet d'identifier théoriquement 2^{32} équipements simultanément, soit environ 4 milliards de machines. Ce nombre est en pratique limité par l'attribution de plages d'adresses à diverses organisations ou pays qui n'utilisent pas forcément tout l'espace d'adressage qui se trouve à leur disposition.

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.

II.2.1. Le handover

Pendant la communication, le lien radio pour lequel la communication se déroule est mesuré périodiquement, une détection de baisse de puissance de signal signifie que le mobile vient de quitter sa cellule pour entrer dans une autre cellule voisine, pour poursuivre sa communication, cet utilisateur se voit contraint de changer de point d'accès. Il effectue alors ce que l'on appelle un transfert intercellulaire, ou handover, ou encore handoff¹, qui impose des changements dans le terminal et dans le réseau. Le premier doit reconfigurer sa radio pour utiliser les paramètres correspondant à la nouvelle cellule [20], et éventuellement effectuer les échanges nécessaires pour se faire (re)connaître du nouveau PoA, c'est-à-dire une station de base (GSM, UMTS, WIMAX) ou un point d'accès (BlueTooth, WiFi). Le réseau doit pour sa part assurer que le trafic à destination du terminal mobile doit être redirigé vers sa nouvelle position dans le réseau (c'est-à-dire le PoA courant).

II.2.2. Nécessité d'un handover

Il existe trois cas où un handover est nécessaire [22]:

Rescue Handover : la MS quitte la zone couverte par une cellule pour une autre. C'est la qualité

¹Nous utilisons la terminologie britannique (elle cohabite avec la terminologie américaine : handoff), et c'est elle qui est utilisé dans la littérature française

Confinement Handover : la MS subirait moins d'interférences si elle changeait de cellule (les interférences sont dues en partie aux autres MS dans la cellule). La station mobile écoute en permanence d'autres cellules pour mesurer la qualité d'une connexion avec ces dernières. De plus, chaque MS est synchronisée avec plusieurs BS pour être prête en cas du handover.

Traffic Handover : Le nombre de MS est trop important pour la cellule, et des cellules voisines peuvent accueillir de nouvelles MS. Cette décision nécessite de connaître la charge des autres BS. Le but est la régulation de la charge.

II.2.3. Les étapes du handover

Lorsqu'un terminal se déplace, il peut sortir de la couverture de son PoA courant, auquel cas il se trouvera dans l'incapacité de continuer à communiquer, afin de retrouver une connectivité, le terminal doit rechercher un nouveau PoA auquel se rattacher via la procédure du handover, la plupart des auteurs [20] constituent qu'une procédure typique contient les phases suivantes :

- **La découverte** : Il s'agit pour un mobile de découvrir son environnement et les PoA auxquels il peut potentiellement s'attacher et mesurer ces caractéristiques, notamment la qualité de signal, à la fin de cette étape une liste des stations convenables sera construite. Malheureusement le coût de l'écoute est souvent important.
- **La décision** : Basant sur l'étape précédente, le mobile choisira la station de base cible, selon un critère de décision simple (qualité de signal, taux de perte, meilleur QoS, moindre coût,...), ou complexe utilisant les logiques d'ordre supérieur, comme par exemple la logique floue (fuzzy logic) [25]. La décision peut être prise soit par le mobile, ou par le réseau.
- **L'exécution** : Comprend l'attachement au nouveau PoA, c'est-à-dire l'ensemble des actions que le mobile doit entreprendre pour être capable de communiquer à travers le nouveau PoA, ces actions peuvent être entamées durant la communication en cours ou après une terminaison de celle-ci selon le type de handover (*hard* ou *soft*). Cette étape peut être suivie par une configuration d'une nouvelle adresse IP, si la nouveau PoA appartient à un nouveau routeur.

Une fois l'attachement effectué, le mobile doit avertir le réseau et ces correspondants courants de sa nouvelle position, le trafic sera dirigé ensuite vers cette position.

Nous allons décrire en détaille dans la section II.2.4, les mécanismes proposés par WIMAX pour implémenter cette procédure de handover de niveau 2, ainsi que les protocoles de mobilité de la couche 3.

II.2.4. Classification de handover

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

II.2.4.1. 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.

II.2.4.2. Selon le type de la technologie sans fil :

si le handover implique un changement de la technologie d'accès (de WiMAX vers WiFi ou GSM) le handover dans ce cas est vertical (inter-technologie), sinon il est horizontal (intra-technologie). Le handover est diagonal s'il est 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).

II.2.4.3. Selon la portée de la mobilité :

Cette classification est basée sur la position de l'ancien et le nouveau PoA dans un réseau IP. On trouve :

- **Handver Intra-domaine (Micro-mobilité) :**

Entre deux cellules du même domaine réseau (par exemple entre deux cellules WiMAX couvertes par deux stations de base gérées par le même routeur d'accès).

- **Handover Inter-handover (Macro-mobilité) :**

Entre deux cellules de domaines différents (par exemple entre deux cellules WiMAX gérées par deux routeurs différents, ou passerelles ASN-GW dans la terminologie WiMAX).

II.2.4.4. Selon les couches du modèle OSI :

Cette classification est donc basée sur la position du protocole de mobilité dans le modèle OSI. Il existe des protocoles de la mobilité de niveau 3+ du modèle OSI (MSCTP, SIP), situés dans les couches : 3.5, 4, 5 respectivement.

Une autre catégorie des protocoles de mobilité dite : les protocoles inter-couches (*cross layer handover*), comme le Fast Mobile IPv6 situé dans la couche 2.5, ou le protocole HIP situé dans la couche 3.5.

II.2.4.5. 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 cœur 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 (comment et par qui la décision est prise), le handover peut être, (les avantages et les inconvénients de chaque approche sont discutés dans [20]) :

- Implémenté dans le mobile [23].
- Implémenté dans les PoA.

- Ou ailleurs dans le réseau, par exemple dans un serveur de mobilité [24].

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).

Les avantages et les inconvénients de chaque approche sont discutés également dans [21].

Dans notre mémoire, nous concentrons sur les protocoles de macro mobilité (à base d'IP), horizontal, assisté par le réseau, avec le mode hard handover.

II.3. La gestion de la mobilité dans WiMAX mobile

II.3.1. Les protocoles de Micro-Mobilité dans WiMAX

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), voire la figure 2.1. Dans ce cas la station mobile ne change pas d'adresse IP et garde toujours son ancienne adresse. Dans la suite nous allons présenter les deux mécanismes de Handover de niveau 2 utilisés par le standard IEEE 802.16e : Hard Handover et Soft Handover (MDHO et FBSS) [3], [26], [27], [28].

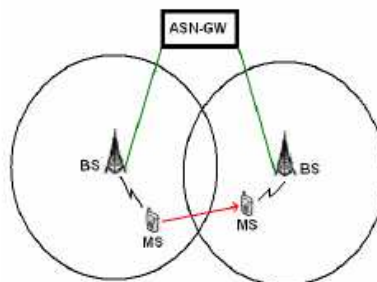


Figure 2.1: Intra-ASN Handover (Micro Mobilité)

II.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. Il se peut produire quand le mobile se déplace et souhaite conserver un signal de bonne qualité, ou si le mobile voit qu'une autre station de base peut lui fournir une meilleure QoS.

Ce mécanisme est bénéfique du point de vue de l'allocation des ressources, mais en cas 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 [6] :

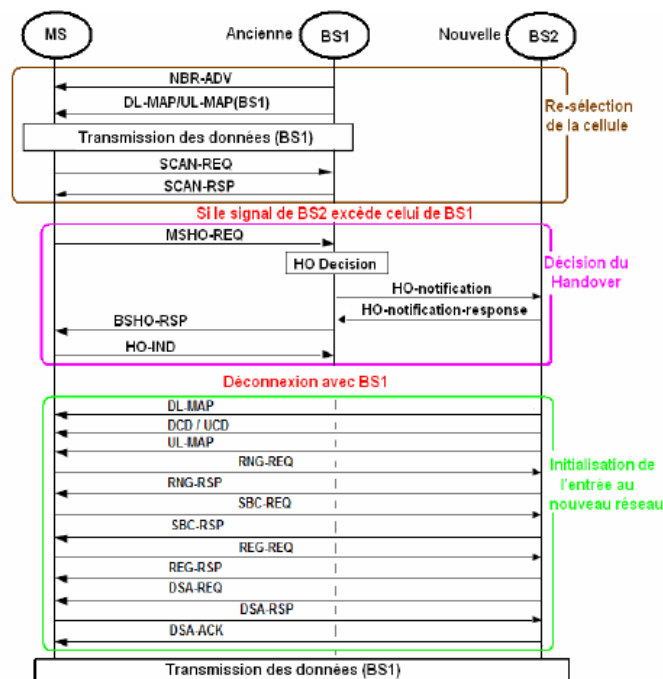


Figure 2.2: Fonctionnement du Hard Handover

La description des messages illustrés dans la figure 6 est présentée ci-dessous [3] :

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

- * DCD / UCD : messages de contrôle sur la description du canal en liens montant/descendant.
- * RNG-REQ / RNG-RSP : requête et réponse sur la portée.
- * SBC-REQ / SBC-RSP : requête et réponse sur la capacité de base du mobile.
- * REG-REQ / REG-RSP : requête et réponse sur l'enregistrement du mobile.
- * DSA-REQ / DSA-RSP / DSA-ACK : requête, réponse et acquittement sur l'addition du service dynamique.

Dans la norme [3], la procédure de handover est définie dans des étapes, expliquées dans ce paragraphe :

II.3.1.1.a. 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 (scanning) 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.

La sélection des cellules cibles est basée sur les résultats de ces mécanismes suivants :

➤ *Les annonces*

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).

➤ *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. Le but d'une scanning est de tester dans quelle mesure une station de base voisine pourrait convenir en tant que station de base cible d'un handover, et d'accélérer ce handover s'il a lieu.

On distingue deux types de scanning : un scanning sans association, dans laquelle le terminal se synchronise sur le lien descendant de la station de base cible pour estimer la qualité du canal physique. Un scanning avec association (appelée association), qui est un balayage simple à laquelle s'ajoute une mesure de portée (ranging).

➤ **Association**

Cette procédure est effectuée en vue de la sélection d'une station de base cible appropriée pour un handover et/ou pour accélérer un éventuel futur handover. Une association est une procédure optionnelle de ranging pouvant se produire durant la scrutation sur une des stations de base voisines. Le but est de permettre au terminal de recueillir et d'enregistrer des paramètres ainsi que des informations sur la disponibilité de service d'une station de base voisine. L'association comprend l'ouverture des connexions de gestion de base et primaires entre le terminal et la station de base cible. Il y a plusieurs niveaux de connexion : de base, primaire, secondaire, et enfin connexion de transport (véhiculant des données utilisateur). Il existe trois types d'association :

Association de niveau 0 (sans coordination) : La station de base de service ne participe pas à l'association. La station de base cible ne connaît pas le terminal et va donc lui fournir un accès en contention pour le ranging.

Association de niveau 1 (avec coordination) : La station de base de service coordonne l'association entre le terminal et la station de base cible. Ainsi, la station de base de service fournit au terminal des paramètres liés à l'association : le terminal et la station de base cible se connaissent mutuellement, donc la station de base cible fournit au terminal une allocation sans contention.

Association de niveau 2 (assistée par le réseau) : La station de base de service coordonne l'association avec les stations de base cibles. Cependant, un terminal ayant transmis le code de ranging à la station de base cible ne devra pas attendre la réponse de ranging.

II.3.1.1.b. 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.

II.3.1.1.c. Entrée dans le réseau

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

II.3.1.1.d. Coordination de transmission

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

II.3.1.2. Soft handover IEEE 802.16e

Le standard [3], a défini également un mode optionnel de handover (soft handover) appliqué dans le cas d'une mobilité importante, contient deux techniques : MDHO et FBSS.

II.3.1.2.a. MDHO (soft handover)

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. 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. Une illustration du mécanisme MDHO est présentée dans la figure ci-dessous [3] :

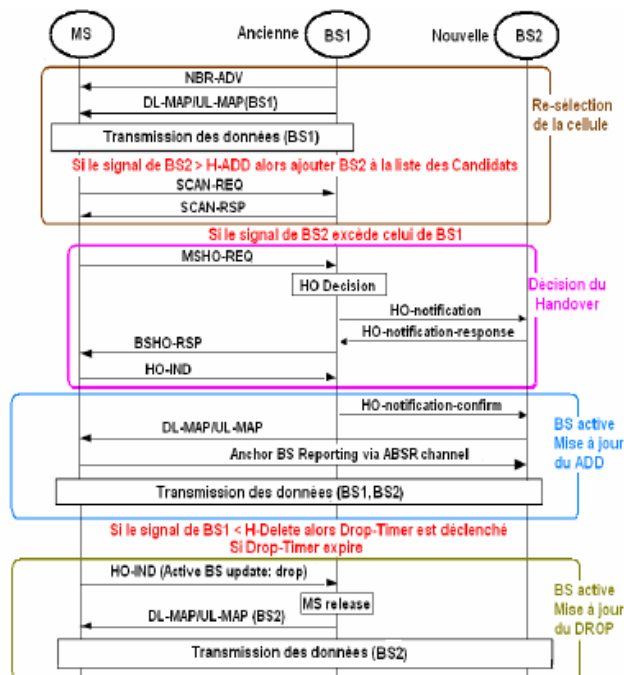


Figure 2.3: Fonctionnement du MDHO

II.3.1.2.b. FBSS (commutation rapide de station de base)

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. Le mécanisme de FBSS est illustré ci-dessous :

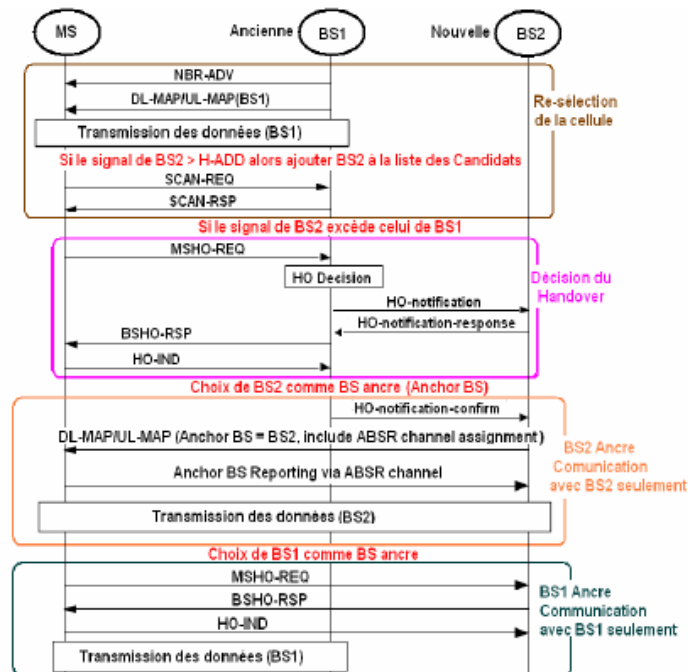


Figure 2.4: Fonctionnement du FBSS

II.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 (voire la figure 2.5). 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.

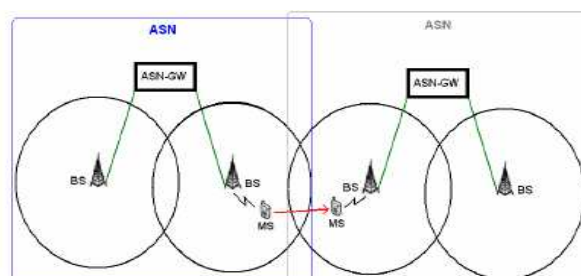


Figure 2.5: Inter-ASN Handover (Macro-Mobilité)

La décision final de l'architecture IP d'un réseau WiMAX n'est pas pris en compte pour le moment [29], le groupe IEEE 802.16 a définie que la couche MAC et laisser au NWG (Network Working Group) de WIMAX Forum la tache de standardisation de la couche IP [30][31]. Mais comme dans tous les réseaux nouvelles génération ou les réseaux tout-IP (*All-IP networks*), la mobilité de niveau 3 va certainement baser sur les extensions de mobile IP (Proxy MIP, Client MIP, Fast MIP, Hierarchical MIP) à cause de :

- La pénurie d'adresses de la version 4.
- Les limites du protocole Mobile IP dans sa version 6 qui est un protocole de Macro mobilité, mais n'est pas performant dans le cas ou le mobile change fréquemment sa déplacement. Dans ce contexte les schémas de handover rapides sont nécessaires. Le Fast MIPv6 est l'extension de mobile IP la plus prometteuse pour les applications temps réel et multimédias, que l'on va étudier dans les optimisations proposés dans la littérature pour améliorer les performances de la procédure de handover à base de mobile IPv6.

On présente dans ce qui suit les protocoles de macro mobilité, notamment Mobile IPv4 (MIPv4), et son successeur le Mobile IPv6 (MIPv6). Une analyse de ces protocoles sera présentée dans le chapitre suivant, afin de d'étudier les performances de ces protocoles faces aux problématiques liés à la mobilité (délai, perte de paquets), ainsi que les diverses propositions qui ont été faites pour résoudre ces problématiques.

II.3.2.1. Mobile IPv4

Le protocole Mobile IPv4 [33], 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) qui représente la passerelle ASN-GW dans ce cas, et de HA (Home Agent) qui représente le CSN.

Le principe de fonctionnement de MIP est décrit ci-dessous :

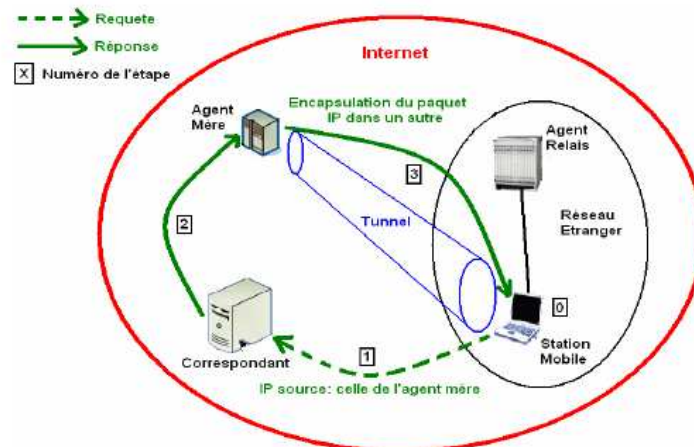


Figure 2.6: Fonctionnement de MIPv4 [6]

Ce protocole souffre de plusieurs problèmes qui constituent un frein pour son utilisation comme support de mobilité, notamment [32] :

- *Le routage triangulaire* : les paquets doivent suivre un chemin triangulaire pour être acheminé à destination, cela ajoute un délai d'acheminement supplémentaire significatif. Par conséquent, il est difficile de garantir la qualité de service requise pour les applications temps réel.
- *Les problèmes de performances* : la taille des paquets est augmentée à cause d'encapsulation des paquets par l'agent mère ou par le mobile, cela provoque la perte de la bande passante en réseau.
- *La détection de changement de réseau* : parce que le handover de niveau 2 n'implique pas forcément le handover de niveau 3, un mécanisme pour détecter le changement de réseau devra être implémenté pour repérer le déclenchement du handover de niveau 3. Cependant, le protocole IPv4 Mobile n'a pas défini ce type de mécanisme.

Nous expliquons dans le paragraphe suivant comment le protocole IPv6 Mobile gère mieux la mobilité des MNs dans les réseaux IPv6.

II.3.2.2 Mobile IPv6

Le protocole IPv6 Mobile est proposé pour résoudre les problèmes cités ci-dessus en utilisant les nouvelles fonctionnalités du protocole IPv6. La procédure du handover de niveau 3 gérée par le protocole IPv6 Mobile se décompose en trois phases – la phase de Détection de mouvement, la phase d'Auto-configuration d'adresses et la phase de Mise à jour d'association. La phase de Mise à jour d'association est décomposée également en trois phases : la phase de Mise à

jour d'association avec le HA, la phase de Routabilité de retour et la phase de Mise à jour d'association avec le CN, comme décrit le figure ci-dessus :

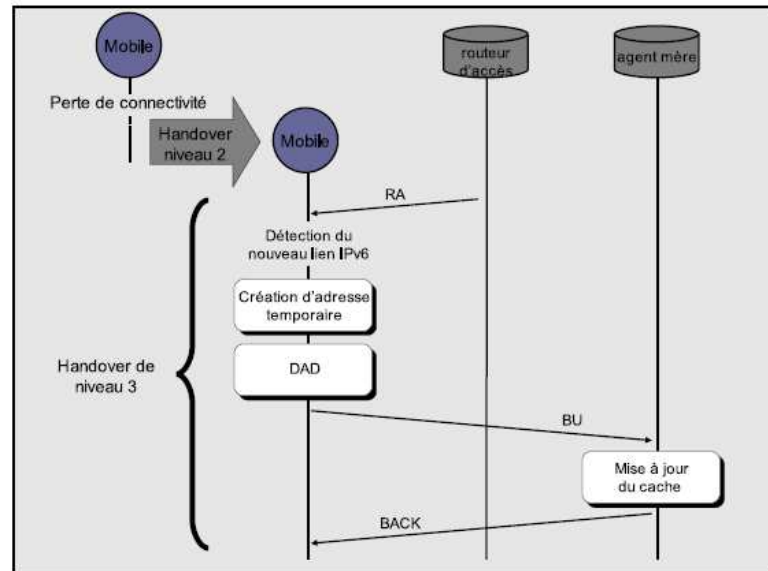


Figure 2.7: Fonctionnement de MIPv6 [34]

Il faut citer que la procédure du handover de niveau 3 exécuter après celle de niveau 2.

➤ Détection de mouvement

La phase de Détection de mouvement est la première phase de la procédure du handover de niveau 3, elle a pour objectif de détecter le changement de réseau afin que le MN puisse réagir à ce changement et lancer les procédures correspondants, telles que Découverte de routeur, Auto-configuration d'adresses IPv6 sur le nouveau réseau, Mise à jour d'association avec HA et CN.

Selon le protocole IPv6 Mobile, trois méthodes sont proposés pour que le MN puisse recueillir les événements suivants comme les signes du déclenchement du handover de niveau 3. Ces événements sont :

- *Routeur non-accessible* : ce processus est exécuté seulement au moment où le MN a des paquets à envoyer, si le mobile n'as pas des paquets à envoyés, il ne peut pas

savoir si le routeur est accessible ou non. De plus cette procédure dure au moins 1 seconde, ce délai est inacceptable pour les applications en temps réel.

- *Absence de réception du message "Annonce de routeur"* : Quand le MN se trouve dans un réseau IPv6, il peut continuer de recevoir le message "Annonce de routeur non-sollicitée" envoyé par le routeur qui se situe dans ce même réseau, Le message "Annonce de routeur" contient un champ, appelé Intervalle de l'annonce, la valeur de ce champ représente l'intervalle maximum entre deux messages "Annonces de routeur" successives. Cette valeur est égale à la valeur de la variable *MaxRtrAdvInterval* qui est définie par l'administrateur du réseau. Le MN utilise cette valeur comme un indice de la fréquence à laquelle il compte recevoir le prochain message "Annonce de routeur non-sollicitée". Si le MN ne reçoit aucun message "Annonce de routeur" de son routeur pendant un intervalle, il peut déduire qu'au moins un message "Annonce de routeur" est perdu. Si le MN n'a reçu aucun message "Annonce de routeur non-sollicitée" pendant $3 \times \text{MaxRtrAdvInterval}$ secondes, il considère que ce routeur n'est plus accessible. Le MN devrait lancer la procédure de Découverte de routeur pour trouver un nouveau routeur.

En fait, comme nous l'avons décrit, le MN identifie le changement de réseau selon la détection du routeur non-accessible et la découverte d'un nouveau routeur avec un différent préfixe à l'aide des messages – "Annonce de routeur" et "Sollicitation de routeur". Cet événement est aussi indépendant de différents types des réseaux, mais le délai pour conclure le changement de réseau est trop long. Selon la norme RFC 4861, la valeur minimum de *MinRtrAdvInterval* et la valeur minimum de *MaxRtrAdvInterval* sont 3 secondes et 4 secondes respectivement, donc, le délai est au minimum de 12 secondes. Par conséquent, pour réduire ce délai, il faut intensifier la fréquence d'envoi du message "Annonce de routeur non-sollicitée". Le protocole IPv6 Mobile assigne une valeur de 0,03 secondes pour *MinRtrAdvInterval* et une valeur de 0,07 secondes pour *MaxRtrAdvInterval*, dans ce cas-là, le MN attend 210ms pour conclure de la non-accessibilité de son routeur.

- *Signe de déclenchement du handover du niveau 2* : Dans certains types de réseaux, le signe du déclenchement du handover de niveau 2 peut être obtenu à partir des protocoles de la couche inférieure ou des pilotes de périphériques du MN. Lorsqu'un MN change d'un AP à un autre, le signe peut être acquis à la suite du handover de

niveau 2. Cependant, le handover de niveau 2 n'implique pas de façon certain le handover de niveau 3, parce que, si les deux APs appartiennent à un même réseau, il n'y a pas de handover de niveau 3. Il faut utiliser d'autres méthodes pour reconnaître le déclenchement du handover de niveau 3.

Une fois que ces événements sont engendrés, le MN lance la procédure de Découverte de routeur. Si le MN découvre le nouveau routeur avec un préfixe différent du sien, il conclut que le handover de niveau 3 est entamé et qu'il s'est connecté à un nouveau réseau, donc il doit lancer la phase d'Autoconfiguration d'adresses pour générer une nouvelle adresse IP sur ce nouveau réseau.

➤ ***Auto-configuration d'adresses***

Le mobile ne peut pas communiquer avec les CN avant l'accomplissement de cette phase. Cette phase peut prendre également une seconde au minimum ou durer jusqu'à cinq secondes, le délai de la procédure DAD représente une grande partie du délai total.

➤ ***Mise à jour d'association***

La phase de Mise à jour d'association a pour objet de mettre à jour la table d'associations du HA et celle du CN afin que le HA puisse faire suivre les paquets à destination d'adresse mère du MN vers l'adresse temporaire de ce dernier et que le CN puisse communiquer directement avec le MN sans passer par le HA, à l'aide de ces trois sous phases : la phase de Mise à jour d'association avec le HA, la phase de Routabilité de retour et la phase de Mise à jour d'association avec le CN.

Nous allons analyser dans le prochain chapitre les performances de ces protocoles de mobilité (Micro et Macro Mobilité) proposés pour WiMAX mobile, pour voire est-ce qu'ils sont convenables ou non pour les applications temps réel et multimédias qui ont une QoS exigeante, nous présentons également les travaux d'optimisations proposés dans la littérature, et nous nous poursuivons le chemin de recherche dans le dernier chapitre avec notre optimisation.

II.4. Conclusion

Dans ce chapitre nous présentons les mécanismes et les protocoles dédiés à la gestion de la mobilité des terminaux dans les réseaux WiMAX mobile. Dans un premier temps nous avons

présenté les concepts de base de gestion de la mobilité. Le handover de niveau 2 est dépend de la technologie sans fil (WiFi, WiMAX), tandis que la mobilité de niveau 3 est basé sur le standard Mobile IP.

Nous avons vu que la norme IEEE 802.16e définit les mécanismes de mobilité permettant aux terminaux mobiles de maintenir une connectivité de niveau 2 tous en se déplaçant. La procédure du handover qui sera adoptée dans les déploiements du réseau est du type Hard, à cause de sa simplicité et économicité de la bande passante, cependant elle génère des interruptions de l'ordre de quelques centaines de milli secondes, non souhaitables pour les applications en temps réel.

Le Handover de niveau 3 ou plus, est relatif à la phase de changement de services d'une station émettrice (BS dans le cas de WiMAX) à une autre voisine par une station mobile. Deux cas sont possibles dans ce type de Handover : le premier est que les deux stations émettrices appartiennent au même réseau, mais chacune d'elles est gérée par une passerelle appart qui fait le lien avec le réseau coeur IP, donc on dit que les stations émettrices appartiennent à des domaines différents. Le deuxième cas est que chacune des deux stations émettrices appartient à un réseau différent carrément. Dans les deux cas, une mise à jour de l'adresse IP courante de la station mobile est nécessaire.

Le protocole MIP permet à la station mobile après son Handover, de continuer sa communication avec son correspondant suivant une route triangulaire qui intègre l'agent mère de son réseau d'attachement. Ce mode de communication génère des délais très lourds et pas du tout acceptables par le trafic temps réel.

Le protocole MIPv6 propose des options supplémentaires par rapport à MIP pour éviter l'échange triangulaire avec l'agent mère, ce qui diminue considérablement le délai au cours du Handover.

Malgré ces améliorations qui sont apportées au MIPv6, il reste loin des exigences des applications strictes en termes de QoS, d'où la nécessité de choisir les extensions proposés pour MIP, qu'on va l'étudiés dans le chapitre suivant, ainsi que les problématiques liées à l'adaptation de ces protocoles pour WiMAX mobile.

CHAPITRE III

OPTIMISATION

DU HANDOVER

III.1. Introduction

Nous avons présenté dans le chapitre précédent les protocoles standard qui permettent aux terminaux mobiles de se déplacer et communiquer à travers des réseaux WIMAX mobile IPv6. Cependant, lorsqu'un terminal est en procédure de handover, il est dans l'incapacité de recevoir ou d'émettre des données. En fonction des applications utilisées, ces coupures peuvent être plus ou moins perceptibles par les utilisateurs. Les communications dites temps réel sont de plus en plus véhiculées par des réseaux sans fil IPv6. Ce type de communication regroupe les applications qui sont soumises à des contraintes de temps dans la réception ou l'émission des données. Les plus répandues sont les applications de type voix sur IP (VoIP) ou vidéo à la demande (VoD). Pour que de telles communications ne soient pas perturbées, il est généralement admis que le temps de latence engendré par un handover (de niveau 2 ou de niveau 2 et 3) ne dépasse pas 50 millisecondes.

Dans ce chapitre, nous allons analyser en détail les performances des protocoles de mobilité proposés dans WIMAX, suivi par un état de l'art des travaux précédents qui visent à optimiser le handover, afin d'améliorer la QoS durant la mobilité.

III.2. Limitations de handover dans le standard WiMAX mobile

III.2.1. Latence de handover au niveau 2

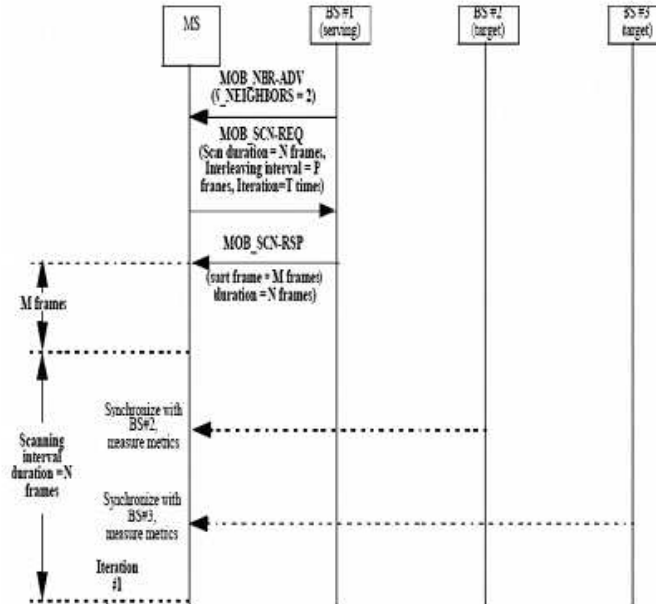
Le handovers de niveau 2 tel qu'il est décrit dans la norme, ne permet pas de satisfaire les contraintes des communications temps réel [35]. En effet, le temps de latence généré dépasse généralement le seuil de 50 millisecondes cité ci-dessus.

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 [36, 37]. Nous analysons dans ce paragraphe, l'effet des interruptions durant le scanning sur le trafic en cour.

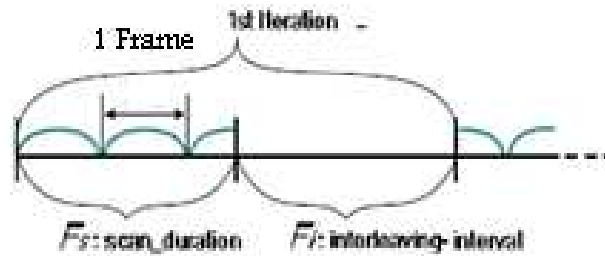
➤ Le scanning

Le but de la phase de scanning est de trouver un ensemble de station de base convenables (Neighbor List) en terme de qualité de signale, 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, figure 3.1-(a).



(a) La procédure de scanning



(b) Les intervalles temporels de scanning

(c)

Figure 3.1: La procédure de scanning dans IEEE 802.16^e

D'après le Figure 3.1-(b), on déduira que :

$$T_{Sc} = N_{BS} * (N_{it} * F_s);$$

Tel que :

T_{Sc} : Le temps total de scanning

Nit : Le nombre total des itérations.

F_s : Durée de scanning (l'interruption à ce niveau).

NBS : Le nombre des stations de base.

Sachant qu'une trame est l'unité d'échange de donnée au couche physique (durée de 5, 12, 20 ms).

Donc le trafic en cours est interrompu durant F_s , pour chaque itération, et si le mobile ne trouvera pas une station convenable après un certains nombre d'itérations, il relance le processus après M frame

Après le scanning de toutes les stations voisines un rapport de scanning sera envoyé à la station de base. Si le mobile va décider de changer sa station, la station service entame une étape de négociation avec toutes les stations qui ont été ajoutés dans le rapport, afin d'accepter ou refuser le mobile en terme de QoS demandé et des ressources disponible dans la station cible (les schémas CAC).

Durant la phase de scanning deux grands problèmes sont rencontrés:

- La procédure de scanning est un cycle (scanning, mode normal) 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, et retransmettrons durant l'étape (mode normal), cette interruption ne permet pas de respecter les latences des applications temps réel [38] 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, il faut citer que le standard [3] exige que le mobile doit scanner toutes les stations voisines même ceux qui ne sont pas concernés, 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 an aura des interruptions répétitifs, avec consommation excessive d'énergie.(si on considère le handover au niveau 3, le problème devient plus sérieux).

Si le handover est déclenché, le mobile exécutera la phase d'entré au réseau, la communication est interrompue à cause de la nature de la procédure de handover (*break before make*).

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.

III.2.2. 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 vérification de l'unicité de la nouvelle adresse temporaire et la mise à jour de cette adresse auprès de l'agent mère. 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 fréquence d'envoi par défaut de ces messages est comprise entre 200 et 600 secondes [39], ce qui n'est pas adapté à une gestion rapide de la mobilité. Le protocole MIPv6 suggère d'augmenter cette fréquence entre 30 et 70 millisecondes mais précise que ces valeurs ne doivent pas être utilisées par défaut. Avec une telle fréquence, il faut donc en moyenne 50 millisecondes pour détecter le nouveau lien IPv6 et par conséquent obtenir sa nouvelle adresse temporaire, le risque d'arrivé de message RA en retard cause un problème sérieux avec cette fréquence.

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* [39]) 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 étant donné qu'elle retarde l'émission du BU vers l'agent mère. 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*) [38, 39]. 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. Dans le meilleur des cas, le DAD introduit donc un délai supplémentaire d'une seconde.

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.

Comme conclusion, on peut dire que le protocole IPv6 Mobile permette de résoudre le problème de routage de paquets triangulaire utilisé dans le protocole IPv4 Mobile, mais il souffre encore de plusieurs faiblesses. Parmi ces faiblesses, nous citons:

- Le délai du handover est long. Particulièrement, le délai de la phase de Détection de mouvement, celui de la phase d'Auto-configuration d'adresses et celui de la phase de Mise à jour d'association sont très long pour les applications en temps réel.
- La perte de paquets pendant le handover peut être important, du à l'exécution séquentiel de handover de niveau 2 et 3 (le mobile doit attendre la fin de la mise à jour avec son agent mère, afin qu'il puisse communiquer avec ces correspondants). Le protocole IPv6 Mobile n'a pas proposé une solution pour réduire la perte de paquets.
- La signalisation gourmande en bande passante.

III.3. Optimisation du handover dans WiMAX mobile

Assuré la QoS pour les applications multimédias durant le handover devient un domaine de recherche très active dans les réseaux WIMAX. Nous avons vu dans la section précédente que le support de la mobilité de WiMAX mobile souffre de plusieurs limites, qui nécessitent des optimisations surtout dans le cas d'une mobilité à base de MIPv6.

Dans cette section nous présentons les optimisations les plus intéressantes. Parmi les différentes propositions, certains focalisent sur les handover de niveau 2 dans les réseaux WiMAX mobile, et

celles qui s'intéressent au niveau 3, donc le protocole MIPv6, d'autres solutions essayent de fournir une solution complète traitant à la fois les niveaux 2 et 3, sachant qu'un handover MIP est toujours démarré après un handover de niveau 2.

III.3.1. Les travaux dans la couche 2

De nombreux travaux existent qui visent à minimiser l'effet de handover de niveau 2 sur le trafic en cours, expliqué dans la section III.2.1. On peut les catégoriser en deux grandes classes : ceux qui s'intéressent à minimiser l'effet de scanning, dans ce contexte le standard [3] n'a donné aucune indication sur les intervalles temporels de scanning, donc le problème est encore ouvert. D'autres concentrent sur la réduction de temps d'entrées au réseau.

Dans la première catégorie, les chercheurs traitent le problème de deux manières différentes :

- Ceux qui réduisent le temps total de scanning T_{Sc} , par le biais de réduction de nombre de canaux ou de stations à scanner N_{BS} avant toute opération de scanning, utilisant différentes techniques (localisation, prédiction,...). Cela permettra au mobile à grande vitesse, de trouver rapidement une station cible avant de sa déconnexion de l'ancienne station.
- Les autres travaux concentrent sur l'amélioration de la QoS durant le scanning, et supposent que le temps total de scanning n'est pas important, si on le décompose en petites tranches.

III.3.1.1. Single neighbour BS scanning scheme

Ce schéma [40], permet au mobile de scanner qu'une seule station, par l'estimation de la qualité de signal de toutes les stations voisines, utilisant le préambule envoyé périodiquement dans les messages MAC (UCD et DCD). Mais aucune méthode efficace permet d'estimer la qualité de signal a été proposé, ce qui n'élimine pas totalement le processus de scanning.

III.3.1.2. Hybrid Predictive Base Station (HPBS) Selection

Les auteurs dans [41], exploitent le problème ouvert dans le standard (ambiguïté sur le nombre des stations à scannés) et proposent un schéma hybride de sélection de BS pour le scanning, avec la participation de mobile, sa station et le cœur de réseau (*backbone*). Le choix est basé sur des critères comme : la direction future de mobile, l'historique de sa déplacement, la charge des stations voisines, la position et la portée des stations voisines par rapport au station de base de service, aucune indication n'a été cité sur l'algorithme de prédiction de trajectoire.

III.3.1.3. Fast Group Scanning Scheme

Afin de réduire le nombre des canaux a scannés, un schéma a été proposé dans [42], le scanning est effectuer par des mobiles qui forment des groupes selon la puissance de signal, permet ainsi de minimiser les canaux a scannés, mais le schéma est inefficace dans certains situation puisqu'elle exige de former des groupes de mobiles proches comme condition de scanning.

III.3.1.4. Cost-Effective Target BS Selection Scheme

Dans [43], un schéma simple qui permet de réduire le nombre des BS à scannés par l'inversion les étapes du standard (scanning/négociation) et permet tout d'abord de négocier avec les stations voisines pour éliminer celles qui ne peuvent pas offrir la QoS souhaité. Ce schéma n'est pas convenable dans les scénarios où toutes les BS offrent la QoS demandé, ou lorsque les stations jugés bonnes en QoS sont très loin à la position de mobile (ne considérées pas des futures destinations pour le mobile).

III.3.1.5. Fast Handover Scheme Based on Mobile Locations

Une autre approche [44], qui permettent de minimiser les interactions inutiles avec les stations de bases qui ne seront pas des futures destinations pour le mobile, et par conséquent la réduction de temps total de scanning. Ce schéma est basé sur les techniques de localisation, considérés aujourd'hui comme des approches à la mode.

Les auteurs introduisons un nouveau concept : le degré d'accessibilité, qui permet d'évaluer le degré de pénétration (λ_i), d'un mobile dans les différentes BS, et considéré comme stations

proches ceux qui ont la grande valeur λ_i . Afin de déterminer la localisation, des techniques comme : AOA (*Angle of Arrival*), TOA (*Time of Arrival*), DTOA (*Difference Time of Arrival*) peuvent être utilisés.

Dans le deuxième axe de recherche, et d'après de nos connaissances, un seul schéma intéressant a été préposé :

III.3.1.6. Adaptive channel scanning

Contrairement aux chercheurs précédents, les auteurs dans [45] choisirent à travailler sur les intervalles de scanning (voire le figure 3.1-(b)), l'idée de base est d'allouer dynamiquement le temps de scanning selon le type de trafic en cours, c'est-à-dire répondre à la question encore ouvert dans le standard : comment allouer les intervalles F_s et F_i , ainsi que le nombre d'itérations ?

Ils proposent une estimation des intervalles cités ci-dessus, basant sur les exigences de trafic en cours, de telle façon que la QoS reste acceptable. Un exemple de besoins en terme de QoS, pour un lux audio et vidéo :

Les paramètres de la QoS	Les besoins
Vidéo	
Taux de transfert (octet/sec)	49600
Jigue (ms)	100
Délai (ms)	200
Audio	
Taux de transfert (octet/sec)	8000
Jigue (ms)	50
Délai (ms)	75

Tableau 3.1: Les besoins en QoS selon le type de trafic

La taille d'un intervalle de scanning sera alors, le minimum de tous les valeurs de jigue J_i , et de délai D_i , pour tous les mobiles :

$$F_s = \text{Min}(J_i, D_i) ,$$

L'algorithme calcule ensuite le nombre des intervalles de scanning :

$$n_s = \frac{T_{sc}}{F_s},$$

Sachant que T_{sc} est le temps total de scanning, estimé à l'aide de la spécification du standard [3]. Ces intervalles seront alloués aux mobiles, et le processus de scanning déroulera selon un ordonnancement, qui vise d'économiser la bande passante.

Donc l'intervalle de scanning, qui représente le temps d'interruption perceptible par l'utilisateur pour un type de flux donné, sera toujours borné par les exigences de la QoS, on aura :

Temps d'interruption \leq délai exigé pour un service donnée (audio, vidéo).

Ce schéma, nécessite l'étude de l'effet de la vitesse du mobile sur l'estimation des intervalles de scanning, ainsi que la mobilité aléatoire de ce dernier. Dans le sens où il est difficile d'ordonner un ensemble de mobiles, qui ont différentes formes de mobilité (haute, lente), il est sûr que le mobile à une vitesse lente sera influencer les autres mobiles.

III.3.2. Les travaux dans la couche 3

L'adaptation de protocole MIPv6 sous WiMAX mobile, est l'objectif principal recherché dans cette voie de recherche. Le handover de niveau 3, peut être améliorée soit en réduisant le nombre de paquets perdus, soit en diminuant la charge de la signalisation, soit encore en rendant le processus le plus rapide possible. Parmi les solutions proposées dans la littérature, différentes axes de recherches qui existent :

- Ceux qui visent à améliorer les performances de MIPv6, par l'optimisation de différentes phases coûteuses en temps cités dans III.2.2. Notamment le DAD, la détection de mouvement et la mise à jour d'association avec l'agent mère et les CN.
- Malgré les différentes optimisations qui visent à améliorer MIPv6, ils souffrent toujours de long délais, avec des taux de perte non souhaitable. Des nouveaux protocoles sont créés, afin d'améliorer les performances de MIP. Les concepts de micro/macro mobilité, sont les fruits de ce chemin.
- Les protocoles de mobilité de niveau 3 des deux voies de recherches précédentes, fonctionnent selon l'architecture OSI, c'est-à-dire séquentiellement avec la procédure de handover de niveau 2, ce qui n'est pas convenable dans les environnements sans fil,

caractérisés par la fluctuation inattendu du canal radio, du aux perturbations liée à l'environnement (*shadowing, fading,...*). Une tendance vers le chevauchement des deux procédures, afin d'offrir certains conscience dans la couche 3 de ce qui est passé dans la couche 2. Ce type d'optimisation à la mode aujourd'hui, est dit *cross layer handover*.

Nous présentons dans cette section, les propositions intéressantes pour chaque axe de recherche décrit ci-dessus, ainsi qu'une discussion à la fin, afin de définir la problématique que nous constitue la cible de notre optimisation, au prochain chapitre de cette mémoire.

III.3.2.1. Amélioration de MIPv6

III.3.2.1.a. Optimistic DAD

Le mécanisme O-DAD [46], sert à minimiser le temps de vérification d'unicité d'adresse temporaire au sein de routeur d'accès, elle se base sur l'hypothèse suivante : la possibilité de collision d'adresses est très petite sur une adresse de taille de 64 bit, notamment lors d'utilisation un bon générateur de nombres aléatoires.

Les performances de cette technique est dépend du taille de réseau, la possibilité d'une collision s'accroît avec la taille de réseau (nombre de mobiles). Donc il est difficile de maitriser un générateur aléatoire de manière distribué avec une taille considérable de réseau. A l'apparition d'une collision, le temps de reconfiguration d'une nouvelle adresse sera plus grand que le standard DAD lui-même [47]. Le schéma est très sensible à l'effet de ping-pong (aller retour enter deux stations).

III.3.2.1.b. Advanced DAD

La stratégie utilisée dans A-DAD [48] pour améliorer les performances de DAD, est de réservé un pool d'adresses IPv6 uniques. Chaque routeur d'accès génère un tel pool d'adresse et tester l'unicité des adresses en tache de fond, le routeur joue le rôle d'un cache proxy. A la différence de standard DAD qui laissé les collisions apparaitre et les corrigées (mécanisme correctif), A- DAD a un comportement préventif. Le schéma est très sensible à l'effet de ping-pong (aller retour enter deux stations) ainsi que l'effet de mouvement erroné (*erroneous mouvement*), dus au mouvement aléatoire avec grande vitesse.

III.3.2.3. Micro/Macro Mobilité

Mobile IP souffre de plusieurs faiblesses qui ont amené à définir l'approche de macro/micro-mobilité. Les protocoles de micro-mobilité sont conçus pour des environnements où les nœuds mobiles changent leur point d'attachement si fréquemment que les performances de Mobile IP se révèlent insuffisantes. Nous présentons dans ce paragraphe une solution intéressante de micro mobilité, le HMIPv6.

III.3.2.3.a. Hierarchical MIPv6 (HMIPv6)

Le protocole IPv6 Mobile Hiérarchique [50] (Hierarchical Mobile IPv6 – HMIPv6) est une extension du protocole IPv6 Mobile, Il est développé par l'INRIA et Ericsson Research, et est standardisé par l'IETF. Il a pour objectif de réduire la quantité des messages de signalisation du protocole IPv6 Mobile induits par le handover de niveau 3. Les messages de signalisation sont les messages de la phase de Mise à jour d'association avec le HA, les messages liés avec la phase de Routabilité de retour et les messages de la phase de Mise à jour d'association avec les CNs. En fait, le protocole HMIPv6 permet également de réduire le délai de ces trois phases, donc de réduire le temps d'interruption des communications entre le MN et les CNs. Par conséquent, il améliore la performance de la procédure du handover de niveau 3 gérée par le protocole IPv6 Mobile.

Pour atteindre son objectif, le protocole HMIPv6 introduit une nouvelle entité, baptisée Point d'Ancrage Mobile (en anglais Mobility Anchor Point – MAP). Il peut être implanté à n'importe quel endroit de la hiérarchie des routeurs. Le réseau global est découpé en différents domaines qui sont indépendants des réseaux IP. Chaque MAP contrôle un domaine et la taille de ce domaine est définie par l'opérateur de télécommunications. Le MAP a une fonctionnalité similaire que celle du HA du protocole IPv4 Mobile. Il permet de masquer le mouvement du MN dans son domaine au HA et aux CNs. Comme la montre le figure ci-dessous :

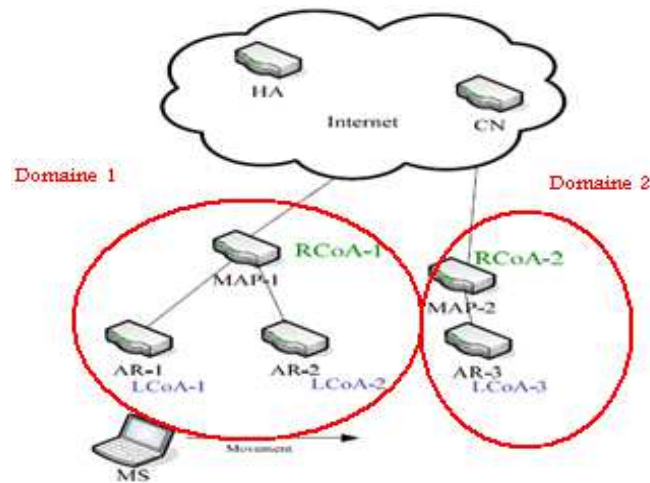


Figure 3.2: Le protocole HMIPv6

Lorsqu'un MN entre dans un domaine qui est contrôlé par le MAP, il reçoit le message "Annonce de routeur". Ce message contient l'information concernant le MAP qui contrôle ce domaine, telle que l'adresse du MAP, le préfixe du réseau où le MAP se trouve, etc. Ensuite, le MN auto-configure deux adresses temporaires : une adresse temporaire régionale (en anglais Regional Care-of Address – RCoA) et une adresse temporaire locale (en anglais Local Care-of Address – LCoA). L'adresse RCoA est une adresse composée par le préfixe du réseau où ce MAP se trouve et par l'identifiant d'interface du MN. Donc, c'est une adresse du réseau où le MAP se trouve. Le MN ne change pas cette adresse RCoA tant qu'il reste dans ce domaine. L'adresse LCoA est une adresse du réseau où le MN s'attache au fur et à mesure. Le MN change cette adresse LCoA quand il passe d'un réseau à un autre.

Malgré les avantages de la micro mobilité, le protocole HMIPv6 provoque un délai supplémentaire pour le traitement des paquets. Pour la macro-mobilité, le MN doit obtenir non seulement l'adresse RCoA et effectue la phase de Mise à jour d'association avec le MAP, mais aussi effectuer la phase de Mise à jour d'association avec le HA et les CNs. Le délai de ces procédures est plus long que celui du protocole IPv6 Mobile. Donc, il faut mieux choisir la taille du domaine pour éviter la macro-mobilité fréquente du MN.

Dans un schéma à base de HMIPv6 sous WiMAX mobile, la procédure de handover de niveau 3 est toujours initialisée après la fin de celle de niveau 2. Adapté HMIPv6 sous WiMAX mobile, nécessite de régler le problème décrit précédemment, c'est-à-dire de déterminer le

meilleur placement de MAP, ainsi que la taille de domaine. Dans [49] les auteurs ont montré via des simulations que l'implémentation de MAP au sein de CSN offrir de meilleures performances en termes de délai de handover.

En résumé, pas assez de travaux pour HMIPv6 sous WiMAX, il existe que quelques propositions que la plupart sont basées sur des conceptions inter-couches (*Cross Layer*), qu'on va les décrits plu tard, dont le but est d'offrir une exécution en parallèle des deux procédures de handover (couche 2 et 3), et par conséquent réduisez le délai total de handover.

III.3.2.3. Les optimisations Cross Layer

Le groupe IEEE 802.16 a proposer des solutions de mobilité que pour la couche 2, récemment le NWG, IPv6 Forum et l'IETF ont lancé le travail pour déterminer un support complet de macro mobilité, y inclut la couche réseau et les couches supérieures. Il est difficile de le construire basant sur une seule couche, d'où la nécessité d'une intégration des différentes couches, notamment les couches 2 et 3 afin d'aboutir à des meilleurs performances. Des nouveaux types d'architectures de protocoles interviennent à ce stade appelés les conceptions *Cross Layer* [51], basés sur la violation de l'architecture traditionnelle en couche, représenté par le standard OSI, comme illustre le figure suivant :

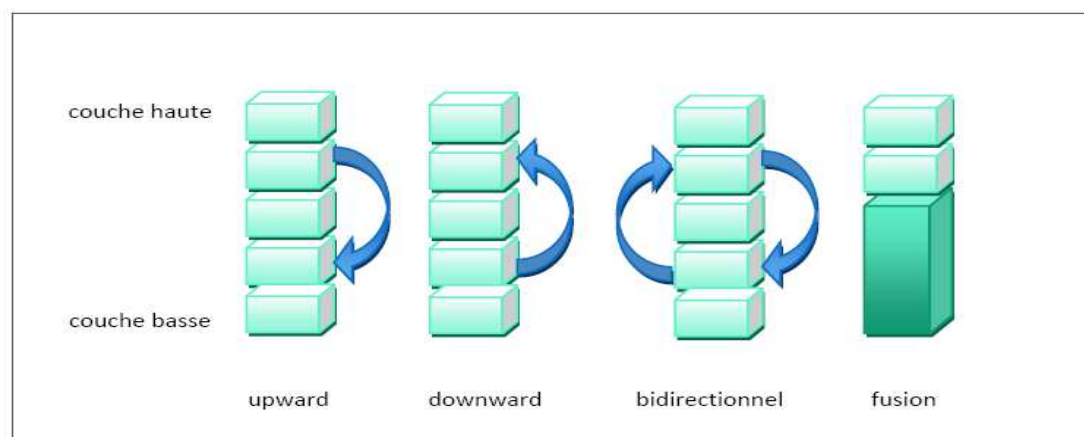


Figure 3.3: Types de communication cross layer

Dans ce contexte, l'IETF a standardisé le protocole Fast Handover for MIPv6 (FMIPv6), que nous présentons dans ce paragraphe.

III.3.2.3.a. Fast handover for MIPv6 (FMIPv6)

Le protocole Fast Handovers for Mobile IPv6 (FMIPv6 [52]) est une amélioration du protocole MIPv6 et figure parmi les solutions les plus prometteuses. Sa vocation est de réduire au maximum le temps de déconnexion de niveau 3 tout en limitant la perte de paquets de données. L'idée principale de ce protocole repose sur la détermination a priori du futur lien IPv6 des terminaux mobiles.

L'idée de base du FMIPv6 est de permettre au nœud mobile d'obtenir sa nouvelle adresse temporaire avant d'effectuer le handover vers le nouveau sous-réseau afin qu'il puisse immédiatement communiquer lorsque la connexion avec son nouveau routeur d'accès est établie. Ceci nécessite une anticipation de mouvements. Celle-ci peut être réalisée à l'aide des messages échangés dans la couche liaison du modèle OSI, ou grâce à des informations de niveau 2 (mesure de l'intensité de signal) appelés déclencheurs de niveau 2 (*L2 trigger* [54]), qui caractérise les architectures cross layer. Des exemples de déclencheurs de niveau 2 utilisés sont la perte de lien avec un point d'accès (*Link Down* –LD), ou l'établissement d'un lien avec un nouveau point d'accès (*Link Up* –LUP).

L'intégration du FMIPv6 dans la procédure de handover IEEE 802.16e de niveau 2, a été proposée par [53] sous la référence (RFC 5270). Selon la figure 3.4, la procédure de handover se déroule comme suit :

Lorsque le mobile veut changer sa station de base, il scanne tous les stations voisines, ce processus est suivi par l'activation de déclencheur NLD (*New Link Detect*), envoyé par la couche MAC au couche IP pour l'informer qu'une nouvelle liaison radio a été détecté, le mobile réagit à ce déclencheur et échange les messages Router Solicitation for Proxy (RtSolPr), et Proxy Router Advertisement (PrRtAdv) avec son routeur d'accès (en anglais *Previous Acces Router* - PAR) afin de tester son mouvement, le but est d'obtenir des informations sur le nouveau routeur d'accès (en anglais *Next Access Router* – NAR), tels que le préfixe, l'adresse IP et l'adresse MAC des routeurs d'accès.

Après la négociation avec les stations voisines en terme de QoS, bande passante,..., via les messages MOB_MSHO-REQ et MOB_BSHO-RSP. Si la station de base sélectionnée se trouve

dans un nouveau segment IP, un déclencheur de la couche MAC à l'IP (LHI) permet d'activer la phase de configuration d'adresse temporaire (en anglais *New Care-Of Address - NCoA*). Le mobile ensuite configura une nouvelle adresse temporaire, à l'aide de préfixe obtenu dans la phase de détection rapide de mouvement, et envoie cette NCoA au moyen du message FBU (en anglais *Fast Binding Update*) au routeur PAR.

Le PAR doit assurer la possibilité d'utilisation de cette adresse dans le nouveau réseau, pour cela il envoie le message HI (*Handover Initiation*) au nouveau routeur NAR, pour vérifier la validité de NCoA, et configure un tunnel bidirectionnel entre les routeurs PAR et NAR. En réponse le NAR envoie le message Hack (*Handover Acknowledgement*), ce qui signifie que le tunnel bidirectionnel a été établi, le PAR analyse la réponse et envoie le FBack (*Fast Binding Acknowledgement*).

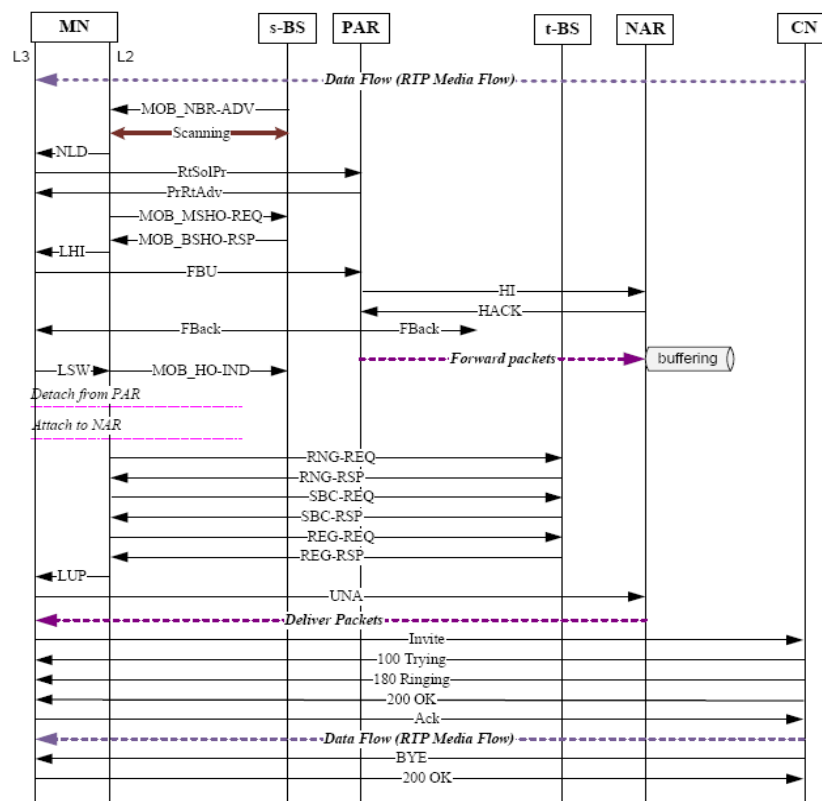


Figure 3.4: Protocole FMIPv6 sous WIMAX mobile en mode prédictive (IETF RFC 5270)

Dorénavant les messages destinés au mobile seront envoyés au NAR, dès que le mobile terminera le handover couche 2, le déclencheur LUP (Link UP) est activé pour indiquer que la liaison est établie, le mobile doit informer ensuite son nouveau routeur d'accès de son

attachement sur ce réseau via le message UNA (*Unsolicited Neighbor Advertisement*). Tous les paquets stockés dans le NAR sont redirigés au mobile, et un tunnel est créé entre le PAR et le NAR qui sera utilisé pendant la phase de mise à jour d'association. Si le message FBACk est reçu après la déconnexion au routeur courant, le FMIPv6 est exécuté en mode réactif, donc la configuration d'une nouvelle adresse sera réalisée après l'exécution de handover de la couche 2 (Layer 2 Handover).

L'optimisation efficace de protocole de mobilité FMIP à l'aide des techniques cross layer, demande la prise en compte des problématiques importantes suivantes [56]: quelles sont les triggers à utiliser, comment doivent être intégrés dans la couche MAC, quand ils seront déclenchés, et enfin quel est le type de conception cross layer sur quoi le protocole doit se baser. Les travaux qui traitent ces problèmes sont présentés respectivement ci-dessus:

- *La notification explicite de handover aux couches supérieures*: on s'intéresse aux définitions des triggers (généralement L2 ou L3 triggers). Dans [57] plusieurs triggers sont également proposés. Ce schéma devient un standard [58].
- *L'intégration de handover des couches 2 et 3*: Les extensions de mobilité IP (FMIP et HMIP), sont conçues indépendamment de toute technologie MAC, ce qui pose des problèmes de ressources, et de redondance si leurs intégration est de manière superposée à la couche 2, par conséquent le délai sera non acceptable pour les applications multimédias, plusieurs schémas qui proposent une intégration de deux procédures de handover (MAC et IP) se trouve dans la littérature. Les auteurs dans [59, 60, 61] proposent un exemple d'intégration de FMIP sous WIMAX. Dans [59] les auteurs éliminent la redondance par la fusion de l'étape de détection des voisins, qui est un processus de la procédure de handover de la couche 2, à l'étape de détection de mouvement, pour cela le message MOB_NBR-ADV est diffusé périodiquement par la station de base, et contient à la fois les informations MAC des stations de base avec les informations de routeur d'accès. Lorsque le mobile forme son adresse temporaire, il l'envoie au son routeur via le message FBU, ce message est combiné également dans le message d'indication de handover MOB_HO-IND de la couche MAC, et intitulé FBU_MOB_HO-IND. Les auteurs dans [60, 61] proposent des exemples d'intégration de FMIPv6 sous WIMAX mobile. Dans [62] les auteurs proposent une optimisation du handover de la couche 2, notamment la phase d'entrée au réseau, afin de

minimiser le temps d'interruption de service (en anglais- service disruption time), ils ont proposé un mécanisme d'entrée rapide, l'intérêt de ce travail est la prise en considération de la mobilité IP. Les auteurs dans [63], les auteurs proposent également une intégration de FMIPv6 sous WIMAX, basant les techniques de transfert de contexte afin de supprimer totalement certaines étapes de la couche 2 et 3.

- *Le déclenchement précis des triggers* : Le moment d'activation des triggers dans une conception cross layer a un grand impact sur les performances du protocole FMIPv6, ils doivent être générés temporellement correctes, avant la fin de handover au couche 2 pour assurer un mode prédictif du protocole, et de préparer au préalable certaines étapes de L3 handover. Une prédiction des triggers sera utile, comme les travaux présentés dans [64], souvent une telle prédiction ne doit pas être trop tôt pour éviter le problème de ping pong, ainsi que l'erreur de prédiction doit être bien analysée.
- *Le type de conception cross layer* : choisir le type d'architecture cross layer (single- way, two way) pour la conception du protocole est un autre défi, l'étude [65] a montré l'efficacité d'une conception two way. Deux schémas sont proposés pour WIMAX [66, 67], souvent la complexité d'implémentation d'une telle architecture est une contrainte majeure.

III.3.3. Discussion

D'après l'état de l'art décrit précédemment, une analyse des différentes propositions présentées, nous permettra de dire que, premièrement pour les optimisations de niveaux 2:

- La réduction du temps de scanning et celui de l'interruption durant l'exécution du handover, sont les deux axes de recherches actives dans l'optimisation de handover de niveau 2 dans WiMAX mobile. La majorité des travaux précédents focalisent sur la première problématique.
- La réduction de temps de scanning, est traité de deux manières, soit à minimiser le temps total de scanning (par la réduction de nombre de stations de base voisines à scannés), et négliger la manière d'allocation d'intervalles de scanning. Soit, négliger le temps total (risque dans une mobilité à grande vitesse), et le subdivisé en petites tranches d'interruptions non perceptibles par l'utilisateur.

- La coopération, entre les deux approches précédentes, peut stabiliser la qualité de service de flux en cours (des petites intervalles d'interruptions), et assure que le mobile va terminer le processus de scanning avant qu'il quitta son ancienne BS (minimiser le temps total).
- Focaliser les optimisations de handover sur la couche 2 seulement, ne serait pas judicieux et risque d'avoir des mauvaises performances lorsqu'on prendra en considération le handover de niveau 3.

Pour les travaux de niveau 3, on peut tirer les points suivants :

- le MIPv6 sans aucune optimisation, n'offre pas un support complet de la mobilité, puisqu'il ne résous pas le problème de délai et de perte de paquets. Il est considéré comme un protocole de gestion de chemin et de mise à jour de localisation (*Path-Management Protocol*) plutôt qu'un protocole de mobilité, à cause des délais engendrés lors des phases de détection de mouvement, d'auto-configuration d'adresse, et de mise à jour d'adresse, qui ont un délai d'au moins d'une seconde pour chaque phase, d'après la spécification du standard (configuration des *Timers*) et les différentes expérimentations [55]. On pense que le WiMAX forum va choisir l'une de ces extensions (c-à-d : FMIPv6, HMIPv6, FHMIPv6, PMIPv6), lors de la migration à la version 6 du protocole IP, notamment le protocole FMIPv6 pour son support de handover avec QoS aux services temps réel et multimédias.
- Malgré les optimisations proposées au niveau de processus DAD, il reste sensible à l'effet de mouvement erroné (*Erroneous Mouvement*), dû au changement inattendu de la forme de la mobilité. Par conséquent la configuration de l'adresse temporaire sera échouée, et nécessite la réfection du processus DAD, notamment le cas d'O-DAD. Pour le A-DAD, la bonne anticipation qui va définir les performances de ce protocole.
- Dans un environnement caractérisé par une mobilité à grande vitesse, avec des applications exigeantes en QoS tel que les applications multimédias et temps réel, le FMIPv6 avec le mode prédictif est le plus performant, dans le sens qu'il génère moins de délai, et moins de perte de paquets, à condition que l'anticipation doit être réussie (la création du tunnel avant la déconnexion de l'ancienne BS).
- D'après notre étude sur les principaux problèmes rencontrés lors de la mobilité, ainsi que les différentes approches qui visent à offrir des solutions de mobilité. On conclut que les

optimisations inter-couches (cross layer), sont les solutions convenables pour les majorités des problèmes de handover, dans le sens qu'ils offrent des solutions qui ne traitent pas de manière séparé la mobilité de niveaux 2 et 3. Chaque procédures de handover de niveau N, est consciente de l'avancement de la procédure de handover de niveau adjacent (grâce aux déclencheurs), par conséquent les délais et les pertes lors de handover seront minimiser.

- Le protocole FMIPv6, peut considérer comme une solution prometteuse pour les applications multimédias et temps réel.

III.3.4. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté en premier lieu, les problématiques liés au handover, notamment le délai de handover. L'analyse nous permettra de définir la source de ce délai, les causes, ainsi que les effets indésirables d'un tel délai sur le trafic en cours.

Un état de l'art sur les travaux d'optimisation de handover à été bien présenté et catégoriser. Dans les propositions citées précédemment qui traitent les différents problèmes de handover pour chaque couche d'un point de vue du protocole OSI, les performances ne seront pas améliorées considérablement (optimisation moins généralisée); à l'inverse des solutions à base d'architecture cross layer, qui fournissent une exécution en chevauchement, non séquentiel des procédures de handover des couches MAC et IP. En faite, aucune d'eux ne peut offrir un protocole général et complet de la mobilité, qui résolue à la fois : les interruptions de handover de niveau 2, les insuffisances de MIPv6 (DAD, MD), solution micro/macro mobilité, moins de perte de paquets avec un délai minimal de handover. On conclut que les optimisations *cross layer*, sont des approches prometteuses dans l'optimisation des protocoles de mobilité.

La problématique essentielle donc, c'est l'application des approches cross layer pour l'intégration des procédures de handover des niveaux 2et 3, qui n'est pas bien étudié dans la littérature. Dans le chapitre qui suit, nous allons s'intéresser à adapter au WiMAX mobile le FMIPv6, un protocole de mobilité à base de conception cross layer, conçue pour un handover rapide, sans perte de paquets, pour les applications temps réel et multimédias.

CHAPITRE IV

APPROCHE DE

MOBILITÉ PROPOSÉE

IV.1. Introduction

D'après le chapitre précédent, il est clair maintenant que le protocole MIPv6 nécessite des optimisations pour qu'il soit convenable au trafic temps réel et multimédia. Le choix de l'extension de MIPv6 (FMIPv6, HMIP, PMIP) à adopter dans une telle situation, est une tâche délicate et nécessite une étude comparative entre les différentes propositions, avec des expérimentations pour prendre la décision finale. Dans WiMAX, la standardisation de la couche 3 n'est pas encore finalisée, ce qui encourage les chercheurs de proposer et de tester les différentes possibilités.

Dans ce chapitre, nous allons étudier l'adaptation de protocole FMIPv6 décrit dans le chapitre précédent, sous WiMAX mobile. Le FMIPv6 est un protocole créé pour un besoin spécifique : handover rapide, et sans perte de paquets, ce qui le rend très satisfaisant pour le flux temps réel et multimédia. Nous allons d'abord dégager ces insuffisances, et proposer ensuite une optimisation, qui permet de mieux adapter le protocole au WiMAX mobile pour les applications critiques (télémétrie, VoIP,...), dans des environnements caractérisés par le changement fréquent et rapide de la station de base en cours, dû respectivement : à la taille réduite des cellules (zones urbaines), et de la grande vitesse du mobile (zones rurales).

IV.2. Les insuffisances de FMIPv6

Nous allons analyser dans cette section, l'efficacité des mécanismes proposés par le protocole FMIPv6 aux problèmes de détection de mouvement ainsi que la configuration d'adresse. Ces mécanismes ont l'objectif de fournir un mode prédictif au protocole, c'est-à-dire détecter rapidement le changement de la liaison (nouveau domaine IP), et configurer et tester une adresse IP avant que la communication est interrompue avec l'ancienne BS. Cela permet au mobile de recevoir les paquets dès que son attachement à une nouvelle BS. Analysons les principales phases qui déterminent les performances de FMIPv6:

- **La détection rapide de mouvement**

Le FMIPv6 s'appuie sur une architecture cross layer, qui permet au protocole d'utiliser les déclencheurs de la couche 2, afin d'indiquer tout changement de la liaison radio.

Après la fin de scanning (le processus de la couche MAC qui vise à acquérir les informations de la liaison radio : niveau de signal, taux de perte,...), le déclencheur NLD (*New Link Detect*) est activé, il sert à indiquer au couche IP qu'une nouvelle liaison a été détectée. Suite à cette conclusion, le mobile entame ensuite la phase de détection de mouvement, pour confirmer que la nouvelle BS est contrôlée ou non par un nouveau routeur.

Plusieurs problèmes qui se posent à ce niveau :

- Le délai de scanning est de l'ordre de quelques centaines de milli secondes d'après les expérimentations. Ainsi, le mobile peut changer soudainement sa direction de mobilité, ce qui implique un changement inattendu de résultat d'anticipation de futur routeur (qui est basée seulement sur le niveau de signal); cela est dû à cause de l'indépendance entre les procédures de handover de différentes couches.

- **Auto-Configuration d'adresse**

Aucune contribution à ce niveau. Selon le standard FMIPv6, le mobile doit attendre au moins 1000 ms pour détecter qu'aucun conflit n'aura pas lieu dans le nouveau lien, via la phase DAD. Le routeur en cours doit attendre la fin de cette phase afin de créer le tunnel bidirectionnel, ce qui augmente la probabilité d'échec du mode prédictive du protocole.

- **L'influence de la procédure de scanning**

Le protocole FMIPv6 est un protocole de niveau 3, à base d'architecture *cross layer* (exécution parallèle des procédures de handover de niveau MAC et IP), et conçu sans aucune relation avec les différentes couches MAC (WiFi, WiMAX, ZIGBEE,...); pour cela, son intégration au couche MAC, doit prendre en considération la spécificité de chaque couche. Dans WiMAX, la phase de scanning est coûteuse en temps et ressources, comme elle a été analysée dans le chapitre précédent, elle ajoute un délai non négligeable au délai total de handover, par conséquent le mode prédictif souhaité peut échouer dans le cas d'une mobilité à grande vitesse.

- **Création du tunnel bidirectionnel**

Un mécanisme très intéressant a été proposé dans FMIPv6, qui est le tunnel bidirectionnel entre le routeur ancien et nouveau, afin d'éliminer totalement les pertes de paquets.

Ce tunnel est créé après la phase de DAD avant que le mobile quitte sa station originale. La création du tunnel peut être échouée, dû au délai des phases précédentes, notamment le scanning, la détection du mouvement erronée, et DAD. La mobilité à grande vitesse, influence considérablement et retarde la création du tunnel dans la liaison en cours.

Si le mobile quitta sa station, sans être capable de créer ce tunnel, le FMIPv6 exécutera en mode réactif, il terminera premièrement l'attachement avec la nouvelle cellule, puis vérifier l'unicité d'adresse à l'aide de DAD, et créa finalement le tunnel. Tous les paquets seront perdus jusqu'à la création de tunnel.

En résumé, on peut conclure que les performances de FMIPv6 dépendent essentiellement de:

- L'exactitude de la phase de détection de mouvement (elle ne doit pas être basée seulement sur la qualité de signal).
- Le délai de DAD, négligé dans la majorité des travaux d'intégration de FMIPv6 sous WiMAX, comme on a vu dans l'état de l'art.
- Le délai de la phase de scanning, influence également sur le mode d'exécution du protocole.

L'effet engendré par les facteurs décrits ci-dessus est la perturbation de la QoS, cette dégradation est augmentée de plus en plus dans les scénarios d'une mobilité en grande vitesse, ou dans les cellules surchargées.

IV.3. Le protocole OFMIPv6 (Optimized Fast Mobile IP) :

D'après l'analyse précédente, il est clair maintenant que le protocole FMIPv6 souffre de quelques insuffisances lors de son intégration dans une procédure de handover de la couche MAC (layer 2 handover), nos améliorations majeures focalisent sur l'optimisation à la fois de handover de niveaux 2 et celle de niveau 3, en termes de délai et de coût de signalisation, cela est motivé par la philosophie des approches *cross layer* qui permettent une exécution en chevauchement de la procédure de handover des deux couches, c'est-à-dire que chaque couche doit être consciente de l'état d'avancement de handover de l'autre couche (couplage fort).

IV.3.1 La description du protocole

Le protocole OFMIPv6, est un protocole de mobilité IP à base d'architecture cross layer, conçu pour intégrer le protocole FMIPv6 sous la couche MAC IEEE802.16e, en prenant en considération les caractéristiques de la procédure de handover de la couche MAC.

Rappelons que, FMIPv6 a proposé une optimisation basée sur l'anticipation de handover de niveau IP, avant la terminaison de handover de niveau MAC, à l'aide des déclencheurs de la couche MAC (en anglais *Triggers*), qui indiquent à la couche IP qu'un handover sera probable, le déclenchement est basé sur la qualité de signal mesurée lors de la phase de scanning. Nous montrons également que la grande vitesse du mobile, dans les autoroutes par exemple, peut constituer comme un raison d'échec de cette anticipation, dans le sens que le mobile n'aura pas assez de temps pour compléter tous les étapes de préparation de handover.

Nous proposons à cette problématique, l'utilisation des informations de localisation du mobile, afin de préparer le plus tôt possible les phases coûteuses de handover, avant la déconnexion du mobile de sa station en cours.

Le figure ci-dessous décrit les séquences de messages de signalisation de notre protocole, on offrira par la suite une description détaillée des différentes étapes :

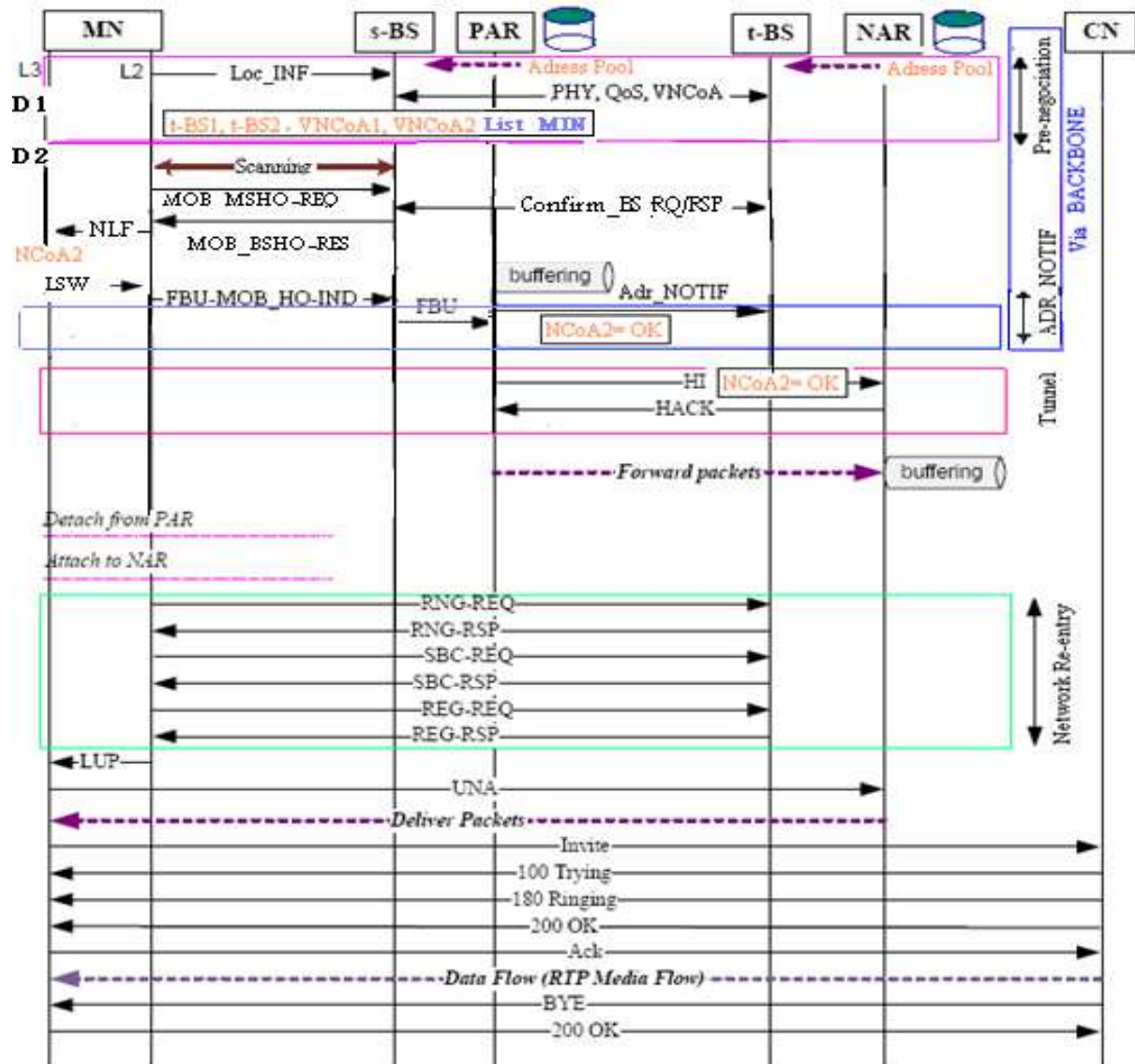


Figure 4.1: Le protocole OFMIPv6

On peut résumer le fonctionnement du protocole par les étapes suivantes :

- La pré-négociation : construction de la liste *List_Min*, et réservation d'une adresse IP virtuelle pour chaque station appartenant à cette liste et gérée par un nouveau routeur.
- Le scanning : qui se base sur la liste réduite de stations de base *List_Min*.
- Initialisation du handover : par le mobile via le message *MOB_MSHO-REQ*.
- Mettre à jour la liste *List_Min* : certains paramètres de QoS peuvent, et nécessitent une confirmation.

- Déclenchement du handover IP : via le nouveau déclencheur inter-couche NLF (New Link Found), qui indique au couche IP, qu'un nouveau routeur est trouvé, et un handover au niveau IP sera probable.
- Configuration de l'adresse IP réservée auparavant.
- Réponse de la configuration de l'adresse IP : via le message inter-couche LSW (Link Switching).
- Déclenchement du handover MAC : envoi de l'adresse configurée pour la confirmation finale au niveau routeurs.
- Création du tunnel et redirection des paquets par l'ancien routeur vers le nouveau routeur.
- Exécution du handover MAC : déconnexion de la station en cours, et rétablissement d'une nouvelle connexion avec la station cible.
- Réception des paquets stockés dans le buffer, envoyés par le nouveau routeur.
- Le Fonctionnement du reste du protocole est similaire au standard FMIPv6, (mise à jour de routabilité avec l'agent mère et les correspondants du mobile).

Nous détaillons dans ce qui suit, les étapes qui constituent nos améliorations majeurs dans le protocole.

IV.3.1.1 La phase de la pré-négociation :

Le but de cette étape est d'acquérir les informations, nécessaires aux étapes future de handover, soit pour le niveau MAC tel que : le scanning, et la négociation des paramètres de QoS, ou pour la couche IP : la détection du mouvement, et le DAD. On propose de regrouper les phases de collection de ces informations en une étape intitulé, la pré-négociation, utilisant les techniques de la localisation, on exploitant la position physique du mobile mesurée avec GPS, étant donné que les mobiles de la 3^{ème} et 4^{ème} génération sont par défaut équipé de cette fonctionnalité, on peut également supposer l'utilisation des techniques de localisation telle que : TDOA, AOA, A-GPS...donc, proposer une nouvelle méthode de localisation sort du cadre de notre mémoire.

Ce nouveau mécanisme d'acquisition des informations MAC et IP à la fois, est différent du standard [3], où la station de base ne diffuse pas périodiquement le message MOB_NBR-ADV pour l'acquisition de la topologie (information de bas niveau) de toute les stations voisines qui ne peuvent pas être forcément constitués des futures destinations pour le mobile. L'objectif de

la pré-négociation et l'élimination des phases coûteuses en temps et ressources (énergie et bande passante) : la détection de mouvement, et la phase de scanning, via la construction d'une liste minimale des stations de base triées dans l'ordre suivant :

- Les stations les plus proches.
- Les stations meilleures en QoS, selon le service en cours.

Ajoutant les informations concernant la couche IP, on aura tous les informations qui nous permettrons une optimisation considérable des procédures de handover au niveau MAC et IP.

Afin de mettre en œuvre ce mécanisme, les différentes cellules sont subdivisées en trois sous zones [68], définis lors de l'étape de la planification du réseau, par le biais de type de modulation, comme illustre la figure 4.2, la zone Z_1 , représente la zone de la réception du flux internet sans aucune activité de handover. Lorsque le mobile entame la zone Z_2 , il commence à calculé sa position $p_1(x_1, y_1)$, il envoie cette information à sa station de base encapsulé dans le nouveau message *Loc_Inf* (en anglais *-location information*), décrit dans la figure précédent, ce message sert à calculer le vecteur des distances entre le mobile et tous les stations voisines $D(BSi)$, (formule 01).

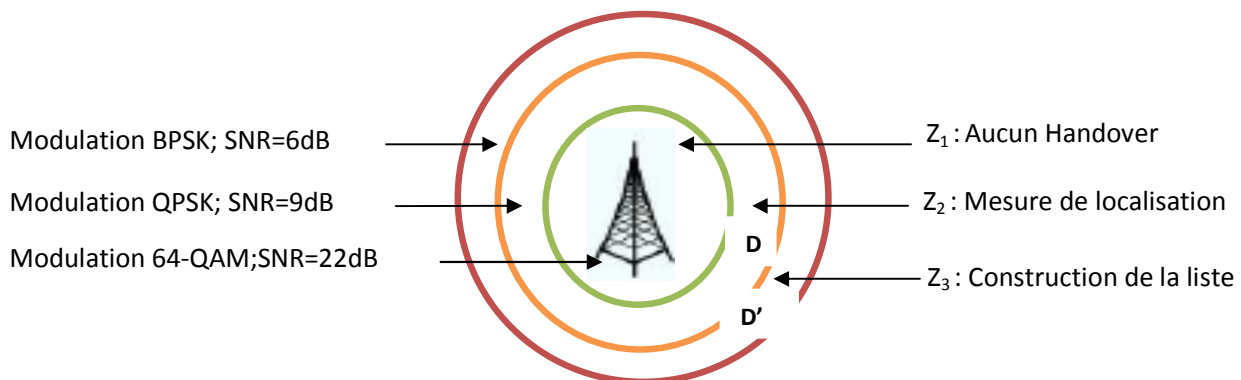


Figure 4.2: Décomposition de cellules en zones de Handover

A l'arrivé du mobile au zone Z_3 un handover sera probable, à ce moment le mobile doit avoir une liste des stations voisines à utiliser lors de l'étape de la pré-négociation, le mobile calcula sa position $p_2(x_2, y_2)$, le vecteur $D'(BSi)$, (formule 02) ainsi que le degré d'accessibilité D_{acc} par la formule 04 , tel que :

$$D(BSi) = \{D1, D2, \dots, D_n\} , \quad n = \{1, 2, \dots, Nbr_Bs_Total\} \quad (1)$$

$$D'(BSi) = \{D'1, D'2, \dots, D'_n\} , \quad (2)$$

$$D_i = \sqrt{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2}, \quad j = \{1, 2\} \quad (3)$$

$$D_{acc} = \frac{D_i - D_{i'}}{D_i}, \quad i = \{1, 2, \dots, Nbr_BS_totale\} \quad (4)$$

Le mobile ensuite ordonne les stations selon un ordre descendant basé sur la valeur de D_{acc} , afin de former la liste des stations proches $BS_proches$, et entame une négociation avec les stations de la liste $BS_proches$, pour les besoins de la QoS selon le service en cours (VoIP, VoD,...), si l'une des stations est attaché à un nouveau routeur, un handover au couche 3 sera probable, on pourra ainsi acquérir les informations lié à la couche IP. Par conséquent le processus de détection de mouvement sera supprimé, car l'information de la localisation permet de déduire au préalable les futurs routeurs.

Avant de présenter le pseudo-code de la procédure de la pré-négociation, dont le but est de collecter à la fois les informations MAC et IP, nous définissons tous d'abord quelques fonctions et paramètres utiles :

$D(mobile, BS)$: la fonction de calcul de distance entre le mobile est une station de base BS_i , sachant que la position du mobile est mesuré avec GPS ou l'une des méthodes de localisations connues (TDOA, A-GPS, ...), tandis que la position des station est fixe. Proposer une nouvelle méthode de localisation sort du cadre de notre mémoire, l'objectif ici est de connaître les stations les plus proches

D_{acc} : paramètre d'accessibilité, ce concept permet de connaître la profondeur du déplacement d'un mobile à l'intérieur d'une station de base.

$List_seuil$: un nouveau seuil est défini qui dépend de la qualité de signal, sert à initialiser la création de la liste minimale.

$degre_acc(D1, D2)$: fonction de création de la liste des stations de bases les plus proches du mobile, trié selon le degré d'accessibilité maximal.

$Negocier(BS_proches)$: fonction de création de la liste des stations de base jugées bonne en QoS, formée à l'aide d'une négociation via le réseau cœur (*backbone*) avec les stations proches.

$Choisir(BS_QoS, BS_proches)$: fonction de création de la liste minimale.

Le pseudo-code suivant illustre la procédure de la pré-négociation :

Algorithme *Pré-négociation*

01. $D(BS_i), D'(BS_i)$; //Tableaux des distances entre le mobile et les stations


```

02. Nbr_BS_totale : Const , // Le nombre totale des stations de bases ,
03. Dacc : réel // Degré d'accessibilité,
04. BSmin, BS_proches, Liste_Min // Tableaux des stations de base
05. List_seuil : réel // Seuil de construction de la liste minimale < seuil scanning
// *** Mesures de la localisation D1
06. While ( mobile_node in Z2 ) Do { // Le mobile est dans la zone Z2,
07. For i :=1 to Nbr_BS_totale do
08. D(BSi) ← D (mobile, BSi) ; Fin ; } // Calculer les distances avec les stations
09. End ;
// *** Mesures de la localisation D2
10. While (mobile_node in Z3) Do { // Le mobile est dans la zone Z3,
11. For i :=1 to Nbr_BS_totale do
12. D'(BSi) ← D ( mobile , BSi) ; Fin ; } // Calcul les distances avec les stations
13. End ;
// *** Construction de la liste minimal
14. If((Qualité_signal) <= (List_seuil )) Then //
15. Calculer (Dacc) ;
16. BS_proches ← Tri (degre_acc(D,D')) ; //Trié selon le degré d'accessibilité maximal

17. BS_QoS ← Negocier (BS_proches) ; // Négociation des paramètres de la QoS
18. Liste_Min ← Choisir (BS_QoS , BS_proches ) ; // Former la liste minimale
19. Fin ;

```

Le résultat final de l'étape de pré-négociation, est la liste des stations de base qui ont le degré d'accessibilité maximal (les plus proches), avec l'acquisition des paramètres suivantes :

Liste_Min = <QoS ; @IP Virtuelle>, tel que :

QoS : les paramètres de la qualité du service souhaité, en termes de débit, délai,...

@IP Virtuelle : une adresse IP réservé unique dite adresse virtuelle, qu'on va l'expliquer plut tard.

On va décrire dans les sections suivantes, comment cette liste pourrait être utile dans l'optimisation des procédures de handover aux niveaux MAC et IP.

IV.3.1.2 Optimisation de handover de niveau 2

Le handover de niveau 2, comme il a été expliqué dans le chapitre 2 est initialisé par la phase de scanning, l'étape la plus couteuse en temps et ressources, car il se base sur la totalité des

stations de base voisines pas forcément intéressantes (les plus loin ou qui ne supportent pas la QoS demandée), nous montrons l'optimisation proposé face à ces inconvénients.

IV.3.1.2.a Réduction du temps de scanning

Le temps de scanning, est dépend du nombre des stations de base à scannés :

$$t_{L2p-scn} = N_{p-nbr} \times t_{p-s}$$

Tel que :

t_{L2-scn} : représente le temps total de scanning.

N_{p-nbr} : représente le nombre total des stations de bases.

t_{p-s} : représente le temps de scanning d'une seule station.

D'après l'état de l'art présenté dans le chapitre précédent, les majorités des travaux concentrent sur la minimisation de l'un des paramètres qui influencent sur la durée totale de handover c.-à-d le nombre total de stations ou les intervalles de scanning. On a montré également dans le chapitre précédent les limitations de l'isolation de ces deux approches.

On propose à l'aide de la liste des stations formée lors de l'étape de pré-négociation, de minimiser ces deux paramètres, on manipule alors un nombre réduit de stations de base et au même temps, on limite l'intervalle de scanning pour une valeur qui satisfait la QoS, on aura alors un temps de scanning :

$$t_{L2-scn} = N_{min} * t_{min}$$

N_{min} : représente le nombre des stations de bases de la liste minimal, Liste_Min.

t_{min} : représente le temps de scanning minimal qui ne perturbe pas la QoS de flux en cours [45].

Tel que : $N_{min} < N_{p-nbr}$

t_{min} est borné par les limites de la QoS, en terme de délai et gigue. (50 ms pour une application de type VoIP).

On exploite encore la liste générée lors de la phase de pré-négociation, afin d'optimiser le handover de niveau 3 détailler dans la section suivante.

IV.3.1.3 Optimisation de handover de niveau 3

On propose trois mécanismes afin de minimiser les effets indésirables des phases de détection de mouvement et de DAD, cela minimise considérablement le temps total de handover, et par conséquent assure un mode prédictive pour le protocole FMIPv6.

IV.3.1.3.a Suppression de processus de détection du mouvement

Nous avons montré dans la section IV.3.1.1, que nous pouvons acquérir des paramètres concernant la couche IP à la fin de l'étape de la pré-négociation, notamment le préfixe IP des routeurs correspondants aux futures stations de base, par conséquent le mobile n'as plus besoins de lancer la phase de détection du mouvement.

IV. 3.1.3.b Optimisation de DAD : VDAD

Après l'acquisition des informations de la localisation du mobile, et connaitre les stations les plus proches, la station de base source demande la réservation d'une adresse temporaire pour chaque station de base cible appartient à un routeur différent. On a intitulé cette adresse: adresse virtuelle, configuré en deux passes :

➤ La réservation :

L'idée de base est de créer un pool d'adresses uniques, au niveau des routeurs, chaque routeur diffusera cette plage d'adresse à ces stations, le moment ou le mobile déclara la liste des stations de base proches, sa station de base demanda une adresse IP valide, an parallèle avec la négociation de la QoS, la décision de la station cible est presque finale à ce stade, il reste que la phase de scanning pour tester le qualité de signal.

Le mobile termina la phase de pré-négociation, et configura en plus plusieurs adresses dites virtuelles pour chaque station appartient à la liste List_Min et gérée par un nouveau routeur, le mobile ainsi doit activer qu'une seule adresse pour l'utilisation. La raison pour qu'elle on n'a pas besoins de tester l'unicité de cette adresse, est sa validité au niveau de routeur dès le début.

L'activation est réalisée après le processus de scanning, l'adresse sera indiquée comme occupée au niveau de pool d'adresse. La décision est finale maintenant le mobile connaît sa station cible, et configure une adresse qui doit être activée. Le mécanisme suivant explique l'activation d'adresse.

➤ La confirmation ADR_NOTIF :

Après que le mobile configure sa nouvelle adresse IP, le déclencheur LSW sert à demander à la couche MAC de changer la liaison radio et exécuter le handover de la couche 2. Pour activer l'adresse temporaire choisie précédemment, la station de base cible doit informer parallèlement son routeur. Selon le standard [3], le mobile peut déclencher le handover MAC via le message MOB_HO-IND, il est naturel ici de le considérer aussi comme un signe du handover de la couche 3. Pour éliminer ces redondances dans les couches MAC et IP, on combine les messages FBU de la couche 3 (qui contient l'adresse temporaire), avec le message MOB_HO-IND de la couche MAC [59], on obtient le message FBU-MOB_HO-IND, utilisé par le mobile pour informer sa station source qu'il va faire un handover avec la station cible par exemple t-BS2, et lui demande de communiquer avec t-BS2 à l'aide de nouveau message ADR_NOTIF, via le *Backbone* (le délai est négligeable) afin d'activer l'adresse IP stockée dans son pool (rendre son état active), et également avec les stations de base de la liste Liste_Min construit lors de la phase de négociation, afin de libérer les autres adresses virtuelles réservées (rendre son état libre), la raison de garder cette liste est de minimiser l'effet de *ping pong* qui exige une configuration rapide de la liste, et éviter les inconvénients d'ADAD, l'approche proposée dans la littérature.

A la réception du message FBU, les paquets seront stockés au niveau de PAR jusqu'à la création du tunnel bidirectionnel entre l'ancien et le nouveau routeur.

L'avantage de cette technique est que le mobile ne doit pas attendre la réponse du nouveau routeur via le message FBack, puisque l'adresse est unique et validée dès le début, il s'agit ici de l'activer seulement. Donc son ancien routeur peut directement entamer la création du tunnel et informer le nouveau routeur d'activer l'adresse temporaire. Donc on a trois niveaux de confirmation :

- Activation avec la station cible.
- Activation avec le nouveau routeur.
- Libération de l'adresse IP dans la liste des stations voisines formées dans la phase de pré-négociation.

IV.4. Evaluation des performances

Nous évaluons notre schéma par rapport à celle proposé par l'IETF. L'analyse est basée sur un modèle analytique qu'on a développé, on ne prendra pas en considération le délai de routabilité et les files d'attente au sein des routeurs; on considère dans notre évaluation une architecture typique d'un réseau WiMAX mobile, pour le support de l'internet mobile et ces services multimédias et temps réel.

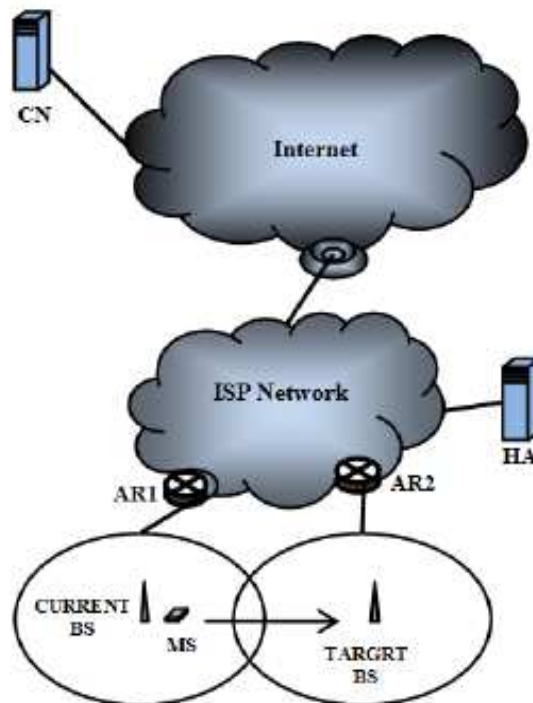


Figure 4.2: Le modèle du réseau

L'analyse est basé sur la durée de chaque procédure de handover du protocole proposé, la durée des messages est en fonction du durée de trame [3], sachant qu'une trame est l'unité d'échange de donnée au couche physique (au moins 1 ms), un message peut subdivisé en plusieurs trames, par conséquent le délai de transmission des messages entre les nœuds de réseau est égal au moins à la durée d'une trame (1 ms). Le délai de propagation est ignoré par rapport au délai d'une trame.

Le mobile MN effectuera une session de VoIP avec un nœud quelconque CN (en anglais *Correspondent Node*), après un certains temps il déplace vers une nouvelle station de base attachée dans un nouveau routeur, ce qui l'oblige de changer son adresse IP et garder sa connectivité. Les métriques d'évaluation est le délai total de la procédure de handover (*handover delay*), étant donnée que le mode prédictive de FMIPv6 est résistant à la perte des paquets par rapport au mode réactif, grâce au tunnel bidirectionnel, mais il faut que ce tunnel soit créer le plus rapidement possible avant le début de handover de la couche 2, cela est assuré grâce à l'optimisation du processus de scanning à l'aide des techniques de localisation, et de buffering au niveau d'ancien routeur.

IV.4.1. Modèle analytique

- *Délai total de la procédure de handover :*

On considère dans notre analyse que le délai total de handover (T_{THT}) est l'intervalle entre la décision de handover et le moment de réception de premier paquet, sachant que $T_{THT-RFC}$ représente le délai la procédure du standard RFC5270, et $T_{THT-POR}$ représente le délai de notre procédure.

Dans notre schéma ce délai commence au moment de décision de handover (l'envoi de FBU_MOB_HO-IND), jusqu'à la réception de premier paquet (envoi de message UNA). On ne considère pas la phase de pré-négociation puisqu'elle n'impliquera pas forcément un handover. Dans le standard, le délai du handover est l'intervalle entre l'initialisation de handover (envoi de MOB_MSHO-REQ) et également l'envoi de message UNA. On aura alors:

$$T_{THT-RFC} = T_{NEG} + T_{HI} + T_{L3} + T_{IND} + T_{L2} \quad (1)$$

$$T_{THT-POR} = T_{FBU_MOB_HO-IND} + T_{L3} + T_{Adr_NOTIF} + T_{L2} \quad (2)$$

Sachant que :

T_{NEG} : Délai de la phase de négociation (le standard).

T_{HI} : Différence de temps entre la réception du message MOB_BSHO-RSP et l'envoi de MOB-HO-IN.

T_{IND} : Différence de temps entre la réception de FBack et l'envoi de MOB-HO-IND.

T_{L3} : Le délai entre l'envoi de FBU à la réception de FBack (la configuration IP, et le DAD) dans le standard (3). Dans notre schéma, le mobile n'as pas besoins de recevoir le message FBack, puisque l'adresse est valide, donc on ne considère que l'étape de notification et la création du tunnel.

La différence majeure est dans la durée de DAD, qui est éliminée dans notre schéma dans (4) :

$$T_{L3} = T_{FBU} + T_{TUNNEL} + T_{FBack} + T_{DAD} \quad (3)$$

$$T_{L3} = T_{FBU} + T_{TUNNEL} \quad (4)$$

T_{DAD} : La durée de processus DAD, éliminée dans notre schéma.

T_{FBU} : La durée d'envoie du message FBU.

T_{TUNNEL} : La durée de création du tunnel.

T_{L2} : Durée de la procédure de Handover de la couche 2, selon le standard [3], elle peut être estimer comme suit :

$$T_{L2} = T_{C_REQ} + T_{RES} + T_{AU} + T_{REG} + T_{SYNC} \quad (5)$$

Tel que :

T_{C_REQ} : Temps moyen d'envoie de message RNG-REQ, du processus de Ranging (pour la négociation des bons paramètres de la communication, exemple : puissance du signal).

T_{RES} : Temps moyen de réception de réponse du message RNG-REQ.

T_{AU} : Temps moyen de ré-autorisation.

T_{REG} : Temps moyen de ré-enregistrement au niveau de la nouvelle station de base.

T_{SYNC} : Temps moyen de synchronisation (réception des paramètres de transmission, en voie montante et descendante).

$T_{FBU_MOB_HO_IND}$: Durée d'envoie de message FBU_MOB_HO-IND, de mobile vers sa station de base, égale à la durée d'une trame T_F .

T_{Adr_NOTIF} : Durée d'envoie de message Adr_NOTIF de la station de base en cours vers la station cible, ce message est transféré via le backbone, donc négligeable.

IV.4.2 Résultats de calcul numérique

Nous évaluons les schémas de handover à l'aide de la modélisation effectuée dans la section précédente, on suppose quelques paramètres :

Paramètre	Valeur
T_{HOP}	1 ms
$N_{PAR-NAR}$	3 sauts
T_{DAD}	700 ms
$T_{HI} = T_{IND}$	T_F
T_{SYNC}	10 ms
$T_{C_REQ} + T_{RES}$	5 ms
$T_{AU} + T_{REG}$	100 ms

Tableau 4.2: Paramètres d'évaluation de handover

Les valeurs typiques des paramètres de la procédure de handover du couche 2 sont similaires à [68], ils sont utilisés presque dans la majorité des travaux existents dans la littérature, et issues de la spécification du standard [3] :

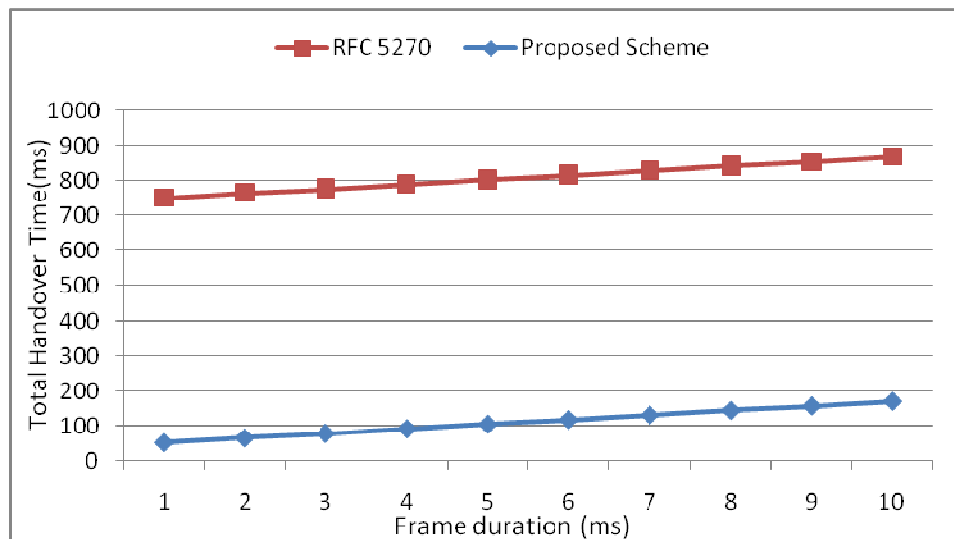


Figure 4.3: Le délai total de handover (mode prédictive)

Le Figure 4.3 montre la différence de délai total de handover de l'approche proposée et celle du standard RFC5270, exprimé en durée de trame.

Notre solution est moins couteuse en temps, cela est dû à l'optimisation VDAD proposée, ce qui montre l'efficacité de notre solution pour les applications temps réel et multimédias qui nécessitent un délai moins de 400 ms.

IV.5 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons traité essentiellement les problèmes de délai et des redondances lors de l'intégration du protocole FMIPv6 sous WiMAX mobile.

Dans un premier temps, on a réussi de montré les insuffisances des protocoles de mobilité à base d'architectures cross layer, nous identifions les phases redondantes dans le protocole FMIPv6, et les regroupés dans une phase séparé à la procédure de handover, qui nous utiliserons pour l'optimisation des procédures de handover des couches MAC et IP.

Dans le niveau MAC, l'étape de pré-négociation permet de connaître à l'avance les futures stations de base, ce qui un gain important lors du processus de scanning, coûteux en temps et énergie. Dans le contexte de la mobilité IP, le nouveau mécanisme VDAD proposé permet de distribué à l'avance des adresses IP valides, et les confirmées lors de la décision final de handover, et optimiser considérablement le processus DAD. Les résultats préliminaires sont encourageants, et montrent l'efficacité de nos chemins de recherche.

Conclusion et perspectives

Dans ce mémoire, nous avons étudié l'un des problèmes les plus critiques dans les réseaux sans fil, qui est la gestion de la mobilité. Ce problème est encore ouvert dans les réseaux WiMAX mobile, car la mobilité est récemment supportée dans le standard, et son Framework de la gestion de la mobilité pour le niveau 3, n'est pas encore finalisé.

Divers propositions ont été étudiées dans ce mémoire, afin de construire une solution de mobilité adéquate pour les applications temps réel et multimédias, exigeantes en termes de QoS.

Dans un premier temps, on a révisé les solutions de la mobilité de niveau 2, et on a proposé une optimisation, qui combine les approches d'optimisations existant dans la littérature, dans le sens de prendre en considération le nombre des stations de bases voisines, ainsi que l'allocation des intervalles de scanning lors de l'optimisation.

Dans la deuxième partie, on a étudié le problème encore non résolu dans le WiMAX mobile, qui est le choix entre ces extensions : FMIPv6, HMIPv6, F-HMIPv6, considérés comme des optimisations de MIPv6.

On a décidé de travailler premièrement, sur le FMIPv6 en raison de nécessité des handover rapides dans les environnements avec une mobilité à grande vitesse, dont les phases de détection de mouvement et DAD sont les véritables obstacles. On a montré les inconvénients des techniques *cross layer*, notamment la dépendance complète sur l'état de la liaison radio, qui a engendré le risque d'une fausse anticipation. Pour cela on a proposé d'utiliser en parallèle avec les déclencheurs de niveau 2, les techniques de la localisation considérées actuellement, à la mode, qui permet d'aider à former une liste réduite des stations de base considérés les plus proches, par la suite le durée et les ressources seront optimiser lors du handover.

Si on décide de prendre en considération les concepts de Micro et Macro-mobilité, le F-HMIPv6 sera le meilleur choix dans ce cas, l'offre d'une mobilité globale ou local rapide et sans perte de paquets, sera certainement assurée par la combinaison de ces deux protocoles.

Dans un futur travail on va évaluer d'autres paramètres intéressants pour la QoS (perte de paquets, latence du handover), ainsi que l'application de schéma proposé dans un environnement de technologies sans fil hétérogènes (WiFi, GSM, UMTS), sous différents modèles de mobilité.

Bibliographie

- [1] K. Al Agha, G. Pujolle and G. Vivier, *Réseaux de mobiles & Réseaux sans fil*. No. ISBN 2-212-11018-9, Eyrolles, 2001.
- [2] IEEE Std 802.16-2004, "IEEE standard for local and metropolitan area networks- part 16: Air interface for fixed and mobile broadband wireless access systems", October 2004.
- [3] IEEE Std 802.16e 2005, "IEEE standard for local and metropolitan area networks - part 16: Air interface for fixed and mobile broadband wireless access systems. amendment 2: Physical and medium access control layers for combined fixed and mobile operation in licensed bands and corrigendum 1", February 2006.
- [4] K-H. Li, PhD, "*IEEE 802.16e-2005 Air Interface Overview*", WiMAX Solutions Division, Intel Mobility Group, Technical Report, 05 June, 2006.
- [5] WiMAX Forum, « *WiMAX End-to-End Network Systems Architecture* », Draft Stage 2: Architecture Tenets, Reference Model and Reference Points, 2007.
- [6] B. Tarek, "Gestion de la mobilité, de la Qualité de Service et interconnexion de réseaux mobiles de nouvelle génération" thèse de Doctorat, Université de Toulouse, 2010.
- [7] R. Braden, D. Clark and S. Shenker, "Integrated Services in the Internet Architecture: an Overview," IETF, RFC 1663, June 1994
- [8] Blake, et. al. Architecture for Differentiated Services," IETF, RFC 2475, December 1998
- [9] ITU, "General Characteristics of International Telephone Connections and International Telephone Circuits: One-way Transmission Time," Recommendation G.114, 1996
- [10] A. Tanenbaum, "Computer Networks," 4th Edition, Pearson Education 2003

- [11] D. Johnson, C. Perkins, J. Arkko: "Mobility Support in IPv6, RFC 3775", IETF 2004.
- [12] WiMAX Forum Network Architecture-Stage2: "Architecture Tenets, Reference Model and Reference Points-Release 1, Version 1.2", WiMAX Forum Network Working Group, WiMAX Forum, January 2008.
- [13] K. Etemad. "Overview of Mobile WiMAX Technology and Evolution. IEEE Commun. Mag.", 46(10):31-40, October 2008.
- [14] M. Kukarni, « 4G Wireless and International Mobile Telecommunication (IMT) Advanced », mémoire rédigée, www.cse.wustl.edu, 2008.
- [15] Parsa Wireless Communications, « Survey of WiMAX, LTE, and UMB », 2007.
- [16] C. Ball, « LTE and WiMAX Technology and Performance Comparison », Nokia Siemens Networks, 2007.
- [17] Motorola & Intel, « WiMAX and WIFI together: Deployment Models and User Scenarios », White Paper, 2007.
- [18] Intel, « WiMAX and WIFI together: Synergies for Next-Generation Broadband », White Paper, 2008.
- [19] B. Hakim, "Étude et conception d'algorithmes pour les réseaux mobiles et AD HOC" thèse de Doctorat, Université Paris-Sud 11, 2005.
- [20] B. Jean-Marie, "Mémoire d'Habilitation à diriger des recherches" Université Rennes 1.

- [21] H. Nour El Houda, "Optimisation du problème du handover dans les constellations de satellites en orbites basses " thèse de Magistère, Université Batna, 2008.
- [22] G. Messaoud, "Minimisation de la probabilité d'échec du handover dans les réseaux cellulaires mobiles " thèse de Doctorat, Université Batna.
- [23] Dae Sun Kim, ChoongSeon Hong, and Tatsuya Suda. A terminal mobility management architecture for ipv4 and ipv6 environments. In *1st International Workshop on Broadband Convergence Networks (BCN'06)*, April 2006.
- [24] K. Guillouard, P. Bertin, Y. Khouaja, J.-C. Rault, and J.-M. Bonnin. Network controlled mobility within radio access networks based on wlan technologies. *Annals of telecommunications*, 58(3), March 2003.
- [25] Nishith D. Tripathi, Jeffrey Hugh Reed, Hugh F. Van Landingham. Radio resource management in cellular systems
- [26] WiMAX Forum, « A Technical Overview and Performance Evaluation, Mobile WiMAX », Partie I, 2006.
- [27] Z. Becvar & J. Zelenka, « Handovers in the Mobile WiMAX », Research in Telecommunication technology, vol 1, pp 147-150, 2006.
- [28] IEEE Std: « Soft Handover and Fast BS Switching Procedure », IEEE 802.16 Broadband Wireless Access Working Group, 2004.
- [29] Ray, S.K.; Pawlikowski, K.; Sirisena, H.; "Handover in Mobile Wimax Networks : The state of Art and Research Issues", Communications Surveys & Tutorials, IEEE, 2010.

- [30] WiMAX Forum Network Architecture-Stage2: “Architecture Tenets, Reference Model and Reference Points-Release 1, Version 1.2“,WiMAX Forum Network Working Group, WiMAX Forum, January 2008.
- [31] K. Etemad. “Overview of Mobile WiMAX Technology and Evolution.IEEECommun“.Mag., 46(10):31-40, October 2008.
- [32] WEI. G “Optimisation du handover dans le protocole IPv6 mobile avec la méthode E-HCF ” thèse de Doctorat, Université Paris 12 VAL DE MARNE, 2007.
- [33] C. Perkins, « IP Mobility Support for IPv4 », RFC 3344, IETF, 2002.
- [34] J. Montavont“Gestion des déplacements de terminaux IPv6 mobiles assistée par géolocalisation ” thèse de Doctorat, Université Lois Pasteur de Strasbourg, 2006.
- [35] N.Golmie, S.Yoo: *Policy-based scanning with QoS support for seamless handovers in wireless networks*, Wiley InterScience , WIRELESS COMMUNICATIONS AND MOBILE COMPUTING .2009 .
- [36] Arunesh Mishra, Minhoo Shin, and William Arbaugh.An Empirical Analysis ofthe IEEE 802.11 MAC Layer Handoff Process.*SIGCOMM Comput.Commun.Rev.*, 33(2) :93–102, 2003.
- [37] K.Daniel , S.Rohde, S.Subik, C.Wietfeld : *Performance Evaluation for Mobile WIMAX Handover with a continuous scanning algorithm*, IEEE Mobile Wimax Symposium 2009.
- [38] S.Sengupta ,M.Chatterjee, S.Ganguly : *Improving Quality of VoIP Over WIMAX*, IEEE Transactions on computers , vol.57, pp 145-56, Feb.2008

- [38] T. Narten, E. Nordmark, and W. Simpson. Neighbor Discovery for IP Version6 (IPv6), Internet Engineering Task Force Request for Comments (RFC) 2461, Décembre 1998.
- [39] S. Thomson and T. Narten. IPv6 Stateless Address Autoconfiguration, Internet Engineering Task Force Request for Comments (RFC) 2462, Décembre 1998.
- [40] D.HwanLee ,K.Kyamakya : *Fast Handover Algorithm for IEEE802.16e broadband wireless access system*, IEEE Wireless Pervasive Computing Conference ,Jan .2006
- [41] S.K.Ray ,A.Mandal , K.Pawlikowski, H.Sirisena : Hybrid Predictive Base Station (HPBS) Selection Procedure in IEEE802.16e-Based WMAN , Australasian Telecommunication Networks And Applications Conference (ATNAC), December 2007.
- [42] J.Choi ,N.Hao , S.Yoo : Fast Group Scanning Scheme with Dynamic Neighbor Base Station List in IEEE802.16e Networks , 8th Conference on Computer and Information Technology (CIT), July 2008.
- [43] H.Choi , J.Jeong , H.Choo : CTBS : Cost-Effective Target BS Selection Scheme in in IEEE802.16e Networks : Australasian Telecommunication Networks And Applications Conference (ATNAC), December 2007
- [44] J.Park, S.Oh ,J.Jeong , H.Choo : *Fast Handover Scheme Based on Mobile Locations For IEEE802.16e Networks* , International Conference on Computational Science and Its Applications (ICCSA), 2009.
- [45] R.Rouil , N. Golmie : Adaptive channel scanning for IEEE 802.16e. IEEE Military Communications Conference (IEEE MILCOM'06), 2006; 1–6.
- [46] N. Moore, “Optimistic Duplicate Address Detection for IPv6,” IETF RFC 4429, April 2006.

- [47] P. Pongpaibool, P. Sotthivirat, S. I. Kitisin, C.SrisathapornphatNECTEC, Pathumthani, "Fast Duplicate Address Detection for Mobile IPv6," 15th IEEE International Conference on Networks , ICON 2007.
- [48] Y. Han, J. Choi and H. Jang, "Advance Duplicate Address Detection,"Internet Draft, Dec 2003, expired.
- [49] Handoff Overhead Analysis for Applying Hierarchical Mobile IPv6 inWiMAX Network Architecture, master thesis, 2008.
- [50] H. Soliman et. al. Hierarchical Mobile IPv6 Mobility Management (HMIPv6). *RFC 4140*, 2005.
- [51] F. NIVOR "Architecture de communication pour les applications multimédia interactives sans fil " thèse de Doctorat, Université Toulouse, 2009.
- [52] R. Koodli. Mobile IPv6 Fast Handovers.*MIPSHOP Working Group,Internet-Draft*, draft-ietf-mipshop-fmipv6-rfc4068bis-07.txt, 17 April 2008. <http://tools.ietf.org/html/draft-ietf-mipshop-fmipv6-rfc4068bis-07>
- [53] H. Jang, J. Jee, Y. Han, S. Park, and J. Cha: "Mobile IPv6 Fast Handovers over IEEE 802.16e Networks", RFC 5270, June 2008.
- [54] N.A. Fikouras, A.J. Konsgen, and C. Gorg, "Accelerating Mobile IP Handoffs through Link-layer Information", In Proceedings of the International Multiconference on Measurement, Modeling, and Evaluation of Computer Communication Systems (MMB), Aachen, Germany, Septembre 2001.

- [55] T. Mrugalski, J. Wozniak :“Analyse of IPv6 handovers in IEEE 802.16e environment“, TelecommunSyst, Springer 30 December 2009.
- [56] Ray, S.K.; Pawlikowski, K.; Sirisena, H.; “Handover in Mobile WimaxNetworks : The state o Art and Research Issues“, Communications Surveys & Tutorials, IEEE, 2010.
- [57] Y-H. Han et. al. “A Cross-Layering Design for IPv6 Fast Handover Support in an IEEE 802.16e Wireless MAN“, *IEEE Network*, 21(6):54-62, November-December 2006.
- [58] H. Jang, J. Jee, Y. Han, S. Park, and J. Cha: “Mobile IPv6 Fast Handovers over IEEE 802.16e Networks“, RFC 5270, June 2008.
- [59]Y-W. Chen and F-Y.Hsieh.“A Cross Layer Design for Handoff in 802.16e Network with IPv6 Mobility“, In *Proc. IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, pages 3844-3849, Hong Kong, 11-15 March 2007.
- [60]Khan, I.; Karras, D.A., “An Efficient Cross Layer Intra and Inter Domain Mobility Solution for IEEE 802.16e Mobile WiMAX“, 16th International Conference on Systems, Signals and Image Processing, IWSSIP 2009.
- [61]Seyyedoshohadaei, S.M.; Khatun, S.; Ali, B.M.; Othman, M.; Anwar, F. “An integrated scheme to improve performance of fast mobile IPv6 handover in IEEE 802.16e network“, IEEE 9th International Conference on Communications (MICC), 2009 .
- [62]C. Shih , Y. Chen , “ A Cross-Layering IPv6 Fast Handover Scheme for Real-Time Applications in IEEE 802.16e Network“ , Fifth International Joint Conference on INC, IMS and IDC , 2009.
- [63]Farahbakhsh, R.; Sorooshi, M. “Cross layering design of IPv6 Fast handover in mobile WiMAX“, IEEE 17th International Conference on Telecommunications (ICT), 2010

- [64]Y-H. Choi et. al. “Cross-Layer Handover Optimization Using Linear Regression Model“, In Proc. International Conference on Information Networking (ICOIN), pages 1-4, Busan, Korea, 23-25 January 2008.
- [65]V. Srivastava and M. Motani, “Cross-Layer Design: A Survey and the Road Ahead“,*IEEE Commun. Mag.*, 43(12):112-119, December 2005.
- [66] F. Foukalas, V. Gazis and N. Alonistioti“Cross-Layer Design Proposals For Wireless Mobile Networks: A Survey and Taxonomy“,*IEEE Commun. Surveys Tutorials*, 10(1):70-85, 1st Quarter 2008.
- [67]M. Shariat, A. U. Quddus, S. A. Ghorashi and R. Tafazolli, “Schedulling as an Important Cross-Layer Operation for Emerging Broadband Wireless Systems“,*IEEE Commun. Surveys Tutorials* , 11(2):74-86, 2nd Quarter 2009.
- [68] S. K. Ray, K.Pawlikowski, H. Sirisena, “A Fast MAC-Layer Handover for an IEEE 802.16e-Based WMAN, “Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering”, 2009, Volume 6, .
- [69]L. Chen, X. Cai, R. Sofia, Z. Huang, “A Cross-layer Fast Handover Scheme For Mobile WiMAX,” Proceedings of Vehicular Technology Conference, pp. 1578–1582, 2007 Fall.

Le WIMAX est le premier réseau de la famille IEEE qui possède des caractéristiques intéressantes (couverture large, prise en compte de la QoS, mobilité, haut débit, etc.), permettent le qualifier comme un support convenable pour le multimédia. Nous concentrons dans notre mémoire sur l'intégration du protocole Fast Mobile IPv6 (FMIPv6) sous WIMAX mobile, notamment le problème de redondances dans les étapes des procédures de handover : MAC et IP, notre objectif est de minimiser la signalisation, ainsi que le délai non souhaitable pour les applications avec des contraintes temporelles, telles que la VoIP.

Nous proposons un schéma de handover cross layer en vue d'intégrer le protocole FMIPv6 sous WIMAX mobile, l'idée de base est de regrouper à l'aide des techniques de la localisation, les phases d'acquisition des paramètres MAC et IP en une seule étape de pré-négociation qu'on a proposée, et de supprimer les phases coûteuses en temps (DAD, détection de mouvement), ce gain de temps permet ainsi de bénéficier aux performances du mode prédictive de FMIPv6, et réagir aux scénarios de mobilité à grande vitesse. L'analyse des performances du schéma proposé, nous a montré qu'elle minimise le délai total de handover, et principalement les phases : DAD, et la détection de mouvement, elle peut être aussi généralisée sur d'autres réseaux sans fil et mobiles (WLAN, 3G).

Mots clés : Wimax mobile, Handover, QoS, localisation, MIPv6, FMIPv6, DAD.

Abstract

WiMAX is the first network of the IEEE family has some interesting features (broad coverage, interesting QoS, mobility, throughput,...), that qualified as a suitable support for multimedia applications. We focus in our thesis on the integration of Fast Mobile IPv6 protocol (FMIPv6) on mobile WiMAX, including the problem of redundancy in the steps of the handover procedures : MAC and IP, our goal is to minimize the signaling overhead and handover delay, undesirable for applications with timing constraints, such as VoIP.

We propose a cross layer handover integrate FMIPv6 protocol in mobile WiMAX. The basic idea is to group using the techniques of localization, the phases of acquisition parameters MAC and IP in a single step pre -negotiation that we proposed, and removed the time consuming phases (DAD, mouvement detection), this saves time and allows to enhance the performance of the predictive mode of FMIPv6, and responds to mobility scenarios with high velocity. The performance analysis has shown that the approach minimizes the total delay, we deleting the time of DAD (1000 ms) and mouvement detection, it can also be generalized to other wireless and mobile networks (WLAN, 3G).

Keywords : Mobile WiMAX, Handover, QoS, localization, MIPv6, FMIPv6, DAD.

ملخص

يعتبر الواي ماكس أول شبكة من المعيار IEEE التي تملك خصائص مهمة (تغطية واسعة ، جودة الخدمة ، التنقل ، والنطاق العريض ، الخ) و التي يمكن وصفها بأنها مناسبة لدعم الوسائط المتعددة (Multimédia). نركز في بحثنا هذا على مشاكل إدماج بروتوكولات التنقل (handover) المختلفة مثل FMIPv6 في شبكة واي ماكس النقالة ، و بالتحديد مشكلة التكرار في خطوات إجراءات التسليم (Handover) للبروتوكول FMIPv6 . هدفنا الرئيسي هو تقليل الإشارات (signalisation) ، والوقت غير المرغوب فيه بالنسبة لتطبيقات الوقت الحقيقي مثل الصوت عبر الإنترنت (VoIP) ، لتحسين كفاءة الأداء (QoS). نقترح طريقة لدمج بروتوكول FMIPv6 في واي ماكس النقالة ، حيث تعتمد الفكرة الأساسية على استخدام تقنيات تحديد المواقع (localisation) ، و التي توفر لنا معلومات عن المستخدم تمكننا من إلغاء بعض الخطوات المكررة في البروتوكول و بالتالي إزالة مراحل كانت تستغرق وقتا طويلا (إختبار العناوين المكررة ، كشف الحركة) و ذلك لتحقيق أداء جيد للبروتوكول بالنسبة لسيناريوهات الحركة ذات السرعة العالية للمستخدم.

من خلال التحليل تبين لنا أن التحسين المقترح يقلل من الوقت الإجمالي للتسليم، وبالأخص مراحل : كشف الحركة، إختبار العناوين المكررة ، ويمكن أيضا أن نعمم التحسين المقترح على شبكات لاسلكية أخرى متنقلة (الشبكات المحلية اللاسلكية ، شبكات الجيل الثالث).

كلمات مفتاحية : الوايماكس، التنقل، كفاءة الأداء ، DAD , FMIPv6, MIPv6 .