



THÈSE

En vue de l'obtention du

DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE TOULOUSE

Délivré par *Institut National Polytechnique de Toulouse*

Discipline ou spécialité : *Réseaux, Télécommunications, Système et Architecture*

Présentée et soutenue par Mohamad Salhani

Le 23 Octobre 2008

Titre : Modélisation et Simulation des Réseaux Mobiles
de 4^{ème} Génération

JURY

Monique Becker	<i>Présidente</i>	<i>Professeur Telecom & Management Sud Paris</i>
Francine Krief	<i>Rapporteur</i>	<i>Professeur ENSEIRB</i>
Guillaume Urvoy-Keller	<i>Rapporteur</i>	<i>Maître de Conférences HDR EURECOM</i>
André-Luc Beylot	<i>Examineur</i>	<i>Professeur INPT/ENSEEIH</i>
Michel Diaz	<i>Examineur</i>	<i>Directeur de recherches du CNRS</i>
Riadh Dhaou	<i>Examineur</i>	<i>Maître de Conférences INPT/ENSEEIH</i>

Ecole doctorale : *Mathématique, Informatique et Télécommunication de Toulouse*

Unité de recherche : *Institut de Recherche en Informatique de Toulouse (IRIT-ENSEEIH)*

Directeur(s) de Thèse : *André-Luc Beylot*

Encadrant : *Riadh Dhaou*

Cette thèse est dédiée à

Mes parents,

Ma famille,

Mes ami(e)s,

Tous ceux qui m'aiment et que j'aime.

REMERCIEMENTS

Les travaux présentés dans ce mémoire ont été effectués à l'Institut de Recherche en Informatique de Toulouse (IRIT-ENSEEIH). Nombreux sont ceux que je voudrais remercier pour m'avoir aidé, soutenu ou accompagné durant ces trois années de thèse. C'est pour leur montrer tout ma gratitude et reconnaissance que je leur dédie cette page.

Je tiens à remercier mon directeur de thèse, Monsieur André-Luc Beylot, professeur des universités à l'IRIT-ENSEEIH, pour m'avoir accueilli dans son laboratoire. Je tiens également à remercier mon encadrant, Monsieur Riadh Dhaou, Maître de conférences à l'IRIT-ENSEEIH pour avoir su me guider avec attention et gentillesse pendant ces trois années.

Je tiens à remercier ces deux encadrants pour toute l'attention qu'ils m'ont portée et pour les moyens mis à ma disposition durant ces trois années de thèse. Leurs précieux conseils de tous ordres, leur disponibilité, leur confiance, leur expérience et leurs grandes compétences ont permis l'accomplissement de ce travail. Qu'ils trouvent ici les marques de ma reconnaissance et de mon respect.

J'exprime toute ma gratitude à l'ensemble de jury pour l'honneur qu'ils m'ont fait d'avoir accepté d'être président, rapporteurs et membres de jury de cette thèse.

J'exprime mes sincères remerciements l'ensemble du laboratoire. J'adresse mes remerciements à l'université de Damas, qui a financé mes études en France.

Je souhaite exprimer toute ma reconnaissance à mes parents. Grâce à eux, j'ai réussi toutes les étapes que j'ai passées dans ma vie. Je remercie aussi mes deux frères Khaled et Omar et mes sœurs Khalida, Zoubida, Tahani et Iman pour leur soutien constant.

Je voudrais remercier également mes ami(e)s de laboratoire, nous avons passé avec eux de bons moments.

Je salue enfin les membres du laboratoire TésA en commençant par son directeur et sa secrétaire.

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS	v
LISTE DES FIGURES	xiii
LISTE DES TABLEAUX.....	xvii
LISTE DES ACRONYMES.....	xix
INTRODUCTION	1
CHAPITRE I - Etat de l'art.....	5
1. Introduction	7
2. Les réseaux WiMAX.....	7
2.1. Standard de l'interface air IEEE 802.16.....	7
2.2. Pile protocolaire	8
2.3. Fonctionnalités	9
2.4. QoS.....	9
2.4.1. Connexion	9
2.4.2. Flux de service.....	10
2.4.3. Principe de la gestion de la QoS.....	10
3. Procédure de handover	10
3.1. Introduction	11
3.2. Acquisition de la topologie du réseau	11
3.2.1. Les annonces	11
3.2.2. La scrutation par le terminal de ses stations de base voisines.....	11
3.2.3. L'association	11
3.3. Handover « break before make »	12
3.4. Modes optionnels de handover : MDHO et FBSS	12
3.5. Décision et début de MDHO/FBSS.....	13
3.5.1. FBSS (commutation rapide de station de base).....	13
3.5.2. MDHO (soft handover)	13
3.6. Conclusion.....	14
4. Les réseaux WiMAX.....	14
4.1. Handovers dans les réseaux terrestres	14

4.2. Amélioration du handover.....	15
4.3. Sélection du meilleur réseau.....	17
4.4. Handover avec mobilité.....	19
4.5. Handover avec mobilité et localisation	21
4.6. Amélioration de handover horizontal.....	21
5. Système satellite (DVB-RCS).....	22
5.1. Présentation	22
5.2. Architecture DVB-RCS.....	22
5.3. Pile protocolaire	23
5.4. Couche physique	23
5.5. Méthode d'accès.....	24
5.5.1. Partage des ressources	24
5.5.2. Allocation des ressources	24
6. Solutions pour l'interconnexion des réseaux sans fil	25
6.1. Introduction	25
6.2. Generic Access Network (GAN).....	25
6.2.1. Architecture GAN	26
6.2.2. Avantages, inconvénients et défis	28
6.2.3. Positionnement de la technologie GAN [31] [32] :.....	28
6.3. Media Independent Handover (MIH IEEE 802.21)	29
6.3.1. Objectifs initiaux	29
6.3.2. Présentation du standard IEEE802.21	30
6.3.3. IEEE 802.21 Media Independent Handover Function (MIHF).....	31
6.3.4. Scénarios du standard.....	34
6.4. Protocole FMIP (Fast Mobile IPv6 Protocol)	35
6.5. Solutions fondées sur IEEE 802.21	36
6.6. Comparaison des solutions IEEE 802.21 et GAN.....	40
6.7. Intégration entre les réseaux terrestres et le système de satellite	41
6.8. Conclusion.....	43

CHAPITRE II – Convergence des réseaux sans fil terrestres et le système satellite

45

1.	Introduction	47
2.	Handover dans un contexte satellite	47
2.1.	Handover terrestre vers satellite	48
2.2.	Handover satellite vers terrestre	48
2.3.	Handover satellite vers satellite.....	49
3.	Cas particuliers	49
3.1.	Cas d'un handover incluant une fonction de <i>backhauling</i> WiMAX sur le segment satellite	49
3.2.	Cas d'un handover incluant un répéteur sur le segment satellite	50
4.	Architecture du réseau DVB-RCS	51
5.	Modèle de référence du réseau et les scénarios proposés	52
6.	Proposition d'architecture satellitaire hybride à base de WiMAX, DVB-RCS et IEEE 802.21	53
6.1.	Composants fonctionnels IEEE 802.21	54
6.2.	Modèle de référence MIH pour des réseaux d'accès	54
6.2.1.	Modèle MIH pour l'utilisateur DVB-RCS	55
6.2.2.	Point d'accès au service MIH_DVB_RCS_SAP	56
6.2.3.	Point d'accès au service MIH_MGMT_SAP	56
6.2.4.	Point d'accès au service MIH_SAP	56
6.2.5.	Transport des messages MIH	56
6.2.6.	Modèle de référence MIH pour les stations mobiles avec les différentes piles protocolaires.....	57
7.	Procédure de handover WiMAX/DVB-RCS	57
8.	Conclusion.....	60

CHAPITRE III – Performance des réseaux WiMAX en utilisant handover horizontal avec un mécanisme de réservation

61

1.	Introduction	63
2.	Description du système	63
2.1.	Approches proposées.....	64
2.2.	Quand initialisons-nous le handover ?	65
3.	Analyse du pire cas de réservation et réservation de ressources	65

3.1. Pire cas de réservation.....	65
3.2. Réservation des ressources.....	66
3.2.1. Approches réactives	66
3.2.2. Approches proactives : Expiration (soft state)	66
3.2.3. Approches mixtes	67
4. Modèle de simulation	67
4.1. Définition de la topologie de mobilité du modèle proposé	67
4.2. Processus de handover, réservation et pire cas de réservation	70
4.3. Paramètres du modèle proposé.....	70
5. Analyse de performance	71
5.1. Mécanisme de handover et réservation de ressources.....	72
5.2. Comparaison.....	73
6. Conclusion.....	77

CHAPITRE IV – Performance du réseau WiMAX intégré dans un système satellite DVB - RCS..... 79

1. Introduction	81
2. Coexistence entre le réseau WiMAX et le réseau DVB-RCS.....	81
3. Mécanisme de handover.....	82
4. Scénarios et approches	83
4.1. Description des scénarios	83
4.2. Approches adoptées.....	84
5. Définition de la topologie.....	84
6. Analyse de performance	85
6.1. Paramètres du modèle	85
6.2. Critères de performance	86
6.3. Cas de l'interconnexion sans réservation	86
6.3.1. Mécanisme réseau et utilisateur, trafic contraint temporellement.....	86
6.4. Cas de l'interconnexion de réseaux avec réservation.....	94
7. Conclusion.....	100

CHAPITRE V – Mise en correspondance de la qualité de service dans les réseaux WIMAX ET DVB – S/RCS 103

1.	Introduction	105
2.	Catégories de demande de capacité DVB-RCS	105
2.1.	Continuous Rate Assignment (CRA)	105
2.2.	Rate Based Dynamic Capacity (RBDC)	105
2.3.	Volume Based Dynamic Capacity (VBDC).....	106
2.4.	Absolute Volume Based Dynamic Capacity (AVBDC)	106
2.5.	Free Capacity Assignment (FCA)	107
3.	Stratégie de file d’attente dans le système satellite DVB-RCS.....	107
4.	Qualité de service dans les réseaux WiMAX.....	108
4.1.	Service UGS	108
4.2.	Service rtPS	109
4.3.	Service ErtPS.....	109
4.4.	Service nrtPS	109
4.5.	Service Best Effort (BE).....	110
5.	Mise en correspondance WiMAX et DVB-RCS.....	110
6.	Conclusion.....	114

CHAPITRE VI – Contrôle d’Admission de Connexion..... 115

1.	Introduction	117
2.	Contrôle d’admission de connexion dans les réseaux WiMAX et DVB-RCS.....	117
2.1.	Cas du réseau WiMAX.....	117
2.2.	Cas du système satellite DVB-RCS	118
2.3.	Conclusion.....	119
3.	Scénarios proposés	120
3.1.	Mise au point du mécanisme dans le cadre WiMAX – DVB-RCS.....	120
3.1.1.	Handovers.....	120
3.1.2.	Partage des ressources	121
3.1.3.	Remplacement des connexions	121
4.	CAC proposé	122
5.	Evaluation de performance.....	124
5.1.	CAC dans WiMAX	125

5.2. CAC dans le cas d'une interconnexion de réseaux WiMAX/DVB-RCS.....	127
5.2.1.Stratégie 1 : Débit adaptatif et remplacement complet et strict	127
5.2.2.Stratégie 2 : Débit non adaptatif et remplacement partiel (les connexions de type ErtPS et rtPS sont remplacées par des connexions de type RBDC)	128
5.2.3.Stratégie 3 : Débit non adaptatif et remplacement glouton	129
6. Conclusion.....	131

CONCLUSION	133
-------------------------	------------

RÉFÉRENCES.....	137
------------------------	------------

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Standard IEEE 802.16 [1]	8
Figure 2 : Architecture de la pile protocolaire IEEE 802.16e [1].....	8
Figure 3 : Protocole proposé de takeover [3].....	15
Figure 4 : Handover fondé sur takeover [3].....	15
Figure 5 : Types des handovers dans un réseau 4G [8]	16
Figure 6 : Algorithme <i>hysteresis-based</i>	17
Figure 7 : Architecture proposée [15].....	18
Figure 8 : Plateforme d'agents [18]	19
Figure 9 : Architecture proposée [19].....	20
Figure 10 : Architecture DVB-RCS [26].....	23
Figure 11 : Pile protocolaire du DVB-RCS [26]	23
Figure 12 : Chaîne de codage du DVB-RCS [26]	24
Figure 13 : Les standards pour le handover.....	25
Figure 14 : Réseau GAN [28]	26
Figure 15 : Architecture GAN [30].....	27
Figure 16 : Le tunnel sécurisé [28]	27
Figure 17 : Modèle de référence du réseau logique [28]	30
Figure 18 : Echelle de norme IEEE 802.21 [28].....	31
Figure 19 : Fonction de MIH [28]	32
Figure 20 : Points d'accès au service [28]	34
Figure 21 : Architecture proposée [35].....	38
Figure 22 : Architecture proposée [38].....	39
Figure 23 : Cadre d'intégration proposé [43]	40
Figure 24 : Modèle de référence SI-SAP proposé [49]	42
Figure 25 : Modèle de référence MIH pour le système satellite [49]	42
Figure 26 : Handover terrestre vers satellite [50]	48
Figure 27 : Handover satellite vers terrestre [50]	48
Figure 28 : Handover satellite vers satellite [50].....	49
Figure 29 : Cas du <i>backhauling</i> WiMAX [50]	50
Figure 30 : Cas du répéteur [50]	51
Figure 31 : Architecture proposée de réseau DVB-RCS [50]	52
Figure 32 : Modèle de référence IEEE 802.21 et scénarios proposés	53
Figure 33 : Services et localisation de MIH [29].....	54
Figure 34 : Modèle de référence général et scénario proposé	55
Figure 35 : Modèle de référence de l'utilisateur DVB-RCS	55
Figure 36 : Modèle de référence MIH pour les stations mobiles avec les piles protocolaires [29] [51]	57
Figure 37-a : Procédure de handover WiMAX/DVB-RCS (étapes 1 à 7).....	58
Figure 38-b : Procédure de handover WiMAX/DVB-RCS (étapes 7-12).....	60
Figure 39 : Puissance du signal d'une cellule WiMAX.....	64
Figure 40 : Messages échangés.....	64
Figure 41 : Topologie adoptée	68

Figure 42 : Sens potentiels d'un mobile	68
Figure 43 : File d'attente.....	69
Figure 44 : Réseau de files d'attente représentant notre modèle	69
Figure 45 : Microcellule dans la zone de recouvrement	70
Figure 46 : Taux de blocage avec l'approche coopérative	72
Figure 47 : Taux de blocage avec l'approche individuelle	73
Figure 48 : Comparaison des taux de blocage des nouveaux appels	74
Figure 49 : Comparaison des taux de blocage du handover	75
Figure 50 : Comparaison des taux de blocage de réservation de canal	75
Figure 51 : Taux de blocage des handovers en fonction de la capacité de station de base ..	76
Figure 52 : Scénarios de l'intégration WiMAX/satellite.....	83
Figure 53 : Messages échangés dans les approches proposées.....	84
Figure 54 : Topologie adoptée	85
Figure 55 : Taux de blocage avec le mécanisme réseau	87
Figure 56 : Taux de blocage avec le mécanisme utilisateur	88
Figure 57 : Taux de blocage dans le mécanisme réseau et débit adaptatif	89
Figure 58 : Taux de blocage avec le mécanisme utilisateur et débit adaptatif	89
Figure 59 : Débit de tentatives des handovers horizontaux – trafic contraint temporellement	90
Figure 60 : Débit de tentatives des handovers montants – trafic contraint temporellement.	91
Figure 61 : Débit des handovers descendants – trafic contraint temporellement	92
Figure 62 : Débit de tentatives des handovers horizontaux – trafic non contraint temporellement	93
Figure 63 : Débit de tentatives des handovers montants – trafic non contraint temporellement	93
Figure 64 : Débit des handovers descendants – trafic non contraint temporellement	94
Figure 65 : Taux de blocage WiMAX des nouveaux appels – trafic contraint temporellement	95
Figure 66 : Taux de blocage WiMAX des nouveaux appels – trafic non contraint temporellement	95
Figure 67 : Taux de blocage satellite des nouveaux appels– trafic contraint temporellement	96
Figure 68 : Taux de blocage satellite des nouveaux appels – trafic non contraint temporellement	97
Figure 69 : Taux de blocage des handovers horizontaux – trafic contraint temporellement	98
Figure 70 : Taux de blocage des handovers montants – Trafic contraint temporellement ..	98
Figure 71 : Taux de blocage des handovers horizontaux – trafic non contraint temporellement	99
Figure 72 : Taux de blocage des handovers montants – trafic non contraint temporellement	100
Figure 73 : Schéma de la mise en correspondance DVB-RCS → WiMAX.....	111
Figure 74 : Schéma de la mise en correspondance WiMAX → DVB-RCS.....	113
Figure 75 : Taux de blocage de CAC_WiMAX en fonction de la charge.....	126
Figure 76 : Taux de blocage de CAC_WiMAX en fonction de la taille de leaky bucket ..	127
Figure 77 : Taux de blocage des différentes classes de service avec le taux d'arrivée (stratégie 3)	130

Figure 78 : Débits de différents handovers avec le taux d'arrivée (stratégie 3) 131

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Paramètres de modèle	71
Tableau 2 : Catégories de demande de capacité DVB-RCS et correspondance ATM.....	107
Tableau 3 : Classes de QoS IEEE 802.16e – 2005 [60] [61]	108
Tableau 4 : Différentes applications potentielles [63]	110
Tableau 5 : Mise en correspondance des paramètres de QoS dans un contexte WiMAX/DVB-RCS	112
Tableau 6 : Applications envisageables dans DVB-RCS [57]	114
Tableau 7 : Paramètres de modèle de simulation	125
Tableau 8 : Débits des différentes classes de service dans les deux réseaux.....	125
Tableau 9 : Connexions échangées dans le sens montant lors de l'établissement de connexion (stratégie 2).....	128
Tableau 10 : Connexions échangées dans le sens descendant lors du down handover (stratégie 2)	129
Tableau 11 : Connexions échangées lors d'un up handover (stratégie 3)	129
Tableau 12 : Connexion échangées lors d'un down handover (stratégie 3)	129

LISTE DES ACRONYMES

AN	Access Network
ABC	Always Best Connected
ABR	Available Bit Rate
AES-CCM	Advanced Encryption Standard CCM (Counter with CBC-MAC)
AP	Access Point
AR	Access Router
ASP	Access Service Provider
ATM	Asynchronous Transfer Mode
AVBDC	Absolute Volume Based Dynamic Capacity
BS	Base Station
BSC	Base Station Controller
BSM	Broadband Satellite Multimedia Working Group
BSP	Broadcast Service Provider
BTS	Base Transceiver Station
BW	Bandwidth
BWA	Broadband Wireless Access
CAC	Call Admission Control
CBR	Constant Bit Rate
CID	Connection ID
CINR	Carrier-to-Interference plus Noise Ratio
CMAC	Cipher-MAC
CoA	Care of Address
CR	Channel Reservation
CRA	Continuous Rate Assignment
CSMA/CA	Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance
DAMA	Demand Assignment Multiple Access
DSL	Digital Subscriber Line
DVB-RCS	Digital Video Broadcast - Return Channel by Satellite
EAP	Extensible Authentication Protocol
ESS	Extended Service Set
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
FA	Foreign Agent
FBSS	Fast BS Switching
FCA	Free Capacity Assignment
FEC	Forward Error Control
FMIP	Fast Mobile IPv6 Protocol
GAN	Generic Access Network
GANC	Generic Access Network Controller
GEO	Geostationary Earth Orbit
GPRS	General Packet Radio Service
GPS	Global Positioning System
GSM	Global System for Mobile communication
HA	Home Agent
H-ARQ	Hybrid Automatic Repeat Request
HHO	Horizontal Handover

HLR	Home Location Register
HO	Handover
IEEE	Institute of Electrical and Electronic Engineers
IETF	Internet Engineering Task Force
IMS	IP Multimedia Subsystem
IP	Internet Protocol
IS	Information Service
ITU-T	Telecommunication Standardization Sector of the International Telecommunications Union
LEO	Low Earth Orbit
LOS	Line Of Sight
MAC	Media Access Control
MAN	Metropolitan Area Network
MAP	Multi-Access Provider
MDHO	Macro Diversity Handover
MFTDMA	Multi Frequency Time Division Multiple Access
MICS	Media Independent Command Service
MIES	Media Independent Event Service
MIH	Media Independent Handover
MIHF	Media Independent Handover Function
MIIS	Media Independent Information Service
MIMO	Multiple Input Multiple Output
MIP	Mobility IP
MN	Mobile Node
MPE	Multi-Protocol Encapsulation
MPEG2-TS	Moving Picture Experts Group - Transport Stream
MR	Mobile Router
MS	Mobile Station
MSC	Mobile Switching Centre
MSL	Minimum Scheduling Latency
MSS	Mobile Subscriber
MT	Mobile Terminal
NAR	New Access Router
NCC	Network Control Center
NLOS	No Line Of Sight
NN	Neighbor Node
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
PKM	Privacy Key Management
PoA	Point of Attachment
QoS	Quality of Service
RAN	Radio Access Network
RBDC	Rate Based Dynamic Capacity
RCST	Return Channel Satellite Terminal
RSS	Received Signal Strength
SAP	Service Access Point
SDU	Service Data Unit
SGSN	Serving GPRS Support Node
SS	Subscriber Station
SSIDs	Service Set Identifier
TCP	Transmission Control Protocol

TEK	Traffic Encryption Key
UBR	Unspecified Bit Rate
UDP	User Datagram Protocol
UMA	Unlicensed Mobile Access
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
UNA	Unlicensed Network Access
VBDC	Volume Based Dynamic Capacity
VBR-rt	Variable Bit Rate - real time
VHO	Vertical Handover
VoIP	Voice over IP
VPN	Virtual Private Network
VSAT	Very Small Aperture Terminal
WiFi	Wireless Fidelity
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access
WLAN	Wireless Local Area Network
WMAN	Wireless Metropolitan Area Network
AAL-5	ATM Adaptation Layer
2G	Second Generation
3G	Third Generation
3GPP	Third Generation Partnership Project

INTRODUCTION

Les réseaux mobiles et sans fil ont connu un essor sans précédent ces dernières années. Il s'est agit d'une part du déploiement de plusieurs générations successives de réseaux de télécommunications essentiellement dédiés à la téléphonie (2G, GSM) puis plus orientés vers le multimédia (3G, UMTS). D'autre part, les réseaux locaux sans fil sont rentrés dans la vie quotidienne au travers de standards phares tels que WiFi, Bluetooth, etc. Les évolutions se poursuivent de toute part, tant dans le monde des réseaux spécialisés (capteurs, étiquettes intelligentes, etc.) que des réseaux télécoms. Ceux-ci voient désormais des solutions concurrentes apparaître provenant de divers horizons : monde télécoms classiques avec HS(D)PA, monde des réseaux sans fil avec le WiMAX voire le monde de la diffusion télévision terrestre et satellite (DVB-T, DVB-H, DVB-S).

La future génération de réseaux sans fil dite de quatrième génération (4G) apporte un véritablement tournant dans le foisonnement et la disparité des solutions existantes. L'objectif cette fois sera certes d'augmenter les débits et les applications prises en charge par ces réseaux mais encore de construire un cadre permettant leur interopérabilité. Des premières solutions sont déjà disponibles auprès de la plupart des opérateurs de télécommunications mais la plupart d'entre elles sont des solutions spécifiques à un type d'interconnexion et à un opérateur. L'IEEE, au travers d'un groupe de travail spécifique 802.21, a donc proposé un cadre général pour un développement harmonieux de cette interopérabilité. Ce travail porte surtout sur les basculements entre systèmes au travers de mécanismes que l'on qualifie de « handovers verticaux » en raison du changement de technologie entre les systèmes. Il ne traite pas, et ce n'est bien évidemment pas son objectif, le problème de la continuité de la qualité de service.

Notre travail de thèse s'est donc concentré sur ces problèmes d'interopérabilité avec prise en compte de la qualité de service. Par ailleurs, les systèmes satellites n'ayant pas encore été intégrés dans les études de ce groupe de travail, nous avons fait porter une bonne partie de nos efforts sur l'interopérabilité entre systèmes terrestres et systèmes satellites. Pour les réseaux terrestres, nous en avons choisi un qui a des caractéristiques intéressantes en particulier vis à vis de son interconnexion avec un système satellite (couverture large, prise en compte de la QoS, mobilité, débit, etc.). Nous avons donc retenu le réseau métropolitain WiMAX. En ce qui concerne le réseau satellite, nous avons choisi le système DVB-RCS comme un des plus aboutis. Ce choix d'interconnexion donne une ouverture importante à la fois en terme de scénarios envisageables mais encore de mécanismes à proposer.

Par ailleurs, la solution qui vise à profiter du cadre générique du modèle IEEE 802.21 nous semble largement la plus saine dans la mesure où, même si elle est sans doute plus contraignante car elle impose aux standards existants à se conformer à une vision commune de l'interopérabilité, elle permet une évolutivité et une réutilisabilité bien plus importante que la solution « cousue main » des solutions jusqu'ici déployées qui nécessitent de reprendre le travail à zéro pour tout couple de technologies devant cohabiter.

Par ailleurs, l'évolution naturelle des systèmes de communication sans fil s'oriente désormais largement vers la prise en compte de la qualité de service. Celle-ci est inhérente

aux solutions des opérateurs télécoms (GSM, UMTS) mais n'est restée que marginale dans les premières solutions de réseaux sans fil (WiFi ou Bluetooth) pour lesquelles, il s'est agit essentiellement dans un premier temps de proposer des solutions qui fonctionnent à des utilisateurs peu exigeants. Ce temps est révolu et désormais, tous les nouveaux standards intègrent des mécanismes visant à garantir de la qualité de service à certains flux et/ou à certains utilisateurs. Notre travail a donc porté sur la prise en charge de la qualité de service en particulier lors des transferts entre systèmes.

Nos travaux se sont donc focalisés à la fois sur l'architecture et les protocoles liés à ces réseaux hétérogènes mais encore sur la définition de mécanismes visant à garantir de la qualité de service et sur l'évaluation de l'ensemble de ces propositions.

Notre première contribution porte sur le développement de la norme IEEE 802.21 afin qu'elle puisse intégrer un système satellite de type DVB-RCS. Pour ce faire, nous avons pris le parti de nous inspirer des recommandations qui ont été faites par ce groupe de travail aux différents standards de télécommunications terrestres afin qu'ils offrent les possibilités d'interopérabilité. Cela se traduit dans le standard DVB-RCS par la création de « points d'accès au service ». Cette notion n'existe pas vraiment dans le monde des systèmes de communications par satellite pour lesquels les protocoles et les fonctions sont vus comme des enchaînements plus que comme des couches communicantes au travers d'un modèle de référence tel que normalisé par l'OSI et largement repris par les standards de télécoms ITU ou IEEE. Ce travail a été décliné au travers d'un certain nombre de scénarios que nous avons définis pour l'interconnexion de systèmes WiMAX/DVB-RCS. Dans ce cadre, nous avons proposé une procédure de handover vertical.

La deuxième partie de la thèse porte sur des mécanismes permettant d'améliorer les procédures de handover. Nous avons alors considéré plusieurs cadres successifs.

Le premier contexte concerne une solution purement WiMAX où les utilisateurs doivent basculer entre plusieurs cellules. Une technique relativement simple consiste à réserver des ressources dans les différentes cellules afin de préparer les changements de cellules dans de bonnes conditions. La question généralement posée consiste à savoir quand et comment mettre en œuvre la réservation. Plutôt que de gaspiller des ressources, notre idée est qu'en se servant de mécanismes de signalisation, on doit pouvoir réserver des ressources quand des utilisateurs commencent à se rapprocher de la zone de recouvrement entre cellules. Nous avons alors proposé plusieurs solutions pour effectuer ces réservations : en les faisant passer par des utilisateurs proches géographiquement des mobiles qui se rapprochent de la zone de basculement mais qui eux sont à portée de la nouvelle station de base visée, par la station de base de service ou par une combinaison de ces deux techniques. Nous avons montré que ces propositions améliorent sensiblement les performances du handover et avons montré l'intérêt respectif de ces deux techniques en fonction de la densité du trafic.

Le deuxième contexte reprend le cas de l'interconnexion WiMAX/DVB-RCS. Dans ce cas de figure, le mécanisme a été revisité en prenant en compte la disparité de portée des deux systèmes mais aussi de débit. L'idée est de favoriser la prise en charge par le réseau WiMAX qui offre des délais moindres et des débits plus élevés. Le mécanisme de réservation de ressources conserve de nouveau son intérêt.

Dans les précédents chapitres, la notion de qualité de service a surtout été mise en évidence au travers de la réussite des transferts intercellulaires en regardant essentiellement

le débit nécessaire à l'application lors du changement de système. Il nous a paru alors intéressant de prolonger cette étude en nous intéressant à la mise en correspondance entre les paramètres de qualité de service entre systèmes. Il est à noter que beaucoup de systèmes de télécommunications récents se sont penchés sur la définition de classes de services et de paramètres de qualité de service associés. Les précurseurs en la matière ont été les réseaux ATM, mais l'on a vu ces travaux repris dans de très nombreux contextes : IP (on pense surtout à DiffServ voire à Intserv), GSM/GPRS, UMTS, WiMAX, DVB-S/RCS ... et plus médiocrement IEEE 802.11e. Si les démarches sont sensiblement équivalentes, les résultats restent toutefois encore un peu hétérogènes. Nous avons donc profité du cadre général de cette thèse pour faire l'exercice de mise en correspondance dans le cadre WiMAX/DVB-RCS. L'intérêt est multiple puisqu'il permet d'enrichir les modèles précédents lors du basculement vertical entre les deux systèmes, mais encore de mettre en œuvre une interconnexion simple, une communication pouvant passer par un réseau d'accès WiMAX puis relayée par un système satellite de type « backhauling ». Un mécanisme de CAC (Call Admission Control) a finalement été proposé pour le réseau WiMAX, le DVB-RCS et l'intégration WiMAX/DVB-RCS. Nous l'avons évalué et les résultats sont prometteurs.

CHAPITRE I - ETAT DE L'ART

1. Introduction

Dans ce chapitre nous nous intéressons aux architectures de futurs réseaux d'accès sans fil terrestres et satellite. Dans un premier temps, nous allons présenter l'architecture du réseau WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*) et celle du système satellite DVB-RCS (*Digital Video Broadcast - Return Channel by Satellite*). Pour le réseau WiMAX, nous nous intéresserons plus spécifiquement : au standard, à la pile protocolaire, aux fonctionnalités, à la QoS, et au handover. Puis, nous allons synthétiser les différents travaux de handover dans l'ensemble des réseaux sans fil terrestres. Ensuite, nous nous focaliserons sur le système satellite DVB-RCS : architecture, pile protocolaire, couche physique, et méthode d'accès. Dans un deuxième temps, nous allons présenter les différentes solutions existantes pour l'interconnexion des réseaux sans fil : le standard GAN (*Generic Access Network*), le protocole FMIPv6 (*Fast Mobile IPv6 Protocol*), ainsi que le standard IEEE 802.21 et les travaux de recherche associés. Une comparaison entre ces différentes solutions est présentée suivie par une synthèse des travaux de recherche sur l'intégration des réseaux sans fil terrestres et des systèmes satellites. Notons que dans la suite du manuscrit, quand on parlera de DVB-RCS, il s'agira du système DVB-RCS qui comporte une voie aller en DVB-S/2 et une voie retour exploitée en DVB-RCS.

2. Les réseaux 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). 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.

2.1. Standard de l'interface air IEEE 802.16

Plusieurs standards IEEE 802.16 (Figure 1) 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) pour les terminaux fixes – WiMAX fixe et IEEE 802.16e (2005) pour les terminaux mobiles – WiMAX mobile.

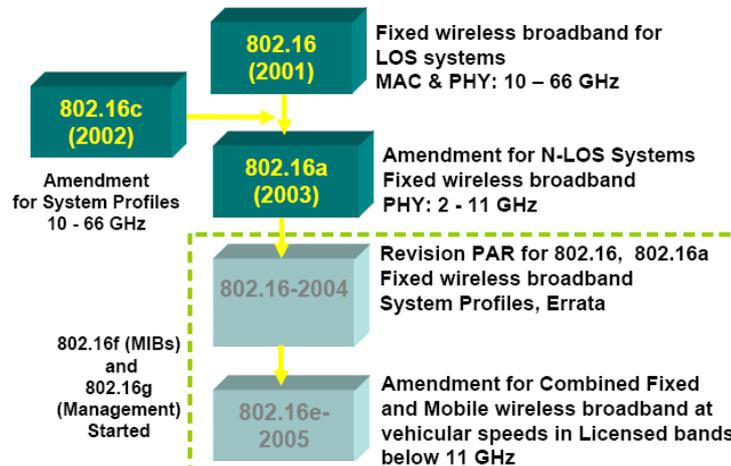


Figure 1 : Standard IEEE 802.16 [1]

2.2. 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 2. Elle contient les sous-couches de convergence et de sécurité.

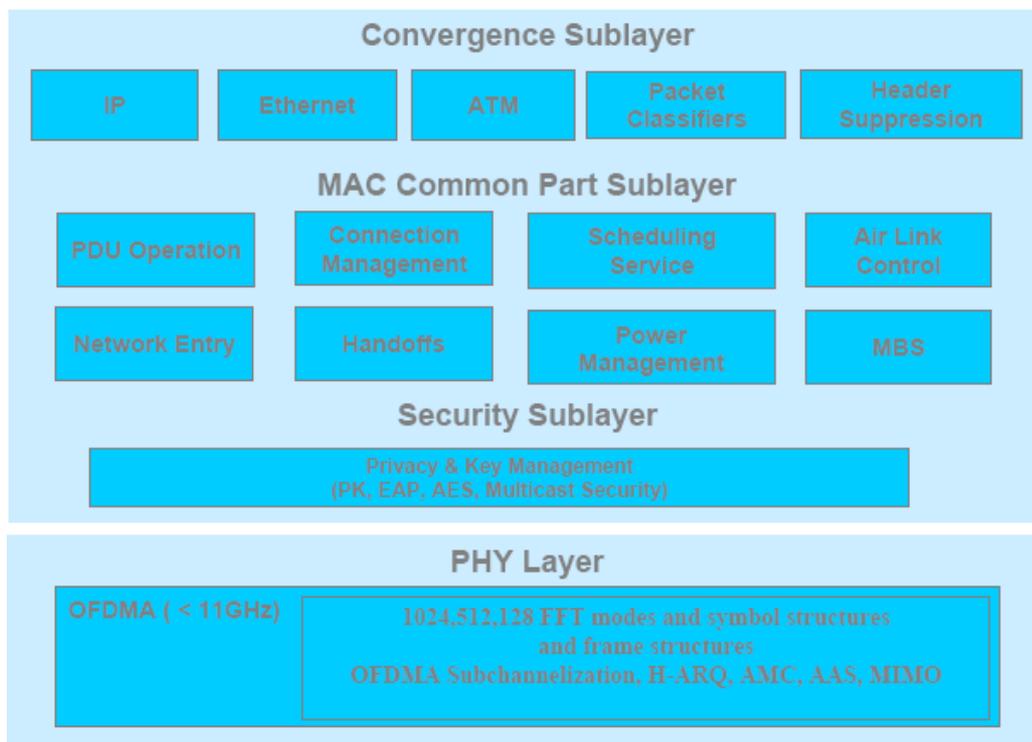


Figure 2 : Architecture de la pile protocolaire IEEE 802.16e [1]

2.3. Fonctionnalités

Le standard IEEE 802.16 peut utiliser efficacement les bandes de fréquences disponibles. Il met en place un certain nombre de fonctionnalités permettant d'offrir une solution pour le passage à l'échelle, et un accès haut débit tout en tenant compte des besoins de l'utilisateur et des applications en terme de qualité de service (QoS), de mobilité et de sécurité. Nous pouvons aussi classer ces fonctionnalités selon les besoins suivants [1] :

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 (cf. 2.1.1.4), 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* ». Nous décrivons en détail ces mécanismes dans (3.3).

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.

2.4. QoS

2.4.1. 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*) [1]. 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.

2.4.2. Flux de service

Un service de transport unidirectionnel (montant ou descendant) au niveau MAC est défini pour véhiculer les paquets. Nous pouvons distinguer les services suivants [1] :

- 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.

2.4.3. Principe de la gestion de la QoS

La gestion de la QoS a pour but de garantir la QoS par connexion comme suit [1] :

- Association des paquets traversant l'interface MAC avec les flux de service.
- Définition de l'ensemble des paramètres de QoS pour chaque flux de service.

Des mécanismes à QoS permettent de définir un ordre de transmission sur l'interface air et de fonctionner en conjonction avec des mécanismes au delà de l'interface air afin d'essayer de fournir une QoS de bout en bout.

Un ensemble de fonctionnalités est mis en place pour répondre à ces besoins [1] :

- Une fonction pour pré-configurer les flux de service et les paramètres du trafic fondés sur la QoS par terminal ;
- Une fonction afin d'établir dynamiquement les flux de service avec QoS et des paramètres de trafic ;
- L'utilisation d'un ordonnancement MAC et de paramètres de trafic à QoS pour les flux de service sur le lien montant ;
- L'utilisation des paramètres de trafic à QoS pour les flux de service sur le lien descendant ;
- Le regroupement des propriétés des flux de service en classes de service pour les entités de niveau supérieur et les applications. Dans le chapitre 5, nous présentons les paramètres de QoS, définis dans le réseau WiMAX, pour chaque classe de service.

3. Procédure de handover

Afin de prendre en compte la mobilité des usagers, le standard met en place une procédure de handover utilisable dans les cas suivants [1] :

- 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).

3.1. Introduction

Le handover de niveau deux est l'opération effectuée par un terminal qui change de station de base de service vers une station de base cible [2]. Cela peut se produire quand le terminal se déplace et souhaite conserver un signal de bonne qualité, ou si le terminal voit qu'une autre station de base peut lui fournir une meilleure QoS. Ce handover peut engendrer ou non un handover des couches supérieures selon que les stations de base sont sur le même lien réseau ou non.

3.2. Acquisition de la topologie du réseau

3.2.1. Les annonces

Une station de base de service diffuse périodiquement des annonces aux terminaux. Il s'agit d'un ensemble d'informations sur les stations de base voisines : leur nombre, et pour chacune, son identifiant, ses caractéristiques physiques (liens montants et descendants), etc. La diffusion périodique d'annonces permet au terminal de mettre à jour ses connaissances sur la topologie et de se synchroniser plus facilement avec une station de base voisine.

3.2.2. La scrutation par le terminal de ses stations de base voisines

Le but d'une scrutation 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 scrutations : une scrutation 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. Une scrutation avec association (appelée association), qui est une scrutation simple à laquelle s'ajoute une mesure de portée (*ranging*).

3.2.3. L'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*.

3.3. Handover « break before make »

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

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

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

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

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

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

3.4. Modes optionnels de handover : MDHO et FBSS

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

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

3.5. Décision et début de MDHO/FBSS

3.5.1. FBSS (commutation rapide de station de base)

Le handover FBSS nécessite plusieurs conditions :

- les stations de base, qui sont synchronisées sur une référence temporelle commune, ont une structure de trame (trame = unité de temps) synchronisée et utilisent les mêmes fréquences.
- les trames envoyées par les stations de base à un moment donné doivent parvenir au terminal pendant l'intervalle de préfixe OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*).
- les stations de base doivent partager et se transmettre le contexte MAC. Il contient les informations que le terminal et la station de base s'échangent lors de l'entrée dans le réseau, par exemple l'état d'authentification, afin qu'un terminal authentifié/enregistré auprès d'une station de base du jeu de diversité soit aussi automatiquement auprès des autres stations de base de l'ensemble.

Le FBSS est un genre nouveau de handover. Le terminal est servi par une seule station de base à un instant donné : la station de base ancre, qui est donc considérée comme sa station de base de service. Les données du terminal sont reçues par toutes les stations de base du jeu de diversité mais seule la station de base ancre va les interpréter.

Le terminal ne communique qu'avec la station de base ancre pour le sens montant et descendant, mais les autres stations de base actives doivent être prêtes à envoyer des données au terminal dans n'importe quelle trame. En effet, d'une trame à l'autre, la station de base ancre peut changer au sein du jeu de diversité. En FBSS, on parle plutôt de commutation rapide de station de base. C'est un changement de station de base ancre qui n'induit pas de coupure, car les connexions de gestion sont déjà en place entre le terminal et les stations de base actives. Il s'agit juste pour le terminal d'ouvrir les connexions de transport vers la nouvelle station de base ancre. L'avantage est de ne pas devoir utiliser des messages de signalisation de handover quand on veut changer de station de base ancre, car la commutation de station de base ancre est effectuée sans invoquer la procédure de handover classique.

3.5.2. MDHO (soft handover)

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

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

3.6. Conclusion

Le handover de niveau deux dans le réseau WiMAX mobile (IEEE 802.16e) est anticipé par des procédures pré handover permettant d'en limiter la durée. A la procédure de handover classique, utilisée dans des situations de mobilité lente, s'ajoutent deux modes permettant un handover sans coupure adaptés aux déplacements rapides de l'utilisateur. MDHO sera sûrement implanté en dernier du fait de sa complexité.

4. Les réseaux WiMAX

4.1. Handovers dans les réseaux terrestres

La majorité des travaux de recherche actuels sont orientés vers la possibilité d'intégrer les réseaux sans fil terrestres : le réseau WLAN (*Wireless Local Area Network*) et des réseaux 3G ; cela constitue une définition d'un réseau 4G. Cette intégration soulève plusieurs problèmes puisque chaque réseau a des caractéristiques différentes (bande passante, zone de couverture, puissance, norme, etc.). L'un des problèmes envisagés est également celui de la mise en œuvre d'un handover sans coupure et sans perte des données. La procédure de handover a été étudiée de plusieurs points de vue : algorithmique, protocolaire, mécanismes, architecture, etc. Les intérêts des travaux prennent en compte plusieurs aspects :

- L'amélioration de handover (handover sans coupure, réduire la perte de blocage, améliorer l'utilisation de réseau, etc.) et de la QoS. Le développement de handover pourrait alors être mis en œuvre aux différents niveaux des piles protocolaires, surtout au niveau réseau.
- La décision de handover dans la mesure où on doit savoir quand et à quel niveau le handover doit être déclenché. L'intérêt est donc de choisir le meilleur réseau selon des critères et des conditions qui permettent le déclenchement de handover.
- La mobilité sans et avec considération de la localisation du terminal mobile.

4.2. Amélioration du handover

La réduction de la durée d'un handover est l'un des buts recherchés. Cela peut se faire en développant un protocole de handover. Les auteurs dans [3] se sont intéressés à réduire la durée de handover en proposant un handover coopératif afin de préparer prématurément le handover avec le réseau cible. Les auteurs proposent un handover vertical sans couture (Figure 3 et Figure 4). Pour cela, ils présentent un nouveau concept appelé « *Takeover* ». Cela consiste à permettre à un nœud voisin situé dans la zone de recouvrement de traiter les demandes d'un nœud mobile qui veut faire un handover avant que celui-ci ne puisse le mettre en œuvre. On parle alors d'un handover coopératif dans la mesure où les nœuds s'aident les uns les autres concernant le handover. Cela réduit la durée de handover : temps de pré-authentification et de pré-enregistrement (utilisant une procédure d'enregistrement IP mobile). De plus, un protocole pour le *Takeover* a été développé et appliqué. La décision de handover est fondée sur la qualité du signal de deux stations de base. En revanche, le système proposé demande plus de signalisation et aussi plus de traitement par le nœud voisin. Cela impose enfin le fonctionnement en mode maillé (communication directe entre terminaux).

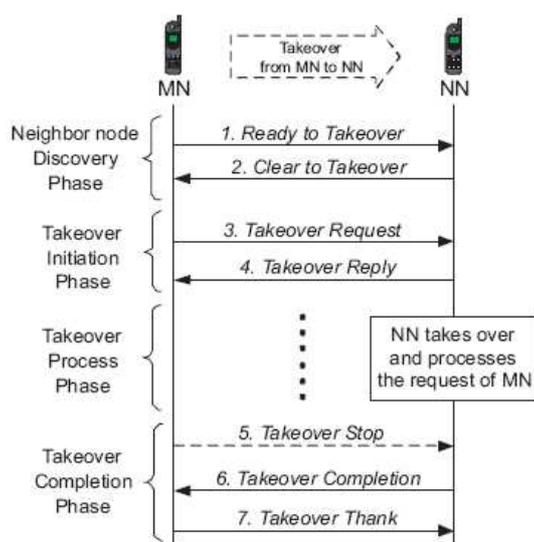


Figure 3 : Protocole proposé de takeover [3]

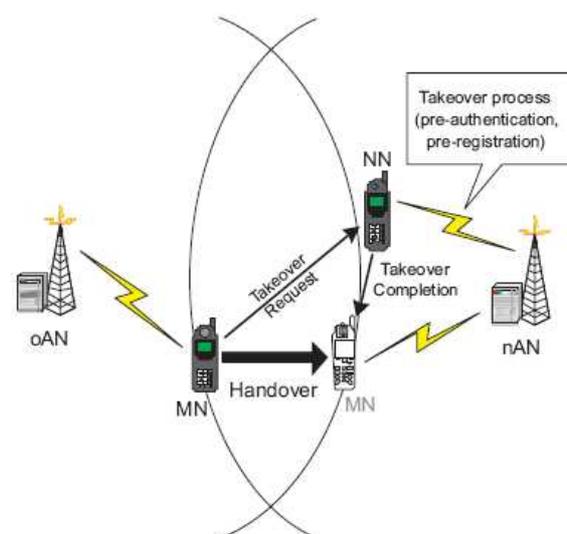


Figure 4 : Handover fondé sur takeover [3]

Par ailleurs, la réduction de la durée de handover peut être traitée au niveau physique. *Smaoui et al.* [4] présentent un schéma d'un handover UMTS/WLAN afin de réduire la durée de handover et le taux de blocage. Pour prendre la décision de handover, la puissance du signal reçu (*RSS : Received Signal Strength*) du réseau de service doit être inférieure à celle du réseau cible et à une puissance du signal prédéfinie. Cependant, les auteurs dans [5] ont montré que le handover IP rapide n'est pas suffisant pour réduire la durée de handover. C'est pour cela qu'ils proposent un schéma d'un handover qui traite le délai de blocage.

Par ailleurs, la prise en compte de la QoS en effectuant le handover a été abordée dans plusieurs travaux. *R. Corvaja* [6] a proposé un handover IEEE 802.11b/*Bluetooth* en

tenant compte de la QoS. La procédure de handover ne repose pas sur la puissance du signal reçu mais sur les paramètres de QoS du terminal mobile (délai d'acheminement des paquets et taux d'erreur de paquet). Les paramètres de QoS sont définis par des seuils pour chaque paramètre dans le profil utilisateur pour qu'il puisse décider du handover au moment opportun. En outre, les auteurs dans [7] proposent d'améliorer la performance du handover au niveau de la couche liaison entre les réseaux IEEE 802.11 et *Bluetooth* en définissant une nouvelle interface virtuelle comme solution d'un handover transparent pour les services IP entre différentes technologies. Les protocoles actuels montrent une limitation pour les applications avec des contraintes temporelles, telles que VoIP, à cause de la latence (une rupture de quelques millisecondes lors de la procédure de handover est constatée).

En plus de la QoS, *Zahran et al.* [8] ont pris en compte d'autres critères afin d'effectuer un handover : l'utilisation de ressources réseau et le nombre de handovers. Les auteurs présentent deux types d'algorithmes pour mettre en œuvre le handover (WLAN/3G) : *Hysteresis-based algorithm* et *lifetime-based algorithm*. Les auteurs distinguent d'ailleurs deux types de handover (deux sens) (Figure 5) : *MI* : *Movement-In* qui est le handover du réseau 3G vers le réseau WLAN et *MO* : *Movement-out* qui présente le sens inverse.

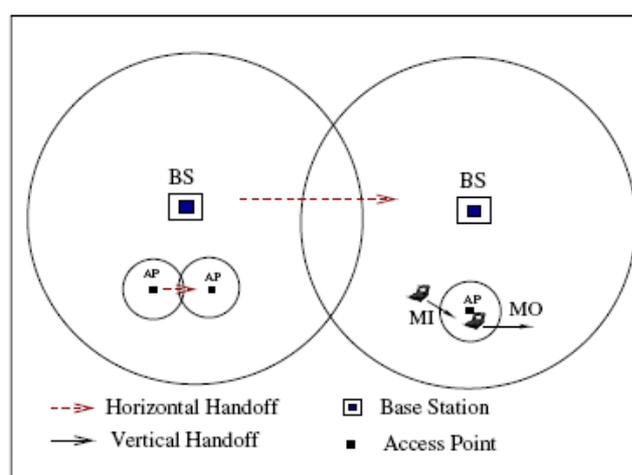


Figure 5 : Types des handovers dans un réseau 4G [8]

L'Algorithme *Hysteresis-based* utilise deux seuils (Figure 6). Le terminal mobile effectue un handover de type MI lorsque la puissance moyenne du signal reçu (\overline{RSS}) dépasse le seuil MIT_{WLAN} et effectue un handover de type MO quand cette puissance moyenne est inférieure au seuil MOT_{WLAN} prédéfini.

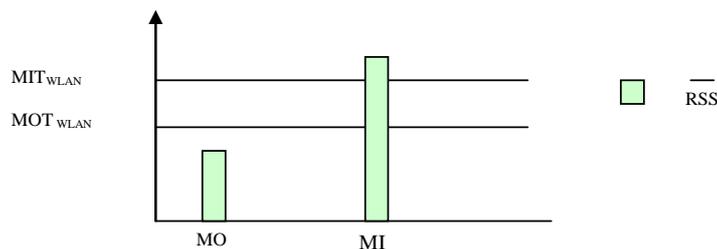


Figure 6 : Algorithme *hysteresis-based*

L'Algorithme *Lifetime-based* utilise la puissance du signal reçu afin d'estimer la puissance moyenne du signal et le taux d'affaiblissement de la puissance du signal (RSS). Ces deux derniers paramètres sont utilisés pour calculer la durée de vie du terminal dans le réseau WLAN. Dans cet algorithme, le terminal mobile effectue un handover lorsque la puissance du signal est inférieure ou égale à un seuil prédéfini et la durée de vie estimée est inférieure ou égale au seuil prédéfini T_{HO} , où T_{HO} correspond au délai prévu du handover entre les deux réseaux. Le terminal effectue un handover WLAN dès que la puissance du signal baisse en dessous du seuil prédéfini.

Les mêmes auteurs par la suite ont développé ce travail dans [9] [10] [11]. Ils proposent un algorithme de handover adaptatif qui s'appelle *ALIVE-HO* et *LIVE-HO (Adaptive Lifetime)*. Cet algorithme permet de baisser significativement le nombre de handovers non nécessaires (évite le phénomène de *Ping-Pong*) et améliore l'utilisation de ressources. Cependant, un inconvénient de l'augmentation de durée de vie du terminal dans le réseau WLAN est l'augmentation du délai des paquets à cause de la dégradation de l'état du canal. Cela est peut être délicat si le terminal mobile effectue des applications temps réel.

4.3. Sélection du meilleur réseau

Un des points critiques pour le handover réside dans le choix des conditions de déclenchement. Ces conditions peuvent être fondées sur plusieurs paramètres. Les auteurs [12] proposent un schéma d'un handover IEEE 802.16a/IEEE 802.11n qui peut réduire la probabilité du handover inutile dû à la chute temporaire de la puissance du signal reçu. Afin de déterminer la nécessité d'un handover, les auteurs prennent en compte la bande passante (niveau réseau) et la puissance du signal reçu (niveau physique) sans tenir compte de la QoS ni de la sécurité.

Par ailleurs, d'autres travaux sont fondés sur des méthodes mathématiques afin de définir des paramètres qui aident à prendre la décision de handover. *Q. Song et al.* dans [13] présentent un mécanisme de sélection de réseau (WLAN/UMTS) afin de garantir aux utilisateurs mobiles d'être toujours pris en charge par le meilleur réseau (*ABC : Always Best Connected*). Les techniques mathématiques intitulées *Analytic Hierarchy Process (AHP)* et *Grey Relational Analysis (GRA)* sont combinées dans le mécanisme pour décider le meilleur réseau pour les utilisateurs mobiles en trouvant un compromis entre la préférence de l'utilisateur, le service rendu à l'application et les conditions du réseau. Ces méthodes ne sont pas bien adaptées à un contexte 4G car il est difficile de modéliser le système 4G à l'aide de ces méthodes analytiques qui nécessitent beaucoup de paramètres.

Une autre solution mathématique est proposée dans [14]. Les auteurs ont suggéré un algorithme pour prendre la décision d'un handover UMTS/WLAN. Cet algorithme s'appelle : *Trust-Assisted Handover Decision Algorithm*. Il prend en compte un environnement multi-opérateurs et multi-technologies et peut être alors utile dans un contexte 4G. Afin de décider le handover avec le réseau cible, l'algorithme proposé spécifie un indicateur comme signe d'un handover avec succès. Cela conduit à baisser les tentatives supplémentaires et les handovers non nécessaires.

Une solution architecturale afin de sélectionner le meilleur réseau a été proposée dans [15], les auteurs proposent une architecture potentielle intégrant un réseau UMTS et un réseau WLAN IEEE 802.11 en utilisant un SGSN (*Serving GPRS (General Packet Radio Service (2.5G)) Support Node*) (Figure 7). Ils présentent un modèle analytique de déclenchement du handover fondé sur les critères : la puissance du signal reçu et la distance entre le nœud et le point d'accès ou la station de base. Ils mettent en place une entité fonctionnelle, appelée NIU (*Network Interwork Unit*), pour réaliser une interface standardisée du réseau mère et pour cacher les particularités du WLAN. Donc, la NIU met en œuvre toutes les fonctionnalités demandées comme l'encapsulation des données, le transfert de signal, et constitue un pont entre les deux réseaux. La gestion de handover dépendant du protocole de mobilité MIP augmente le coût de signalisation ainsi que la latence du handover. La mission majeure de la conception d'un handover est alors de réduire la probabilité de faire un handover si ce n'est pas nécessaire, et en conséquence de réduire la probabilité des appels rejetés.

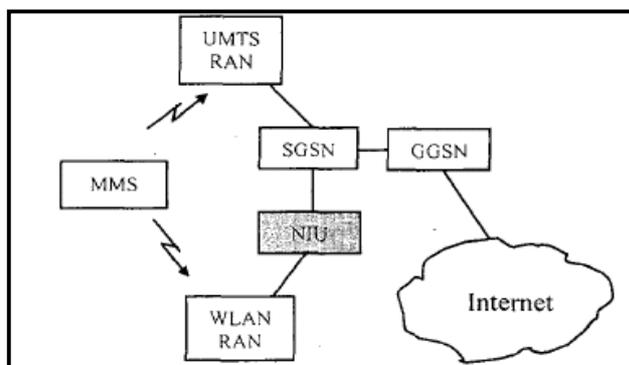


Figure 7 : Architecture proposée [15]

En revanche, l'architecture proposée possède quelques limitations ; en particulier, seule la probabilité du handover est évaluée. Les auteurs ont également considéré qu'il y a seulement une seule cellule WLAN implantée dans des cellules UMTS. De plus, ils ont supposé que la charge du réseau n'est pas élevée et que l'utilisateur se déplace tout droit. La prévision de rupture de lien peut aussi améliorer les performances de handover. *Aust et al.* proposent dans [16] un mécanisme de handover IP proactif (WLAN/GPRS). Dans cette étude, la décision de handover proactif est fondée sur l'information de la couche liaison. Cela évite la rupture de lien lors du handover au niveau IP et ainsi réduit la perte de paquet en utilisant l'information de la couche liaison pour déclencher le handover avant la rupture

de l'ancienne connexion. D'ailleurs, les auteurs ont montré l'amélioration du handover en utilisant l'information modifiée de la couche liaison.

Par ailleurs, dans le contexte de réseaux de deuxième génération, des travaux récents [17] proposent une nouvelle architecture capable de prendre en charge le service *Always Best Connected*. Cette architecture, appelée architecture ouverte, tient compte de diverses technologies d'accès radio. Tout d'abord, un nouveau mécanisme de découverte d'accès intègre le protocole du service de localisation et le service fondé sur la localisation. On propose un schéma de sélection de réseau. Les utilisateurs peuvent choisir le meilleur réseau en changeant les poids des facteurs et des contraintes. Enfin, un mécanisme de handover sans couture fondé sur IPv6 mobile a été choisi. Ce mécanisme prend en compte la qualité de service de bout en bout.

4.4. Handover avec mobilité

Dans les réseaux 3G, la puissance du signal reçu est considérée comme l'un des facteurs essentiels afin de déclencher les procédures d'initialisation et de décision de handover. En revanche, dans les réseaux 4G, il faudra considérer d'autres facteurs (QoS, coût, bande passante, etc.). *Zafeiris et al.* dans [18] gèrent un handover 4G (en phases d'initialisation et de décision) comme le montre la Figure 8. Ils ont proposé une architecture fondée sur un agent qui détermine le réseau cible en respectant les contraintes des utilisateurs et des applications. L'utilisateur prend en charge le déclenchement des procédures d'initialisation et de décision de handover selon le profil de l'utilisateur (ses besoins) et des applications. L'agent de mobilité permet à n'importe quel terminal, qui contient la plateforme agent, d'être utilisé pour accéder aux fournisseurs de service MAP (*Multi Access Provider*). Le fournisseur MAP prend en charge l'authentification et la facturation lorsque les utilisateurs se déplacent entre plusieurs réseaux. Cependant, cette proposition est une solution logicielle pure qui demande plusieurs entités et interfaces à fournir au niveau de l'utilisateur, du réseau et de l'opérateur.

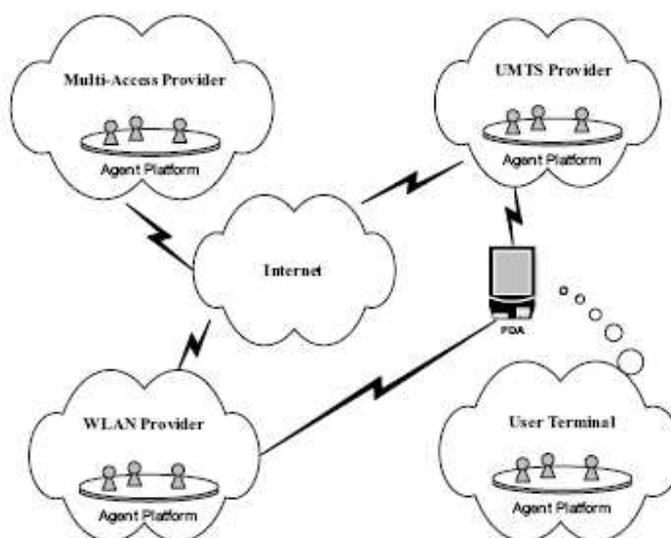


Figure 8 : Plateforme d'agents [18]

Un travail récent propose une solution architecturale pour un handover UMTS/WLAN [19] (Figure 9) afin de baisser la perte de handover et améliorer la QoS. Les auteurs proposent une architecture fournissant la mobilité et la QoS (*MQMA : Mobility and QoS Management Architecture*) fondée sur le handover *make-before-break* de niveau IP afin de mettre en œuvre un handover sans couture. Le handover vertical est transféré vers un handover horizontal si le réseau cible ne répond pas aux besoins de la QoS demandée ou si le handover vertical n'est pas un handover sans couture. Pour cela, les auteurs mettent en place trois entités : *HIDM (Horizontal Inter-Domain Management)* qui permet d'effectuer un handover horizontal, *VIDM (Vertical Inter-Domain Management)* qui s'occupe du handover vertical et *SIDM (Stand-by IDM)* qui évite les appels de handovers d'être rejetés.

Le handover IP est également pris en compte. *Nguyen-Vuong et al.* dans [20] proposent un schéma d'un handover sans couture UMTS-WiMAX fondé sur IP mobile. Cette architecture repose sur la norme 3GPP. Le schéma proposé permet également la continuité de service avec une latence faible et une faible perte de paquet. Les auteurs proposent le protocole IP mobile (MIP) commun au niveau réseau. La mobilité dans le réseau WiMAX est gérée via un *HA (Home Agent)*, et la mobilité dans le réseau UMTS est gérée par son mécanisme de mobilité et par les fonctions de *FA (Foreign Agent)* implantées. Afin de réduire la perte de paquet lors de handover, le *Foreign Agent* informe le *Home Agent* du mouvement du terminal, le *Home Agent* met en attente les paquets et les envoie au terminal lorsqu'il s'est déplacé vers le réseau cible (quand le *Home Agent* reçoit la mise à jour MIP). En revanche, le problème dans une telle architecture est que si le terminal mobile se relie à plusieurs points d'accès, la phase de préparation du handover devient plus compliquée.

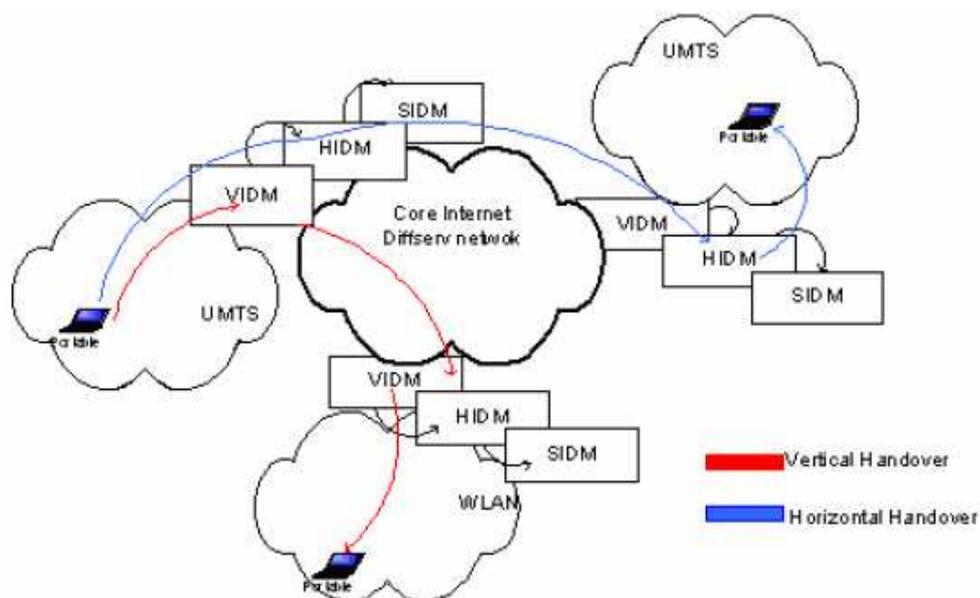


Figure 9 : Architecture proposée [19]

4.5. Handover avec mobilité et localisation

La localisation du terminal mobile est aujourd'hui à la mode. Cela nécessite bien évidemment d'autres entités afin de localiser le terminal, toutefois cela permet d'éviter des handovers non nécessaires. A. Saleh dans [21] a proposé un algorithme qui prend en compte la localisation de l'utilisateur dans une interconnexion de réseaux (WLAN/UMTS). Cela va empêcher le déclenchement des handovers qui se produisent lorsque le terminal mobile rend visite au réseau WLAN pendant un laps de temps. L'idée principale derrière l'algorithme proposé est de prendre en charge les informations sur la position de l'utilisateur, sa vitesse et sa direction pour connaître la durée de visite pour que l'algorithme de handover puisse décider la nécessité du handover. Par ailleurs, Ylianttila a proposé dans [22] une architecture de handover WLAN/UMTS dépendant de la localisation du terminal. L'architecture proposée permet au nœud mobile de préparer le prochain handover et d'activer l'interface réseau. Les paramètres de la procédure de handover pris en compte sont : la mobilité (vitesse de terminal), la position du nœud mobile (information de géo-localisation), la puissance du signal reçu et le délai de handover. Afin d'effectuer la procédure de handover, l'auteur a utilisé un prototype de mobilité IP (MIP) pour répondre aux applications VoIP.

4.6. Amélioration de handover horizontal

Quelques solutions ont été proposées pour améliorer les mécanismes de handover dans le réseau WiMAX IEEE 802.16e. Les auteurs dans [23], présentent un algorithme pour améliorer le handover de niveau liaison dans lequel la station de base active fait suivre des données descendantes à la station de base voisine cible. Les terminaux mobiles peuvent alors recevoir des données descendantes dès qu'ils deviendront synchronisés avec la station de base voisine. Le schéma proposé réduit le délai de la transmission de données et la probabilité de perte de paquet pour le service temps réel sur le lien descendant. Mais une inefficacité évidente de ce schéma consiste en son incapacité à réduire la latence du handover dans le sens montant, qui est sensible pour quelques applications (par exemple, voix sur IP). Les auteurs dans [24] veulent se focaliser sur l'amélioration de la procédure de décision de handover. Pour cela, ils proposent d'utiliser le rapport signal à interférence et bruit (*Carrier-to-Interference plus Noise Ratio : CINR*) et la différence de temps d'arrivée ATD (*Arrival Time Difference*) pour prévoir la meilleure station de base cible. Ce schéma a limité les interactions inutiles avec d'autres stations de base voisines que la station de base cible. Cette méthode a montré son efficacité en réduisant le nombre d'interactions exigées. Cependant, elle empêche également le terminal mobile d'acquérir une information plus précise qui serait normalement obtenue par un *ranging* et pourrait être décisive pour la sélection finale de la station de base cible.

D'autre part, l'idée d'améliorer la performance du handover vertical en utilisant la réservation de ressource pourrait améliorer les performances des réseaux hétérogènes. Très peu de travaux de recherche sont faits sur ce sujet. Les auteurs dans [25] prennent en compte la réservation de bande passante dans des réseaux WiMAX et WiFi. L'allocation de ressource est fondée sur deux seuils correspondant au trafic de voix/data. La politique proposée pourrait améliorer l'utilisation d'une interconnexion de réseaux WiFi-WiMAX,

cela conduit à augmenter le nombre d'utilisateurs servis ce qui augmentera les bénéfices de l'opérateur.

En tout cas, dans tous les travaux récents, aucun n'a abordé l'amélioration de handover vertical en adoptant un mécanisme de réservation de ressources, autrement dit la préparation de la réservation avant qu'un nœud mobile se déplace vers le réseau cible. De même peu d'études ont intégré la prise en compte d'un système satellite. Ce sujet sera l'idée de base dans notre travail, que nous présenterons au fil des chapitres suivants.

5. Système satellite (DVB-RCS)

5.1. Présentation

Les standards des systèmes de communication par satellite européens sont étudiés par l'ETSI et sont très fortement influés par l'application de référence qui est la diffusion télévisuelle qui est intrinsèquement unidirectionnelle. Les normes DVB-S et DVB-S2 [26] [27] ne spécifient donc pas de recommandation en ce qui concerne l'implantation d'une voie de retour. Pour les services interactifs, un lien est établi soit par des liaisons terrestres via des lignes téléphoniques, soit par le satellite. La norme DVB-RCS fournit un standard d'utilisation du satellite pour la voie de retour (Return Channel by Satellite). La norme DVB-RCS est donc considérée comme un complément du DVB-S. En fait, les flux aller DVB-S possèdent différentes informations pour régir le système global en termes d'accès, de signalisation et de synchronisation des terminaux. Le système DVB-RCS définit quant à lui un système large bande bidirectionnel par satellite pour des terminaux de type VSAT (*Very Small Aperture Terminals*) de sorte que la voie aller suit la norme DVB-S (ou DVB-S2) et la voie de retour les spécifications techniques pour l'interface air comme expliquées dans [27].

5.2. Architecture DVB-RCS

L'architecture classique du DVB-RCS (Figure 10) est en étoile ; tout le trafic engendré par les terminaux utilisateurs (*RCST : Return Channel Satellite Terminal*) transite par la Gateway/NCC (*Network Control Center*) qui est comme une passerelle entre les RCST et les fournisseurs d'accès à Internet [26]. Les RCST peuvent émettre et recevoir des données. En outre, des méthodes de gestion du réseau, par exemple l'accès au système et aux ressources, doivent être définies. Des entités prennent en charge les opérations de contrôle, de supervision, de gestion du système de communication, etc. Le centre de contrôle gère l'accès au système et une grande partie de la signalisation. Dans une deuxième génération de satellites, les procédures de gestion du système pourraient être implantées à bord du satellite. D'autre part, afin de fournir un accès Internet pour des usagers localisés dans une zone non couverte par un réseau à infrastructure, les terminaux RCST peuvent être considérés comme un relais du trafic IP.

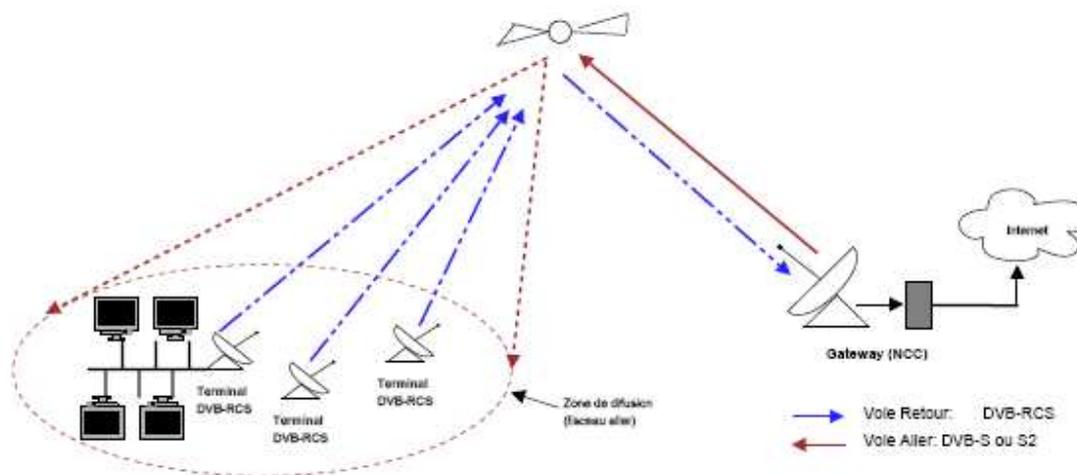


Figure 10 : Architecture DVB-RCS [26]

5.3. Pile protocolaire

La norme DVB-RCS possède deux piles protocolaires possibles (Figure 11) [26]. Ces piles sont différentes au niveau de la couche 2 dans la mesure où il y a deux méthodes d'encapsulation des données à transmettre : une méthode qui utilise les cellules ATM et une autre fondée sur les paquets MPEG2-TS (*Moving Picture Experts Group - Transport Stream*). Toutefois, l'encapsulation par la couche AAL-5 (*ATM Adaptation Layer*) est la technique obligatoire que chaque terminal RCST doit pouvoir l'utiliser. La seconde méthode d'encapsulation, définie par la couche MPE (*Multi-Protocol Encapsulation*), est optionnelle [27].

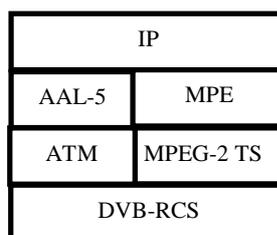


Figure 11 : Pile protocolaire du DVB-RCS [26]

5.4. Couche physique

La chaîne de transmission du DVB-RCS montrée sur la Figure 12 [26] repose sur l'émission de slots (*bursts*) (ce n'est pas le cas en DVB-S). Les données (trafic ou données de niveau MAC) sont aussi formatées en slots. On distingue quatre types de slots :

- Le slot TRF (TRaFFic) de trafic : ce slot contient les données, ATM ou MPEG-2, des

terminaux.

- Le slot CSC (*Common Signaling Channel*) : ce slot prend en charge l'identification des terminaux lors de la phase de log-on.
- Le slot ACQ (*ACquisition*) permet une synchronisation grossière des terminaux.
- Le slot SYNC (*SYNChronisation*) permet une synchronisation plus fine des terminaux et transporte des informations telles que les demandes de connexion, les requêtes de capacité, etc.

Ensuite, les slots formés sont embrouillés afin de disperser l'énergie. Pour les protéger contre les erreurs, un codage canal adéquat est nécessaire. Puis, ces slots sont transmis par une modulation QPSK. Le codage des slots peut être effectué de deux façons différentes : soit ils sont codés suivant la concaténation des codages *Reed-Solomon* et *convolutifs*, comme dans la chaîne de transmission du DVB-S, soit ils sont codés par un *turbo-code*.

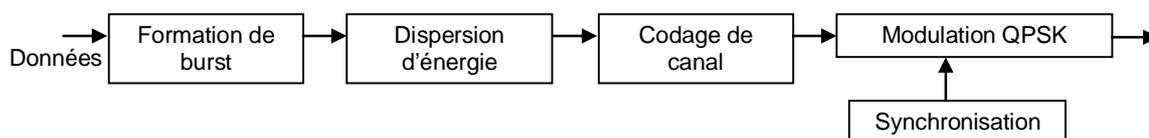


Figure 12 : Chaîne de codage du DVB-RCS [26]

5.5. Méthode d'accès

5.5.1. Partage des ressources

Contrairement à la norme DVB-S, où il y a un nombre très limité d'utilisateurs gateways qui accèdent au réseau, dans la norme DVB-RCS un nombre considérable de terminaux se partagent les ressources du réseau [26]. La norme DVB-RCS fournit un partage de la bande passante par une technique MF-TDMA (*Multi Frequency Time Division Multiple Access*). Cela permet une bonne efficacité spectrale et la prise en compte de nombreux terminaux.

Deux modes de partage MF-TDMA existent : un mode statique et un mode dynamique. Dans le mode statique on utilise une même configuration MF-TDMA trame par trame. En revanche, dans le mode dynamique, la structure MF-TDMA permet de varier d'une période à l'autre : la proportion des différents niveaux de codage pouvant varier.

5.5.2. Allocation des ressources

Puis qu'il y a un nombre considérable de terminaux, l'allocation fixe et constante des ressources demandées par terminal n'est pas adaptée [26]. On met donc en place des procédures de requêtes dynamiques de connexions : afin de satisfaire les critères de QoS pour une application, le terminal est amené à envoyer à la Gateway/NCC des messages contenant ses besoins en terme de capacité. Dans ce cas, le NCC va répondre aux requêtes en allouant à chaque groupe de terminaux une supertrame (comportant plusieurs trames) ; chaque trame sera divisée en time-slots qui transportera ensuite les slots contenant les données des terminaux.

L'allocation se produit à deux niveaux : au niveau connexion par la fonction CAC

(Contrôle d'Admission des Connexions) et au niveau MAC par la fonction DAMA (*Demand Assignment Multiple Access*). La fonction CAC permet d'accéder au support pour toute la durée de connexion en réservant une partie des ressources. La fonction DAMA quant à elle permet d'assurer l'allocation des time-slots au terminal pour vérifier les paramètres de QoS (débit, gigue, temps de transfert, etc.). Ces deux fonctions sont alors utilisées sur deux échelles de temps différentes.

6. Solutions pour l'interconnexion des réseaux sans fil

6.1. Introduction

Dans ce paragraphe, nous allons présenter les différentes solutions pour l'interconnexion entre les réseaux sans fil (Figure 13). Ces solutions ont été considérées au sein de plusieurs organismes de standardisation aussi bien par l'IEEE et par le 3GPP qu'au niveau de l'IETF (*Internet Engineering Task Force*). Nous en décrivons dans la suite quelques unes et nous nous focaliserons sur une solution propriétaire qui s'est imposée en tant que standard du 3GPP.

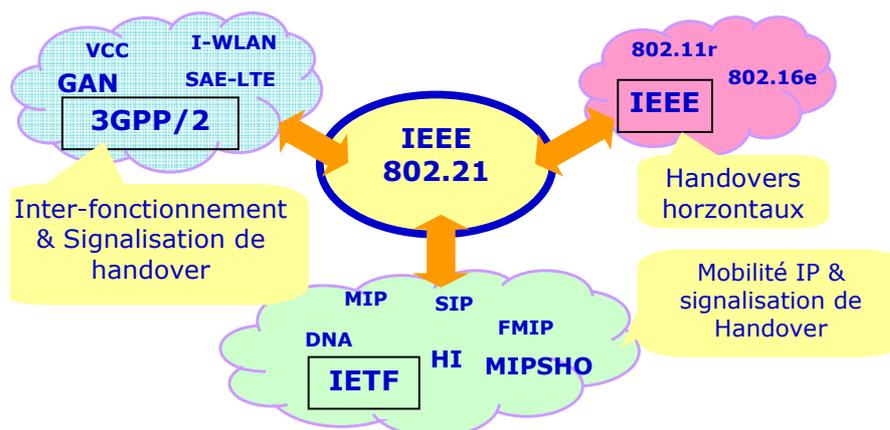


Figure 13 : Les standards pour le handover

6.2. Generic Access Network (GAN)

Aujourd'hui plusieurs choix d'interconnexion sont développés (essentiellement entre réseaux terrestres sans fil). Tous sont fondés sur des architectures protocolaires propriétaires. GAN en est un exemple qui permet de fournir un service GSM (*Global System for Mobile communications*)/GPRS sans couture sur n'importe quel réseau d'accès (par exemple WLAN). Ce choix d'interconnexion permet de favoriser la performance. Il permet de fournir de nouveaux services avec un impact minimal sur le réseau de cœur, sur les services du réseau et sur l'infrastructure radio existante.

En fait, le consortium GAN (initialement appelé UMA (*Unlicensed Mobile Access*)) a été constitué par des entreprises de l'industrie du sans fil afin de développer la technologie

GAN et ses spécifications [28]. Ce consortium travaille avec l'organisme de normalisation 3GPP pour développer la norme standard pour GAN. En septembre 2004, le consortium GAN a édité un premier ensemble des spécifications de GAN mais la norme est encore à l'état de test aujourd'hui.

Le standard GAN détaille l'utilisation d'un terminal bi-mode au travers d'une connexion radio avec licence GSM lorsqu'il est à l'extérieur d'une couverture GAN, et d'une connexion radio sans licence (*Bluetooth ou WiFi*) lorsqu'il est dans une zone de couverture GAN.

Avec GAN (Figure 14), les consommateurs peuvent utiliser des applications de voix et de données sans se soucier de la transition entre les réseaux : on parle de mobilité sans couture. Dès qu'un utilisateur possédant un terminal bi-mode, implantant la technologie GAN, rentre dans une zone de couverture d'un réseau sans licence auquel il peut se connecter, la procédure de handover va s'initialiser. Lors de la connexion, le terminal contacte le *GAN Controller* (GANC) par l'intermédiaire du réseau d'accès IP large bande afin d'être authentifié et autorisé à accéder au service de voix du GSM et de données du GPRS au travers du réseau sans fil sans licence.

Si la connexion est accordée, les données courantes de localisation de l'utilisateur sont mises à jour et à partir de ce moment, toutes les communications de voix et le trafic de données sont routés vers le terminal via le *GAN Network* au lieu du *Radio Access Network* (RAN).

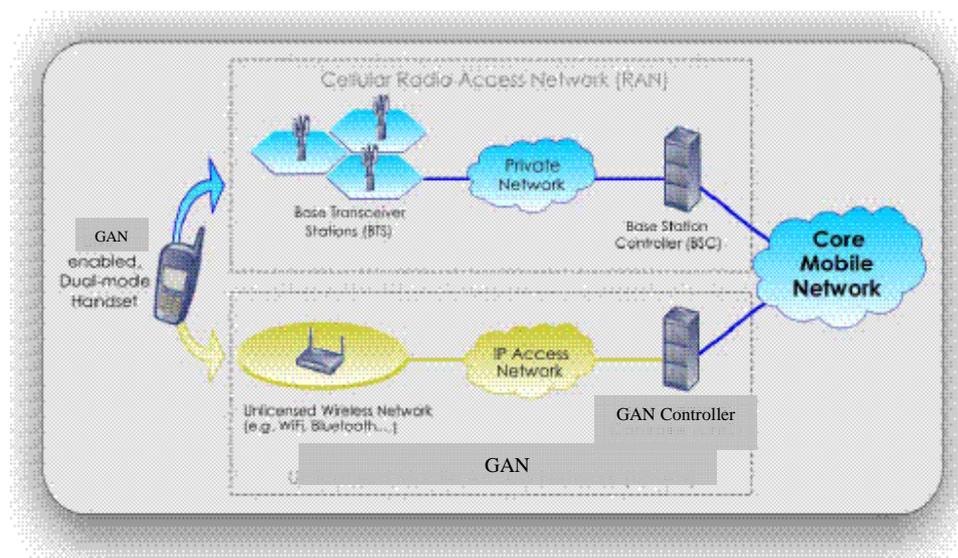


Figure 14 : Réseau GAN [28]

6.2.1. Architecture GAN

Le GANC (Figure 15 et Figure 16) est connecté au réseau IP privé ou public et au cœur du réseau mobile en utilisant les interfaces des standards industriels [28]. Il assure donc les mêmes fonctions qu'un contrôleur de station de base BSC (*Base Station Controller*). Il connecte MSC (*Mobile Switching Centre*) et SGSN (*Serving GPRS Support*

Node) déjà existants par l'intermédiaire des interfaces A et Gb du GSM/GPRS. Tout le trafic est routé au travers du cœur du réseau permettant de n'effectuer aucun changement dans la manière de facturer. Cela permettra d'améliorer le réseau mobile sans en changer les équipements déjà mis en place.

Quand le terminal mobile est connecté à un réseau WLAN, il va communiquer avec un point d'accès standard WLAN. Le client GAN, dans le terminal, va initialiser un tunnel IP sécurisé (Figure 16) au travers du réseau IP (privé ou public) afin de se connecter au *GAN Controller* (GANC).

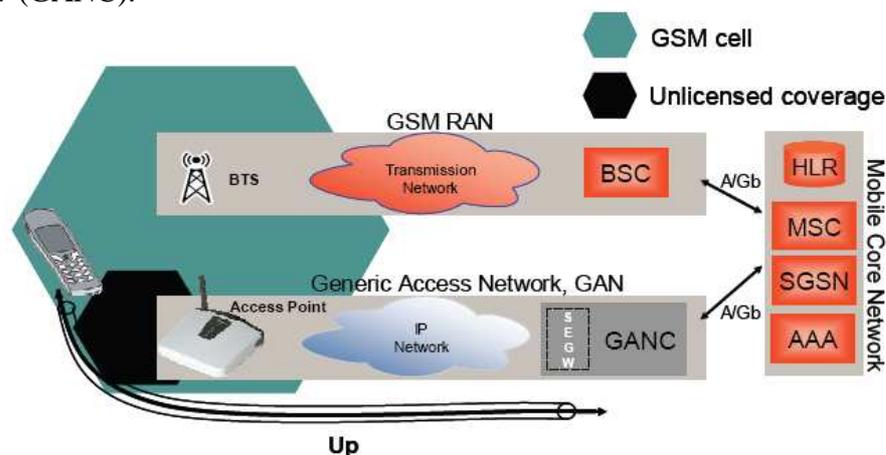


Figure 15 : Architecture GAN [30]

Comme on peut le voir sur le schéma (Figure 16), tous les trafics de l'utilisateur (voix et données) et la signalisation passent par le tunnel IP sécurisé depuis le terminal mobile jusqu'au cœur du réseau de l'opérateur mobile. Le tunnel sécurisé VPN (*Virtual Private Network*) apporte une sécurité supplémentaire par rapport au mécanisme d'authentification et de sécurité, qui est déjà pris en compte dans le standard GSM.

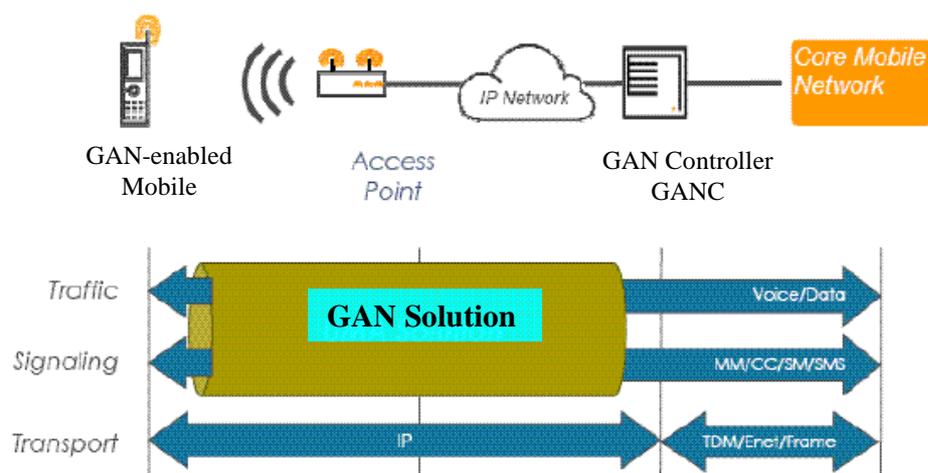


Figure 16 : Le tunnel sécurisé [28]

6.2.2. Avantages, inconvénients et défis

La technologie GAN est à l'heure actuelle l'unique solution déployée pour un accès WLAN mobile mais elle n'est pas la solution optimale pour un accès de données. Plusieurs avantages sont fournis par cette technologie. D'abord, cette solution permet d'utiliser le WLAN comme tout autre réseau d'accès avec des impacts minimaux : sur le réseau de cœur, sur les services réseau, et sur l'infrastructure radio existante. De plus, tous les services peuvent être fournis par le WLAN avec le moins de changements possible. Enfin, elle permet des handovers sans couture pour l'utilisateur. En revanche, c'est une solution de haute complexité et l'envoi de données nécessite l'encapsulation IP sur GPRS sur GAN sur IP. D'ailleurs, cette technologie procède à l'utilisation de plusieurs niveaux de sécurité (sécurité WLAN, IPsec (protocole de sécurité IP) et sécurité GPRS). Enfin, elle n'est pas fondée sur IP tandis qu'il y a aujourd'hui une tendance générale au tout-IP.

En contrepartie, il y a plusieurs défis associés au WLAN/GAN concernant la configuration de la sécurité, qui est tout sauf simple, surtout lorsqu'on parle de la configuration du mobile. La mobilité dans un WLAN où les WLAN sont sécurisés par des problèmes pour la prise en charge du *fast roaming*. De plus, les *Firewalls* ne fonctionnent pas toujours bien avec IPsec, alors que la tendance générale est au tout-IP. D'autre part, la localisation est fondée sur WLAN et non sur GSM. Cela pose des problèmes par l'interopérabilité et la mise en place de mécanismes d'équilibrage de charge. La qualité de la voix sur IP/WLAN reste également un défi.

6.2.3. Positionnement de la technologie GAN [31] [32] :

Le déploiement de la solution GAN est tributaire du développement de certaines technologies :

Évolution à court terme :

- VoIP : la solution GAN permet surtout de fournir un service de type voix. Néanmoins, l'utilisateur peut aujourd'hui installer le logiciel « *skype* » ou d'autres logiciels téléphoniques sur son mobile. Cela lui permet non seulement de répondre aux besoins en terme de service voix mais également d'envoi de données (MMS, etc.) et de tenir compte de la mobilité (nomadisme de niveau IP).

GAN est principalement vu comme une solution pour fournir un accès générique, à travers un réseau d'accès WiFi, aux services GSM/GPRS mais rien n'empêche l'accès à des services de réseau WiMAX via un réseau d'accès WiFi ; ou l'accès via un réseau d'accès WiMAX aux services GPRS/3G. Cependant, plusieurs questions sur l'efficacité et sur la faisabilité restent ouvertes.

Évolution à moyen terme :

La relation entre GAN et IMS (*IP Multimedia Subsystem*) est caractérisée par le rôle que pourront avoir ces technologies dans les réseaux mobiles. GAN est utilisé au niveau d'un réseau d'accès, limité à fournir des services via le réseau mobile mère (GSM/3G). Remarquons que tous les services disponibles via le réseau mobile mère seront aussi disponibles via GAN.

IMS est une norme qui définit une architecture générique offrant des services multimédias

via n'importe quel réseau IP. IMS spécifie l'interopérabilité et est bien intégré dans les réseaux d'opérateurs en adoptant plusieurs des caractéristiques principales du domaine des télécoms. IMS fournit des services à n'importe quel réseau d'accès fondé sur IP et des services fournis par IMS fonctionneront de la même manière dans GAN que dans le réseau d'accès radio GSM/3G. GAN augmente le déploiement de services IMS en fournissant la mobilité sans couture entre le réseau WLAN et le réseau d'accès radio GSM/3G. GAN doit être considéré en tant qu'une des technologies d'accès aux services IMS. A un autre niveau, IMS permet de fournir des services multimédias, mais ne prend pas en charge la mobilité des utilisateurs. De plus, le déploiement d'IMS n'est pas à ce jour bien concrétisé. Plusieurs de ses concepts comme la continuité de voix (VCC) sont en cours de standardisation. En revanche, ce choix ne permet pas de prendre en compte la mobilité pour des services autres que la voix.

Évolution à long terme :

Tout IP : cette dernière solution est fondée sur IP mobile. L'évolution est considérée à long terme et elle est très loin d'être standardisée. Néanmoins, l'IETF apporte des solutions adaptées au niveau réseau pour tenir compte de l'hétérogénéité de médias.

6.3. Media Independent Handover (MIH IEEE 802.21)

La réalisation de handover entre des réseaux d'accès hétérogènes de manière transparente du point de vue de l'utilisateur mobile (sans couture ni détérioration) nécessite la prise en compte de certaines notions telles que la continuité de service, les classes d'application, la qualité de service, la découverte et la sélection du réseau, la sécurité et la gestion de la consommation d'énergie du système mobile [28] [29].

Le groupe de travail IEEE 802.21 a pour cela créé une architecture de base qui définit une fonction MIHF « *Media Independent Handover Function* » qui va aider les systèmes mobiles à effectuer un handover sans couture entre des réseaux d'accès hétérogènes tels que IEEE 802.3 (réseau local filaire), IEEE 802.11x (réseau local sans fil), IEEE 802.16e (réseau WiMAX mobile), GPRS et UMTS (réseau mobile 3G), en venant s'interfacer avec les protocoles de *polling* et de mobilité des couches supérieures.

6.3.1. Objectifs initiaux

Initialement le groupe IEEE 802.21 s'est fixé les objectifs suivants :

- Mettre en œuvre des terminaux qui soient capables d'interagir avec différents réseaux.
- Respecter le principe d'une communication toujours active « *always-on, anytime, anywhere, any networks* » [28].
- Optimiser les transitions à travers les différents réseaux pour qu'elles soient sans couture ni détérioration : mobilité sans couture. La Figure 17 représente le modèle de référence d'un réseau logique IEEE 802.21.

La normalisation IEEE 802.21 est toujours en cours. Un premier draft est paru en juillet 2005 [29] ; des améliorations ont été proposées.

aux utilisateurs de MIH. Cela permet d'effectuer des handovers de faible latence entre des technologies de réseaux d'accès différentes.

Il définit les méthodes et la sémantique nécessaires pour faciliter l'obtention des informations du réseau et donc optimiser la détection des réseaux disponibles présents dans un environnement.

Le standard gère la spécification des procédures de commandes qui permettent de mettre en œuvre la continuité de service sans couture entre des réseaux hétérogènes.

IEEE 802.21 n'exécute pas les handovers et ne définit pas non plus les politiques de décision de handover. Il ne contrôle pas la détection du réseau et ne spécifie pas les procédures de sélection de réseau.

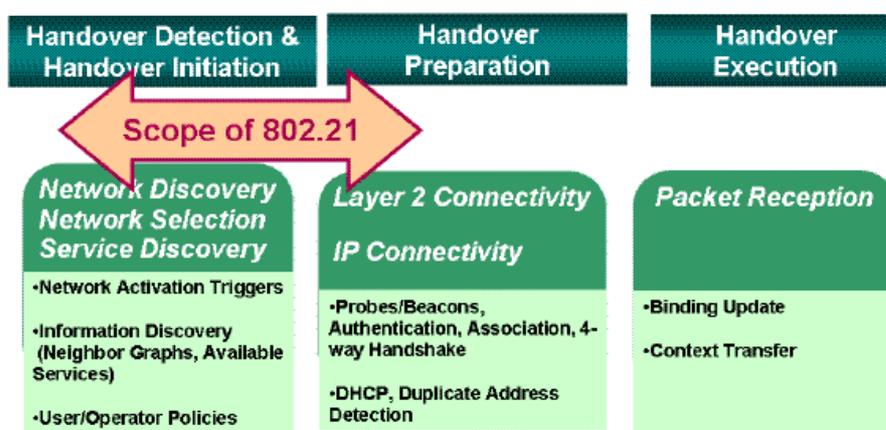


Figure 18 : Echelle de norme IEEE 802.21 [28]

En résumé, IEEE 802.21 ne fait qu'aider les couches supérieures pour débiter et préparer les handovers, et ne gère en aucun cas l'exécution de ceux-ci.

6.3.3. IEEE 802.21 Media Independent Handover Function (MIHF)

Après un long processus, le groupe de travail a décidé que MIH serait une couche intégrée au-dessus du niveau PHY/MAC (2.5 Layer) plutôt qu'une API (*Application Programming Interface*) (Figure 19).

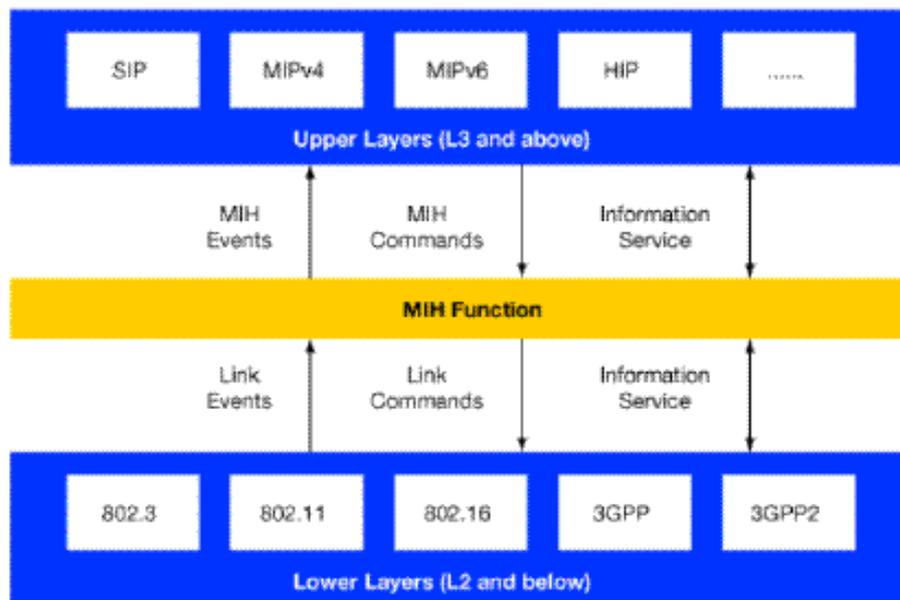


Figure 19 : Fonction de MIH [28]

La fonction IEEE 802.21 de *Media Independent Handover* (MIHF) est une couche positionnée dans la pile protocolaire *Mobility Management* côté mobile et réseau. La fonction MIH fournit des services aux couches hautes au travers d'une interface indépendante mono-technologie. Elle obtient des services des couches inférieures au travers des nombreuses interfaces dépendantes de la technologie ou SAPs.

Media Independent Event Service (MIES) :

En règle générale, les handovers peuvent être initialisés aussi bien par le terminal mobile que par le réseau [28]. Les événements, qui peuvent initier un handover, peuvent provenir des couches MAC, PHY ou de la fonction MIH et ce depuis le MN (*Mobile Node*) ou le PoA (*Point of Attachment*) du réseau. Cela peut être dû à la mobilité du terminal, à des changements d'état de l'environnement ou à une fonction de gestion dans la partie réseau. En effet, la cause des événements peut être locale ou distante. Un protocole de transport est nécessaire pour gérer les événements distants (*remote events*).

Plusieurs entités des couches supérieures peuvent être intéressées par ces événements en même temps. Donc, ces événements doivent pouvoir avoir plusieurs destinations. Ainsi, les couches supérieures peuvent s'enregistrer pour recevoir les notifications d'événements générées par des sources particulières grâce à la fonction MIH qui va redistribuer les événements.

On notera que les événements sont traités de manière discrète. Dans certains cas, un événement peut avoir des informations qui lui sont liées. C'est pourquoi, un identifiant est affecté à l'événement afin que d'autres événements s'y associent en utilisant cet identifiant.

Le service d'événement peut être divisé en deux catégories : événements de lien et événements MIH. Typiquement, les deux événements se transmettent d'une couche basse à une couche haute. Les événements de lien sont définis comme issus d'une entité positionnée

sous la fonction MIH pour arriver à MIHF. Les entités générant les événements de lien sont les différentes technologies d'accès IEEE 802, les technologies 3GPP et 3GPP2. A l'intérieur de MIH, les événements de lien peuvent être propagés aux couches supérieures qui se sont enregistrées pour des événements spécifiques, avec ou sans traitement additionnel. Les événements, qui sont propagés par MIH, sont appelés MIH Events.

Media Independent Command Service (MICS) :

Le service de commande MICS (*Media Independent Command Service*) concerne les commandes envoyées depuis les couches supérieures vers les couches inférieures du modèle de référence [28]. Les couches hautes et les autres utilisateurs MIH peuvent utiliser le service de commandes pour déterminer les états des liens et/ou contrôler de manière optimale les performances du terminal multi-mode.

Le service de commandes peut aussi permettre aux utilisateurs MIH d'exécuter de manière optimale le handover car les services de commande contiennent des informations dynamiques telles que la puissance du signal, le débit du lien, etc.

Comme pour les événements, il existe deux types de commandes : les commandes MIH et les commandes de lien. Les figures ci-dessous illustrent les différences entre ces commandes.

Media Independent Information Service (MIIS) :

La fonction principale du service d'information est de permettre aux terminaux mobiles ainsi qu'aux entités côté réseau, de découvrir l'information qui peut les aider à sélectionner correctement un réseau lors d'un handover [28].

Cette information sera principalement utilisée par des entités permettant de définir des politiques à base de règles. Grâce à ces informations, ces moteurs sont capables de prendre la bonne décision lors d'un handover. Le service d'information doit fournir pour une grande partie, une information de type statique. D'autres informations dynamiques sur les différents réseaux d'accès tels que les niveaux instantanés de ressources disponibles, les paramètres d'état, les statistiques dynamiques, etc. devraient être obtenus directement auprès des réseaux d'accès respectifs.

Modèles MIH de référence :

Les modèles MIH de référence pour toutes les technologies envisagées par le standard (IEEE 802.3, IEEE 802.11x, IEEE 802.16, 3GPP et 3GPP2) sont illustrés ci-dessous [28]. Ainsi, pour chaque technologie d'accès, le standard IEEE 802.21 définit des points d'accès qui permettront les échanges de primitives avec MIH.

Les différents points d'accès au service (SAP), définis par le standard IEEE 802.21, sont regroupés sur la figure suivante (Figure 20).

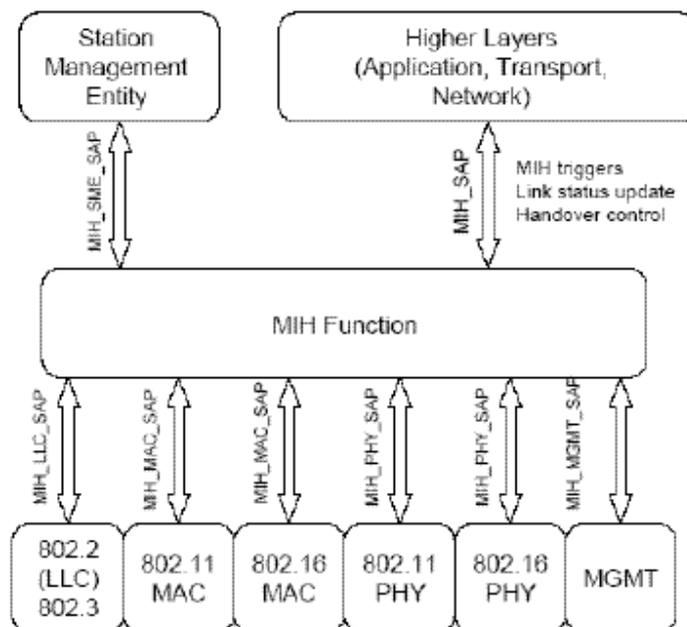


Figure 20 : Points d'accès au service [28]

6.3.4. Scénarios du standard

Le groupe de travail s'appuie sur des scénarios et des cas d'usages pour modéliser au mieux les différents cas de handovers gérés par le standard IEEE 802.21.

Classes de scénarios :

Les différents scénarios de Handover définis par le standard IEEE 802.21 se décomposent en 4 grandes classes [28] :

- *Classe 1* : Le mobile et le réseau implantent le module MIH. Dans ce cas, le handover se fera en suivant la procédure recommandée par le standard.
- *Classe 2* : Le mobile implante MIH, mais pas le contrôleur réseau : le handover (si cela est possible) se fera à l'initiative du mobile.
- *Classe 3* : Le contrôleur réseau implante MIH, mais pas le mobile : le handover (si cela est possible) se fera à l'initiative du contrôleur réseau.
- *Classe 4* : Ni le mobile, ni le réseau n'implantent MIH : c'est le cas des systèmes actuels. Le handover est impossible.

Scénarios pour la mise en œuvre de MIH :

A ces classes s'ajoutent les scénarios ou plutôt les cas d'utilisation sur lesquels le groupe de travail IEEE 802.21 va devoir s'appuyer pour définir les modèles de MIH [28]. Ces scénarios permettent de mettre en évidence les différents handovers inter et intra-technologies.

- Scénario n° 1 : IEEE 802.11x \Leftrightarrow IEEE 802.16e

Une station multi-mode est connectée à son Intranet en IEEE 802.11x. Elle traverse le campus vers un autre bâtiment. Entre les 2 bâtiments, la connexion Intranet se fait en IEEE 802.16.

- Scénario n° 2 : IEEE 802.x \Leftrightarrow 3G

Une station multi-mode est connectée à son Intranet en IEEE 802.x. Elle souhaite continuer sa session sur un réseau GPRS/UMTS ou vice-versa.

- Scénario n° 3 : IEEE 802.11x \Leftrightarrow IEEE 802.11y

Une station uni-mode est connectée à Internet depuis un *hotspot* public IEEE 802.11 dans un hôtel. L'utilisateur part à une conférence où un autre hotspot 802.11 est présent, mais avec un ESS (*Extended Service Set*) différent. Il souhaite continuer sa session.

- Scénario n° 4 : IEEE 802.11x \Leftrightarrow IEEE 802.11y ou IEEE 802.11z

Une station uni-mode se trouve dans un aéroport et voit plusieurs SSIDs (*Service Set Identifiers*) possibles pour créer une association : quel réseau va-t-elle choisir ?

- Scénario n°5 : IEEE 802.3 \Leftrightarrow IEEE 802.11x

Une station multi-mode est connectée de façon filaire et se déplace faiblement dans la même région où se situe un *hotspot* 802.11x. L'utilisateur souhaite continuer sa session.

Derniers scénarios 3G Cellular \Leftrightarrow IEEE 802.x :

Les handovers entre un réseau cellulaire 3G et IEEE 802.x ont été plus amplement détaillés et trois nouveaux scénarios ont été définis [28] :

Scénario A : le réseau 3G n'implante pas MIH.

Scénario B : le réseau 3G implante MIH et fournit un service d'information IS (*Information Service*), un service d'événement ES (*Event Service*) et un service de commande CS (*Command Service*).

Scénario C : le réseau 3G utilise un *proxy* MIH pour les IS, et fournit les ES et CS.

Scénario A : le réseau 3G visité n'a pas de connaissance du IEEE 802.21 (pas de fonction spécifique IEEE 802.21 implantée dans le réseau 3G). Donc, le réseau 3G visité n'a pas le contrôle de la décision du handover. C'est le réseau mère qui contrôle la sélection du réseau et la décision du handover.

Scénario B : les exemples illustrant le scénario B pourraient être :

- L'opérateur possède différentes technologies d'accès et permet à ses abonnés l'accès multiple sur ses réseaux.
- L'opérateur a des accords de "*roaming*" afin de couvrir l'accès multiple de ses abonnés sur les autres réseaux.

Le réseau 3G peut contrôler la sélection du réseau et la décision du handover dans le gestionnaire de mobilité MME (*Mobility Management Entity*).

Scénario C : Un *proxy* est utilisé pour accéder au service d'information IS depuis les autres réseaux. L'exemple illustrant le scénario C pourrait être : L'opérateur n'a pas d'accord de "*roaming*" pour couvrir l'accès multiple de ses abonnés. Le réseau 3G contrôle la prise de décision du handover.

6.4. Protocole FMIP (Fast Mobile IPv6 Protocol)

Tout comme l'IEEE, plusieurs organismes de standardisation se sont attelés à proposer des cadres généraux pour favoriser l'intégration de réseaux hétérogènes. Le

groupe MIPSHOP (*Mobility for IP : Performance, Signaling and Handoff Optimization*) a été créé au niveau de l'IETF afin d'étudier les interactions entre les mécanismes de niveau réseau et ceux spécifiques aux technologies d'accès de niveau liaison de donnée. Ces travaux profitent ainsi du cadre générique IEEE 802.21 proposé pour optimiser les performances du système global en utilisant des mécanismes d'interactions (*cross-layer*) entre différents niveaux. Ce groupe met en place un ensemble de protocoles comme par exemple FMIP6, qui est une extension du protocole *Mobile IPv6*, et qui propose d'anticiper des opérations de la couche réseau en utilisant des déclencheurs de niveau deux. Ces déclencheurs sont des messages génériques à tout protocole de la couche liaison qui avertissent d'un changement dans l'état de liaison du mobile avec les points d'accès. Le but est d'autoriser le nœud mobile à envoyer les paquets sans délai et à délivrer des paquets au nœud mobile dès l'attachement au NAR (*New Access Router*). Plusieurs scénarios ont été prévus afin d'anticiper le handover de niveau 3 (un mode proactif et un mode réactif ont été en particulier définis).

6.5. Solutions fondées sur IEEE 802.21

L'intérêt de la norme IEEE 802.21 est de fournir une couche de niveau 2.5 intelligente et indépendante (MIH) de la technologie radio afin d'effectuer un handover sans couture. Cela requiert l'amélioration de la continuité de service, de la QoS, de la mobilité, de la consommation de puissance, de la sécurité, etc. Les travaux de recherche abordent plusieurs points : réduction de la latence de handover, du délai de handover, de la perte de paquet lors de handover, de handover sans couture (continuité de service), de la QoS, etc. On se focalise en particulier sur l'amélioration de la fonctionnalité des entités MIH ou bien les services, en les développant ou bien en ajoutant des nouvelles primitives et des entités supplémentaires pour qu'elles puissent prendre en compte les besoins demandés. En résumé, nous pouvons dire que les thèmes les plus abordés sont les suivants : amélioration de handover FMIP6, décision de handover, mobilité, handover sans couture et QoS. Nous allons maintenant exposer les différents travaux dans ce cadre.

L'optimisation de performance du handover FMIP6 a été un des sujets les plus traités. Pour cela, certains veulent améliorer les primitives de MIH et ajouter de nouvelles entités. Les auteurs dans [31] ont fait face au problème de la latence de handover FMIP6 fondé sur IEEE 802.21. L'intérêt est de réduire la latence de handover d'un mobile IPv6 en baissant la durée de découverte de routeur et la durée de l'initialisation du handover. Pour cela, les auteurs proposent un mécanisme améliorant le handover en ajoutant de nouvelles primitives et paramètres de services MIH en définissant une nouvelle primitive liée à toutes les primitives actuelles de MIH. La nouvelle primitive contient un préfixe d'information sur le routeur d'accès. Le niveau trois du routeur d'accès envoie la nouvelle primitive au niveau deux afin de l'informer lorsqu'il y a un nouvel attachement de point d'accès (IEEE 802.11) ou lorsque le préfixe est changé. Par conséquent, le niveau deux du routeur et le point d'accès peuvent obtenir l'information de préfixe sur leur routeur. Le niveau trois du nœud mobile cherche les informations sur les points d'accès voisins en utilisant de nouvelles primitives. Bref, le nœud mobile pourrait être capable de chercher des informations sur le nouveau point d'accès sans la procédure de découverte de routeur.

Par ailleurs, la couche IP a besoin des déclencheurs de la couche deux afin de configurer la nouvelle adresse IP (nCoA : *new Care-of-Address*). Avec les primitives actuelles de MIH, la performance de handover MIP6 est limitée car le service MIH est utilisé seulement pour découvrir les informations de niveau deux. Par conséquent, il est difficile d'améliorer le handover FMIP6. Pourtant, en prenant en compte les nouvelles primitives, la durée de l'initialisation devient faible, cela conduit à effectuer un handover FMIP6 en mode prédictif et à baisser la latence de handover FMIP6. L'amélioration des services MIH afin d'effectuer un handover FMIP6 est encore traitée dans [33] [34]. Les auteurs veulent faire face aux problèmes qui dégradent la performance de FMIPv6 comme la découverte de l'accès radio et la découverte de routeurs. Pour cela, les auteurs améliorent le service d'information (MIIS) pour qu'il puisse avoir des informations sur les réseaux d'accès voisins. De plus, ils proposent un nouveau message (*Information Report*) qui porte des informations de couches 2 et 3 concernant les réseaux d'accès voisins. Cela a permis de réduire le temps d'anticipation ainsi que la durée de latence de handover. Ce dernier travail [34] a été développé dans [35] dans le cadre des réseaux véhiculaires (Figure 21) en étendant le handover FMIP6. Cela nécessite de fournir des messages supplémentaires définis dans la prise en charge de base des réseaux mobiles (*NEMO : Networks Mobile*). De plus, les auteurs définissent un service : HNI (*Heterogeneous Network Information*) pour avoir des informations aux niveaux deux et trois sur les réseaux voisins obtenues par le service MIIS (IEEE 802.21). Afin de réduire la durée d'anticipation de FMIP6, les auteurs proposent un cache appelé : NNR (*Neighboring Network Report Cache*) installé dans le nœud pour stocker le rapport HNI. Cela réduit la durée d'anticipation de FMIP6 et la signalisation. En outre, les auteurs définissent une nouvelle primitive de service de commande MICS afin de répondre aux besoins de QoS.

Comme on a vu dans les travaux de recherche sur les réseaux terrestres (cf.4), la décision de handover est un des points importants qui attire l'attention des chercheurs. Les auteurs dans [36] améliorent la procédure de la décision de handover IEEE 802.21 MIH en utilisant des informations de la couche application et concernant les utilisateurs. Afin de sélectionner le meilleur réseau, les informations sont regroupées pour former un degré d'agrégation selon plusieurs facteurs de QoS (bande passante, gigue, délai, taux de perte, etc.). Ce dernier travail [36] a été développé dans [37] pour qu'il tienne compte de la mobilité. Les auteurs proposent un cadre d'un IEEE 802.21 MIH amélioré et un mécanisme pour gérer la mobilité sans couture en fournissant des nouvelles entités fonctionnelles concernant la couche liaison et la couche application. L'architecture pourrait être implantée dans la norme IEEE 802.21 et bénéficier au client ainsi qu'à l'opérateur.

Un autre point de vue afin d'effectuer un handover sans couture consiste à ajouter un mécanisme pour prévoir la taille d'un buffer dédiée des données du handover. Wang *et al.* dans [38] proposent un algorithme pour la prédiction de la taille d'un buffer réglée dynamiquement afin d'améliorer les fonctionnalités de MIH IEEE 80.21. Une couche SSL (*Service Specific Layer*) a été proposée (Figure 22) pour fournir les informations nécessaires à MIH afin de mettre en œuvre la procédure de handover. Durant la durée de coupure (du réseau d'origine), due au handover, le système peut fournir le service à l'utilisateur et par conséquent les utilisateurs ne ressentent pas la coupure de service.

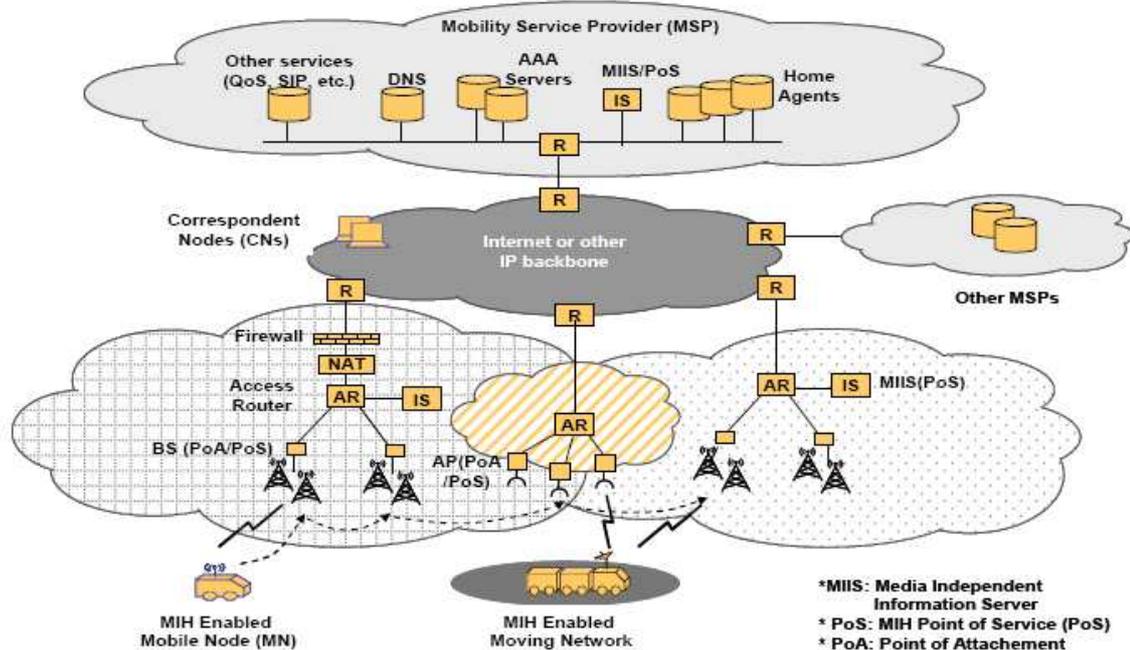


Figure 21 : Architecture proposée [35]

L'amélioration de performance du handover sans couture avec un délai faible est traité autrement en implantant un modèle de double interface radio sur le nœud mobile avec un mécanisme *cross-layer*. Dans [39] [40], les auteurs ont proposé un modèle de double interface air utilisant les services IEEE 802.21 MIH. En plus du développement des services IEEE 802.21 MIH, l'intégration d'un réseau IEEE 802.16 avec d'autres réseaux a aussi intéressé les chercheurs. Les auteurs dans [41], proposent des schémas de handover MIPv6, de handover horizontal et de handover vertical dans un réseau hétérogène IEEE 802.11g/IEEE 802.21. On a vu dans le travail proposé dans [36] que les auteurs ont développé, dans ce but, le service d'information IEEE 802.21 MIH. Cependant, les auteurs de ce travail, afin de sélectionner le réseau cible auprès des nœuds mobiles, proposent d'ajouter les entités suivantes pour prendre en charge les handovers : un schéma IHS (*Integrated Handover Scheme*), service PoS (*Point of Service*) et un service d'information IS (*Information Service*). Ils ont de plus proposé un protocole du handover horizontal et vertical pour optimiser les performances de MIPv6. Par ailleurs, comme on a vu dans les travaux précédents, l'amélioration de handover est toujours menée en ajoutant des entités. Les auteurs dans [42] proposent d'autres entités pour un autre type d'intégration. En fait, les auteurs s'intéressent à une solution d'un handover WiMAX/3G fondé sur IEEE 802.21 MIH. Pour ce faire, les auteurs proposent d'ajouter plusieurs entités. Afin de fournir les services MIH, tous les réseaux d'accès et les utilisateurs doivent avoir MIHF. Cependant, les points d'accès au service (SAPs) sont réutilisés. Cette solution reste coûteuse. Dans [43], les auteurs ont proposé un cadre (Figure 23) pour la continuité de service entre un réseau WLAN et un réseau WMAN fondé sur IEEE 802.21 MIH.

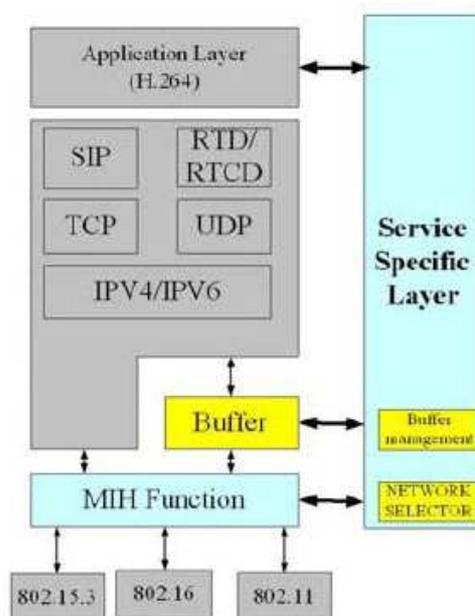


Figure 22 : Architecture proposée [38]

Les auteurs proposent plusieurs entités à ajouter pour fournir la QoS lorsque le nœud mobile passe d'un système à un autre et pour fournir aux nœuds les informations nécessaires pour qu'ils puissent prendre la décision du handover.

Enfin, un travail récent proposé dans [31] concerne un handover sans couture en tenant compte de la QoS entre le réseau IEEE 802.16e et le réseau UMTS. Le cadre est fondé sur IEEE 802.21 MIH et utilise les services définis dans IEEE 802.21. Afin de mettre en œuvre le handover, le réseau de service examine la possibilité que le réseau cible réponde aux besoins de QoS du nœud mobile. Une mise en correspondance des paramètres de QoS est faite. Le réseau de service réserve les ressources pour le nœud mobile afin de maintenir la QoS une fois que le nœud mobile s'y déplace. Enfin, le nœud mobile active les ressources réservées lors de l'établissement de connexion au niveau deux en mettant en route la procédure d'initialisation sur le réseau cible. Toutefois, cela ajoute des nouvelles primitives MIH.

Pour conclure, nous avons présenté les travaux effectués dans le cadre des solutions fondées sur IEEE 802.21 MIH afin de mettre en œuvre et améliorer le handover sans couture en tenant compte de QoS et de mobilité d'interaction avec le handover FMIP6, etc. Ces thèmes sont toujours d'actualités.

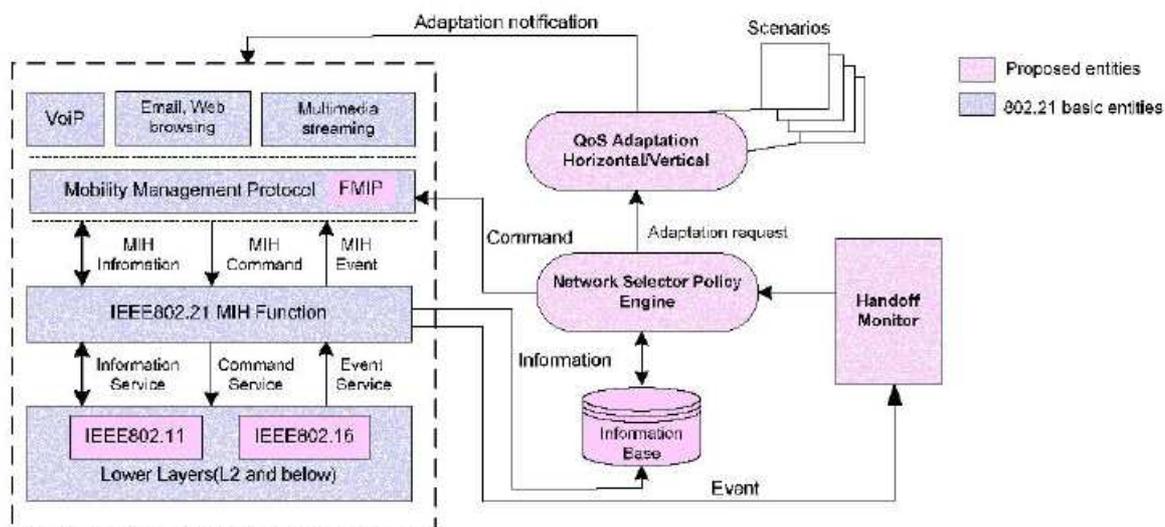


Figure 23 : Cadre d'intégration proposé [43]

6.6. Comparaison des solutions IEEE 802.21 et GAN

Bien que l'on désigne la technologie GAN comme une technologie propriétaire et distinguée du standard IEEE 802.21, nombreuses sont les différences entre les spécifications [28].

- Le standard IEEE802.21 concerne plus de technologies d'accès que la technologie GAN qui ne permet pour l'instant que d'effectuer les scénarios : IEEE 802.11 ou Bluetooth \Leftrightarrow GSM/GPRS. Les scénarios du 802.21 sont : IEEE 802.3, 802.11x, 802.16, 802.22, 3GPP, 3GPP2 \Leftrightarrow idem
- Les terminaux qui planteront IEEE 802.21 seront multi-radio et pas seulement "bi-mode".
- Le standard IEEE 802.21 ne normalise pas l'exécution du handover mais l'aide à la détection, à l'initialisation et à la prise de décision alors que GAN normalise les échanges pour effectuer le handover.
- La technologie GAN ne permet pas de choisir si la connexion sans licence est meilleure ou non. En effet, dès la détection d'un réseau sans licence, le standard oblige le handover sous certaines conditions de qualité, mais ne permet pas de prendre en compte le besoin des applications lors de la prise de décision du handover. Le standard IEEE 802.21 permettra d'avoir ce choix d'effectuer ou non un handover.
- Le standard IEEE 802.21 doit effectuer des amendements auprès des autres standards IEEE 802 et des groupes 3GPP/GPP2 afin que la normalisation de nouveaux points d'accès au service SAPs ou de nouvelles primitives soit faite. Sans cela, IEEE 802.21 ne sera pas viable. Nous considérons dans la suite de la thèse que les solutions sont fondées sur IEEE 802.21.

6.7. Intégration entre les réseaux terrestres et le système de satellite

Certains travaux de recherche visent à améliorer les réseaux satellites sans intégration avec les réseaux terrestres. Dans un contexte satellite, les auteurs dans [44] proposent et évaluent un mécanisme de handover toléré pour les systèmes satellites à orbite basse LEO (*Low Earth Orbit*) appelés : réservation dynamique de canal. L'algorithme proposé profite de la topologie déterministe de ce type de système afin d'augmenter l'utilisation de canal et réduire les deux probabilités de blocage et de terminaison forcée. Néanmoins, ce travail ne s'intéresse pas à évaluer la performance de l'intégration entre le réseau terrestre et le système de satellite. Par ailleurs, nous nous intéressons dans le cadre de notre thèse aux travaux d'intégration entre le réseau terrestre tel que le réseau WiMAX fondé sur IEEE 802.21 MIH et le réseau satellite tel que DVB-RCS. En fait, il existe relativement peu des travaux sur ce thème.

Les solutions présentes aujourd'hui, afin d'intégrer un segment satellite dans un réseau WiMAX, sont : des solutions architecturales sans tenir compte de la performance [45] [46], une définition d'un schéma d'un handover sans couture dans le cadre d'une application précise, et un solution qui repose sur l'intégration d'une couche MIH dans un système satellite. Le but est d'effectuer un handover fondé sur IEEE 802.21 MIH, un handover IP rapide pour une application précise en réduisant la latence et la dégradation du débit, etc. Nous allons maintenant résumer les différents travaux dans ce cadre.

Comme nous allons le décrire dans le chapitre suivant nous avons proposé dans [45] une architecture pour l'intégration entre le réseau WiMAX et le réseau satellite DVB-RCS. L'architecture définie repose sur le modèle IEEE 802.21 MIH comme intégration entre un système satellite et un réseau terrestre. Deux scénarios avec une procédure de handover WiMAX/DVB-RCS ont été considérés. Une autre solution architecturale d'une telle intégration a été également proposée dans [46]. La performance d'une telle intégration n'a pas été évaluée dans ces travaux. Dans [47] et [48] les auteurs proposent un schéma d'un handover IP rapide entre le réseau sans fil terrestre WLAN et le système satellite GEO (*Geostationary Earth Orbit*) pour une application de trains à grande vitesse. D'après les auteurs, un problème majeur dans les réseaux satellites est que les antennes des trains ne reçoivent pas bien les signaux satellites. Le problème est que la durée de coupure entre la couche liaison et la couche réseau est considérable dans les réseaux sans fil terrestres. Les auteurs proposent alors d'y faire face en améliorant le handover IP dans les réseaux sans fil terrestres. Le schéma, que ces chercheurs ont déjà proposé dans [47], a bien réduit la latence de handover mais il y avait une dégradation remarquable du débit TCP due à l'augmentation du RTT (*Round Trip Time*) à cause de la mobilité de routeur avec un délai de propagation. Pour cela, les auteurs développent les performances dans [48] en proposant un algorithme de *proxy* (*Performance Enhancing Proxy (PEP)*). Cet algorithme empêche la dégradation de performance (taux d'erreur, latence, bande passante) des liens satellites TCP. Par ailleurs, dans [49], les auteurs proposent un modèle de référence qui intègre les couches basses du système satellite dans IEEE 802.21 MIH. Le modèle permet aux couches hautes du système satellite d'envoyer des requêtes et de recevoir des informations des couches basses via la fonction MIH (MIHF). Par conséquent, la fonction MIH peut fournir les informations du niveau liaison des différents réseaux terrestres et les technologies d'accès satellites aux niveaux plus élevés facilitant l'optimisation de la procédure de

handover. Le modèle de l'interface satellite utilisée est fondé sur l'architecture IP du réseau satellite définie par l'ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*). Comme l'architecture du groupe BSM ESTI (*Broadband Satellite Multimedia Working Group*) ne propose pas de handovers verticaux dans un environnement hétérogène, les auteurs ont aussi proposé des nouvelles primitives qui peuvent être utilisées pour échanger des informations par le point d'accès satellite SI-SAP (*Satellite-Independent Service Access Point* (Figure 24 et Figure 25)) (entre la couche MIHF et les couches basses de l'interface satellite). Cependant, l'évaluation de performance d'une telle proposition n'est pas encore faite.

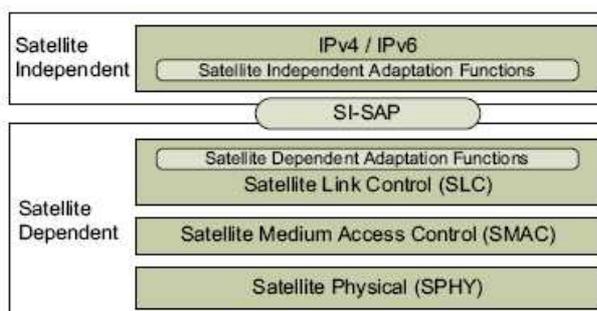


Figure 24 : Modèle de référence SI-SAP proposé [49]

En tout cas, nous n'avons pas vu de schéma d'un handover WiMAX IEEE 802.21/système satellite DVB-RCS fondé sur la réservation de ressource comme solution d'intégration entre ces deux systèmes d'une part et afin d'améliorer les performances (handover sans couture, QoS, etc.) d'autre part. Ces deux systèmes sont en réalité largement hétérogènes. Cela a conduit les chercheurs à commencer par l'intégration des réseaux terrestres car une telle intégration est plus facile à mettre en œuvre. C'est à ce problème que nous nous attaquerons dans les chapitres suivants.

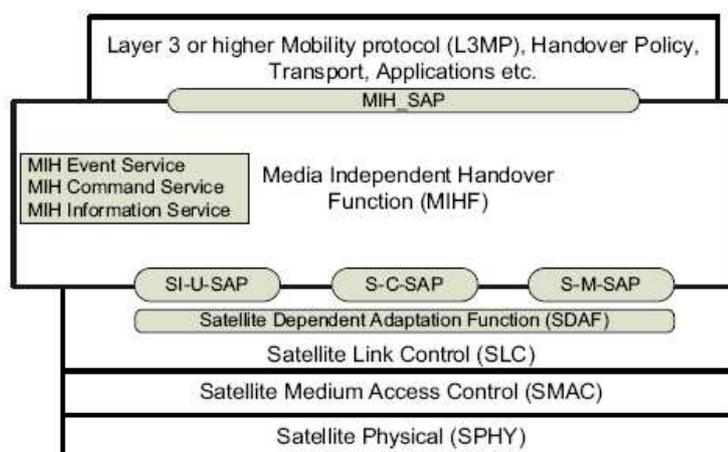


Figure 25 : Modèle de référence MIH pour le système satellite [49]

6.8. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les architectures du réseau WiMAX et du système satellite DVB-RCS puis une synthèse des travaux de recherche sur les handovers. Plusieurs solutions de handover ont été présentées dans la littérature au niveau des différentes couches réseaux. Nous avons d'autre part listé les différentes solutions pour l'interconnexion des réseaux sans fil. Les deux premières solutions (GAN et FMIP6) sont spécifiées pour l'interconnexion entre les réseaux sans fil terrestres (3G et WLAN) à des niveaux différents. La solution FMIP6 permet d'ailleurs un handover IP avec mobilité. La troisième solution est le standard IEEE 802.21 qui est plus large et qui prend en compte la majorité des réseaux sans fil (3G, WLAN, WiMAX, etc.). Elle englobe en particulier un des plus intéressants réseaux sans fil terrestres : WiMAX IEEE 802.16. Ce réseau possède une large couverture, permet la mobilité et l'accès IP et une bande passante capable de combler les besoins des utilisateurs. Nous pensons qu'une intégration entre un réseau WiMAX et un système satellite DVB-RCS va être une solution intéressante pour la nouvelle génération (4G). Nous allons présenter dans les chapitres suivants notre travail dans ce cadre.

CHAPITRE II – CONVERGENCE DES RESEAUX SANS FIL TERRESTRES ET LE SYSTEME SATELLITE

1. Introduction

Le prolongement de la couverture des réseaux d'accès terrestres couvre un des objectifs de la 4G [50]. Une telle évolution peut être menée de diverses manières, mais la tendance est plus à l'utilisation du réseau d'accès adapté au contexte (géographique, mobilité...) de l'utilisateur qu'à la définition d'une norme répondant à un seul besoin. Les systèmes satellitaires DVB-RCS fournissent quant à eux une liaison montante partagée entre plusieurs terminaux utilisateurs. Ces systèmes sont conçus spécifiquement pour un environnement satellite. Dans un tel contexte, l'estimation de la couverture des réseaux d'accès sans fil par un système satellite est une solution optimale. Les techniques de handover (par exemple résultant des travaux du groupe IEEE) peuvent permettre d'obtenir la convergence exigée.

Le groupe IEEE 802.21 a proposé une solution plus générique pour cette intégration couvrant la 4ème génération des réseaux sans fil : le modèle de référence MIH. Plusieurs mécanismes ont été proposés pour les réseaux terrestres. Dans ce chapitre, nous avons l'intention d'étendre ces solutions à un système satellite fondé sur la pile protocolaire DVB-S/RCS. Nous montrons qu'une évolution du modèle de référence MIH, tenant compte du système satellite DVB-RCS, pourrait être mise en place pour intégrer un réseau terrestre sans fil (fondé sur le réseau WiMAX par exemple) et un système satellite.

Nous définissons plusieurs scénarios fondés sur des architectures MIH. Nous montrons que les concepts MIH peuvent être mis en application. Dans ce chapitre, nous définissons une architecture qui tient compte des fonctions MIH. Par conséquent, Nous montrons plusieurs mécanismes afin d'adapter DVB-RCS à MIH. Nous rappelons que le principe de l'IEEE 802.21 est de proposer aux autres groupes de standardisation de mettre en place des amendement afin qu'ils deviennent compatibles avec MIH. Nous proposons une procédure de handover vertical entre un réseau terrestre (WiMAX) et le système satellite GEO DVB-RCS tenant compte des services proposés par le groupe IEEE 802.21. Nous supposons que les utilisateurs ont la capacité de communiquer avec ces deux réseaux, et que la passerelle vers le satellite utilise la norme DVB-RCS et propose les services MIH.

2. Handover dans un contexte satellite

Nous allons tout d'abord tâcher de définir un certain nombre de scénarios afin de mettre en œuvre un handover vertical.

Le mécanisme général de handover impose une fermeture de l'ensemble des connexions d'accès et donc des flux réseaux usagers lors du changement de station de base. Cette contrainte semble incompatible avec l'un des objectifs principaux de la 4G, à savoir la mobilité sans couture au travers de réseaux hétérogènes. Cependant, les deux types de handover optionnels (MDHO et FBSS) définis dans le standard imposent un certains nombre de contraintes, notamment au niveau de la synchronisation, dont nous détaillerons les impacts dans les sections suivantes.

2.1. Handover terrestre vers satellite

Ce handover recouvre en premier lieu l'extension de couverture (Figure 26), c'est-à-dire le passage d'une station de base WiMAX vers une gateway en raison d'un niveau d'atténuation important de la seule station de base terrestre disponible. Le handover est alors effectué afin de transférer le terminal mobile vers le système satellite. En outre, ce type de handover peut également être envisagé pour résoudre des contraintes de routage ou de charge sur le réseau terrestre.

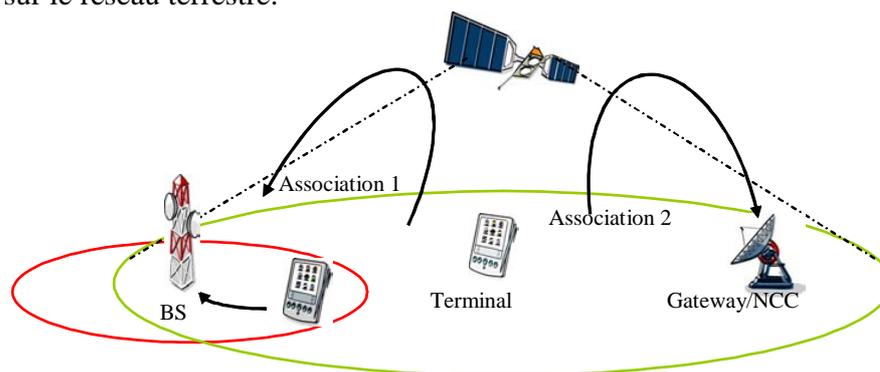


Figure 26 : Handover terrestre vers satellite [50]

2.2. Handover satellite vers terrestre

Ce handover (Figure 27) peut être déclenché par un terminal mobile, pris en charge par le système satellite, dès la réception de l'annonce d'une station de base terrestre. Cela s'apparente à du *smart routing*, où le type d'accès est choisi en fonction de critères de performances. Ce scénario est préférable pour les utilisateurs temps réel dans la mesure où les utilisateurs d'applications temps réel profitent de la baisse du délai une fois qu'ils sont pris par la station de base du réseau terrestre.

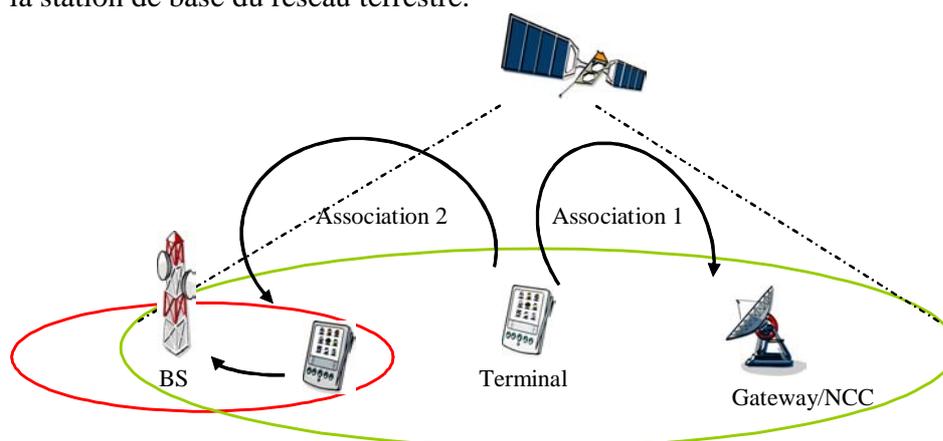


Figure 27 : Handover satellite vers terrestre [50]

2.3. Handover satellite vers satellite

Ce type de handover (Figure 28) est particulier et n'est applicable que dans un cas multispot. Ce type de scénario n'implique pas de handover à proprement parler, puisque la gateway à laquelle est rattaché le nœud mobile reste la même. Seul le spot satellite est changé car le terminal s'est déplacé vers un autre spot ou que le satellite est remplacé par un autre de même type.

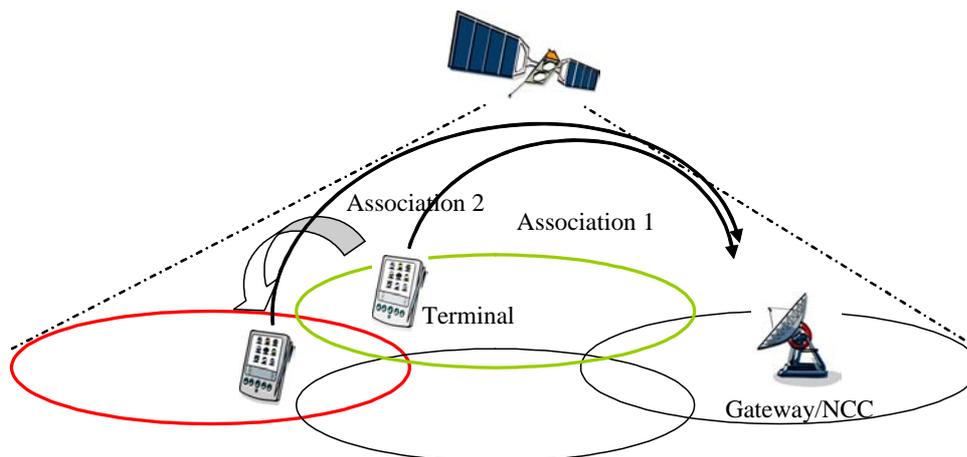


Figure 28 : Handover satellite vers satellite [50]

3. Cas particuliers

3.1. Cas d'un handover incluant une fonction de *backhauling* WiMAX sur le segment satellite

Le cas du handover (Figure 29) entre d'une part dans une zone couverte par une station de base WiMAX raccordée au *backbone* et d'autre part dans une zone couverte par une station de base WiMAX reliée au satellite prenant en charge le *backhauling* vers le *backbone* est fonctionnellement équivalent au cas du handover terrestre classique.

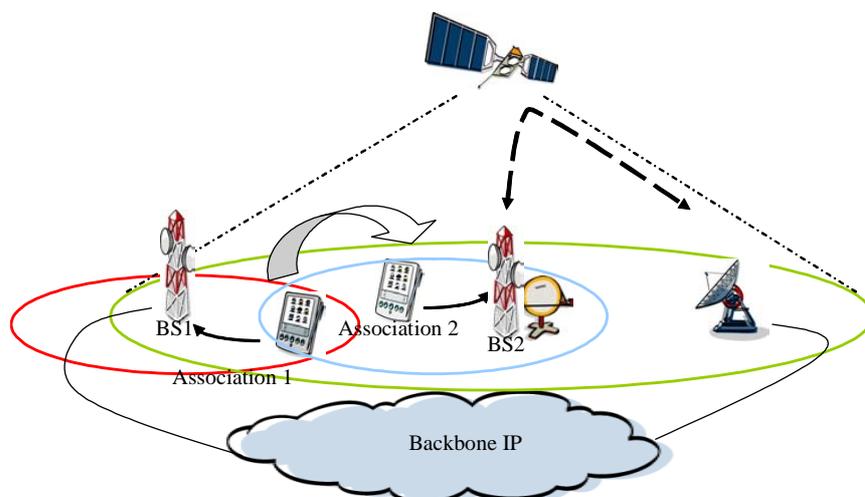


Figure 29 : Cas du *backhauling* WiMAX [50]

Néanmoins, la communication entre les stations de base étant retardée d'au moins un bond satellite, l'ensemble des contraintes sur les durées de handover citées précédemment sont valides.

Le principal intérêt de cette approche est de diminuer les contraintes sur les parties réception et surtout émission du nœud mobile. Cette approche permet en outre d'uniformiser la gestion du réseau et d'améliorer les possibilités de déploiement des stations de base dans des zones difficilement accessibles ou tout du moins difficilement interconnectables avec un *backbone* sol. L'inconvénient de cette technique est de nécessiter un maillage important afin d'offrir une couverture globale. Cela a aussi comme corollaire de placer le satellite dans une position défensive où il risque d'être supplanté par une infrastructure 100% sol.

3.2. Cas d'un handover incluant un répéteur sur le segment satellite

Le cas du handover (Figure 30) entre d'une part une zone couverte par une station de base WiMAX et d'autre part une zone couverte par un répéteur permettant d'accéder à une station de base via un segment satellite est fonctionnellement équivalent au cas du handover avec un accès direct pour la partie satellite, les délais entre le terminal et le répéteur étant négligeables par rapport à un bond satellite.

Le principal intérêt de cette approche est de diminuer les contraintes sur les parties réception et surtout émission du nœud mobile. L'inconvénient de cette technique est de limiter la zone couverte et par conséquent d'imposer un maillage important d'équipements sol.

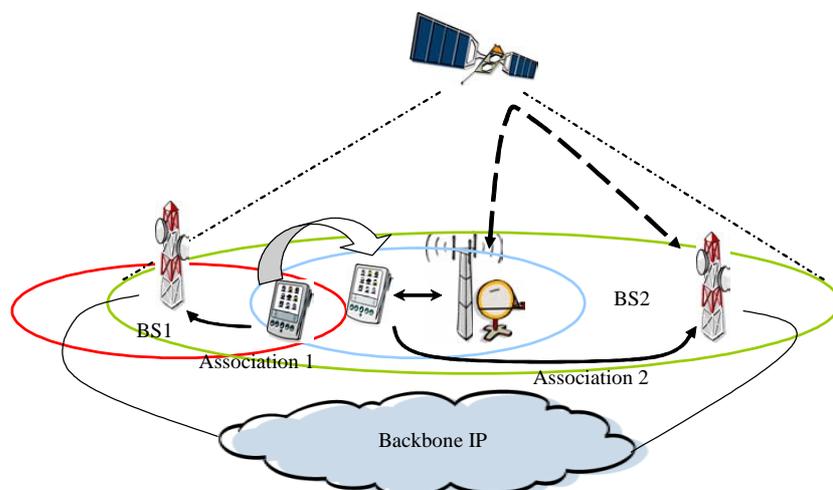


Figure 30 : Cas du répéteur [50]

4. Architecture du réseau DVB-RCS

Avant d'envisager la mise en œuvre de l'intégration de la technologie DVB-RCS au sein de MIH, il convient de préciser l'architecture du réseau satellitaire sur laquelle nous nous appuyerons.

Cette architecture, représentée dans la Figure 31, est déduite du modèle de référence défini dans EN 301 790 [27], que nous simplifions quelque peu. L'objet de cette simplification est avant tout de faciliter la suite de la présentation, mais aussi pour la rendre plus représentative des architectures rencontrées aujourd'hui. Nous retenons pour notre architecture les hypothèses suivantes :

- Le réseau satellitaire DVB-RCS n'est composé que d'un satellite géostationnaire ;
- Le satellite est de nature transparente vis-à-vis du trafic véhiculé, et offre une couverture multi-faisceaux. Cette technique, fréquemment déployée aujourd'hui, permet d'améliorer la qualité des liaisons et la capacité globale du système ;
- Le système satellite ne permet pas les connexions maillées (mesh) et donc, des communications directes entre les terminaux ;
- Une seule passerelle prend en charge l'ensemble des terminaux satellite du système ;
- La passerelle émet sur la liaison descendante DVB-S/S2 et reçoit sur la liaison montante DVB-RCS ;
- La passerelle du système intègre toutes les fonctions de contrôle et de gestion du réseau satellite. Elle est notamment responsable de l'allocation des ressources (attribution des schémas de modulation/codage dynamiques aux différentes porteuses). Elle est aussi chargée de générer les tables de signalisation et de les multiplexer avec le reste du trafic émis.
- Le fournisseur de service interactif ISP (*Interactive Service Provider*) et le fournisseur de service d'émission BSP (*Broadcast Service Provider*) définis par DVB-RCS sont assimilés à une même entité que nous appelons fournisseur de service d'accès ASP (*Access Service Provider*).

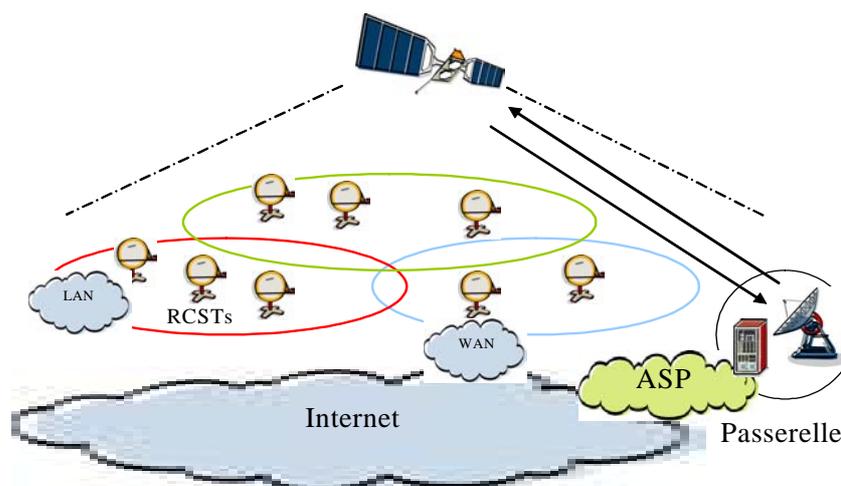


Figure 31 : Architecture proposée de réseau DVB-RCS [50]

5. Modèle de référence du réseau et les scénarios proposés

Le groupe IEEE 802.21 a proposé un scénario du modèle de référence comme le montre la Figure 32. Cependant, nous proposons également plusieurs scénarios pour gérer l'intégration entre les réseaux terrestres et un système satellite [45].

L'interopérabilité et l'intégration entre les réseaux terrestres et satellites impliquent une grande diversité de situations qu'il est impossible de traiter exhaustivement. Nous avons choisi de limiter l'étude à l'intégration d'un réseau d'une seule passerelle DVB-RCS avec un réseau WiMAX puisque la technologie WiMAX semble proposer de bonnes caractéristiques en termes de performance à l'utilisateur (débits d'accès, zones de couverture étendues, etc.), et de plus cette technologie semble se développer rapidement. À ce stade, nous pouvons proposer deux scénarios (Figure 32). Ces scénarios sont fondés sur le modèle de référence proposé par IEEE 802.21 :

Scénario 1 : le terminal mobile (MT : *Mobile Terminal*) a deux interfaces : une interface DVB-S2/RCS et une interface WiMAX. Quand il est situé près d'une station de base WiMAX, il choisit ce réseau préférentiellement. Ce scénario pourrait par exemple intégrer les terminaux nomades simples ou bien mobiles d'utilisation collective, plutôt que de petits équipements portables, puisque cela suppose que le terminal soit équipé d'une antenne encombrante.

Scénario 2 : le terminal mobile a une seule interface WiMAX, mais peut avoir plusieurs points d'accès WiMAX selon sa position. Le handover sera donc de type WiMAX 1/WiMAX 2. La connexion DVB-S2/RCS interviendra ici dans le réseau de l'opérateur par une des deux stations de base WiMAX (cas appelé *backhauling*).

concentrons d'abord sur le modèle de référence MIH avant de détailler les adoptions proposées.

6.1. Composants fonctionnels IEEE 802.21

Dans la Figure 33, nous reprenons la pile du modèle de référence MIH proposé par le groupe IEEE 802.21, les principaux services et la localisation de MIH. Nous voyons les commandes (MICS), les services d'information (MIIS) et les événements (MIES) qui peuvent se produire entre les différentes couches. Par ailleurs, nous nous intéressons aussi au réseau satellitaire DVB-RCS. Nous allons tenter d'intégrer ce réseau à côté des réseaux sans fil mis en place dans le modèle général du groupe IEEE 802.21.

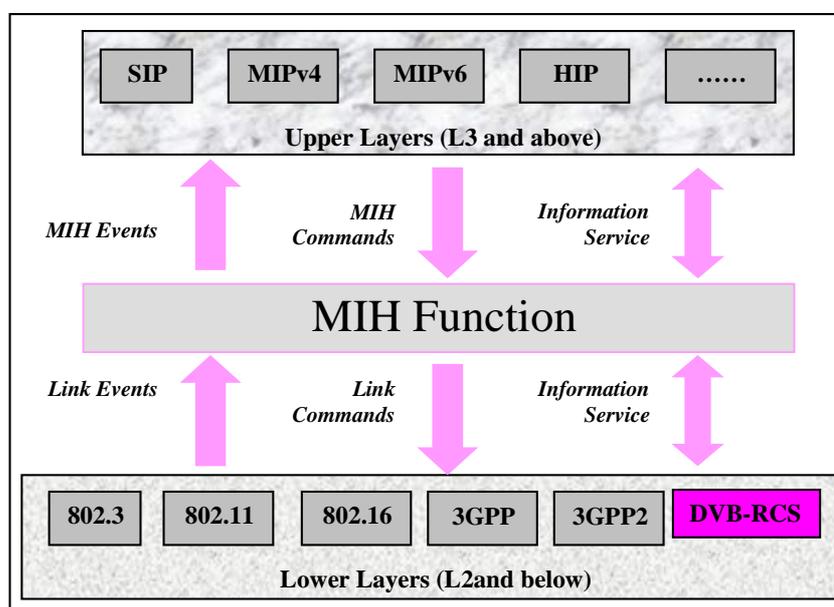


Figure 33 : Services et localisation de MIH [29]

6.2. Modèle de référence MIH pour des réseaux d'accès

La Figure 34 présente le modèle de référence de chaque réseau considéré dans le draft IEEE 802.21. Nous essayons également d'intégrer dans ce modèle un utilisateur qui prend en charge le système de satellite DVB-RCS. Nous expliquons les détails de MIH pour un utilisateur DVB-RCS dans le paragraphe suivant.

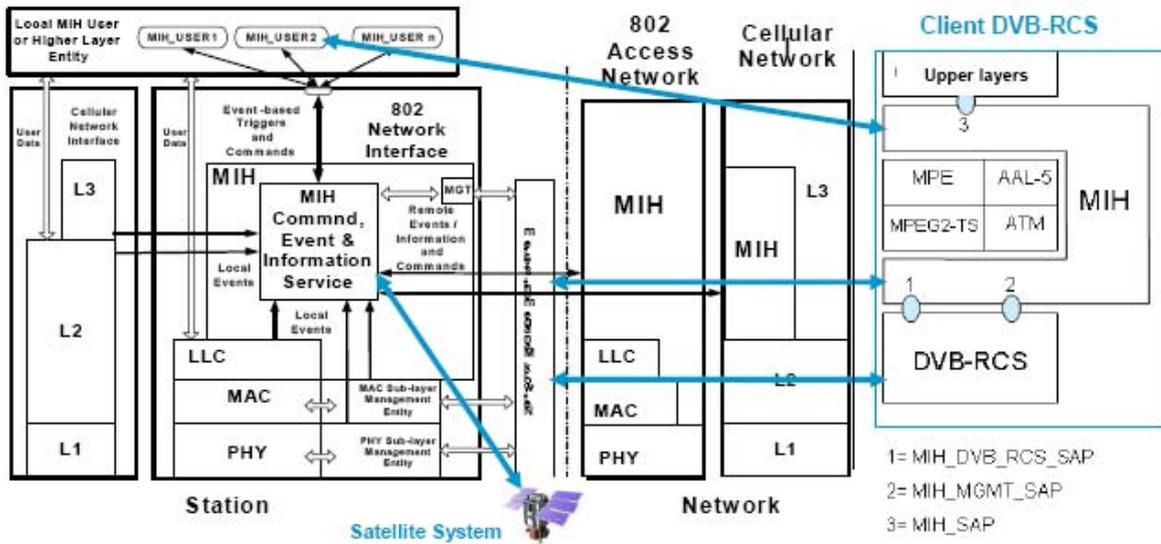


Figure 34 : Modèle de référence général et scénario proposé

6.2.1. Modèle MIH pour l'utilisateur DVB-RCS

En considérant les recommandations IEEE 802.21 du draft faites sur les modèles de référence pour IEEE 802.11, 802.16 et pour les normes 3GPP, nous pouvons proposer un modèle de référence MIH dans un contexte DVB-RCS. Le modèle suivant concerne un terminal mobile. En effet, l'implantation de MIH dans le contexte satellite n'a pas besoin d'être faite sur les satellites eux-mêmes. Cela signifie que l'initiative du handover sera à la charge du terminal (Figure 35). MIH_DVB_RCS_SAP, MIH_MGMT_SAP et MIH_SAP sont trois points d'accès au service définis afin de véhiculer les primitives de service du MIH IEEE 802.21 (service d'événement, service de commande et services d'information).

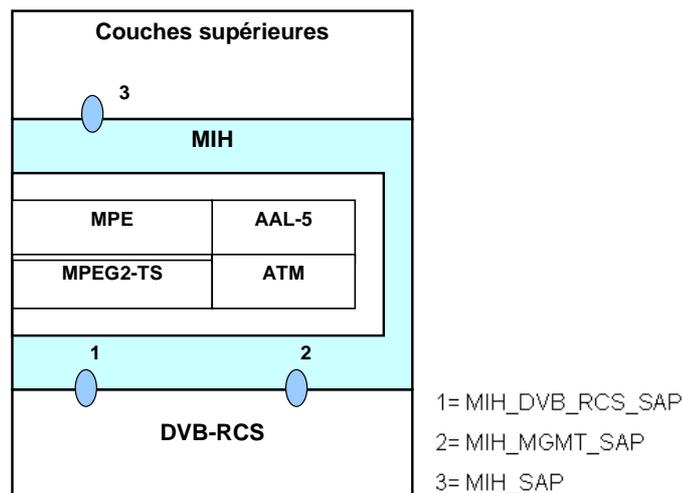


Figure 35 : Modèle de référence de l'utilisateur DVB-RCS

6.2.2. Point d'accès au service MIH_DVB_RCS_SAP

Ce point d'accès au service définit l'interface entre la fonction MIH et la couche DVB-RCS. Cette interface est principalement utilisée pour les transferts de données (MSDUs : *MAC Data Service Unit*) entre entités distantes.

6.2.3. Point d'accès au service MIH_MGMT_SAP

Ce point d'accès au service est censé définir l'interface entre la fonction MIH et le plan de gestion des divers réseaux. Dans notre cas, le plan de gestion n'existe pas en tant que tel dans l'architecture protocolaire DVB-RCS. Il faudrait ainsi définir les primitives de gestion qui seront utilisées pour l'aide à la sélection du réseau, à l'initiation et l'exécution du handover. Le MIH_MGMT_SAP définit donc des primitives pour les services MIES, MICS et MIIS.

6.2.4. Point d'accès au service MIH_SAP

Ce point d'accès au service définit l'interface entre la fonction MIH et le protocole de gestion de mobilité de niveau trois (L3MP) ou une fonction de handover qui est située dans des couches supérieures ou encore une couche supérieure de transport. Cette interface est une interface locale et doit être présente dans tous les modèles de référence.

6.2.5. Transport des messages MIH

Pour le niveau transport des messages impliquant deux entités distantes MIHF (le contrôle de lien distant, le contrôle à distance de MIH, l'événement de lien distant et l'événement à distance MIH), nous sommes alors devant l'alternative suivante. La première solution considérerait MIH comme un utilisateur du protocole transporté par IP, tandis que dans la seconde, le MIH serait assimilé à un protocole de gestion de réseau, et directement ou indirectement transporté ainsi par le niveau 2 (MPEG-2 TS ou ATM).

Cette question du transport des messages MIH a été déjà soulevée dans le groupe IEEE 802.21, d'une manière légèrement plus spécifique pour les réseaux IEEE 802.x. Les arguments suggérés pour le transport des messages par la couche IP (directement ou par UDP) sont l'indépendance de la solution vis à vis des technologies du niveau sous-jacent, le service et la flexibilité de l'établissement, et la plus grande simplicité de l'implantation si MIHF est localisé dans l'équipement du coeur du réseau et non dans la station de base. Au contraire, le transport par la couche MAC pourrait être une solution plus rapide à installer (dans réseaux IEEE 802.x, grâce à l'identifiant *Ethertype*) et pourrait être rendu facilement fiable. On peut ajouter que cette dernière solution est également plus efficace du point de vue de l'encapsulation.

Afin de tenir compte d'un composant DVB-RCS par MIH, la solution du transport par IP semble clairement la plus adaptée. D'ailleurs l'introduction d'une nouvelle indication du niveau 2 dans des réseaux DVB-RCS exige l'utilisation d'un nouveau format ou d'une nouvelle table, qui implique une évolution particulièrement peu recommandée de la norme. En outre, le choix du transport par IP converge avec les préférences du groupe IEEE 802.21 quant à l'intégration d'autres réseaux que IEEE 802.x (par exemple réseaux 3GPP) pour lesquels des adaptations plutôt lourdes sont nécessaires.

Quelle que soit la solution adoptée (les deux sont possibles dans l'architecture MIH) le trafic généré par MIH entrera en concurrence avec le reste du trafic, utilisateur ou non, sur le segment satellite. Il faudra faire attention que le système fournisse un niveau de QoS adapté. Une étape préliminaire de l'analyse pourrait être effectuée, en tenant compte des contraintes du système : délai, limitation possible des ressources en cas d'élévation de la charge du réseau satellite, et dégradations de la qualité du signal quand le terminal approche les limites de la couverture des spots.

6.2.6. Modèle de référence MIH pour les stations mobiles avec les différentes piles protocolaires

La Figure 36 présente le modèle de référence pour les stations mobiles avec les différentes piles protocolaires. Cependant, nous sommes également intéressés à l'intégration avec les systèmes satellites. Dans ce but, nous proposons également un modèle d'un utilisateur DVB-RCS avec trois points d'accès au service (Figure 35) afin de véhiculer les primitives des services IEEE 802.21 (événements, commande et information).

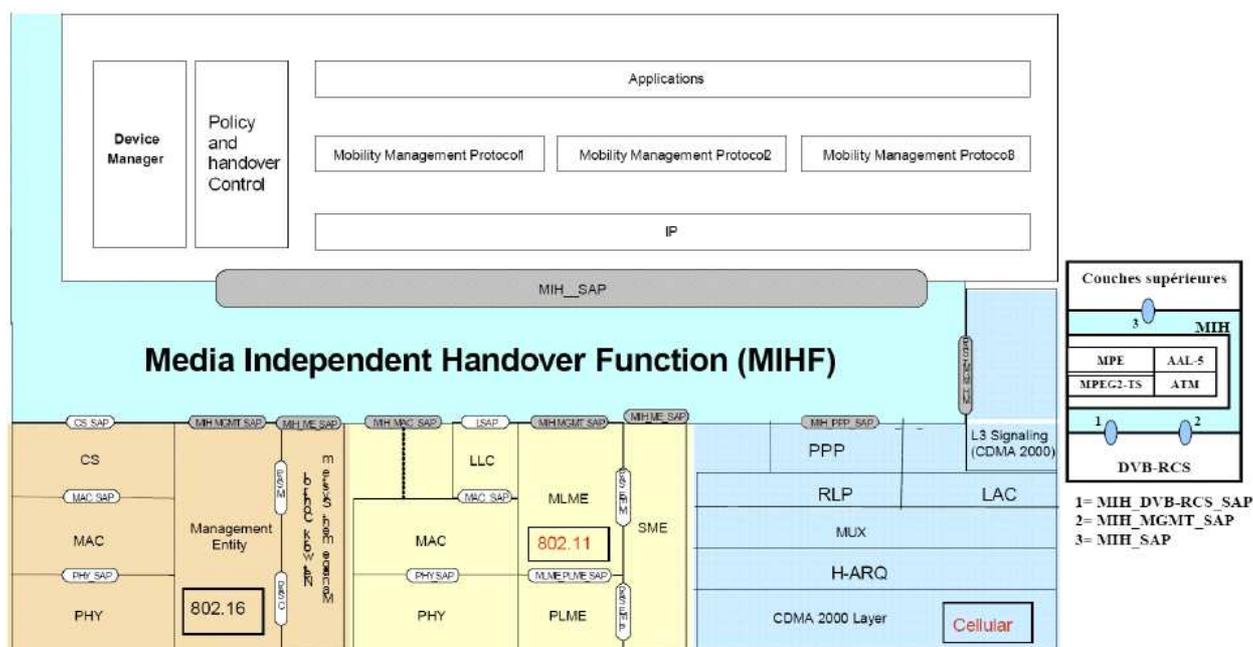


Figure 36 : Modèle de référence MIH pour les stations mobiles avec les piles protocolaires [29] [51]

7. Procédure de handover WiMAX/DVB-RCS

Le scénario montré dans la Figure 37 et la Figure 38 couvre tous les services proposés par le groupe IEEE 802.21. Le service MIIS est utilisé pour découvrir la présence de nouveaux réseaux. Nous expliquons les étapes indiquées dans ces figures tout en essayant d'effectuer un handover entre un réseau terrestre (WiMAX) et un système de satellite DVB-RCS. Cela signifie que nous supposons que la passerelle DVB-RCS prend en charge les services MIH. Les étapes suivantes sont développées en se référant à [51] [52] :

1. Considérons un terminal mobile situé dans un réseau terrestre, tel que WiMAX, et non relié au réseau DVB-RCS.

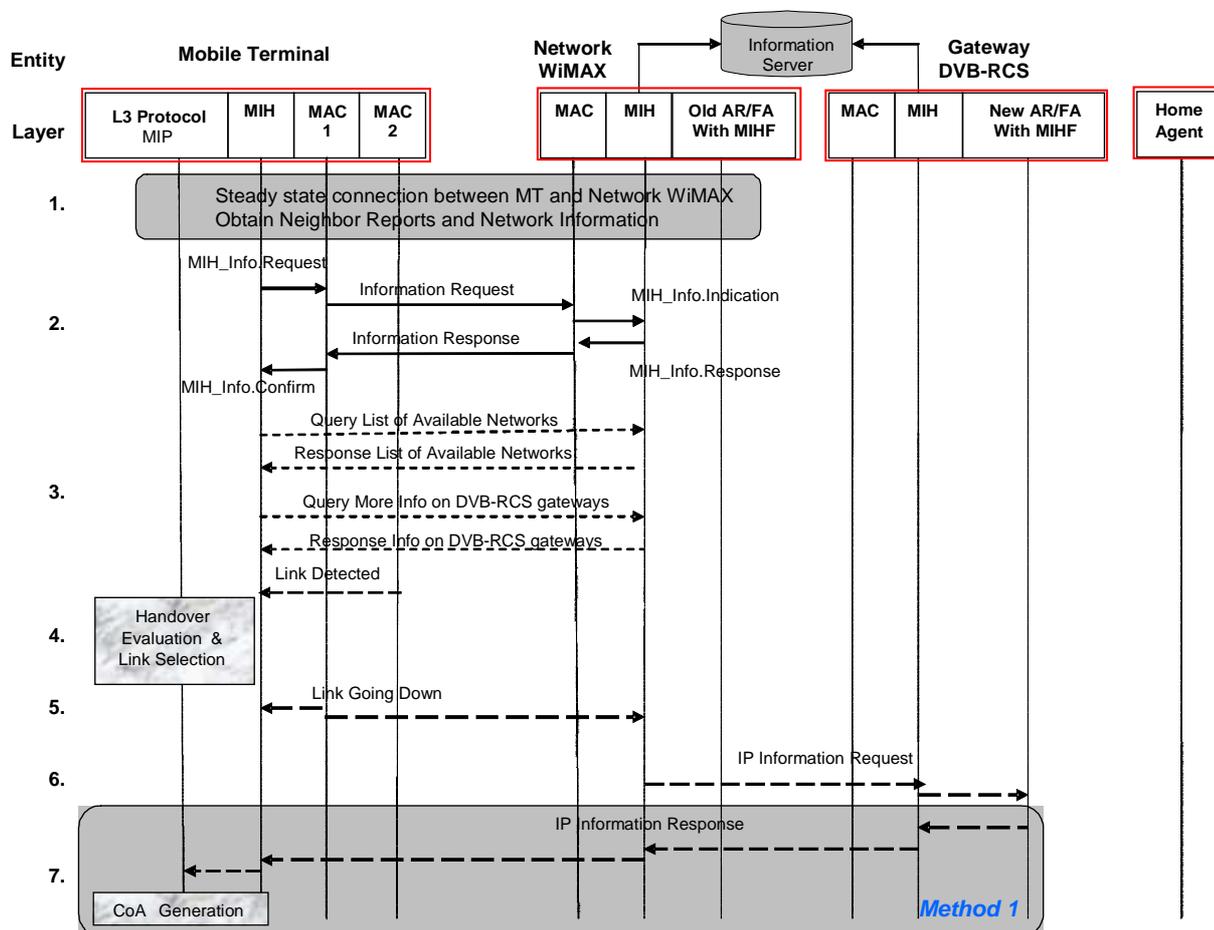


Figure 37-a : Procédure de handover WiMAX/DVB-RCS (étapes 1 à 7)

2. Cette étape montre le flux de base afin de rechercher les informations sur les réseaux voisins utilisant le service d'information MIIS.
3. Le terminal peut d'abord rechercher des informations sur le système satellite (le ou les satellites (passerelles) disponibles) (par exemple leur nombre), et peut alors rechercher des détails sur les réseaux choisis (ou sur seulement un satellite (passerelle)). De tels détails peuvent inclure les informations telles que des adresses MAC des différentes passerelles, des paramètres de la couche liaison pour établir des connexions éventuelles, des services disponibles, etc. Selon la mobilité de terminal et la couverture de réseau, le terminal peut continuer à découvrir des informations sur de nouveaux réseaux.
4. Une fois que les informations sur un nouveau réseau (système satellite DVB-RCS) sont disponibles, le terminal peut recevoir le flux de la liaison montante et faire l'évaluation de handover et la sélection de lien en utilisant des politiques spécifiques

à l'utilisateur et les propriétés de différents réseaux satellites disponibles. Nous supposons ici que la qualité du signal reçu (de la liaison montante) est comparable à celle reçue par la passerelle sur la liaison descendante de sorte que l'évaluation soit valide. Si cette hypothèse n'est pas vérifiée, l'évaluation du handover ne peut pas être mise en œuvre jusqu'à ce que l'utilisateur soit connecté au système DVB-RCS, afin de permettre à la passerelle d'envoyer au terminal une mesure sur le canal de retour.

5. Si la qualité du signal reçu baisse, la couche liaison (du terminal) peut anticiper le handover et déclencher le service d'événement *Link_Going_Down* sur les deux entités MIHs (le MIH du terminal mobile (local) et celui du réseau WiMAX (à distance)). Dans le cas de l'événement (*Remote MIH Link Going Down event*), l'adresse MAC de la passerelle peut être incluse soit lors de l'évaluation du handover soit au cours de la procédure de sélection de lien.
6. Le MIH du réseau WiMAX tient compte de l'adresse IP de la passerelle que le terminal pourrait utiliser.
7. La réponse à la demande, permettant au terminal d'obtenir sa nouvelle adresse CoA, peut être exécutée de deux manières différentes. Dans le premier cas, le routeur d'accès (*Access Router : AR*) de la passerelle DVB-RCS répond directement au terminal (mécanisme similaire à l'auto-configuration IPv6). Dans le deuxième cas, le routeur d'accès de la passerelle DVB-RCS communique avec le routeur d'accès associé au réseau WiMAX, qui indique au terminal mobile son CoA.
8. Une fois que les paramètres de la couche liaison ont été identifiés, le terminal peut s'attacher à un nouveau lien en utilisant la procédure de logon du DVB-RCS. Une fois que toutes les étapes d'attachement de lien sont accomplies, et une fois que le lien est prêt pour envoyer les paquets de niveau trois, un événement de déclenchement (*Link-Up*) peut être envoyé à la fonction MIH sur le lien local et à distance.
9. Une fois que le lien a été convenablement installé, la fonction MIH peut réellement procéder au handover.
10. Le protocole de niveau supérieur (MIP) (nous supposons ici que le système satellite inclut un protocole MIPv4 ou MIPv6) peut maintenant se préparer à accomplir le handover au travers de l'enregistrement auprès du HA.
11. MIP envoie et reçoit la demande d'enregistrement (MIPv4)/ la mise à jour et la réponse d'enregistrement et la réponse d'enregistrement (MIPv4)/ l'acquiescement d'enregistrement (MIPv6) en utilisant le CoA qui est relié au lien ancien.
12. Le terminal peut maintenant arrêter l'utilisation de l'ancien lien (WiMAX), qui peut avoir comme conséquence la génération de l'événement « *Link-Down* » qui sera livré à la fonction MIH sur le terminal.

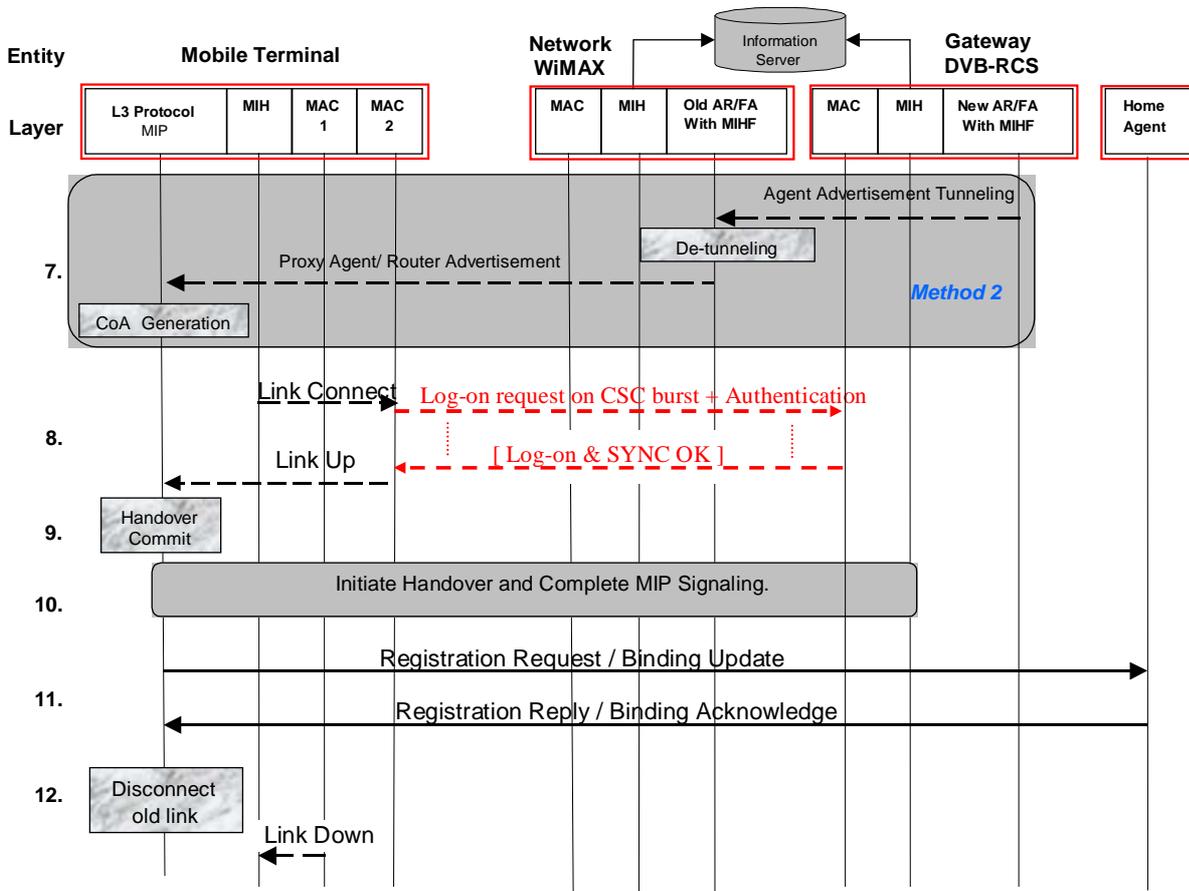


Figure 38-b : Procédure de handover WiMAX/DVB-RCS (étapes 7-12)

8. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons défini une architecture qui tient compte du modèle de référence MIH comme intégration entre un système satellite et des réseaux terrestres. Deux scénarios ont été considérés. Une procédure de handover entre un réseau terrestre (WiMAX) et le système satellite de DVB-RCS GEO est décrite. Les mécanismes du handover sont essentiels dans un scénario 4G, où les utilisateurs mobiles se déplacent d'un réseau d'accès à l'autre. L'utilisation d'un segment satellite comme extension de couverture est particulièrement intéressante dans un tel contexte 4G. Nous avons montré la possibilité fonctionnelle de l'intégration des réseaux satellites dans une infrastructure 4G.

Dans la suite de la thèse, nous allons nous intéresser à la prise en compte de la QoS lors des handovers. Tour à tour, nous nous intéressons en cas WiMAX seul pris à l'intégration d'un segment satellite dans ce réseau WiMAX.

**CHAPITRE III – PERFORMANCE DES RESEAUX WIMAX EN
UTILISANT HANDOVER HORIZONTAL AVEC UN MECANISME
DE RESERVATION**

Les futurs réseaux sans fil vont être caractérisés par des débits variables et élevés, la prise en compte de la QoS et une mobilité sans couture. Dans ce chapitre, nous considérons un modèle de mobilité pour un utilisateur de réseau WiMAX en introduisant un handover horizontal avec un mécanisme de réservation du canal. Dans ce chapitre, nous ne faisons pas la différence entre les utilisateurs, le concept du canal représente un débit fixe demandé par un utilisateur (correspondant par exemple à classe de service UGS (*Unsolicited Grant Service*) dans le réseau WiMAX)). Nous enrichissons ces modèles de QoS dans le chapitre 5 en considérant plusieurs classes de service. Nous prenons en compte plusieurs scénarios afin d'effectuer la réservation. Nous évaluons les performances du modèle proposé. Les résultats montrent, par le biais de simulation (QNAP2), que le mécanisme de réservation améliore le handover horizontal sans dégrader la performance du système.

1. Introduction

Le handover sans couture est l'une des caractéristiques importantes dans les réseaux de future génération. La définition d'une procédure de handover adaptée doit être abordée. En outre, nous pouvons espérer améliorer l'opération de handover (HO) par un mécanisme de réservation [53].

Dans ce chapitre, nous adoptons un mécanisme de réservation du canal (CR : *Channel Reservation*) dans le réseau WiMAX et l'utilisons pour améliorer le handover horizontal. En fait, la réservation peut être effectuée de plusieurs manières. Dans une approche coopérative, nous considérons un schéma de réservation de canal exécuté par des nœuds voisins NNs (*Neighbor Nodes*) tenant compte de la mobilité. Dans une approche individuelle, la réservation est effectuée par les stations de base WiMAX. Enfin, nous considérons une troisième approche qui unifie ces deux solutions. En conclusion, ces approches sont comparées afin de choisir la meilleure politique de réservation.

Ce chapitre est organisé comme suit : la section 2 décrit le système considéré, la section 3 présente les différentes approches envisageables, et la section 4 analyse la performance du système.

Les auteurs dans [3] se sont intéressés au handover sans couture. Ils présentent un nouveau concept, le *Takeover*, qui permet à un nœud voisin de traiter les demandes d'autres nœuds mobiles MNs (*Mobile Nodes*). Les auteurs ont développé un protocole et un fonctionnement de *Takeover* et les ont appliqués au handover vertical pour des réseaux hétérogènes de future génération. L'idée d'utiliser un nœud voisin, qui aide à préparer le handover, sera développée dans ce chapitre avec un mécanisme de réservation du canal.

2. Description du système

Considérons un réseau WiMAX avec plusieurs cellules appelées (macro-cellules). Dans certains cas, le mode maillé (mesh) peut être supposé. Chaque station de base couvre une cellule. Les nœuds mobiles peuvent se déplacer dans toutes les directions. La cellule est divisée en trois zones selon la puissance du signal reçu par le nœud mobile (Figure 39) comme suit : une zone centrale CZ (*Central Zone*) où la puissance du signal est au-dessus d'un seuil (T1), dans cette zone il n'y a pas de handover ; une zone frontière BZ (*Boundary*

Zone) (la zone qui est près de la zone de recouvrement) où la puissance du signal est au-dessus d'un seuil (T_2) et inférieure à T_1 , dans cette zone les nœuds mobiles peuvent envisager la réservation ; une zone de recouvrement *OZ* (*Overlapping Zone*) est une zone où la puissance du signal est inférieure à T_2 , dans cette zone les nœuds (nœuds voisins) peuvent effectuer le handover horizontal. Notons que pour modéliser ces trois zones, on peut utiliser la puissance du signal reçu ou un système de localisation. En outre, nous distinguons deux types d'utilisateurs selon leurs localisations (leur puissance de signal reçu). Quand un utilisateur est situé dans la zone de recouvrement, et également par conséquent couvert par la station de base cible, on l'appellera nœud voisin. Pour exécuter la réservation, nous considérons effectivement trois approches.

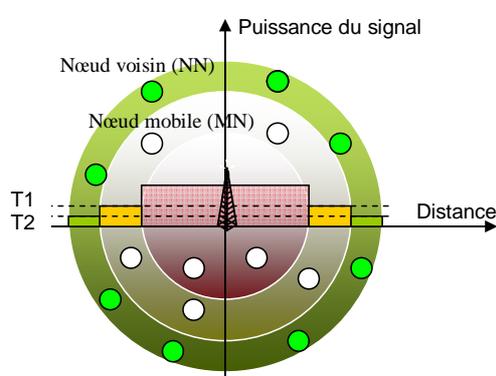


Figure 39 : Puissance du signal d'une cellule WiMAX

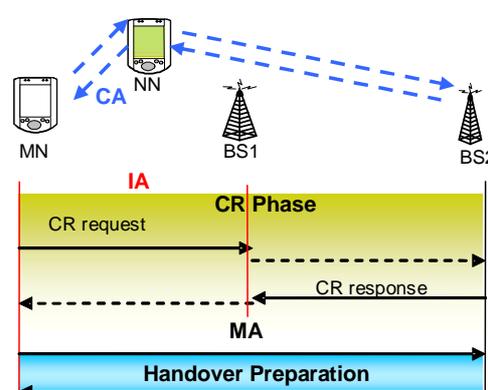


Figure 40 : Messages échangés

2.1. Approches proposées

1. Approche Coopérative CA (*Cooperative Approach*)

C'est une approche en mode ad-hoc (Figure 40 et Figure 41). Quand la puissance du signal d'un nœud reste plus basse que T_1 et plus haute que T_2 (par exemple pendant une durée prédéfinie D , mais cette idée n'a pas été retenue par la suite), ce nœud est appelé : nœud mobile (MN). Le nœud mobile, qui est en train d'entrer dans la zone frontière et se déplace vers la station de base cible, commence le processus de scrutation pour trouver un nœud voisin NN. Cette scrutation peut être réalisée à l'aide des protocoles de découverte de voisins de 802.16e enrichis par ces informations. Le nœud mobile identifie qu'un autre nœud est un nœud voisin par sa puissance du signal prédéfinie et parce que ce nœud est couvert par les deux stations de base. Un nœud voisin sert à réserver un canal dans la station de base cible. Il n'est donc pas un relais par lequel le trafic passe. Dans ce travail, nous supposons qu'un utilisateur a besoin d'un seul canal pour communiquer. En revanche, ce travail peut être généralisé au cas où les utilisateurs ont besoin d'une quantité donnée de ressources pour communiquer. Le nœud voisin demande à la station de base cible un canal pour chaque nœud mobile qui en fera la demande. Si la station de base cible a des canaux disponibles, un message d'acceptation sera envoyé de la station de base cible au nœud voisin qui relayera vers le nœud mobile. La station de base cible commence alors la procédure de préparation de handover pour ce nœud mobile. Quand cela est réalisé, la

station de base cible envoie une confirmation au nœud mobile par le nœud voisin. Le nœud voisin libère ensuite le canal qui a été réservé dans l'ancienne station de base et utilise le canal réservé dans la station de base cible (maintenant station de base de service) une fois que ce dernier est entré dans la zone de recouvrement après avoir effectué le handover (ou dans le cas de la fin de son appel). Le canal précédent peut être réutilisé ainsi par un autre nœud mobile. Un cas simple permet à la station de base cible de contrôler ses canaux sans distinguer les canaux occupés pour les demandes de réservation et les canaux réservés par un nœud.

2. *Approche Individuelle IA (Individual Approach)*

Cette approche peut correspondre à un mode avec infrastructure (Figure 40). Quand la puissance du signal d'un nœud mobile reste inférieure à $T1$ et plus grande que $T2$ pendant une durée prédéfinie (D), le nœud mobile envoie une demande à la station de base de service. Si cette station de base n'est pas surchargée (la charge est inférieure à un seuil τ , dans notre travail, nous considérons $\tau = 0.95$), la station de base de service traite la réservation d'un canal dans la station de base cible. La station de base de service entre en contact ainsi avec la station de base cible pour réserver un canal. Considérons dans cette approche que les stations de base peuvent communiquer en mode maillé ou en mode avec infrastructure.

3. *Approche Mixte MA (Mixed Approach)*

Ce mode est fondé sur les deux approches précédentes (Figure 40). Le nœud mobile a deux choix pour réserver un canal. Si la station de base de service est surchargée (l'approche individuelle ne peut pas être établie), le nœud mobile commence à vérifier la possibilité de réserver à l'aide d'un nœud voisin (approche coopérative). En fait, nous avons trouvé après expérimentation par simulation que l'ordre (l'approche coopérative avant ou après l'approche individuelle) n'a aucun impact sur les résultats de performance. La motivation de l'approche coopérative et de l'approche mixte est lorsqu'un obstacle empêcherait le nœud mobile de rejoindre la station de base cible (entraînant une puissance du signal faible pendant une durée prédéfinie). Remarquons que ces approches de réservation pourraient aussi servir pour transférer les données.

2.2. Quand initialisons-nous le handover ?

Un nœud voisin, situé dans la zone de recouvrement et de déplace vers la station de base cible, peut initialiser un handover. Cela signifie que quand la puissance du signal d'un nœud passe sous le seuil prédéfini $T2$, la station de base cible doit également avoir un débit disponible pour traiter les demandes de handover.

3. Analyse du pire cas de réservation et réservation de ressources

3.1. Pire cas de réservation

Nous avons effectivement supposé que quand un nœud mobile a une puissance du

signal entre T1 et T2 pendant une durée D, il est situé dans la zone frontière. Dans ce cas-ci nous commençons le processus de réservation selon l'approche coopérative, individuelle ou mixte (bien évidemment lorsque la station de base cible a un débit disponible). En ce qui concerne le pire cas de réservation, nous distinguons deux cas : dans le premier cas, nous supposons que notre système est équipé d'un système de localisation GPS. Dans ce cas-ci, nous pouvons savoir à chaque instant la position d'un nœud et par conséquent annuler ou non la réservation quand le nœud change la localisation (quand le nœud quitte la zone frontière et se déplace vers sa station de base de service). Dans le deuxième cas, il n'y a aucun moyen de savoir la position de nœud. Nous définissons alors le pire cas de réservation comme suit : nous supposons que si le nœud mobile a une puissance du signal plus grande que T1 après le processus de réservation (sa puissance du signal a été comprise entre T1 et T2 pendant une durée D), c'est que ce nœud mobile a changé la direction (il ne se dirige plus vers la station de base cible). Par conséquent, la demande de réservation est figée pendant une période W à moins que le mobile entre de nouveau dans la zone frontière.

3.2. Réserveion des ressources

Nous allons étudier les performances du système dans le pire cas de réservation. Ces performances peuvent être optimisées en tenant compte des phénomènes suivants : le changement de direction, la fin d'appel avant l'exécution du handover (ces deux cas sont pris en compte dans notre travail), et la panne du nœud mobile avant l'exécution du handover.

L'objectif est d'abandonner le plus vite possible la réservation en cours. Plusieurs approches peuvent désormais être envisagées :

3.2.1. Approches réactives

Extermination :

Une approche de suivi est mise en œuvre. Le nœud mobile maintient toutes les réservations faites. Lorsqu'il détecte un changement (direction, fin d'appel, cas de panne, prévisible, mobilité, etc.), il demande d'annuler ses réservations actives. Un problème potentiel est le risque d'instabilité. En revanche, cela pourrait permettre de réduire le trafic de signalisation.

Réincarnation :

On met en œuvre une technique de numéro de séquence. En fait, un numéro d'époque correspondant à l'époque des tentatives. Afin d'éviter l'effet d'instabilité (*ping pong*), par exemple dû aux changements de direction intempestive, à la perte des réponses aux requêtes du client, le client change d'époque et renvoie une nouvelle requête ce qui permettra à la station de base de confirmer ou d'annuler les réservation du client.

3.2.2. Approches proactives : Expiration (soft state)

Une technique de délai de garde est utilisée. Le maintien de la réservation est toujours associé à une surveillance périodique du client. La station de base arme des délais de garde. Si le délai expire, la station de base demande au nœud mobile s'il est encore

opérationnel. Si le nœud mobile répond : on arme un nouveau délai de garde et on poursuit. Si le nœud mobile ne répond pas, on abandonne la réservation. Par conséquent, cette technique permet à la fois la surveillance du nœud mobile par la station de base et celle de la station de base par le nœud mobile. Toutefois, un problème peut se poser. Le nœud mobile peut ne plus être accessible directement par la station de base ou inversement la station de base peut ne plus être accessible à partir du nœud mobile (par exemple, en cas de disparition des nœuds voisins). Une solution d'optimisation, dans ce cas, est définie de façon à ce que le délai de garde puisse être estimé en fonction de la position du nœud mobile. En revanche, il faudrait prendre en considération la vitesse du nœud mobile (à moins que les nœuds soient immobiles).

3.2.3. Approches mixtes

Des approches combinant le mécanisme « soft state » (fondé sur le temporisateur) et à base d'annulation de réservation. Notons que ces trois approches (réactives, proactives et mixtes) doivent être évaluées en particulier au niveau de la signalisation induite.

4. Modèle de simulation

4.1. Définition de la topologie de mobilité du modèle proposé

Nous avons considéré le réseau représenté sur la Figure 41 et Figure 42. Un utilisateur peut se déplacer dans quatre directions (D1, D2, D3 et D4). Nous considérons un réseau WiMAX composé de deux macro-cellules carrées (MaCs) avec un recouvrement. Chaque station de base couvre une macro-cellule. Chaque macro-cellule se compose de trois zones principales : une zone centrale CZ où aucun handover ne peut rapidement se produire et dans cette zone la puissance du signal est élevée, une zone frontière en haut UBZ (*Up Boundary Zone*), une zone frontière en bas DBZ (*Down Boundary Zone*). Dans ces deux dernières zones la puissance du signal est moyenne et le nœud mobile est couvert par une seule station de base (station de base de service). Nous considérons enfin une zone de recouvrement OZ où la puissance du signal est faible et le nœud voisin est couvert par deux stations de base (de service et cible).

Afin d'obtenir des résultats au bout de délais raisonnables dans notre modèle, nous ne modélisons pas la couche physique et seule la localisation géographique est considérée. Par exemple, un utilisateur, situé dans la zone de recouvrement et se dirige vers sa station de base cible, subir un handover. Toutefois, un utilisateur situé dans les zones frontières et qui se dirige vers la station de base cible, peut demander une réservation.

Dans l'approche coopérative, nous supposons que l'utilisateur, qui veut initialiser une réservation, a la capacité de scruter les nœuds voisins dans une couverture de cinq cents mètres. Pour faciliter la simulation de la procédure de scrutation chaque zone frontière ainsi que la zone de recouvrement a été divisée en micro-cellules carrées. On pourrait considérer que chaque micro-cellule représente en réalité la surface de la portée d'un nœud. Dans le modèle de simulation, nous considérons que l'utilisateur met en œuvre la procédure de scrutation dans les trois micro-cellules frontières (Figure 41). Dans l'approche individuelle, nous considérons que la station de base de service ne doit pas être surchargée (charge inférieure à 95%) pour procéder à la réservation une fois le nœud mobile la nécessite.

Afin de tenir compte du handover, nous modélisons ainsi que les zones frontières. La zone frontière n'est couverte que par une seule station de base. Cependant, la zone de recouvrement modélise le recouvrement entre les macro-cellules. Chaque zone frontière ou zone de recouvrement est représentée par une bande composée de micro-cellules. En outre, nous supposons que la micro-cellule est carrée afin de simplifier le modèle de mobilité. En revanche, la zone centrale de chaque macro-cellule a été considérée comme une seule grande zone.

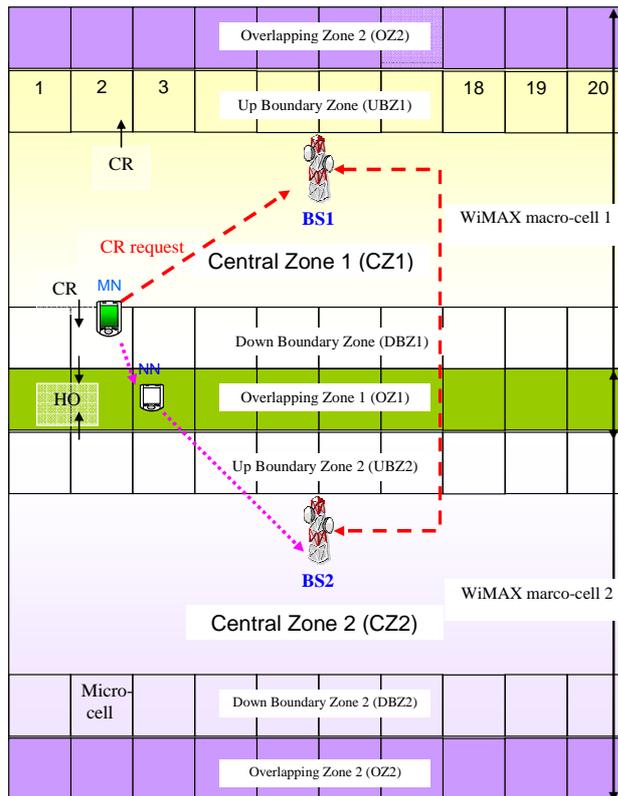


Figure 41 : Topologie adoptée

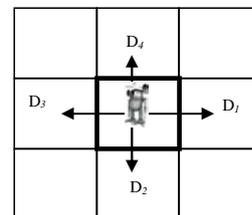


Figure 42 : Sens potentiels d'un mobile

La topologie d'un tel système est modélisée par un réseau de files d'attente. Le nombre de serveurs est limité par le nombre de canaux que possède la station de base (capacité de la station de base) qui sont partagés entre tous les utilisateurs de macro-cellule. Chaque cellule (macro-cellule) ou micro-cellule est représentée par une seule file d'attente à C serveurs (Figure 43). Les clients de réseau sont les connexions actives. Les réservations et le partage entre les micro-cellules restreignent la capacité instantanée de chaque file.

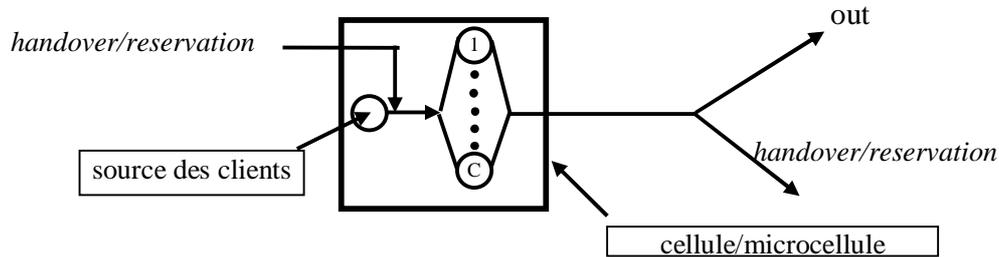


Figure 43 : File d'attente

Les utilisateurs peuvent se déplacer dans plusieurs sens. Par conséquent, il y aura plusieurs transitions entre les différentes zones de réseau (Figure 44).

Le temps de séjour dans la cellule est supposé suivi une loi exponentielle. Le temps de séjour dans la zone de recouvrement avant d'effectuer un handover (TPS1) est uniformément distribué entre 0 et le temps de traversée de la zone de recouvrement. Notons TPS2 est le temps de séjour résiduel dans cette zone une fois le handover effectué.

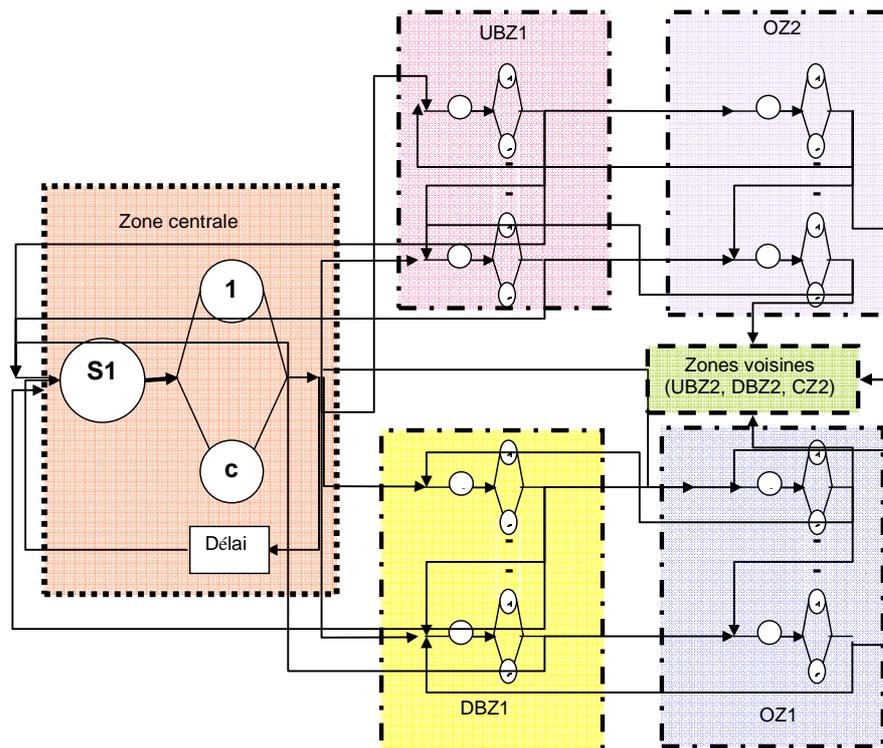


Figure 44 : Réseau de files d'attente représentant notre modèle

Afin de traiter la procédure de handover, nous avons décomposé le temps de séjour d'un utilisateur dans la zone de recouvrement en deux parties (Figure 45) : le temps de séjour avant d'initialiser un handover (TPS1) et le temps de séjour après avoir effectué un

handover (TPS2). De plus, nous avons supposé qu'un utilisateur, entrant dans la zone de recouvrement, a déjà choisi un sens et qu'il va le garder pendant son séjour dans cette zone.

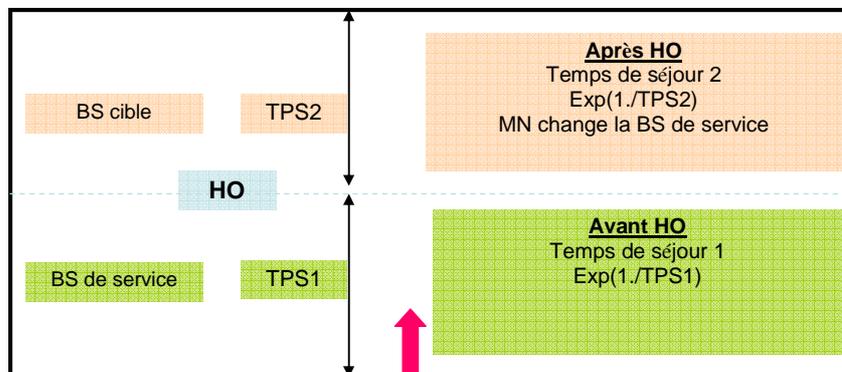


Figure 45 : Microcellule dans la zone de recouvrement

4.2. Processus de handover, réservation et pire cas de réservation

Dans le modèle de simulation adopté, nous connaissons la localisation et la direction du nœud mobile. Le processus de réservation est effectué dans les zones frontières. Nous distinguons deux cas selon la politique de réservation. Dans la politique de réservation, dès que l'utilisateur entre dans la zone frontière et s'il se dirige vers la station de base cible, il fait la réservation. Une fois qu'il entre dans la zone de recouvrement et s'il est toujours dirigé vers la station de base cible, la réservation est conservée sinon la réservation est annulée. Dans la politique du pire cas de réservation, le nœud mobile qui entre dans la zone de recouvrement, qui a déjà réservé à l'entrée dans la zone frontière, mais qui ne se dirige plus vers la station de base cible, conserve la réservation. L'intérêt est alors d'étudier l'effet de ce cas, qui est considéré comme le pire cas sur les performances de système. Le processus de handover est toujours initié dans la zone de recouvrement. Le problème avec le mécanisme de pire cas de réservation est que les réservations non utilisées restent bloquées. Le système doit finir par se paralyser, il n'est probablement pas ergodique en particulier dans l'approche individuelle. Dans l'approche coopérative, la conclusion est plus difficile à tirer a priori. En effet, pour qu'une nouvelle réservation ait lieu, il faut que l'on trouve un nœud voisin pour l'effectuer. La raréfaction du nombre de connexions disponibles se traduira par l'absence de candidats pour relayer ces réservations et par conséquent, on aura de moins en moins de réservations y compris inutiles. En tout état de cause, les conclusions que l'on pourra tirer de nos simulations sur le pire cas de réservation seront essentiellement du type : « en partant d'un système vide et pour une durée simulée T , voici le taux de blocage de nouveaux appels ou le taux de refus de handover ».

4.3. Paramètres du modèle proposé

Détaillons les paramètres de simulation : la capacité de station de base (C) varie de $C = 5$ à 45 canaux. Le temps simulé est de 10^{+6} sec. Nous choisissons des micro-cellules

carrées pour faciliter le modèle de mobilité. Le tableau suivant (Tableau 1) montre les paramètres retenus :

Paramètres	Cas 1	Cas 2
Dimensions d'une cellule (km x km)	10 x 10	4 x 4
Dimensions d'une micro-cellule (m ²)	500 x 500	500 x 500
Dimension de la zone centrale (km x km)	10 x 8	4 x 2
Nombre des microcellules dans la zone frontière	20	8
Vitesse de nœud mobile (km/h)	36	36
Temps de traversée de la zone centrale (s)	900	300
Temps de traversée de la microcellule (s)	50	50
Durée d'appel (s)	150	150

Tableau 1 : Paramètres de modèle

T_{micro} et T_{cz} sont respectivement le temps moyen pour traverser la micro-cellule et le temps moyen pour traverser la zone centrale. La portée de couverture d'une station de base WiMAX est considérée de $10 \times 10 \text{ km}^2$ (cas 1) ou de $4 \times 4 \text{ km}^2$ (cas 2) (voir Tableau 1). Si on suppose que la portée d'émission/réception d'un nœud est de 500 m et que la vitesse de déplacement est de 36 km/h, par conséquent, le temps moyen de traversée d'une microcellule est de 50 s.

La durée moyenne d'appel est de 150 s soit le temps moyen de traversée de 3 micro-cellules. D'autre part, nous avons supposé que la durée des appels est exponentiellement distribuée. Les taux d'arrivées (λ) sont variables de telle sorte que la charge normalisée est comprise entre 60% et 100%. En outre, nous supposons que les arrivées de nouveaux appels sont uniformément réparties dans l'espace. Le taux d'arrivée dans une zone donnée sera alors proportionnel à sa surface. Enfin, il faudra noter ici que nous avons choisi deux cas (cas 1 et cas 2 (Tableau 1)) pour étudier l'effet de la densité des nœuds sur les performances. Pour cela, dans le cas 2, nous avons baissé la dimension d'une cellule (la puissance d'une station de base est faible) en gardant la même couverture d'un nœud que dans le cas 1. Ainsi, lorsque nous avons une cellule de $4 \times 4 \text{ km}^2$, la zone frontière est représentée par 8 microcellules.

5. Analyse de performance

Nous présentons d'abord les performances du système avec la procédure classique de handover, puis le handover avec le mécanisme de réservation. Nous considérons les critères de performance suivants : Le taux de blocage des nouveaux appels NCBR (*New Call Blocking Rate*), le taux de blocage de handover HOBR (*Handover Blocking Rate*) et le taux de blocage de réservation CRBR (*Channel Reservation Blocking Rate*). Nous étudions les deux cas : la réservation et le pire cas de réservation. Nous notons qu'au lieu d'étudier des taux de blocage, nous pourrions aussi tenir compte du taux d'utilisation (d'occupation) du canal. Cela nous conduirait aux mêmes résultats.

5.1. Mécanisme de handover et réservation de ressources

Nous présenterons les résultats pour le cas 1 (la dimension de la macro-cellule est de $10 \times 10 \text{ km}^2$) lorsque la station de base possède $C = 15$ canaux. Comme le montre la Figure 46, le taux de blocage des nouveaux appels (en %) augmente en fonction de la charge offerte (Erlang). Il en est de même pour le taux de blocage de handover. L'approche coopérative n'augmente pas le taux de blocage de handover. Dans la Figure 46, nous comparons le handover sans réservation et celui de l'approche coopérative. Nous remarquons que l'approche coopérative améliore légèrement le taux de blocage de handover et réduit le taux de blocage des nouveaux appels. En outre, le taux de blocage de réservation dans l'approche coopérative (Figure 46) est intéressant et presque constant. Les blocages sont dus au fait que les nœuds mobiles ne trouvent pas de nœuds voisins) (la densité des nœuds voisins n'est pas suffisante). En outre, dans le cas 2 (dimension de cellule est de $4 \times 4 \text{ km}^2$) si nous fixons le taux d'arrivée des utilisateurs (cela signifie que nous augmentons la densité des utilisateurs et que nous réduisons les dimensions des macro-cellules), nous observons que l'approche coopérative devient efficace. Par conséquent, l'approche coopérative est principalement fondée sur la densité des utilisateurs puisque cette approche tient compte du nœud voisin pour effectuer les réservations. En tout cas, le mécanisme de réservation proposé dans l'approche coopérative ne dégrade pas les performances du système. Autrement dit, nous observons dans la Figure 47 que l'approche individuelle réduit clairement le taux de blocage de handover et mène à un taux de blocage de réservation plus faible que celui de l'approche coopérative. L'approche mixte mène presque aux mêmes résultats que ceux obtenus avec l'approche individuelle puisque l'approche coopérative avec ces paramètres (c'est-à-dire cas 1) n'est pas efficace.

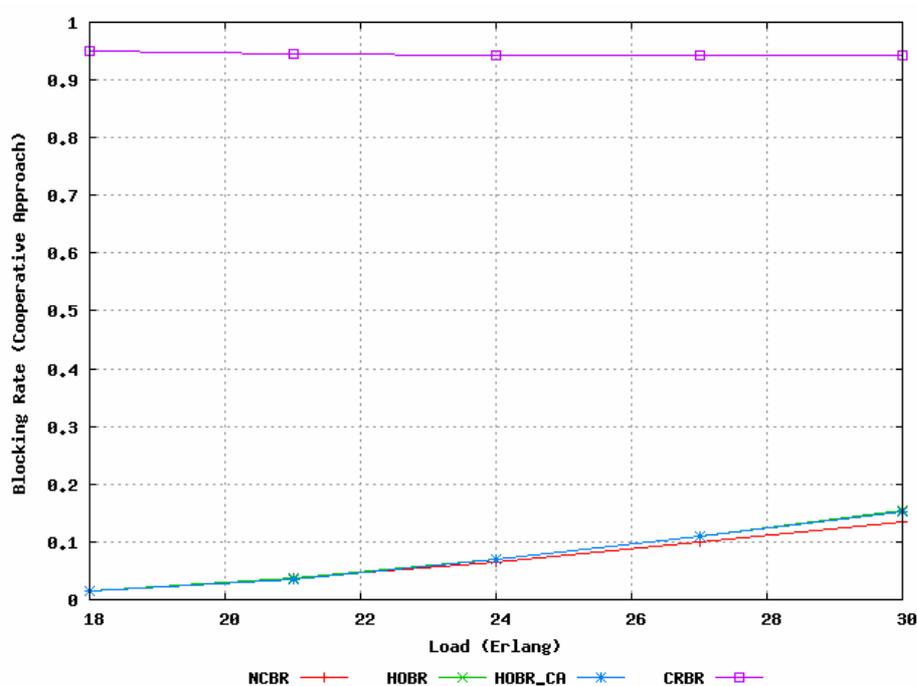


Figure 46 : Taux de blocage avec l'approche coopérative

En fait, le mécanisme de réservation conduit à de bons résultats lorsque nous avons peu de canaux. Par conséquent, le mécanisme de réservation peut être plus utile quand le système est surchargé.

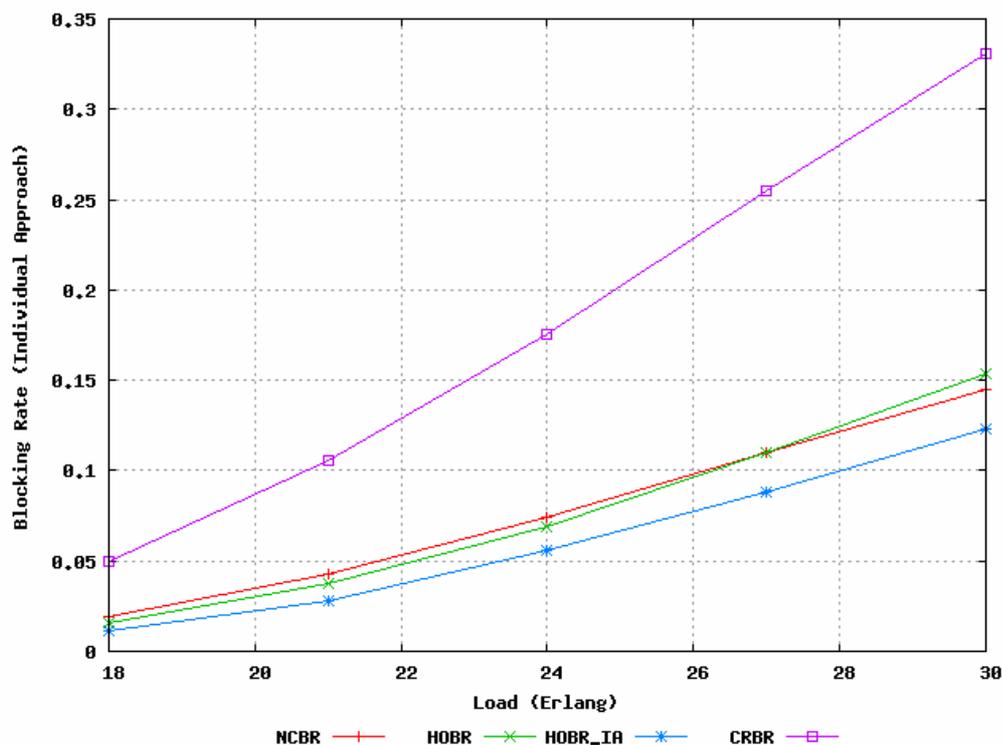


Figure 47 : Taux de blocage avec l'approche individuelle

5.2. Comparaison

Comparons maintenant les trois approches. Nous notons les différences suivantes : le mécanisme de réservation n'augmente pas clairement le taux de blocage des nouveaux appels (Figure 48) en comparant au cas sans réservation selon les trois approches. L'approche coopérative mène aux meilleurs résultats en ce qui concerne le taux de blocage des nouveaux appels car elle n'est pas efficace à faible densité. En outre, dans le cas des deux dernières approches, cette augmentation est faible. En fait, quand nous appliquons un mécanisme de réservation cela signifie que nous réservons tôt un canal.

D'autre part, le mécanisme de réservation réduit le taux de blocage de handover particulièrement dans les deux dernières approches (Figure 49). D'ailleurs, l'approche individuelle réduit au minimum le taux de blocage de handover. Par conséquent, l'approche coopérative mène au plus mauvais taux de blocage de handover. Ce taux n'est pas très éloigné de celui obtenu sans réservation. En ce qui concerne le taux de blocage de réservation, la troisième approche clarifie le taux minimum (voir la Figure 50). L'approche coopérative mène encore au plus mauvais taux de blocage de réservation.

Maintenant observons les résultats dans le pire cas de réservation. En fait, l'approche coopérative conduit au taux minimum (aussi bien que dans le cas de réservation). L'approche coopérative conduit également au taux de blocage des handovers minimal.

A propos du taux de blocage de réservation, l'approche individuelle est la meilleure solution, alors que l'approche coopérative mène au plus mauvais taux. D'ailleurs, nous avons remarqué que le pire cas de réservation montre les plus mauvais résultats. Cela est dû au fait qu'il n'y a pas assez de canaux disponibles dans la station de base cible pour servir les demandes de réservation ou de handover dans la mesure où un utilisateur peut garder sa réservation, éventuellement pour une durée indéfiniment même s'il change de direction.

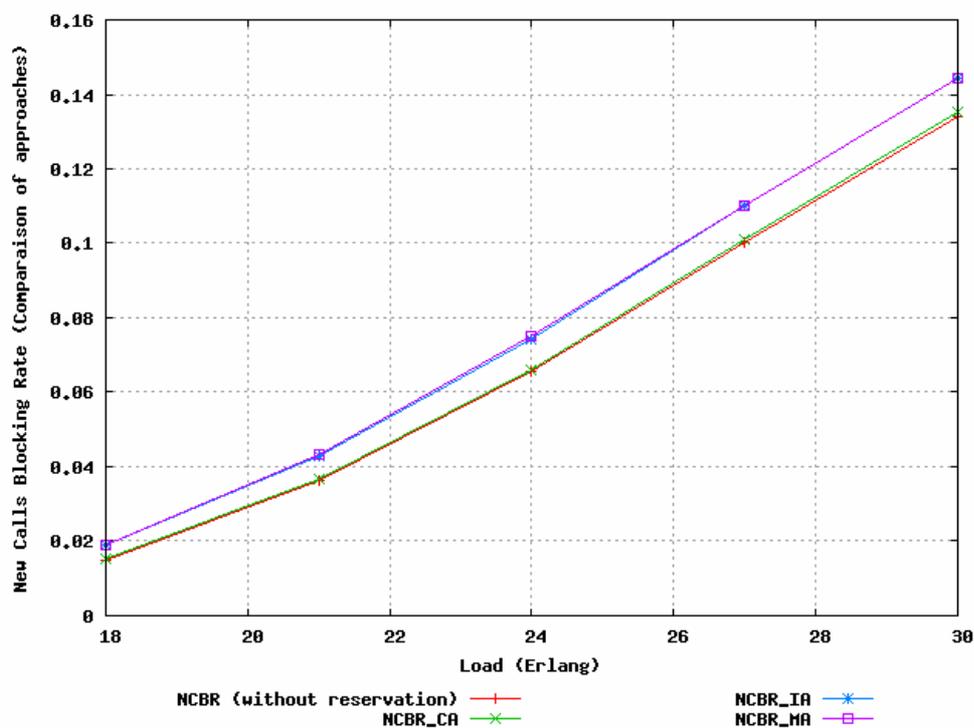


Figure 48 : Comparaison des taux de blocage des nouveaux appels

Nous n'épiloguerons pas plus avant sur ce pire cas de réservation. Notre objectif était de montrer qu'il est nécessaire d'implanter des mécanismes d'annulation de réservations implicites ou explicites comme ceux que nous avons présenté dans le paragraphe 3.2.

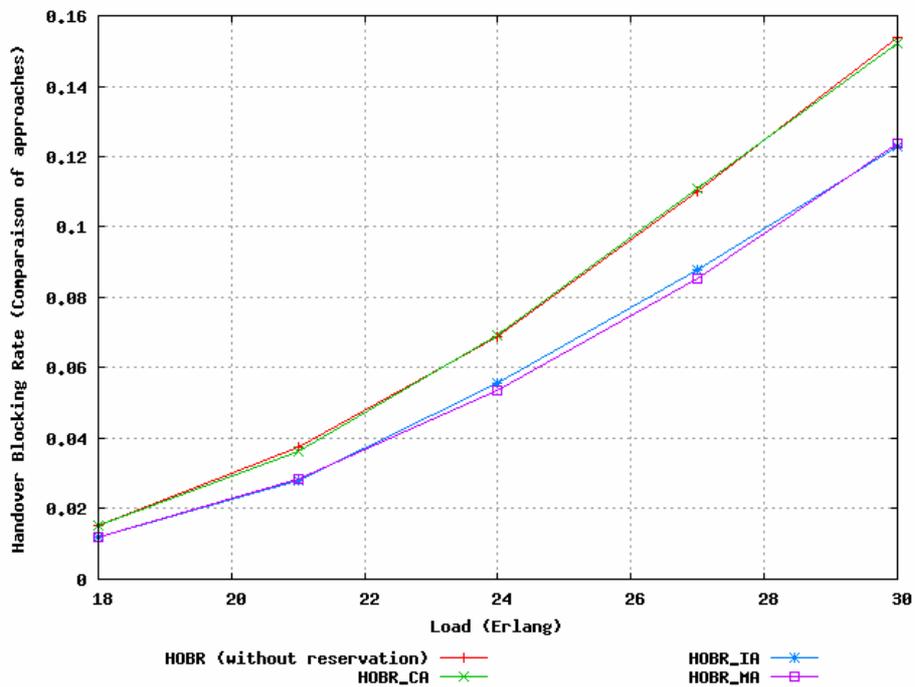


Figure 49 : Comparaison des taux de blocage du handover

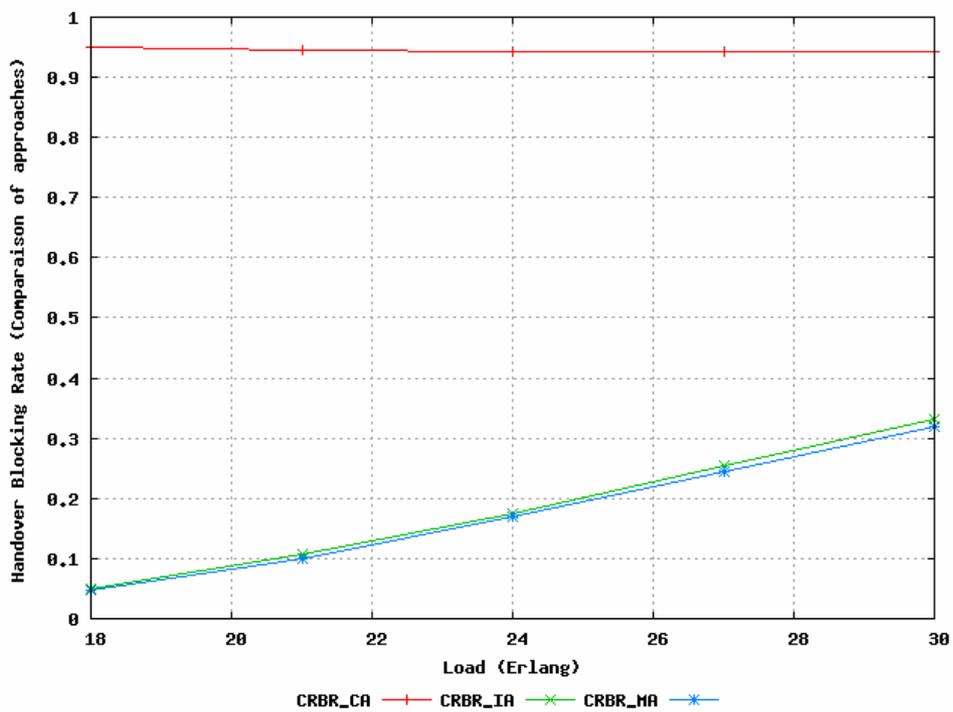


Figure 50 : Comparaison des taux de blocage de réservation de canal

Finalement, dans la Figure 51, nous présentons les taux de blocage des handovers en fonction de la capacité de station de base (dans les deux cas : cas 1 (20 microcellules) et cas 2 (8 microcellules)), cette capacité variant de 5 à 45 canaux (charge normalisée est de 80 %). Nous notons que les taux diminuent quand la capacité de la station de base augmente, la charge normalisée diminue également. D'autre part, nous observons que l'approche coopérative est efficace à forte densité des utilisateurs (cas de 4x4 km²). L'efficacité du mécanisme de réservation est claire à faible capacité (de 10 à 30 canaux). Les résultats obtenus avec l'approche individuelle sont clairement proches de ceux de la troisième approche. Cela est dû au fait que dans ces deux approches, les stations de base sont utilisées comme moyen intermédiaire pour effectuer la réservation. Toutefois, l'approche coopérative dépend de la distribution des nœuds voisins. Nous pouvons dire que les performances sont meilleures quand le mécanisme repose sur les stations de base pour réserver un canal plutôt que lorsqu'il dépend des nœuds voisins à faible densité. Finalement, nous avons fait varier la vitesse du nœud mobile de 10 km/h à 120 km/h. Cela n'a pas vraiment changé les résultats.

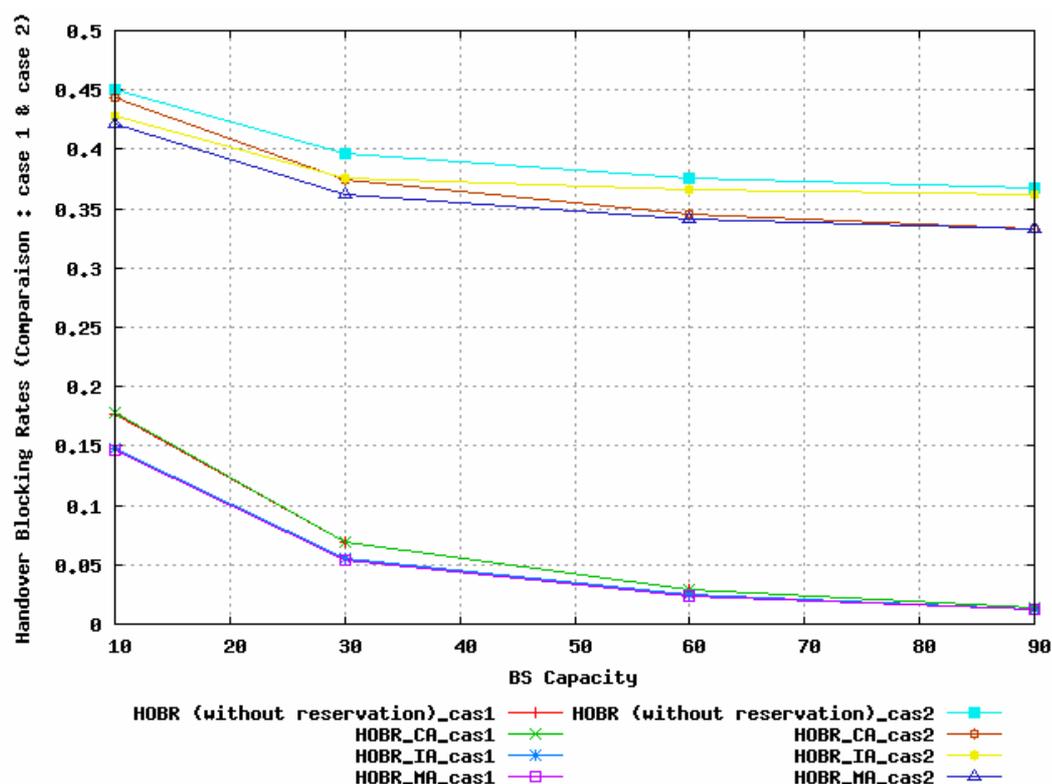


Figure 51 : Taux de blocage des handovers en fonction de la capacité de station de base

6. Conclusion

Nous venons d'évaluer des mécanismes de réservation du canal pour améliorer les performances de handovers horizontaux dans le cadre de WiMAX. Ce mécanisme réduit le taux de blocage de handover et ne dégrade pas la performance du système. En revanche, les performances de système se dégradent si l'on n'annule pas les réservations non utilisées. Nous avons comparé trois approches (coopérative, individuelle et mixte). A faible densité d'utilisateurs, les meilleurs résultats de performance sont obtenus quand la réservation est réalisée par une station de base plutôt que quand les nœuds mobiles envoient leurs demandes par un nœud voisin. L'efficacité du mécanisme de réservation est remarquable quand il y a un faible nombre de ressources. En outre, l'approche coopérative montre de bons résultats quand la densité des utilisateurs augmente. Cette densité est liée aux dimensions de système. Nous allons nous intéresser maintenant à l'intégration de ce modèle de réseau WiMAX et d'un segment de satellite avec et sans réservation de canal.

**CHAPITRE IV – PERFORMANCE DU RESEAU WIMAX INTEGRE
DANS UN SYSTEME SATELLITE DVB - RCS**

1. Introduction

Dans les réseaux de future génération, l'intégration de réseaux hétérogènes utilisant différentes technologies sera indispensable afin de fournir une couverture globale sans couture. La mobilité et la continuité de service représentent des défis importants pour ces réseaux. Comme noté précédemment, l'intégration d'un segment satellite dans un réseau terrestre (particulièrement WiMAX) a plusieurs avantages dans un contexte 4G (vaste couverture, bande passante considérable, etc.). Dans ce chapitre, nous nous concentrons sur des mécanismes de réservation de ressources pour assurer la qualité de service. Nous allons d'ailleurs reprendre le modèle du réseau WiMAX défini dans le troisième chapitre. Deux mécanismes (mécanisme réseau et mécanisme utilisateur) et deux scénarios sont considérés afin d'effectuer cette intégration. Enfin, nous évaluons les performances du modèle proposé.

2. Coexistence entre le réseau WiMAX et le réseau DVB-RCS

L'intégration d'un réseau satellite et d'un réseau terrestre WiMAX est un problème difficile comme nous l'avons montré dans le chapitre 2. L'architecture que nous avons définie tient compte du modèle de référence MIH, proposé par le groupe IEEE 802.21, comme base d'intégration entre un système satellite et des réseaux terrestres. Il est maintenant nécessaire d'évaluer la performance de cette intégration. Cette évaluation porte sur les performances rendues aux utilisateurs. Une étude complémentaire pourrait être envisagée concernant la signalisation. Dans ce chapitre, nous reprenons le modèle WiMAX adopté en y ajoutant ensuite un segmente satellite [54]. Nous étudions cette intégration avec et sans mécanisme de réservation de ressources. Ce mécanisme est implanté dans le réseau WiMAX, en utilisant les trois approches proposées dans le chapitre trois : coopérative, individuelle et mixte. Nous considérons également deux scénarios avec deux mécanismes. Les scénarios concernent le débit des connexions prises en charge successivement par le système satellitaire et les réseaux WiMAX. En effet, le débit global et la couverture confèrent au réseau WiMAX un débit global largement supérieur au débit de la voie de retour satellite exploitée en DVB-RCS.

Plusieurs solutions sont alors envisageables quand une connexion devra être transférée d'un système à un autre :

- le débit est identique dans les deux systèmes et la durée de connexion aussi. C'est le cas de la majeure partie d'applications courantes ;
- le débit doit être réduit lors d'un passage en DVB-RCS sans modification de la durée de la connexion. Ce choix répond aux besoins des applications avec des contraintes temps réel. On supposera dans la suite que l'application sait s'adapter à ce contexte ;
- le débit est réduit lors du transfert mais on augmente la durée de la connexion pour permettre l'envoi d'un même volume d'information. Ce choix pourrait servir les applications best effort ou non temps réel ; ces classes ne mettent pas de contraintes sur le délai (applications non temps réel). C'est le cas des applications nécessitant le

transfert d'un volume constant.

Dans nos simulations (QNAP2), nous sommes restés dans ce chapitre sur la notion de « canal » attribué à une connexion.

Pour matérialiser le changement de débit, cela se traduira par le fait que les « canaux » ont un débit plus faible dans le système DVB-RCS que dans le réseau WiMAX. Les cas 2 et 3 ont été implantés. Remarquons que l'on pourrait interpréter le cas 2 exactement comme le cas 1, mais avec comme particularité d'avoir un système DVB-RCS avec une capacité globale beaucoup plus importante.

Ces cas étant tout de même très dissemblables, nous n'essayerons pas de les comparer dans l'absolu mais simplement d'évaluer nos mécanismes dans ces différents cas de figure.

Notons enfin que nous reviendrons en détail dans le cinquième chapitre sur la mise en correspondance entre les classes de service et les paramètres QoS.

Nous allons considérer également deux types des handovers verticaux : « down handover » (handover descendant) et « up handover » (handover montant). Le « down handover » consiste à effectuer un transfert des utilisateurs depuis le système satellite vers le réseau WiMAX. De façon symétrique, un up handover transfère un utilisateur WiMAX vers le système satellite.

Nous rappelons que le modèle adopté du réseau WiMAX, présenté dans le chapitre trois, est composé de deux cellules WiMAX. Ces cellules sont couvertes par un satellite géostationnaire (GEO). Les cellules WiMAX sont de nouveau découpées en trois zones selon la puissance du signal reçu comme dans le chapitre précédent.

3. Mécanisme de handover

L'utilisateur WiMAX met en œuvre un handover horizontal dans la zone de recouvrement (Figure 54). Si la station de base cible possède des ressources, l'utilisateur effectue le handover horizontal. Sinon, il essaye un handover montant pour rejoindre le système satellite.

En fait, nous distinguons, deux mécanismes de handover. Dans le premier, l'utilisateur n'effectue un handover horizontal ou vertical (up ou down) que dans la zone de recouvrement des cellules WiMAX. Cela signifie que lors d'un changement de zone de couverture de cellule WiMAX, que l'utilisateur soit pris en charge par le réseau WiMAX ou par le système DVB-RCS, il tentera de faire un handover vers la nouvelle cellule WiMAX. Ce mécanisme est appelé mécanisme utilisateur.

Dans le deuxième mécanisme, l'utilisateur s'occupe du handover vertical (up et down) dans la zone de recouvrement (comme avec le mécanisme utilisateur). En revanche, quand un utilisateur WiMAX quitte le réseau (fin d'appel), le réseau essaiera également de transférer un utilisateur connecté au système satellite et situé dans la cellule WiMAX dans laquelle la fin de connexion vient de se produire. La recherche d'un utilisateur dans d'autres cellules WiMAX n'a rien apporté en terme de performances. Ce mécanisme est motivé par le fait que la communication avec les réseaux terrestres est plus avantageuse en raison du coût d'appel, du délai, du débit, etc. Le remplacement est de type « 1 pour 1 » dans la mesure où dans ce chapitre, les connexions sont toutes équivalentes.

4.2. Approches adoptées

Le but du mécanisme de réservation de canaux est de réserver le plus tôt possible un canal auprès de la station de base cible d'un utilisateur situé dans les zones frontières et en train de se déplacer vers la station de base cible. Cette réservation peut garantir le handover horizontal et améliorer la performance du système entier comme nous avons vu dans le chapitre trois. Afin d'effectuer la réservation de canaux, nous rappelons les trois approches adoptées dans le chapitre précédent (Figure 53 et Figure 54) :

Approche coopérative (CA) : la réservation auprès de la station de base cible est mise en œuvre à l'aide des nœuds voisins.

Approche individuelle (IA) : la station de base de service et la station de base cible prennent en charge la procédure de réservation.

Approche mixte (MA) : Ce mode est fondé sur les deux approches précédentes. Le nœud mobile a donc deux choix pour réserver un canal.

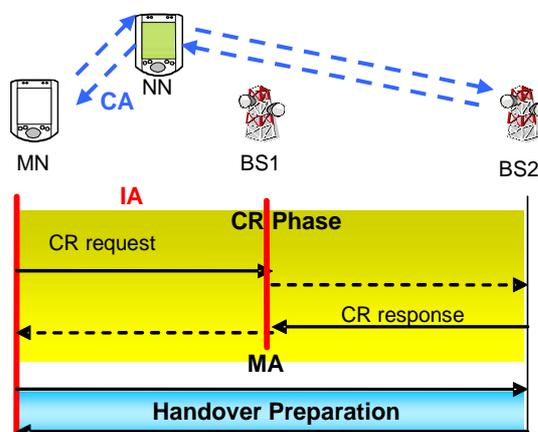


Figure 53 : Messages échangés dans les approches proposées

5. Définition de la topologie

Le modèle du réseau WiMAX est le même que celui du chapitre précédent. Le réseau WiMAX est couvert par le système géostationnaire (GEO) (Figure 54). Le spot de réseau satellite est beaucoup plus grand que les cellules WiMAX, il les recouvre donc complètement.

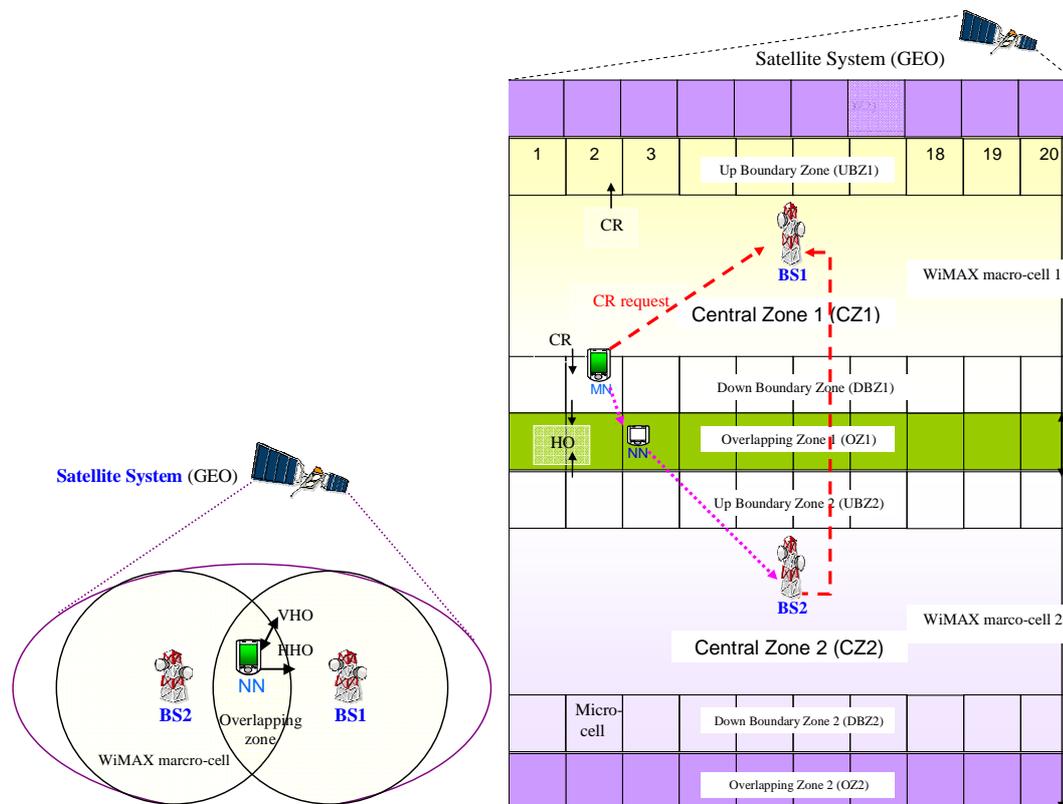


Figure 54 : Topologie adoptée

6. Analyse de performance

6.1. Paramètres du modèle

Détaillons les paramètres de simulation. La capacité de la station de base (C) est égale à 45 canaux et la capacité du satellite vaut $2C$ canaux. Nous avons défini cette capacité en nombre de canaux afin de faciliter l'analyse des résultats. Attention toutefois, les « canaux » du système satellite sont supposés plus petits que ceux du réseau WiMAX. On ne considère qu'un seul type de connexions dans une simulation (un seul débit et une seule durée moyenne). Nous considérons les paramètres du chapitre 3 dans le cas 2 (4 km x 4 km) et faisons de nouveau varier la charge normalisée de 60% à 100%.

Dans chaque mécanisme « utilisateur » et « réseau », nous distinguons deux scénarios : un scénario avec un débit adaptatif sans modification de la durée des connexions et un autre avec un débit adaptatif et une modification de la durée des connexions. On prendra des débits des « canaux » du système DVB-RCS quatre fois plus faibles – débit adaptatif avec un facteur 4. Notons que les résultats obtenus dans le cas où l'on change le débit mais pas la durée des connexions lors d'un handover vertical peut aussi s'interpréter comme un cas de figure où l'on ne changerait pas le débit des connexions lors d'un changement de système mais pour lequel le débit total du système DVB-RCS serait le même que celui de

WiMAX. Le temps simulé est de 10^6 s pour qu'on puisse garantir un intervalle de confiance qui ne dépasse pas 10%.

6.2. Critères de performance

Afin d'évaluer la performance du modèle proposé d'interconnexion WiMAX/DVB-RCS, nous considérons les critères suivants :

- Le taux de blocage des nouveaux appels dans le réseau WiMAX et dans le système satellite (NCBR_wimax et NCBR_satellite).
- Le taux de blocage de handover horizontal et de handover montant (up handover) (HHOBR et UHOBR).
- Le débit de tentatives des handovers horizontaux (HHOR : *Horizontal Handover Rate*), des up handovers (UHOR : *Up Handover Rate*) et le débit des down handovers (DHOR : *Down Handover Rate*). Ces débits ont un impact sur la signalisation engendrée.

Nous rappelons qu'en cas de blocage sur une cellule WiMAX (nouvel appel ou handover), l'utilisateur tente alors sa chance dans le système satellite. Ce n'est que dans le cas d'un échec vers le satellite qu'il y a un rejet de la connexion ou une interruption d'une communication en cours.

6.3. Cas de l'interconnexion sans réservation

6.3.1. Mécanisme réseau et utilisateur, trafic contraint temporellement

Dans le premier scénario, nous considérons que le basculement vers le système DVB-RCS se traduit par une division de débit de 4 sans modification de la durée de connexion. Dans toutes les figures qui suivent, les critères de performance sont observés en fonction de la charge exprimée en Erlang, qui est la charge soumise au système global.

Sur les premières figures, nous avons observé les différentes probabilités de blocage en fonction de la charge (Figure 55 et Figure 56). La première correspond aux résultats obtenus avec le mécanisme réseau et la seconde avec le mécanisme utilisateur. Nous constatons que tous ces taux de blocage augmentent en fonction de la charge (Erlang). Cette remarque est rassurante et sera observée dans tous les cas de figure, nous ne la rappellerons plus ultérieurement.

Le principe du mécanisme réseau va être de charger autant que possible le réseau WiMAX. On constate donc que les performances liées au réseau WiMAX se détériorent très rapidement avec la charge ; ce phénomène étant accentué avec le mécanisme réseau.

En contrepartie, ce seront les performances du système satellitaire qui seront comparativement moins bonnes dans le cas du mécanisme utilisateur. En effet, comme les communications WiMAX sont globalement moins interrompues et qu'il n'y a pas de dissymétrie flagrante dans le traitement des deux systèmes, la charge relative devient plus importante sur le système satellitaire dans le cas où l'on ne force pas les utilisateurs à un handover descendant. Cela est très vrai pour le handover montant, moins sensible pour le

blocage de nouveaux appels devant être pris en charge par le système DVB-RCS.

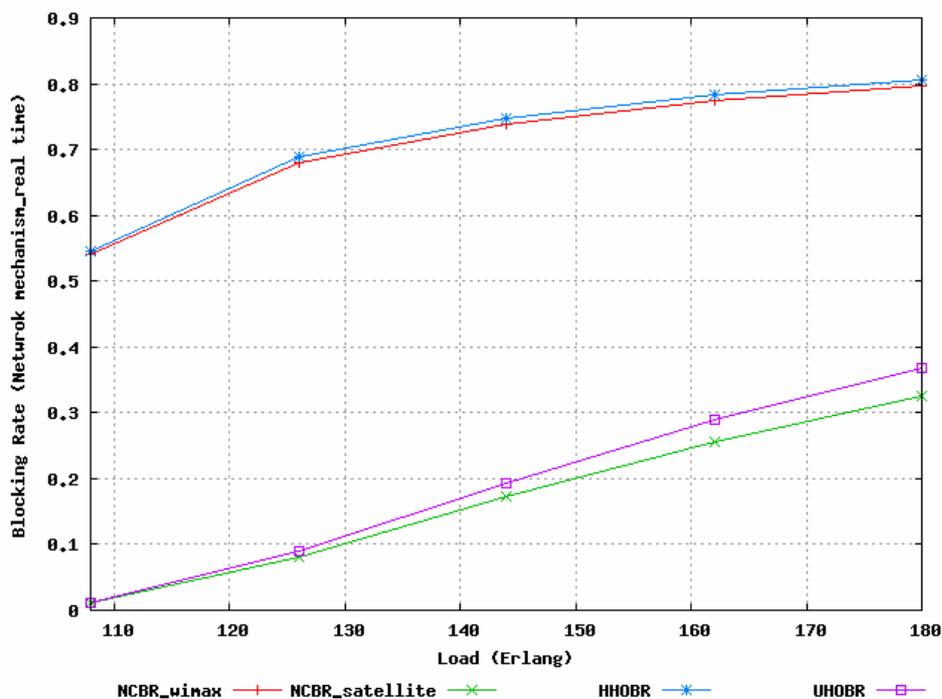


Figure 55 : Taux de blocage avec le mécanisme réseau

Notons que l'analyse des performances complètes est plus délicate. En effet, une estimation de la probabilité de blocage des nouveaux appels consiste à multiplier les taux de blocage des deux systèmes (c'est même exactement l'estimateur que l'on utiliserait : nombre de nouveaux appels qui sont refusés par le satellite divisé par le nombre de nouveaux appels simulés). Cette analyse conduit à des performances presque identiques avec un taux plus élevé avec le mécanisme réseau.

Pour les handovers, on peut utiliser sensiblement la même technique, pour obtenir encore une fois des probabilités d'échec de handover moins importantes avec le mécanisme utilisateur qu'avec le mécanisme réseau (par exemple $0.31 \times 0.41 = 0.1271$ (mécanisme utilisateur) contre $0.21 \times 0.75 = 0.1575$ (mécanisme réseau) avec un charge 150 Erlang).

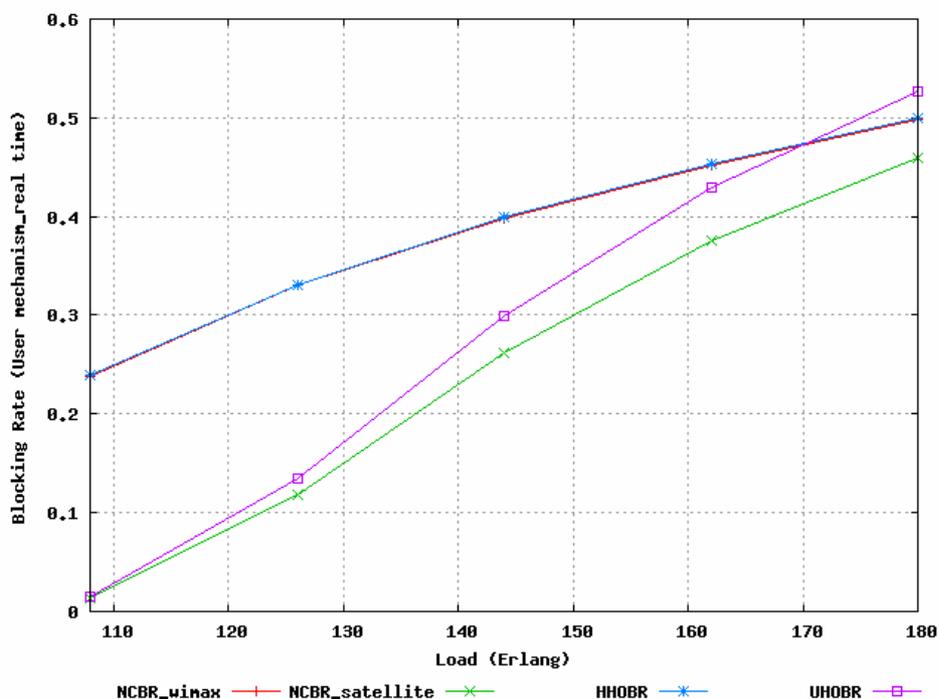


Figure 56 : Taux de blocage avec le mécanisme utilisateur

6.3.2. Mécanisme réseau et utilisateur avec un débit adaptatif

Dans cette deuxième variante, on considère des applications non temps réel. Dans ce cas de figure, le passage du réseau WiMAX au système satellite se matérialise par un débit divisé par 4 et une durée résiduelle de communication multipliée par 4 (transfert de fichier par exemple).

Comme représenté sur la Figure 57 et la Figure 58, nous observons des résultats qui confirment ceux que nous avons obtenus dans le cas précédent. En revanche, cette fois les écarts se sont très nettement creusés si l'on analyse les performances globales : le mécanisme réseau conduit à des performances très largement moins bonnes que le mécanisme utilisateur.

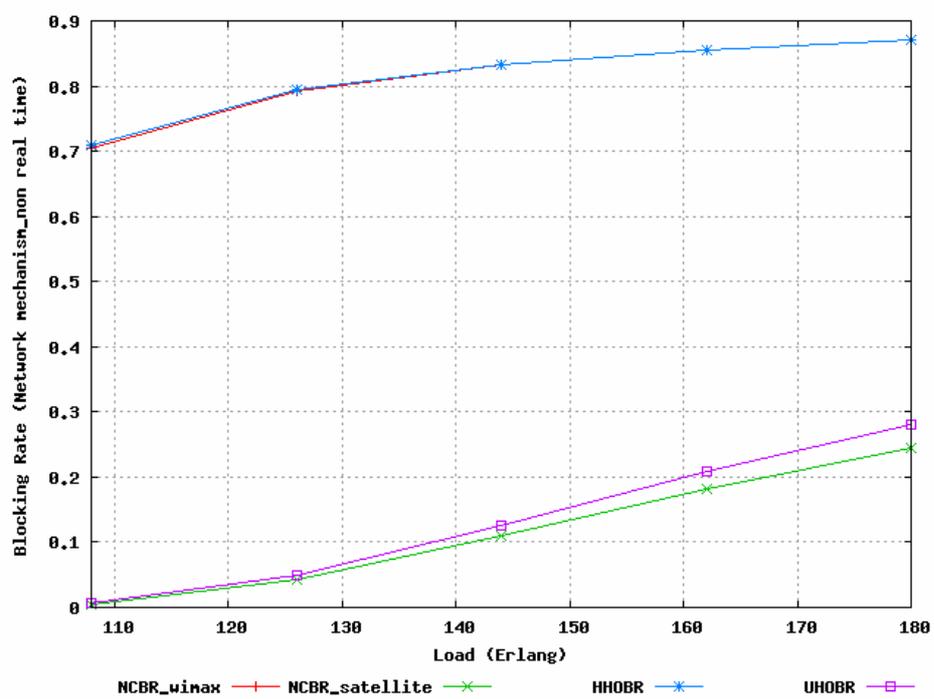


Figure 57 : Taux de blocage dans le mécanisme réseau et débit adaptatif

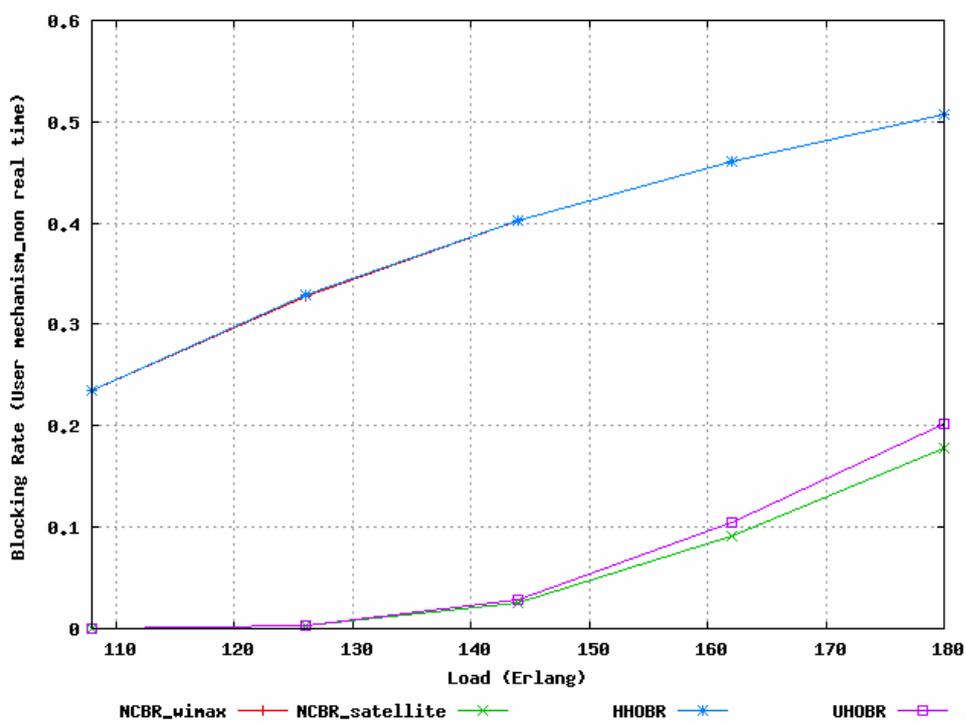


Figure 58 : Taux de blocage avec le mécanisme utilisateur et débit adaptatif

6.3.3. Débits des handovers, trafic contraint temporellement

Nous allons maintenant examiner les débits des différents types de handovers dans le cas du trafic contraint temporellement (Figure 59 et Figure 60). Nous avons trois types de handovers : horizontal, vertical descendant et vertical montant. Ces critères de performance sont significatifs dans la mesure où ils donneront des indications sur la charge de signalisation que l'on obtiendra.

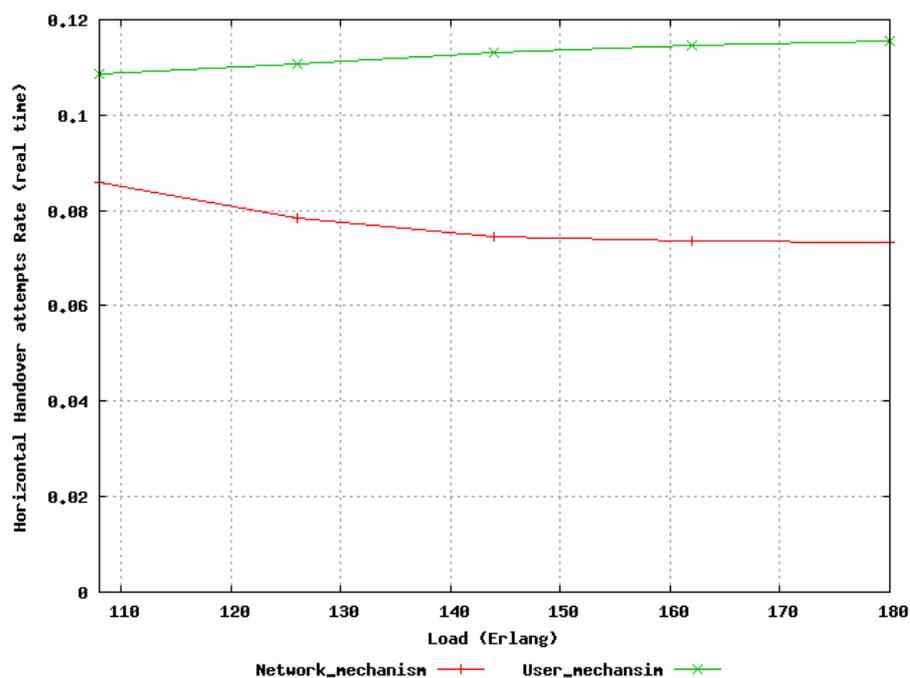


Figure 59 : Débit de tentatives des handovers horizontaux – trafic contraint temporellement

On constate tout d'abord que les débits des tentatives de handover horizontal sont peu influencés par la charge du système. Cela matérialise le fait que l'on refuse énormément de connexions et/ou que le système est extrêmement chargé dans tous les cas de figure. Ce phénomène est encore plus frappant dans le cas du mécanisme « réseau ».

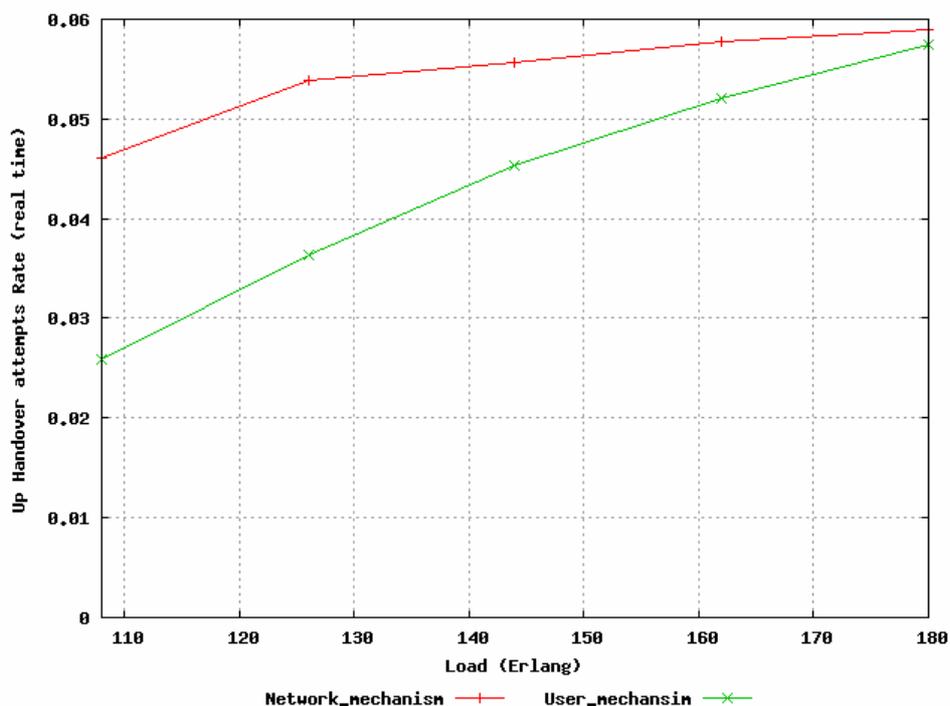


Figure 60 : Débit de tentatives des handovers montants – trafic contraint temporellement

Pour ce qui est du débit de handover montant (Figure 60), on retombe sur une configuration plus classique dans la mesure où le système satellite est moins saturé en raison de la politique implantée. Ces débits de handovers augmentent avec la charge. Ils sont plus nombreux dans le cas du mécanisme réseau dans la mesure où le système WiMAX est plus saturé que dans le cas du mécanisme utilisateur ce qui se traduit par de plus fréquents échecs dans les tentatives de handovers horizontaux.

On a enfin représenté les débits des handovers descendants en fonction de la charge (Figure 61). Ces handovers n'ont pas été étudiés dans les paragraphes précédents dans la mesure où l'on ne les met en œuvre que lorsque l'on est sûr qu'il y a de la place dans la cellule WiMAX correspondante. S'il n'y a pas de place, le handover n'est pas effectué et l'utilisateur reste connecté au système satellite. Cela engendre de la signalisation mais pas d'interruption de connexion.

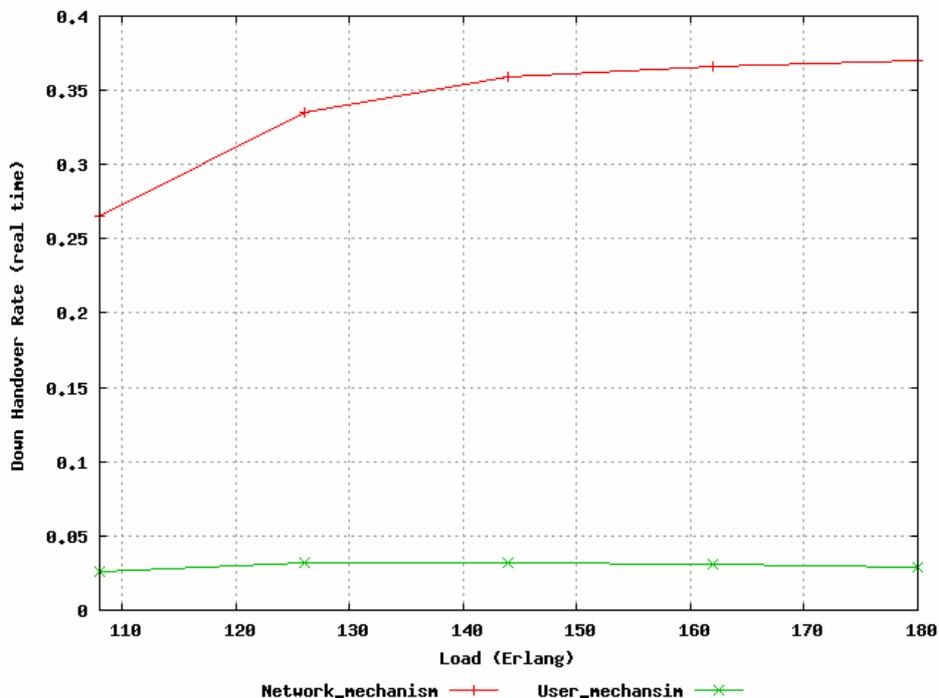


Figure 61 : Débit des handovers descendants – trafic contraint temporellement

On retrouve une partie des résultats précédents. Pour ce qui est du mécanisme réseau, il est bien évident que les handovers descendants seront extrêmement nombreux puisque chaque fois qu'un appel se termine dans une cellule WiMAX, on essaiera de remplacer la connexion correspondante par une connexion jusqu'à la prise en charge par le satellite. Pour le mécanisme utilisateur, le débit des handovers descendants est plus faible et peu sensible à la charge.

6.3.4. Débits des handovers, trafic non contraint temporellement

Dans les figures suivantes (Figure 62, Figure 63 et Figure 64), nous avons repris les mêmes critères de performances dans le cas de trafic non contraint temporellement. Nous aboutissons sensiblement aux mêmes analyses. Ces débits semblent assez proches de ceux obtenus avec un trafic contraint temporellement. Notons que dans ce cas de figure, la signalisation est certes un point clé mais qu'en revanche, le basculement d'un système à un autre est moins problématique dans la mesure où le délai n'est pas une contrainte significative (même si un protocole tel que TCP peut y réagir de façon peu performante).

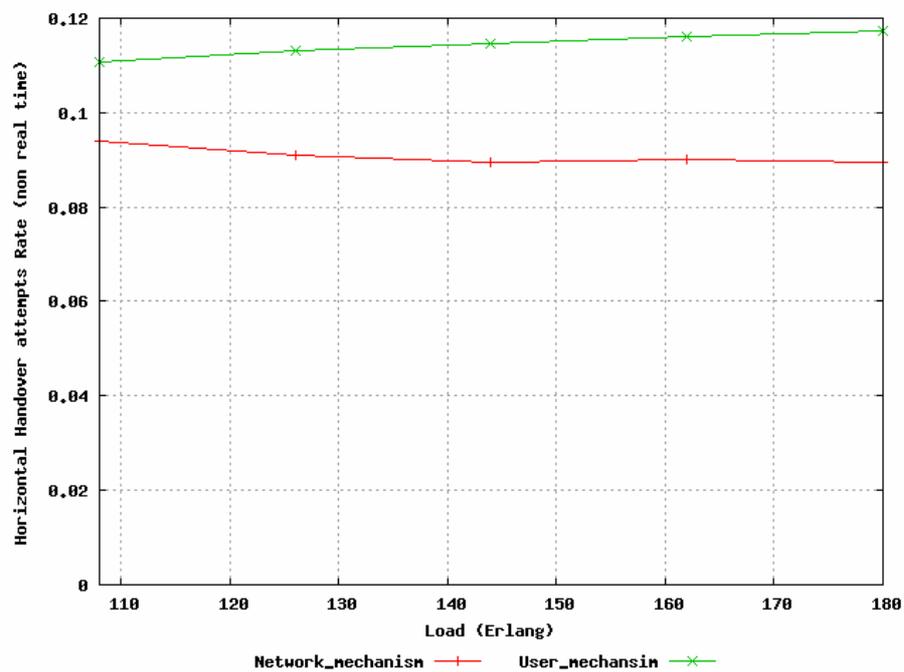


Figure 62 : Débit de tentatives des handovers horizontaux – trafic non contraint temporellement

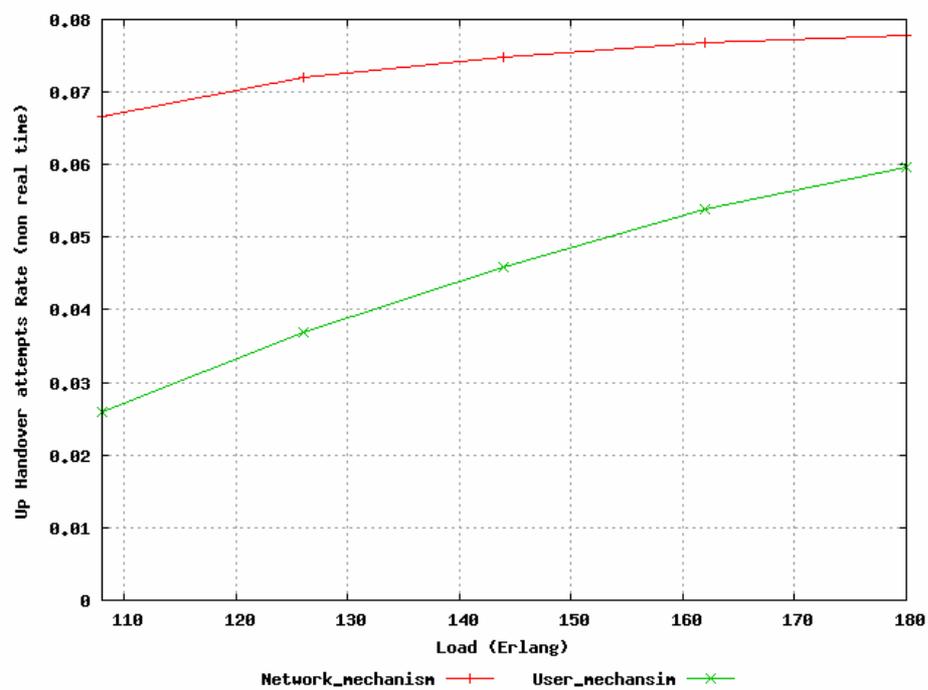


Figure 63 : Débit de tentatives des handovers montants – trafic non contraint temporellement

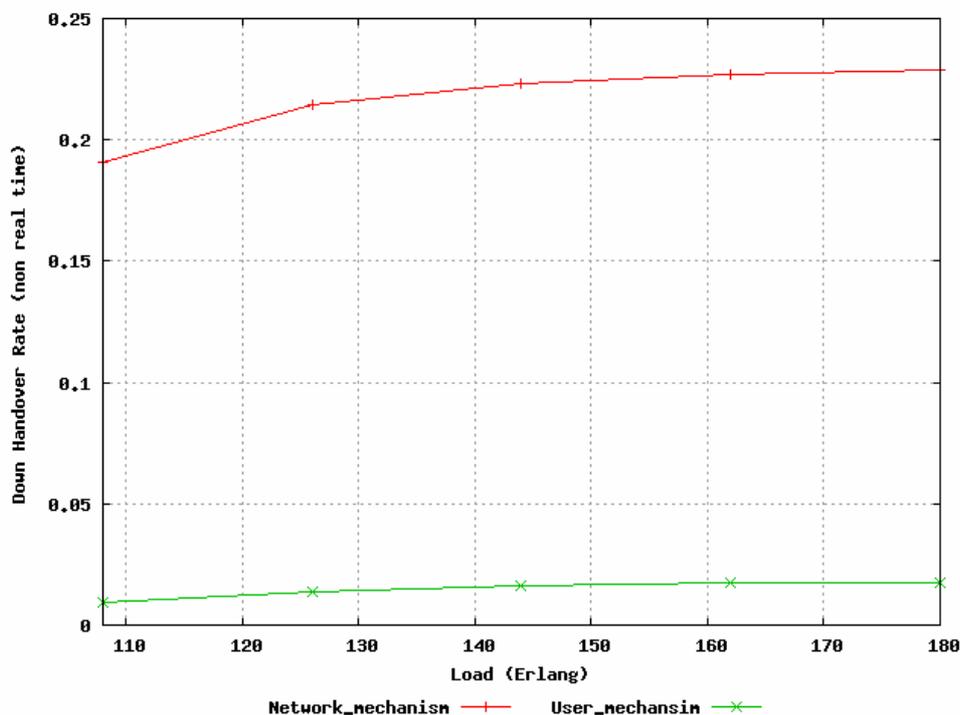


Figure 64 : Débit des handovers descendants – trafic non contraint temporellement

6.4. Cas de l'interconnexion de réseaux avec réservation

Dans cette nouvelle série de résultats, nous allons adjoindre, à l'ensemble de nos mécanismes de handover, des mécanismes de réservation de ressources pour lesquels, nous réutilisons les approches coopératives et individuelles présentées dans le chapitre précédent. Le temps simulé quant à lui est toujours de 10^6 s.

Les courbes « user » et « network » font référence dans les figures qui suivent au mécanisme de handover mais sans stratégie de réservation de ressources.

6.4.1. Blocage WiMAX des nouveaux appels

Dans ces deux premières figures (Figure 65 et Figure 66), nous avons représenté les taux de blocage des nouveaux appels WiMAX. Remarquons que dans cette configuration, la charge normalisée est bien identique à tous les cas de figure avec satellite de façon à avoir des résultats comparables. Il apparaît que le mécanisme utilisateur conduit à des performances plus intéressantes que le mécanisme réseau et que, de la même façon, l'approche coopérative est meilleure que l'approche individuelle.

En revanche, le mécanisme de réservation ne semble pas apporter d'amélioration très significative à ce critère de performance.

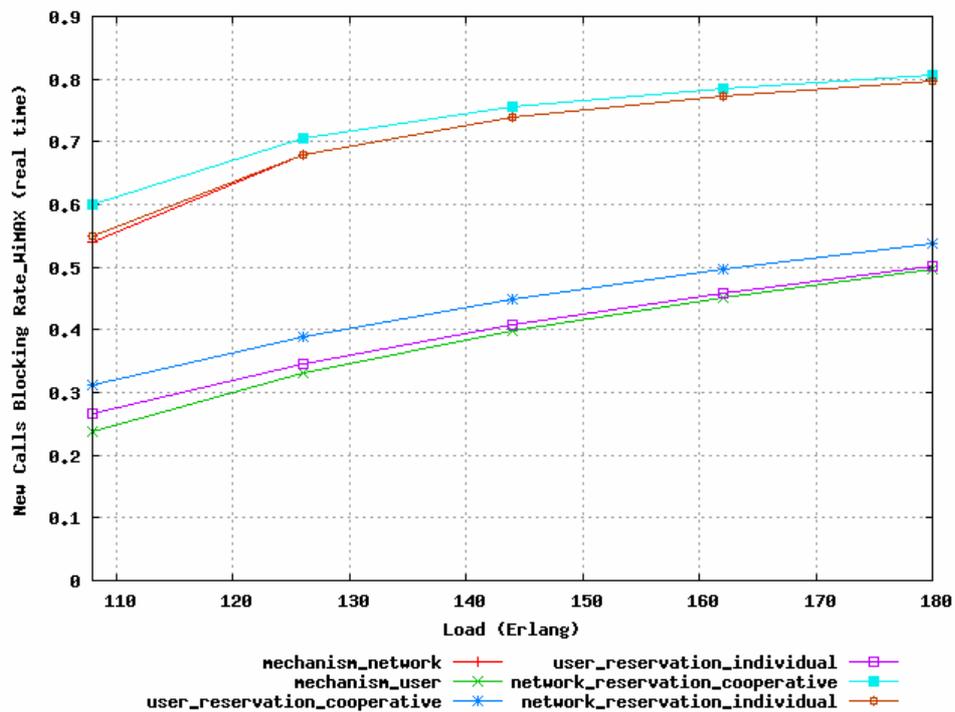


Figure 65 : Taux de blocage WiMAX des nouveaux appels – trafic contraint temporellement

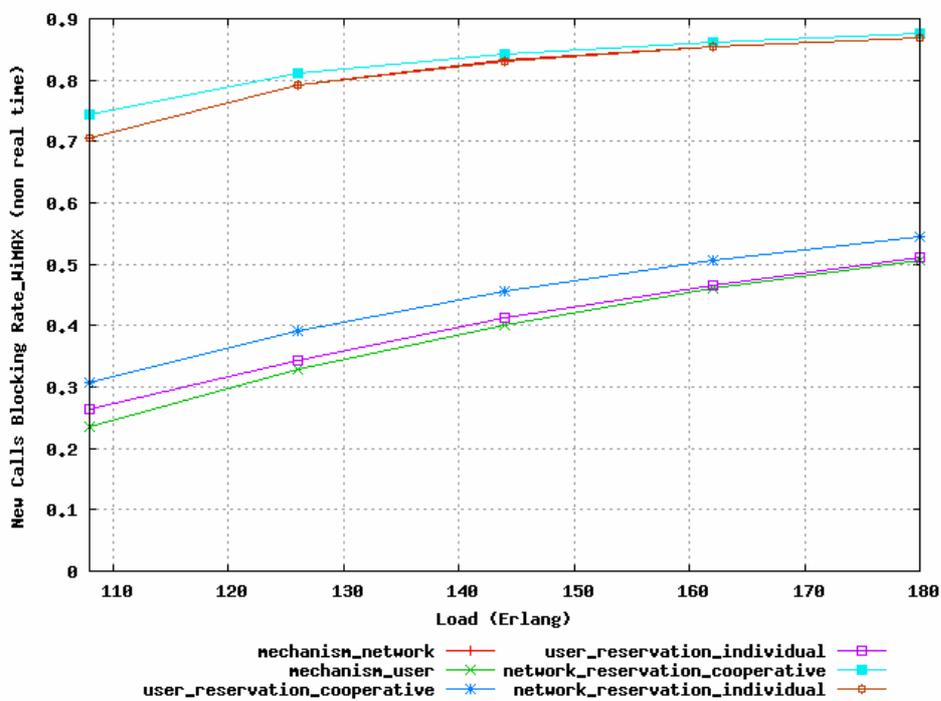


Figure 66 : Taux de blocage WiMAX des nouveaux appels – trafic non contraint temporellement

6.4.2. Blocage satellite des nouveaux appels

Nous allons maintenant nous intéresser au taux de blocage des nouveaux appels envoyés vers le système satellite (Figure 67 et Figure 68).

Dans le cas du trafic contraint temporellement, nous obtenons des taux de blocage qui sont assez peu sensibles à la politique adoptée ; ils sont légèrement dans un ordre opposé à celui que nous avons obtenu pour les blocages des nouveaux appels au réseau WiMAX. Le débit global rejeté étant le produit des deux termes, nous obtenons donc sensiblement au total le même ordre de classement que celui obtenu sur le blocage des appels au réseau WiMAX.

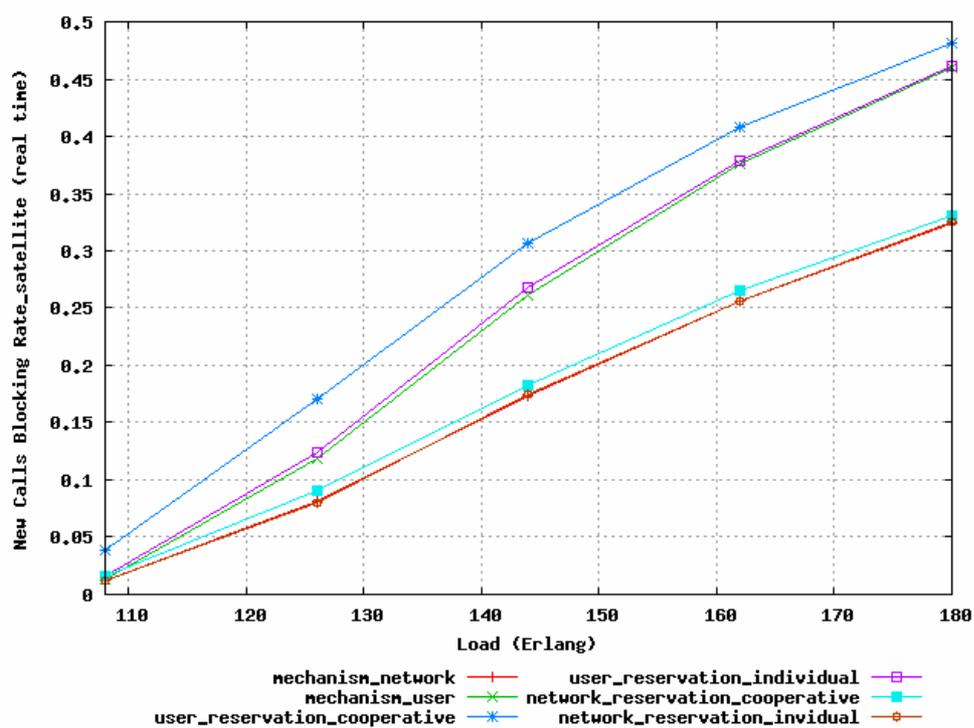


Figure 67 : Taux de blocage satellite des nouveaux appels – trafic contraint temporellement

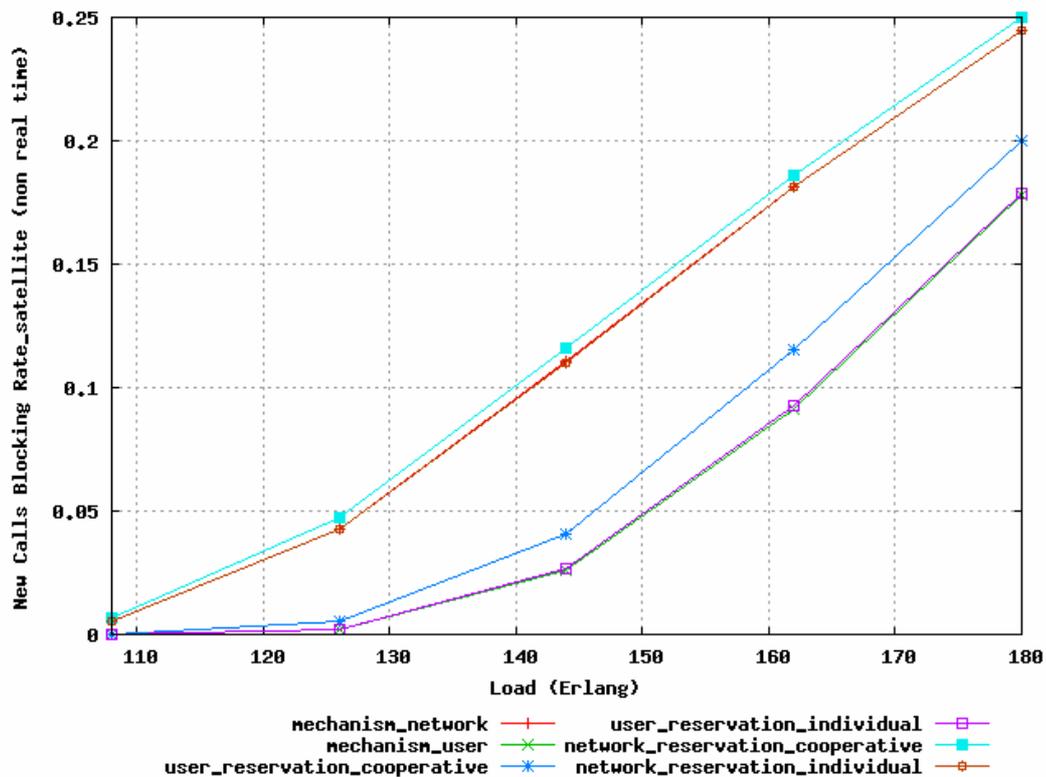


Figure 68 : Taux de blocage satellite des nouveaux appels – trafic non contraint temporellement

En revanche, pour ce qui est du trafic non contraint temporellement, on observe cette fois une différence assez nette entre les différentes solutions. Il apparaît nettement que l'approche de réservation individuelle conduit à des performances largement moins bonnes. C'est le mécanisme utilisateur qui conduit aux meilleures performances soit seul, soit avec un mécanisme de réservation individuel.

Si l'on synthétise les performances (produit des deux taux de blocage), il apparaît cette fois que le mécanisme réseau conduit à des performances moins bonnes que le mécanisme utilisateur et que, pour ce dernier, l'approche de réservation coopérative est la meilleure. Néanmoins, les mécanismes de réservation n'apportent qu'une contribution marginale aux performances globales du système.

6.4.3. Taux de blocage des handovers – trafic contraint temporellement

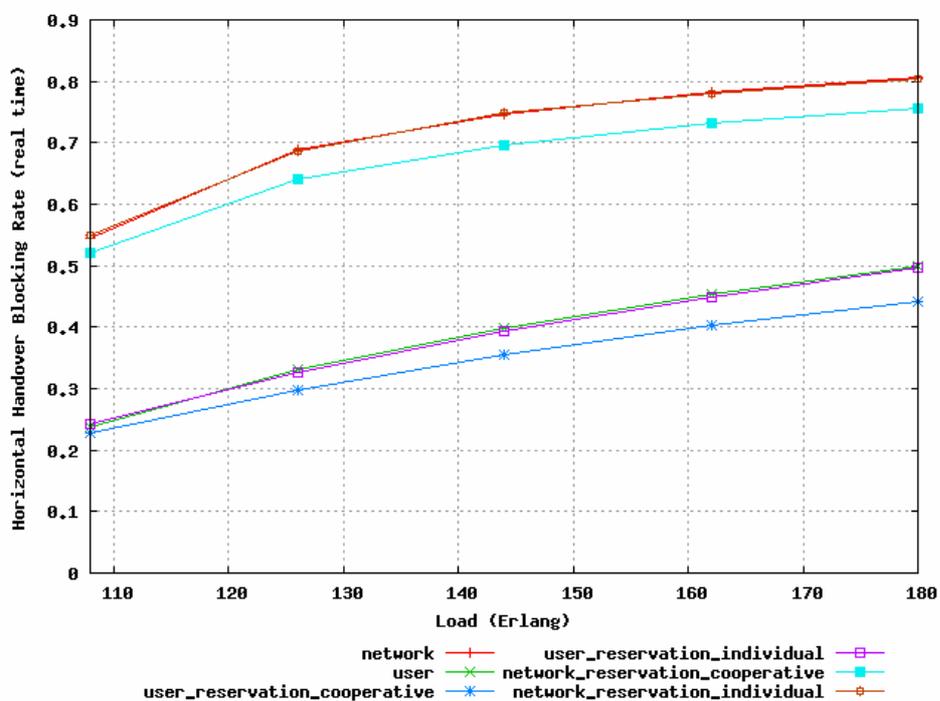


Figure 69 : Taux de blocage des handovers horizontaux – trafic contraint temporellement

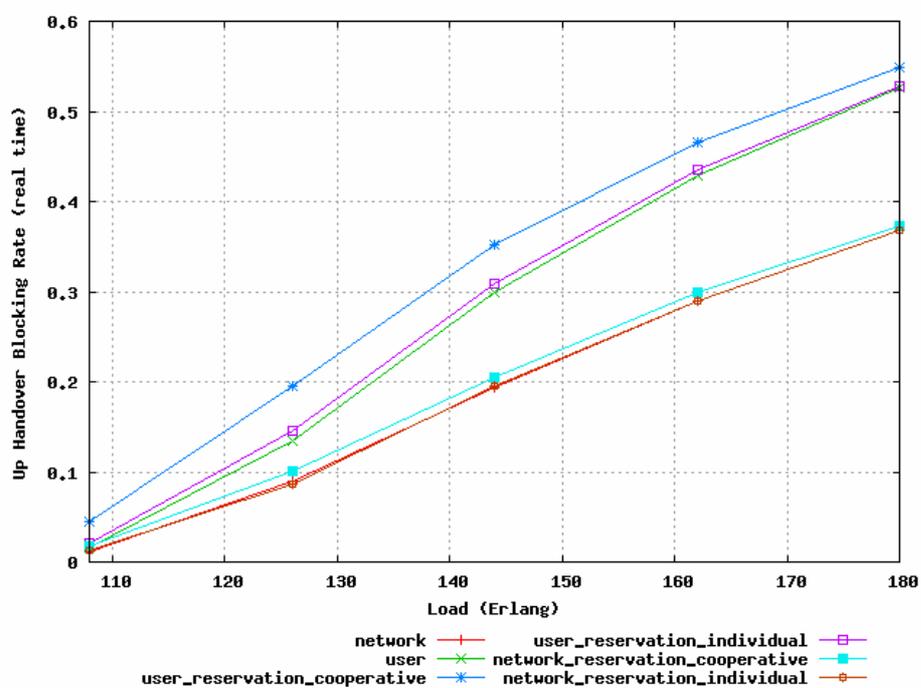


Figure 70 : Taux de blocage des handovers montants – Trafic contraint temporellement

Regardons maintenant les taux de blocage des handovers dans le cas du trafic contraint temporellement (Figure 69 et Figure 70). Pour ce qui est des handovers horizontaux, on constate encore une fois que le mécanisme réseau qui force les handovers en cas de terminaison d'appels dans le réseau WiMAX conduit aux taux de blocage des handovers les plus mauvais. Ces résultats ne sont qu'en partie contrebalancés par des taux de blocage des handovers montants plus faibles. Le mécanisme utilisateur est le meilleur en particulier lorsqu'on y adjoint un mécanisme de réservation ; l'approche coopérative est plus efficace que celle individuelle en ce qui concerne les blocages des handovers horizontaux, le fait que nous montrent les résultats dans le cas 2 (4 km x 4 km) en conséquence la densité des utilisateurs est suffisante. L'approche coopérative et l'approche individuelle conduisent à des résultats presque identiques au total.

6.4.4. Taux de blocage des handovers – trafic non contraint temporellement

Pour finir, nous allons reprendre les mêmes critères de performances dans le cas du trafic non contraint temporellement (Figure 71 et Figure 72), c'est-à-dire celui pour lequel, le passage vers le système satellite se traduit par une réduction de débit mais un allongement de la durée des communications.

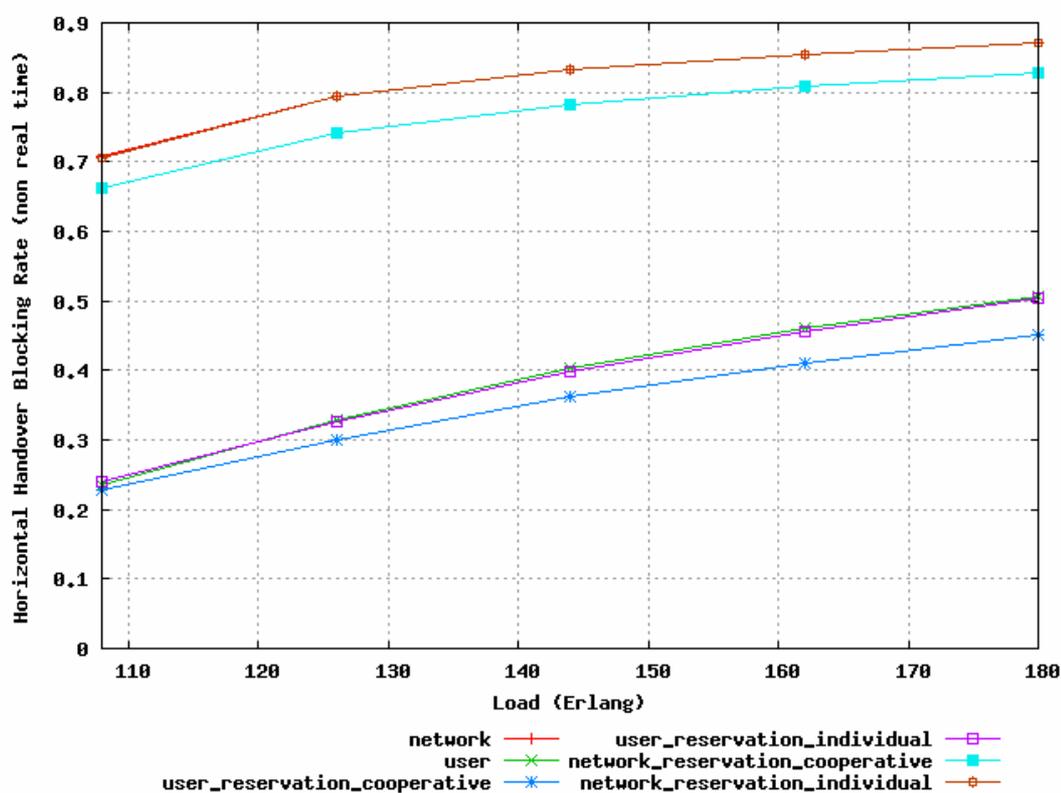


Figure 71 : Taux de blocage des handovers horizontaux – trafic non contraint temporellement

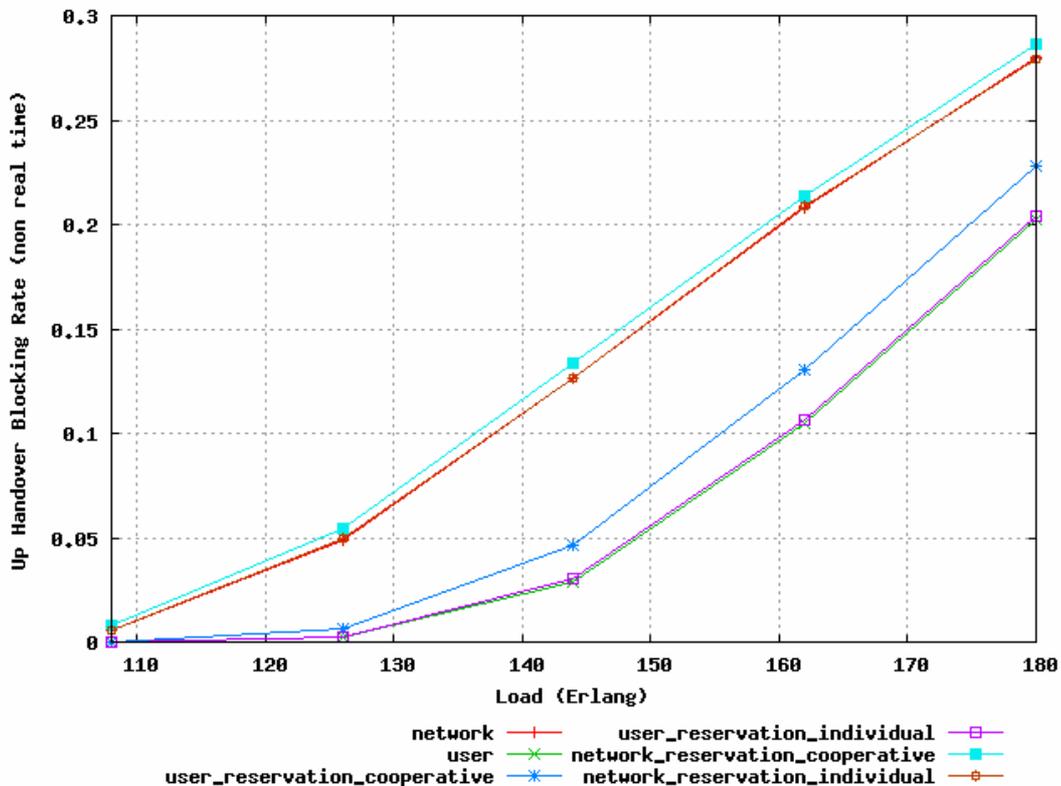


Figure 72 : Taux de blocage des handovers montants – trafic non contraint temporellement

Les résultats auxquels on aboutit confirment les remarques précédentes : la meilleure solution est la technique où l'on ne force pas les utilisateurs à passer au système WiMAX et avec une approche de réservation coopérative en ce qui concerne les blocages des handovers horizontaux et avec une approche de réservation individuelle concernant les blocages des handovers montants.

7. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons adopté un modèle d'interconnexion d'un réseau WiMAX et d'un système satellite comme type de réseau 4G. Nous considérons deux mécanismes afin d'effectuer cette intégration : un mécanisme où le handover sera provoqué par le réseau et un mécanisme où seuls les changements de zones de couverture WiMAX posent la question du handover vertical. Nous avons adjoint à ce mécanisme les approches de réservation de ressources que nous avons évoquées dans le chapitre précédent.

Il apparaît que la technique qui consiste à forcer les handovers vers le système WiMAX a tendance à conduire à des probabilités de blocage de connexions plus importantes (même s'il est vrai qu'en contrepartie, la qualité de service des utilisateurs sera meilleure une fois la connexion établie en raison des débits plus grands et d'un délai également plus faible).

Les mécanismes de réservation améliorent les performances ; en revanche, aucune des approches de réservation ne semble conduire à des performances qui soient meilleures dans tous les cas de figure.

Dans ce chapitre, nous avons commencé à faire apparaître la notion de différents types de trafic ; nous allons maintenant essayer de nous attaquer plus complètement à cette thématique en proposant tout d'abord des solutions de mise en correspondance entre les classes de service WiMAX et celles du DVB-RCS puis en essayant de mettre en place des fonctions d'admission de connexion plus complexes de façon à prendre en compte les différentes contraintes (et pas seulement le débit) dans l'admission ou le refus des nouvelles connexions ou des transferts entre systèmes.

CHAPITRE V – MISE EN CORRESPONDANCE DE LA QUALITE DE SERVICE DANS LES RESEAUX WIMAX ET DVB – S/RCS

1. Introduction

Ce chapitre a pour objectif de mettre en correspondance la qualité de service entre les réseaux WiMAX et DVB-RCS afin de mettre en œuvre leur interopérabilité. Nous présentons le mécanisme d'allocation de ressources utilisé dans chaque type de réseau. Nous listons d'ailleurs les classes de service en montrant les paramètres les décrivant. Puis, nous proposons une mise en correspondance des paramètres de la QoS entre ces réseaux [55] [56] [57] [58].

2. Catégories de demande de capacité DVB-RCS

Afin de manipuler un nombre élevé de terminaux satellites sur la voie de retour (RCSTs), la norme DVB-RCS spécifie un accès multiple à division temporelle et multifréquence (MF-TDMA) comme mode d'accès au système satellite [57]. Le centre de contrôle prend en charge l'allocation à chaque terminal actif, en attribuant un certain nombre de slots éventuellement sur plusieurs fréquences, un instant de départ et une durée. Le processus d'allocation des ressources repose sur cinq catégories de capacité : *Continuous Rate Assignment (CRA)* ; *Rate Based Dynamic Capacity (RBDC)* ; *Volume Based Dynamic Capacity (VBDC)* ; *Absolute Volume Based Dynamic Capacity (AVBDC)* ; *Free Capacity Assignment (FCA)*. Pour plus de clarté, nous ferons des analyses en faisant une analogie avec des classes de service ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) [59].

2.1. Continuous Rate Assignment (CRA)

La catégorie CRA est une capacité de débit (une quantité de time-slots fixée par supertrame [58]), qui sera donnée intégralement dans chaque supertrame (une supertrame est composée de trames (ensemble de slots) sur une fréquence porteuse donnée). Typiquement une supertrame correspond à une trame. Une supertrame est une portion de temps et fréquence sur la voie de retour [56]. Cette capacité sera négociée entre le terminal et le centre de contrôle pendant la procédure de logon et allouée pour toute la durée de la connexion [55]. CRA est utilisé pour le trafic qui exige un débit garanti fixe, avec un délai et une gigue minimaux (l'application doit fournir les paramètres de gigue maximale tolérée et de latence maximale). La catégorie CRA est également préférée pour le trafic à débit variable qui n'a même pas une tolérance de latence minimale d'ordonnancement MSL (*Minimum Scheduling Latency*) [56]. Un exemple d'une telle classe de trafic, pour un satellite GEO, pourrait être la classe : CBR (*Constant Bit Rate*) ou à la limite VBR-rt (*Variable Bit Rate - real time*) du réseau ATM.

2.2. Rate Based Dynamic Capacity (RBDC)

La catégorie RBDC est une capacité de débit qui est demandée dynamiquement par le terminal. La capacité RBDC sera fournie en réponse aux demandes énoncées par le terminal au centre de contrôle, de telles demandes étant absolues (c.-à-d. correspondant au débit demandé) [55]. Chaque demande effacera toutes les demandes précédentes de type

RBDC du même terminal, et sera soumise à une limite de débit maximum négociée directement entre le terminal et le centre de contrôle. Le trafic visé pour RBDC a un profil de débit variable pouvant tolérer la latence minimale d'ordonnancement (*MSL*), c.-à-d. le temps minimum du début de la trame dans laquelle une demande est envoyée, jusqu'à la trame dans laquelle l'allocation correspondante est effectuée. RBDC est utilisé pour le trafic qui tolère une gigue faible de quelques trames et qui n'exige pas un débit garanti fixe.

Une application typique de RBDC sur un satellite GEO [56], pourrait être la classe (*Available Bit Rate (ABR)*) et la classe (*VBR-nrt*) du réseau ATM. CRA et RBDC peuvent être combinés. Dans ce cas, CRA fournit une capacité minimum fixe par supertrame tandis que RBDC assure une variation dynamique des ressources disponibles au-delà de ce minimum. Dans la stratégie RBDC, une quantité de time-slots négociée pour une supertrame ne peut pas excéder un seuil maximum ($RBDC_{max}$) [58]. Bien qu'optionnelle, RBDC permet d'ajouter ponctuellement dans cas de figure de la capacité par rapport à CRA.

2.3. Volume Based Dynamic Capacity (VBDC)

La stratégie VBDC est une capacité de volume qui est demandée dynamiquement par le terminal [55]. La capacité VBDC sera fournie en réponse aux demandes explicites du terminal au centre de contrôle, de telles demandes étant cumulatives (c.-à-d. chaque demande s'ajoutera à toutes les demandes précédentes du même terminal). Le total cumulatif pour un terminal sera réduit de la quantité de cette catégorie de capacité allouée dans chaque supertrame. VBDC devrait être utilisé uniquement pour les trafics qui peuvent tolérer la gigue, tels que la classe UBR (*Unspecified Bit Rate*) du trafic ATM ou du trafic standard IP [56]. Par conséquent, les connexions VBDC n'ont pas de contraintes particulières en terme de QoS. Les stratégies VBDC et RBDC peuvent également être utilisées en combinaison pour le trafic ABR, la composante VBDC fournissant une prolongation de capacité de priorité faible au-dessus de la limite garantie dans la catégorie RBDC. La stratégie VBDC, dans laquelle une quantité de time-slots est négociée auprès du centre de contrôle, peut être partagée sur plusieurs supertrames [58]. Ces demandes sont cumulatives.

2.4. Absolute Volume Based Dynamic Capacity (AVBDC)

La stratégie AVBDC est une capacité de volume qui est demandée dynamiquement par le terminal [55]. Cette capacité sera fournie en réponse aux demandes explicites du terminal au centre de contrôle, de telles demandes étant absolues (c.-à-d. cette demande remplace les précédentes du même terminal). AVBDC ressemble à VBDC et devrait être utilisé à la place de VBDC quand le terminal sent qu'une demande VBDC pourrait être perdue [56]. Cela pourrait se produire quand des demandes sont envoyées sur des slots en contention ou quand les conditions du canal (*PER (Packet Error Rate)*, *Eb/N0 (Energy per bit to Noise power spectral density ratio)*, etc.) sont dégradées. Le trafic correspondant à AVBDC ressemble à celui de VBDC. La stratégie AVBDC est une quantité de time-slots négociée auprès du centre de contrôle et peut être partagée sur plusieurs supertrames [58]. Une nouvelle demande AVBDC annule la demande précédente.

2.5. Free Capacity Assignment (FCA)

La stratégie FCA est une capacité de volume allouée au terminal et obtenue à partir de la capacité inutilisée [55]. Cette allocation est automatique, car elle n'implique aucune signalisation du terminal vers le centre de contrôle. FCA ne devrait être mis en correspondance avec aucune catégorie de trafic puisque la disponibilité est fortement variable. La capacité allouée dans cette catégorie est prévue comme une capacité bonus qui peut être utilisée pour réduire le délai sur n'importe quel trafic qui peut tolérer la gigue. CRA et FCA peuvent également être regardés comme des mécanismes pour accorder dynamiquement de la capacité à un terminal sans demande effectuée à partir de ce terminal [56]. FCA représente les time-slots d'une supertrame non utilisés par les autres types de capacités qui sont distribués ou non entre les terminaux satellites [58].

Le Tableau 2 récapitule les catégories de demande de capacité et la classe de trafic ATM correspondant à chaque catégorie :

<i>Catégorie DVB-RCS</i>	CRA	RBDC	CRA et RBDC en combinaison	VBDC	VBDC et RBDC en combinaison	AVBDC	FCA
<i>Classe de trafic</i>	CBR et VBR-rt ATM	ABR ATM	VBR-rt ATM	UBR ATM	trafic ABR	semblable à VBDC	capacité bonus

Tableau 2 : Catégories de demande de capacité DVB-RCS et correspondance ATM

3. Stratégie de file d'attente dans le système satellite DVB-RCS

Un terminal gère tout le trafic arrivant de l'interface utilisateur [56] en utilisant des files d'attente séparées correspondant à des priorités différentes de transmission. Les stratégies de files d'attente peuvent être nombreuses. Communément, on peut mettre en place une file d'attente par classe de service pour chacune des priorités suivantes : trafic temps réel (pour CRA), débit variable (pour RBDC) et non contraint (pour VBDC/AVBDC). De plus, on peut éventuellement imaginer d'avoir une file par flux.

Nous décrivons maintenant le mécanisme de réservation utilisé dans DVB-RCS. La norme DVB-RCS offre un canal de retour dont les capacités peuvent varier au cours du temps [58]. Chaque terminal réclame dynamiquement des capacités de transmission au centre de contrôle qui les lui alloue selon les ressources disponibles et les besoins exprimés. En outre, si à un moment donné, on observe une accumulation de trafic à transmettre dans un terminal, il peut requérir plus de bande passante auprès du centre de contrôle. L'algorithme et le protocole utilisés s'appelle DAMA : *Demand Assigned Multiple Access*. Il y a cinq catégories de capacités présentes comme nous venons de le voir.

Pour que l'on puisse transporter les requêtes de capacité vers le centre de contrôle, deux types de signalisation sont proposés : une signalisation dans la bande et une signalisation hors-bande. Le premier type est fondé sur une méthode liée à un champ optionnel et s'appelle SAC (*Satellite Access Control*) et repose sur la méthode DULM

(*Data Unit Labelling Method*) qui permet au terminal de transmettre les informations de contrôle et/ou d'administration auprès du centre de contrôle dans des slots consacrés au trafic. La signalisation hors-bande est fondée sur la méthode de mini-slot avec ou sans contention qui correspond à l'allocation périodique au terminal ou à un groupe de terminaux de slots de plus courte durée que les slots de trafic. Cette allocation de bande passante à la demande est considérée comme une des plus robustes des systèmes satellites dans le cadre de QoS en répartissant toute la bande passante entre les terminaux selon leurs charges.

4. Qualité de service dans les réseaux WiMAX

La qualité de service dans le réseau WiMAX IEEE 802.16e est prise en charge 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 [59]. Le Tableau 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 3 : Classes de QoS IEEE 802.16e – 2005 [60] [61]

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.

Les services d'ordonnement représentent les mécanismes de traitement des données pris en charge par l'ordonnanceur pour l'envoi de données sur une connexion [59]. Chaque connexion est associée à un service simple de données. Chaque service de données est associé à un ensemble de paramètres de QoS qui mesurent son comportement. Ces paramètres sont contrôlés en utilisant des messages de dialogue. Nous fournissons dans la suite une courte description de chacun des services d'ordonnement proposés, y compris les paramètres obligatoires de QoS qui seront inclus dans la définition des flux de service.

4.1. Service UGS

La classe de service UGS prend en compte les flux de données en temps réel se composant des paquets de données de taille fixe envoyés à intervalles périodiques, tels que

le T1/E1 et la voix sur IP sans suppression de silence. Les paramètres obligatoires de QoS pour ce service d'ordonnancement sont (dans un réseau WiMAX fixe) [59] [62] :

- Le débit maximum de trafic soutenable : ce paramètre définit le débit maximal. Nous utilisons la dénomination utilisée dans la norme.
- La latence maximale : la valeur de ce paramètre spécifie la latence maximale entre la réception d'un paquet par la station de base ou le terminal sur son interface réseau et l'expédition du paquet à son interface RF.
- La gigue tolérée : ce paramètre définit la variation de délai (gigue) maximale pour la connexion.
- La politique de requête/transmission est utilisée pour l'allocation de ressources. La valeur de ce paramètre, présentant cette politique, fournit les possibilités de spécifier certains attributs pour le flux de service associé. Ces attributs incluent des options pour le format de PDU (*Protocol Data Unit*) et, pour le flux de service sur la liaison montante, des restrictions sur les types d'options de demande de bande passante qui peuvent être utilisées.
- De manière optionnelle, on peut spécifier le débit minimum réservé pour le flux de service. Dans cette classe de service, le débit minimum réservé pourrait être égal au débit maximum soutenable de trafic.

4.2. Service rtPS

La classe de service rtPS prend en charge les flux (streams) de données en temps réel se composant de paquets de données de taille variable qui sont émis périodiquement, tels que les flux MPEG [59]. Les paramètres obligatoires de QoS pour ce service d'ordonnancement sont : le débit minimum réservé, le débit maximum soutenable, la latence maximale, et la politique de requête/transmission.

4.3. Service ErtPS

La classe de service ErtPS est un mécanisme d'ordonnancement construit à mi-chemin entre UGS et rtPS [60]. La station de base fournit des droits à émettre *unicast* d'une façon non sollicitée comme dans UGS ; cela permet de garantir la latence d'une demande de bande passante. Tandis que les attributions UGS sont de taille fixe, les attributions ErtPS sont dynamiques. La station de base fournit des allocations périodiques sur le lien montant afin de demander de la bande passante et des transferts de données. Le service ErtPS prend en charge les flux de service qui utilisent une taille variable de données sur une base périodique comme dans le cas de VoIP avec suppression de silence (avec détection d'activité [62]). Au contraire, le service UGS prend en charge VoIP sans suppression de silence. Les paramètres de QoS de cette classe sont : le débit minimum réservé, le débit maximum soutenable, la latence maximale, la gigue tolérée et la politique de requête/transmission.

4.4. Service nrtPS

La classe de service nrtPS est conçue pour prendre en charge les flux de données tolérants au délai se composant de paquets de taille variable pour lesquels un débit minimum est préférable, comme FTP (*File Transfer Protocol*) [59]. Les paramètres de QoS de cette classe de service sont : le débit minimum réservé, le débit maximum soutenable, et

la priorité du trafic. La valeur de ce paramètre spécifie la priorité allouée au flux de service. Etant donné deux flux de service identiques quant à leurs paramètres de QoS sauf la priorité, le service à priorité la plus élevée devrait subir un délai plus faible et une préférence plus élevée au niveau du buffer.

4.5. Service Best Effort (BE)

La classe de service BE est utilisée pour prendre en charge les flux de données pour lesquels aucun niveau de qualité de service n'est exigé [59]. Les paramètres obligatoires de QoS de ces flux de service sont : le débit maximum soutenable, la priorité du trafic, et la politique de requête/transmission. Pour résumer, certains types d'applications [63], qui peuvent être utilisés dans un réseau WiMAX, sont présentés dans le Tableau 4.

Applications	Classes de service WiMAX				
	UGS	ErtPS	rtPS	nrtPS	BE
IP Traffic		ok		?	ok
Compressed Video		?	ok	?	
Multimedia	ok	?	ok	?	
Circuit Emulation	ok		?		
real-time audio/video	ok				
Variable rate VoIP		ok			
Video on demand (streaming), Large data files			ok		
Web access, emails, http					ok
FTP with guaranteed minimum throughput				ok	

Tableau 4 : Différentes applications potentielles [63]

5. Mise en correspondance WiMAX et DVB-RCS

Nous essayons ici de réaliser la mise en correspondance des trafics et des paramètres de QoS entre les réseaux WiMAX et les réseaux DVB-RCS. Nous voulons permettre au trafic de passer d'un réseau à l'autre en garantissant une QoS qui convienne à l'application. Le Tableau 5 montre cette mise en correspondance des paramètres. En fait, dans la littérature [57], les auteurs ont proposé trois catégories de service génériques de système DVB-RCS : *CBA*, *DBA* et *BEA* (*Constant Bandwidth Allocation*, *Dynamic Bandwidth Allocation* et *Best Effort Allocation*). Cependant, nous reprenons les catégories de système DVB-RCS spécifiées dans la norme (CRA, RBDC et VBDC) de sorte que nous mettons en correspondance ces trois catégories avec les cinq classes de service dans WiMAX. Trois classes de réseau WiMAX seront mises en correspondance avec une seule classe WiMAX. Dans un premier temps, la mise en correspondance est effectuée dans le sens DVB-RCS → WiMAX. La Figure 73 montre le schéma de la mise en correspondance dans un cadre d'interconnexion de réseaux WiMAX/DVB-RCS.

5.1. DVB-S/RCS → WiMAX

Dans ce cas, nous avons trois catégories DVB-RCS et on est en charge de mettre en correspondance les paramètres de QoS définissant chaque catégorie DVB-RCS avec la classe équivalente dans WiMAX.

1. **CRA** est une allocation de bande passante constante, qui est considérée comme une stratégie de réservation lorsqu'un utilisateur DVB-RCS veut rejoindre le réseau. CRA doit être mis en correspondance avec la classe UGS dans le réseau WiMAX. Les paramètres de la classe CRA sont les suivants :
 - Le débit maximal (*Peak Data Rate* (PDR)) qui est égal au taux fixe garanti dans la catégorie CRA. Ce paramètre est mis en correspondance avec le débit maximum soutenable (max STR) dans le réseau WiMAX.
 - La tolérance de gigue minimale peut être mise en correspondance avec la tolérance de gigue dans le réseau WiMAX. Notons que dans WiMAX, il est fait référence à une gigue minimale alors que dans DVB-RCS, on parle de tolérance minimale de gigue. Il s'agit bien de la même notion : on veut une gigue faible pour laquelle on donne la valeur maximale. Les paramètres spécifiés dans le standard DVB-RCS font en fait référence au délai maximum, à la latence minimale et à la gigue maximale mais par la suite nous continuerons à utiliser les mêmes dénominations que dans la norme.
 - Le délai minimum : nous pouvons mettre en correspondance ce paramètre avec la latence maximale dans le réseau WiMAX. Il y a de nouveau une légère ambiguïté dans le standard DVB-RCS. On veut que pour ce trafic le délai soit minimal, on en donne la valeur maximale. Nous tenons à noter ici que le terminal satellite, qui veut transférer son trafic vers le réseau WiMAX, n'est pas obligé de faire attention au délai proposé par WiMAX. En effet, les applications qui acceptent le délai de réseau DVB-RCS, acceptent forcément le délai dans le réseau WiMAX qui est comparativement beaucoup plus faible.

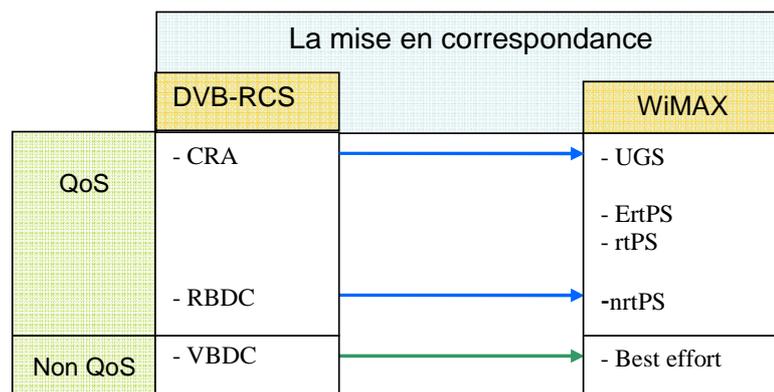


Figure 73 : Schéma de la mise en correspondance DVB-RCS → WiMAX

2. **RBDC** est une allocation dynamique de bande passante non temps réel. Cette catégorie est équivalente à la classe nrtPS dans le réseau WiMAX. Les paramètres de cette catégorie de service sont :

- Le PDR (*Peak Data Rate*) qui correspond au débit maximal (max STR) de la classe nrtPS.
 - Le débit minimum qui correspond au débit minimum du trafic dans le WiMAX.
3. **VBDC (AVBDC)** : c'est une allocation best effort. Cette catégorie a seulement un paramètre, PDR (*Peak Data Rate*) qui est mis en correspondance avec le débit maximal dans WiMAX (pour plus de détails, voir Tableau 5).

Classes de service WiMAX	WiMAX → DVB-S/RCS	Classes de service DVB-RCS	DVB-S/RCS → WiMAX
UGS	CRA	CRA	UGS
- Maxi Sustained Traffic Rate (max STR) - Tolerated Jitter - Maximum Latency	- PDR = maxi STR - Mini tolerated jitter = tolerated jitter - Mini delay = maxi latency.	- PDR - Mini tolerated jitter - Mini delay.	- Maxi STR = PDR - Tolerated Jitter = mini tolerated jitter - Maxi Latency = mini delay
ErtPS	CRA		
- Maxi Sustained Traffic Rate - Mini Reserved Traffic Rate - Maxi Latency - Tolerated Jitter	- PDR = maxi STR - Mini tolerated jitter = tolerated jitter - Mini delay = maxi latency.		
rtPS	CRA		
- Maximum Sustained Traffic Rate - Mini Reserved Traffic Rate - Maxi Latency	- PDR = maxi STR - Mini delay = maxi latency.		
nrtPS	RBDC	RBDC	
- Maxi Sustained Traffic Rate (STR) - Mini Reserved Traffic Rate (RTR)	- PDR = Maxi STR - Mini rate = mini RTR	- PDR - Mini rate	- Maxi STR = PDR - Mini RTR = mini rate
BE	BE	VBDC (AVBDC)	BE
- Maxi Sustained Traffic Rate	- PDR = Maxi STR	- PDR	- Maxi STR=PDR

Tableau 5 : Mise en correspondance des paramètres de QoS dans un contexte WiMAX/DVB-RCS

5.2. WiMAX → DVB-S/RCS

Nous expliquons maintenant la mise en correspondance dans le sens WiMAX → DVB-RCS (voir Figure 74).

1. **UGS** : cette classe est mise en correspondance avec la catégorie CRA dans DVB-RCS. Les paramètres décrivant la classe UGS sont :
 - Le débit maximal qui est mis en correspondance avec le PDR de CRA.
 - La gigue tolérée est mise en correspondance avec la gigue tolérée de CRA.
 - La latence maximale est équivalente au délai minimal de CRA.

Attention, ici, les contraintes de délai ne sont pas vraiment du même ordre de grandeur dans le système satellite (où le délai de propagation est incompressible et égal à 240 ms). Cela dit, des expérimentations ont montré que les transferts de voix ou de vidéos sont possibles dans le cas d'un système DVB-S/RCS. Dans la suite de la mise en correspondance et dans le chapitre d'évaluation de performances qui suit, on supposera que les applications contraintes temporellement pourront s'accommoder de ce délai du satellite. En revanche, notons que la classe CRA conduit à une gigue extrêmement faible dans la mesure où l'allocation des slots pour ce type de trafic est constante.

2. **ErtPS** : Cette classe pourrait être mise en correspondance avec la catégorie CRA dans DVB-RCS. Les paramètres qui caractérisent la classe ErtPS sont les suivants :
 - Le débit maximal, ce débit est mis en correspondance avec PDR déterminé par la catégorie CRA.
 - Le débit minimal qui n'a pas un paramètre de qualité de service équivalent dans la catégorie CRA.
 - La latence maximale de classe ErtPS est mise en correspondance avec le délai minimal, qui est terminé par la catégorie CRA.
 - La gigue tolérée correspond à la gigue tolérée gérée par la stratégie CRA. On pourrait dire que la classe ErtPS pourrait mettre en correspondance avec la catégorie CRA. En revanche, le débit qui sera alloué sera constant et égal au débit maximal.

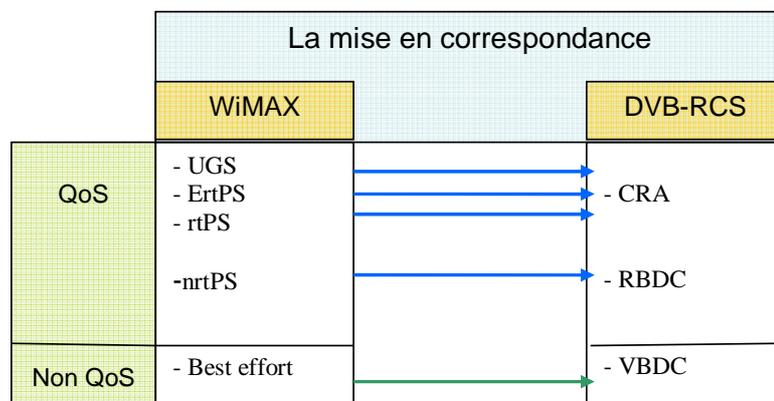


Figure 74 : Schéma de la mise en correspondance WiMAX → DVB-RCS

3. **rtPS** : Cette classe est aussi mise en correspondance avec la catégorie CRA. Les paramètres décrivant la classe rtPS sont les mêmes que pour la classe ErtPS mais la gigue tolérée n'est pas prise en compte pour rtPS. On a donc la même mise en correspondance que pour la classe ErtPS.
4. **nrtPS** : cette classe de service est mise en correspondance avec la catégorie RBDC dans DVB-RCS. La classe nrtPS est caractérisée par les paramètres suivants :
 - Le débit maximal correspond au débit PDR de la catégorie RBDC.

- Le débit minimal est mis en correspondance avec le débit minimal de la catégorie RBDC dans DVB-RCS.
5. **Best Effort** : La classe best effort dans le réseau WiMAX correspond à la catégorie VBDC ou AVBDC dans le système DVB-RCS. La classe nrtPS dans WiMAX a un seul paramètre : le débit maximal qui correspond au débit PDR dans le système DVB-RCS.

Quelques applications qui pourraient être envisageables dans le système satellite DVB-RCS sont montrées dans le Tableau 6 [57].

Applications	Catégories DVB-RCS		
	CRA	RBDC	VBDC
Videoconferencing, Telephony, Television, Distance Learning	ok		
Video on Demand, Airline Reservations, Banking Transactions, Store & Forward		ok	
Email, Web Browsing, FTP			ok

Tableau 6 : Applications envisageables dans DVB-RCS [57]

6. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons tenté de mettre en correspondance les trafics et les paramètres de QoS des réseaux WiMAX et DVB-RCS. Nous avons listé les différentes classes de service dans chaque réseau avec les paramètres de QoS qui contrôlent chacune d'entre elles. Nous avons montré les différentes stratégies de capacité utilisées dans le réseau DVB-RCS. La stratégie CRA permet au terminal de réserver un débit fixe et garanti, alors que les stratégies RBDC et VBDC permettent de prendre en compte la demande variable du terminal et la stratégie FCA est un bonus utilisé si nécessaire. Une proposition de mise en correspondance des paramètres de QoS entre ces deux réseaux a été faite. Dans le chapitre suivant, nous allons poursuivre l'étude du contexte multi-service en proposant un mécanisme d'acceptation de connexion CAC (*Call Admission Control*) dans le réseau WiMAX et le réseau DVB-RCS ainsi que dans un cadre de l'interopérabilité WiMAX/DVB-RCS.

CHAPITRE VI – CONTROLE D'ADMISSION DE CONNEXION

1. Introduction

Dans ce dernier chapitre, nous allons nous intéresser à la procédure de contrôle d'admission de connexion CAC (*Call/Connection Admission Control*) multiservice dans le réseau WiMAX, dans le système satellite DVB-RCS et dans l'interconnexion de réseaux WiMAX/DVB-RCS. Des mécanismes sont proposés qui sont modélisés puis évalués.

2. Contrôle d'admission de connexion dans les réseaux WiMAX et DVB-RCS

2.1. Cas du réseau WiMAX

Contrairement aux solutions classiques du monde IEEE, la solution WiMAX repose sur un mode connecté comme nous l'avons vu dans les chapitres précédents. Il est donc nécessaire de mettre en œuvre une fonction d'admission de connexion qui prenne en compte l'aspect multiservice. D'abord, la fonction CAC dans ce contexte constitue une étape essentielle pour garantir de la qualité de service dans la mesure où elle peut gérer la capacité disponible de système et par conséquent vérifier les conditions de qualité de service.

L'aspect multiservice et les contraintes hétérogènes en terme de qualité de service compliquent l'opération. Les thématiques de recherche concernant le mécanisme CAC dans les réseaux WiMAX portent sur :

- l'amélioration de la performance de système étudié et donc l'augmentation de l'utilisation des ressources ;
- l'étude mathématique de ces fonctions ;
- la mise en œuvre d'une architecture à qualité de service tenant compte du mécanisme CAC.

Les auteurs dans [64] proposent un schéma d'allocation adaptif de puissance APA (*Adaptive Power Allocation*) et un contrôle d'admission de connexion CAC multiservice fondé sur OFDMA-TDD (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access/Time Division Duplex*) dans un réseau WiMAX. Les auteurs proposent un gestionnaire de CAC placé dans la station de base WiMAX. Ce gestionnaire peut déterminer la bande passante des liens montants/descendants pour chaque utilisateur connecté à la station de base. Lorsqu'un utilisateur établit une connexion, il envoie la demande de connexion au gestionnaire de CAC avec ses besoins de la bande passante *upstream* et *downstream*. Puis, le gestionnaire effectue le contrôle d'admission de connexion sur les deux liens (montant et descendant). Différentes stratégies sont imposées aux classes à qualité de service garantie (UGS, rtPS, et nrtPS) et à la classe de service best effort. Ainsi, la bande passante de l'utilisateur est divisée en deux parties indépendantes, la première concerne les ressources en bande passante allouées à la classe de service à qualité de service garantie et l'autre concerne les ressources en bande passante allouées à la classe de service best effort. Cependant, il n'y a pas de conditions spécifiques à chaque classe de trafic afin de vérifier les paramètres de qualité de service spécifiés dans la norme. Pour améliorer les performances de système

proposé, une gestion de ressources *cross-layer* est prise en compte.

Afin d'augmenter l'efficacité de l'utilisation des ressources limitées du réseau WiMAX, les auteurs dans [65] proposent un *polling* hiérarchique adaptatif avec un mécanisme de CAC. L'intérêt est d'améliorer l'accès au canal, la réduction du délai de vote et l'augmentation du revenu du réseau en réduisant au minimum la perte partielle de revenu (*Fractional Reward Loss* (FRL)). Ce paramètre représente la probabilité pondérée de blocage des appels. A chaque appel correspond un poids fonction de son revenu. Une fois que le facteur FRL est minimisé, le revenu du réseau est maximisé. Comme on le voit, les contraintes de qualité de service ne sont pas vraiment appréhendées avec cette technique. Le problème traité est un peu le problème dual de celui auquel on s'intéresse. Il s'agit essentiellement d'optimiser le gain engendré par l'acceptation d'appel plutôt que la QoS utilisateur ou l'utilisation du support.

Wang et al. [66], ont fait un premier pas pour mettre en place un modèle analytique de CAC afin d'améliorer la qualité de service dans le réseau WiMAX. Les auteurs présentent un schéma de CAC fondé sur le principe de priorité en fournissant une priorité élevée au trafic UGS et maximisant ainsi l'utilisation de bande passante. Des demandes non UGS sont acceptées seulement si la bande passante est disponible. Cho et al. dans [67] proposent une architecture de qualité de service dans un réseau WiMAX de niveau MAC. L'architecture est fondée sur des modèles analytiques afin d'améliorer l'allocation de ressources et la bande passante sur le lien montant. Les auteurs dans [68] proposent un algorithme de division adaptative de trame pour les flux de données et de voix mais ils supposent un seul type de flux par utilisateur. La politique de CAC proposée dans [69] suit un critère simple : une connexion est acceptée s'il y a une bande passante suffisante disponible. La seule ségrégation proposée se situe entre la classe best effort et le reste des classes de trafic. Les auteurs proposent d'ailleurs une file d'attente prioritaire FEPQ (*Deficit Fair Priority Queue* (DFPQ)) afin de s'assurer que le trafic best effort soit servi. Une approche de CAC dynamique, pour garantir la qualité de service au niveau paquet, tout en ayant des contraintes sur la qualité de service au niveau de connexion, a été proposée dans [70] mais les auteurs n'ont pas fait la différenciation entre trafics lorsqu'on applique le mécanisme CAC.

Dans notre travail, nous voulons proposer un CAC qui soit capable de contrôler chaque classe de service par des conditions générales qui peuvent être adaptées et choisies selon les besoins d'utilisateur et l'application. Dans ce cas, chaque classe de service a potentiellement des conditions indépendantes des conditions des autres classes.

2.2. Cas du système satellite DVB-RCS

Nous présentons ici les travaux de recherche concernant le CAC dans le système satellite DVB-RCS. Ces travaux visent les points suivants :

- Gestion de trafic dans un système ATM/satellite ;
- Proposition d'un mécanisme CAC afin de garantir la qualité de service des trafics *stream* (MPEG) ;
- Mise en œuvre d'un schéma de CAC avec architecture multicouche (terrestre - satellite).

Les auteurs dans [71] mettent en œuvre une stratégie de gestion du trafic dans un système d'interconnexion ATM - satellite. Cette stratégie est fondée sur un schéma de CAC qui exploite le multiplexage statistique des sources de trafic et sur une gestion de ressources dynamiques. La performance des algorithmes proposés a été comparée avec un système de référence qui n'exploite pas le multiplexage statistique. La stratégie exploite bien la bande passante du satellite avec qualité de service des sources de type VBR temps réel et non temps réel. L'acceptation d'appel est fondée sur le concept de la probabilité de demande en excès (*Excess Demand Probability* (EDP)). Chaque appel est décrit par un modèle Markovien On/Off à deux états. Ce travail est adopté et développé dans un cas de réseau DVB-RCS dans [72] [73] [74].

Dans [72] [73], les auteurs considèrent un algorithme de contrôle d'admission de connexion capable de contrôler les sources de trafic multimédia. L'algorithme CAC est implanté dans une architecture de système satellite géostationnaire DVB-RCS avec une charge utile régénérative. Dans ce travail, les auteurs tiennent compte de trois classes de service différentes (CRA, RBDC et VBDC). Les connexions VBDC n'ont pas de contraintes particulières en terme de qualité de service. La procédure CAC est implantée dans le centre de contrôle afin de garantir la qualité de service des classes CRA et RBDC. Les auteurs prennent en compte les flux (MPEG) et ils les modélisent par le débit moyen et son écart-type. Dans [74], les auteurs proposent une stratégie optimale de contrôle d'admission afin de garantir la qualité de service conforme pour des connexions de trafic multimédia par une architecture : *Satellite- HAP (High-Altitude Platforms)-Terrestre*. Les auteurs utilisent un système multicouche composé de couches terrestres, HAP et GEO. D'ailleurs, ils proposent deux approches (centralisée et distribuée). Ils ont également adopté les mêmes paramètres et la même application (MPEG) que dans [72] et [73].

Un autre mécanisme CAC semblable est présenté dans [75]. Les auteurs proposent un algorithme de CAC fondé sur la bande passante discrète du taux de GOP (*Group of Picture*) appelé SMDB (*Standard Mechanism based on the Discrete Bandwidth*). La solution proposée est comparée avec un mécanisme standard fondé sur une distribution normale du taux de GOP appelé SMND (*Standard Mechanism based on the Normal distribution*) proposé dans [73]. Il est montré que SMDB améliore SMND lorsque l'écart-type est élevé et dans le cas d'une forte charge de trafic dans le système.

2.3. Conclusion

Dans tous les travaux précédents, les auteurs utilisent des hypothèses simples concernant les différentes classes de trafic, ou bien ces hypothèses ne prennent pas en compte toutes les classes de trafic définies dans la norme IEEE 802.16 ou dans la norme DVB-RCS. De plus, concernant le système satellite DVB-RCS, les auteurs se concentrent sur les flux MPEG comme seule application. Dans un contexte d'accès Internet, ce seul type de flux n'est pas représentatif (ces flux sont plus majoritairement présents sur la voie aller). En revanche, nous visons à proposer des critères et des conditions pour contrôler les paramètres de qualité de service pour chaque classe de trafic de manière indépendante. Autrement dit, nous voulons proposer un mécanisme CAC général qui a des paramètres indépendants de l'application. Par conséquent, ces conditions peuvent être utilisées pour plusieurs applications. Le dernier motif est que nous devons identifier les classes de service

afin de mettre en correspondance les paramètres de qualité de service des réseaux WiMAX et DVB-RCS. Pour ce faire, nous revenons aux travaux présentés dans [75] et [76] pour un réseau WiMAX afin de les développer dans le cadre à une interconnexion WiMAX/DVB-RCS. En outre, le travail dans [76] propose un mécanisme CAC multi-classe qui tient compte précisément des profils du trafic UGS, rtPS et nrtPS.

On joue en gros sur le multiplexage statistique des flux qui n'émettent pas en permanence au débit maximal. Cela correspond probablement à la notion de bande passante équivalente à ATM.

3. Scénarios proposés

Nous supposons que les utilisateurs sont fixes et donc nous ne prenons plus en compte la mobilité dans nos modèles. Cela correspond à des terminaux collectifs par exemple qui auront une double interface WiMAX, DVB-RCS. Cela signifie qu'il n'y a plus de handovers horizontaux dans le réseau WiMAX (dans le réseau satellite il y a une seule cellule satellite). Par ailleurs, afin de transférer les utilisateurs (nouveaux appels (handovers montants) et handovers descendants) d'un réseau vers l'autre, nous pouvons envisager plusieurs scénarios.

3.1. Mise au point du mécanisme dans le cadre WiMAX – DVB-RCS

3.1.1. Handovers

Plusieurs solutions sont à notre disposition si l'on veut procéder à des transferts de connexions entre les systèmes même si les clients sont fixes.

Dans le cadre d'une interconnexion entre un réseau WiMAX et un système DVB-RCS, on peut envisager de déplacer un client d'un système à un autre pour des raisons liées à la qualité du support ; si les conditions se détériorent rapidement, on peut envisager de procéder à un changement de système. Nous ne retiendrons pas cette hypothèse dans le cadre de ce chapitre même si les fonctions CAC que nous avons définies sont parfaitement applicables dans ce cas de figure.

La seconde motivation est liée au contexte des deux réseaux. Dans la mesure du possible, il est toujours préférable de proposer à un terminal qui peut se raccorder aux deux réseaux d'envoyer ses connexions sur le réseau WiMAX qui offre un débit agrégé plus important et qui conduit à des délais beaucoup plus faibles. On aura donc la tentation de charger préférentiellement le réseau WiMAX et s'il n'y a plus de place dans le réseau WiMAX, on enverra les demandes de connexions au système DVB-RCS.

De la même façon dès que de la place se libèrera dans le réseau WiMAX, on tentera de réaliser des handovers descendants pour utiliser les ressources libérées.

Notons que l'on pourrait raffiner cette technique en distinguant parmi les connexions, celles qui doivent passer impérativement par le réseau WiMAX (en raison du délai par exemple) et celles qui peuvent se contenter du système DVB-RCS.

Notons encore, que cette procédure est heuristique, on pourrait poser le problème en terme d'équilibrage de charge, comment remplir au mieux le système pour pouvoir trouver un maximum de place disponible quand une nouvelle connexion se présente.

3.1.2. Partage des ressources

Plusieurs stratégies sont envisageables pour partager les ressources dans chacun des systèmes et de la même façon, plusieurs techniques sont envisageables lorsque l'on désire procéder au remplacement d'une connexion qui se termine par une ou plusieurs connexions provenant de l'autre système. Notons que nous n'avons choisi que ces instants de fin de connexion pour procéder à des déplacements forcés de connexion ; le faire lors d'une demande de connexion pourrait se révéler rédhibitoire en terme de temps de calcul et de transfert réel avant de pouvoir effectivement attribuer les ressources à la nouvelle connexion entrante.

Les stratégies de partage des ressources, que l'on peut envisager, peuvent être choisies parmi les stratégies classiques [77] :

- Partitionnement complet : des ressources sont attribuées à chaque classe de trafic et la fonction d'admission de connexion est mise en œuvre indépendamment sur chacune des classes en se préoccupant uniquement des ressources disponibles de la classe considérée ;
- Partage complet : les ressources sont complètement partagées entre tous les types de connexion ;
- Trunk reservation : des ressources minimales sont réservées par type de trafic, le reste est mis en commun ;
- Politique de seuils ...

La politique de partage complet est connue pour être la technique qui permet d'optimiser l'utilisation du support mais elle ne permet pas de se prémunir contre une sur-utilisation par une classe de trafic.

La politique de partitionnement complet est la plus juste mais elle conduit aux performances les moins intéressantes du point de vue de l'utilisation des ressources.

La politique de *trunk reservation* est sans doute un des meilleurs compromis en terme de performance.

En revanche, toutes les politiques, sauf la politique de partage complet, ont besoin d'un paramétrage qui nécessite en tant que tel une optimisation.

Par conséquent, pour des soucis de simplicité, nous nous sommes restreints à la politique de partage complet des ressources (qui conduit tout de même à des performances raisonnables).

3.1.3. Remplacement des connexions

La dernière question que l'on doit s'est posée est celle du choix du remplacement d'une connexion qui se termine par une ou plusieurs autres connexions. Nous proposons les trois solutions suivantes :

- Mise en correspondance stricte : quand une connexion WiMAX se termine, on ne peut la remplacer que par une connexion DVB-RCS équivalente (au sens énoncé au chapitre 5) ;
- Mise en correspondance limitée : quand une connexion WiMAX se termine, on peut la remplacer par une ou plusieurs connexions DVB-RCS jusqu'à concurrence des ressources libérées. Le choix peut encore donner lieu à de nombreuses solutions ; on pourra prendre les connexions par débit maximal décroissant ;

- Mise en correspondance large : quand une connexion WiMAX se termine, on peut la remplacer par une ou plusieurs connexions de n'importe quel type. Le choix est cette fois-ci encore plus large. On pense qu'il serait préférable de procéder par ordre de priorité temporelle décroissante, en commençant par les connexions UGS, ErtPS, rtPS, nrtPS, BE.

4. CAC proposé

Nous proposons une procédure centralisée du contrôle d'admission de connexion (CAC) implanté dans le centre de contrôle de réseau (NCC) et/ou dans la gateway du système DVB-RCS (ces équipements sont généralement co-localisés) ou dans la station de base du réseau WiMAX. Le but est d'assurer la qualité de service de différents types de classes de service. Les classes best effort et VBDC n'interviennent pas dans la qualité de service. Nous n'en tiendrons pas compte dans ce qui suit. Nous nous proposons d'étendre les résultats présentés dans [75] et [76]. Dans notre étude, nous ne considérons qu'un type de trafic par classe ; on confondra par la suite les paramètres de classes et les paramètres de trafic.

Nous définissons d'abord les terminologies suivantes :

- f : la durée de supertrame/trame dans le réseau satellite/WiMAX respectivement.
- d_i : le délai maximum pour la connexion i . Pour une connexion donnée, les paramètres f et d_i sont donnés. On note alors $m_i = d_i/f$ le nombre de supertrames/trames correspondant à ce délai et m le minimum des m_i pour une classe donnée. Cette notion n'a d'intérêt que pour certains trafics WiMAX. Pour DVB-RCS, nous n'avons que deux classes de service de qualité : CRA et RBDC. CRA a deux paramètres sur le débit et sur le délai. Ce délai est constant car les allocations sont fixes (à la granularité des emplacements des slots attribués dans une trame), tandis que pour RBDC le délai n'est pas une contrainte.
- $C_{uplink}/C_{forward}$: la capacité totale du lien montant WiMAX et de la voie de retour DVB-RCS respectivement.
- C_{UGS}, C_{CRA} : la capacité attribuée aux connexions UGS/CRA.
- C_{ErtPS} : la capacité attribuée aux connexions ErtPS.
- C_{rtPS} : la capacité attribuée aux connexions rtPS.
- C_{nrtPS}, C_{RBDC} : la capacité attribuée aux connexions nrtPS/RBDC.

Les connexions à débit variable sont caractérisées par des paramètres du leaky bucket [75] [76].

- $r_{i,j}$: le débit du leaky bucket (débit moyen équivalent au débit soutenable du trafic) de la connexion i de type j .
- b_i : la taille du leaky bucket de la connexion i .
- $c_{i,j}$: le débit de la connexion i de type j .

Dans [76], on propose de faire varier les tailles des leaky buckets. Pour notre étude, nous avons choisi des tailles proportionnelles au débit soutenu.

Le débit du leaky bucket de la connexion ErtPS est égal au débit de cette connexion ($r_{i,ErtPS} = 200$ kbit/s). De même, dans le cas de connexion rtPS ($r_{i,rtPS} = 390$ kbit/s).

En général, l'admission ou le rejet d'une nouvelle connexion est conditionnée par la disponibilité de bande passante et par le respect de la condition du délai maximum pour différentes connexions. La politique de contrôle d'admission pour une nouvelle connexion est donnée par les conditions suivantes :

- *La condition de disponibilité des ressources* : pour accepter un nouvel appel, il faut que le débit résiduel de lien visé C_r soit supérieur au débit demandé $c_{i,j}$ d'une connexion i : $C_r \geq c_{i,j}$
- *Les conditions de délai* : le contrôleur veillera à ce que l'acceptation de la nouvelle connexion ne doive pas gêner les autres connexions.

Nous allons maintenant présenter les conditions pour chaque connexion i :

- **Connexion nrtPS** : Pour les connexions non temps réel, le seul paramètre à vérifier est celui du débit soutenu ; il n'y a pas de contrainte sur le délai. Il suffit donc que la capacité résiduelle soit suffisante :

$$c_{i,nrtPS} \leq C_{uplink} - C_{UGS} - C_{ErtPS} - C_{rtPS} - C_{nrtPS} \quad (1)$$

En revanche, pour les autres types des connexions, il y aura toujours des conditions sur le débit et sur le délai.

- **Connexion UGS** : Nous posons deux conditions sur le trafic UGS, la première sur le débit et la deuxième sur le délai :

$$c_{i,UGS} \leq C_{uplink} - C_{UGS} - C_{ErtPS} - C_{rtPS} - C_{nrtPS} \quad (2)$$

$$\frac{\sum_k (b_{k,ErtPS} + f \cdot r_{k,ErtPS}) + \sum_k (b_{k,rtPS} + f \cdot r_{k,rtPS}) + \sum_k (f \cdot c_{k,UGS}) + f \cdot c_{i,UGS}}{C_{uplink}} \leq f \cdot m \quad (3)$$

Concernant le débit, la contrainte est la même que précédemment ; il faut que le débit résiduel soit suffisant. Concernant le délai, on va s'assurer que le trafic maximal contraint pour le temps (UGS, rtPS et ErtPS), y compris celui de la connexion que l'on ajoute, pourra s'écouler pendant une durée égale à m trames. Pour le trafic UGS, le débit est constant ; pour le trafic rtPS et ertPS, on se sert des paramètres de leaky bucket en se plaçant dans le pire cas.

Concernant les trafics rtPS et ErtPS, les conditions sont identiques : on vérifie que le débit soutenu que l'on ajoute est acceptable puis que le délai dans le pire cas respecte les contraintes. Le pire cas est obtenu en prenant en compte de nouveau les paramètres du leaky bucket.

- **Connexion ErtPS :**

$$c_{i,ErtPS} \leq C_{uplink} - C_{UGS} - C_{ErtPS} - C_{rtPS} - C_{nrtPS} \quad (4)$$

$$\frac{b_{i,ErtPS} + f \cdot r_{i,ErtPS} + \sum_k (b_{k,ErtPS} + f \cdot r_{k,ErtPS}) + \sum_k (b_{k,rtPS} + f \cdot r_{k,rtPS}) + \sum_k (f \cdot c_{k,UGS})}{C_{uplink}} \leq f \cdot m \quad (5)$$

- **Connexion rtPS :**

$$c_{i,rtPS} \leq C_{uplink} - C_{UGS} - C_{ErtPS} - C_{rtPS} - C_{nrtPS} \quad (6)$$

$$\frac{b_{i,rtPS} + f \cdot r_{i,rtPS} + \sum_k (b_{k,rtPS} + f \cdot r_{k,rtPS}) + \sum_k (b_{k,ErtPS} + f \cdot r_{k,ErtPS}) + \sum_k (f \cdot c_{k,UGS})}{C_{uplink}} \leq f \cdot m \quad (7)$$

Les conditions des connexions de réseau satellite DVB-S/RCS ne font référence qu'au débit, on les exprime de la façon suivante :

- **Connexion CRA :**

$$c_{i,CRA} \leq C_{forward} - C_{CRA} - C_{RBDC} \quad (8)$$

- **Connexion RBDC :**

$$c_{i,RBDC} \leq C_{forward} - C_{CRA} - C_{RBDC} \quad (9)$$

5. Evaluation de performance

Nous avons mis en place des simulations à événements discrets (QNAP2) pour évaluer nos propositions. Comme précédemment, les interarrivées de nouvelles connexions (les nouveaux appels) suivent une loi exponentielle et la durée de connexion est exponentiellement distribuée. Comme nous l'avons indiqué dans le paragraphe précédent, nous ne considérons qu'un type de trafic par classe.

Nous avons choisi des débits de trafic ErtPS (voix avec suppression de silence) plus faibles que pour rtPS (vidéo). Le Tableau 7 et Tableau 8 représentent les paramètres du modèle de simulation ([72] [74] [76] [78] [79]). La tolérance de délai de tout le trafic ErtPS est identique ; il en est de même pour rtPS. Dans [76], la tolérance de délai avait été prise aléatoirement entre m_{\min} et m_{\max} . Nous supposons que la durée de la trame est 1ms dans le réseau WiMAX.

Paramètres WiMAX	Valeurs	Paramètres DVB-RCS	Valeurs
Capacité de lien montant C_{uplink}	20.8 Mbit/s	Capacité de voie de retour $C_{forward}$	2 Mbit/s
Débit de leaky bucket r_{ErtPS}	200 kbit/s		
Débit de leaky bucket r_{rtPS}	390 kbit/s		
f (durée de trame)	1 ms		
Nombre des trames m_{rtPS}	30 trames		
Nombre des trames m_{ErtPS}	40 trames		
Durée de connexion	200 s	Durée de connexion	200 s
Taille de leaky bucket de ErtPS (kbit)	$0.2597 * b$		
Taille de leaky bucket de rtPS (kbit)	$0.5064 * b$		
Nombre de cellules WiMAX	3 cellules	Nombre de spots satellite	1

Tableau 7 : Paramètres de modèle de simulation

Le débit de chaque connexion est montré dans le Tableau 8 (comme toutes les connexions d'une classe donnée ont les mêmes caractéristiques, on omet l'indice du numéro de la connexion) :

Débits des connexions WiMAX (kbit/s)				Débits des connexions DVB-RCS (kbit/s)	
c_{UGS}	c_{ErtPS}	c_{rtPS}	c_{nrtps}	c_{CRA}	c_{RBDC}
80	200	390	160	64	128

Tableau 8 : Débits des différentes classes de service dans les deux réseaux

Nous avons décidé un peu arbitrairement que les débits d'arrivées des différents types de connexions étaient identiques : $\lambda_{UGS} = \lambda_{ErtPS} = \lambda_{rtPS} = \lambda_{nrtps}$. On note $\lambda = \sum_i \lambda_i$ le débit total des arrivées de connexions. Enfin, notons que le temps de simulation dans le cas de CAC_WiMAX et le cas de CAC_WiMAX/DVB-RCS est de 10^{+6} sec.

5.1. CAC dans WiMAX

Nous allons tout d'abord nous intéresser au cas WiMAX pur pour lequel nous allons faire varier la charge normalisée. De façon, un peu attributive, nous choisissons des débits d'arrivée des différents types de connexions.

Dans un premier temps (Figure 75), nous prenons des tailles respectives de leaky buckets de ($b_{ErtPS} = 0.2597 * b = 7.791$ kbit) et de ($b_{rtPS} = 0.5064 * b = 15.192$ kbit) où la taille b est égale à 30 kbit. Pour les trafics UGS, rtPS et ErtPS, deux conditions doivent être respectées, on examine d'abord la condition de débit (BW) puis celle de délai (Delay). Dans ce cas de figure, les connexions UGS, n'ont jamais été rejetées à cause de la condition de délai. Pour les connexions rtPS et ErtPS, nous avons représenté deux courbes : l'une représente le blocage dû au débit (BW) et l'autre le blocage dû au délai (Delay). On constate l'augmentation exponentielle des blocages de connexion avec la charge.

Dans un deuxième temps (Figure 76), nous avons fait varier la taille des leaky buckets (elles sont supposées proportionnelles au débit en fait $b_{\text{ErtPS}} = 0.2597*b$, $b_{\text{rtPS}} = 0.5064*b$; où b est le paramètre en abscisse qui varie de 10 kbit à 100 kbit) pour une charge normalisée $\rho_N = 70\%$. Nous n'avons pas représenté que les blocages dus au délai. On constate que plus les leaky buckets sont grands et plus les pertes seront sensibles. Remarquons que nous n'avons pas représenté les autres critères de performances qui eux s'amélioreront dans la mesure où l'on a choisi une politique de partage complet, l'élimination de connexions rtPS et ErtPS est favorable aux autres classes de trafic.

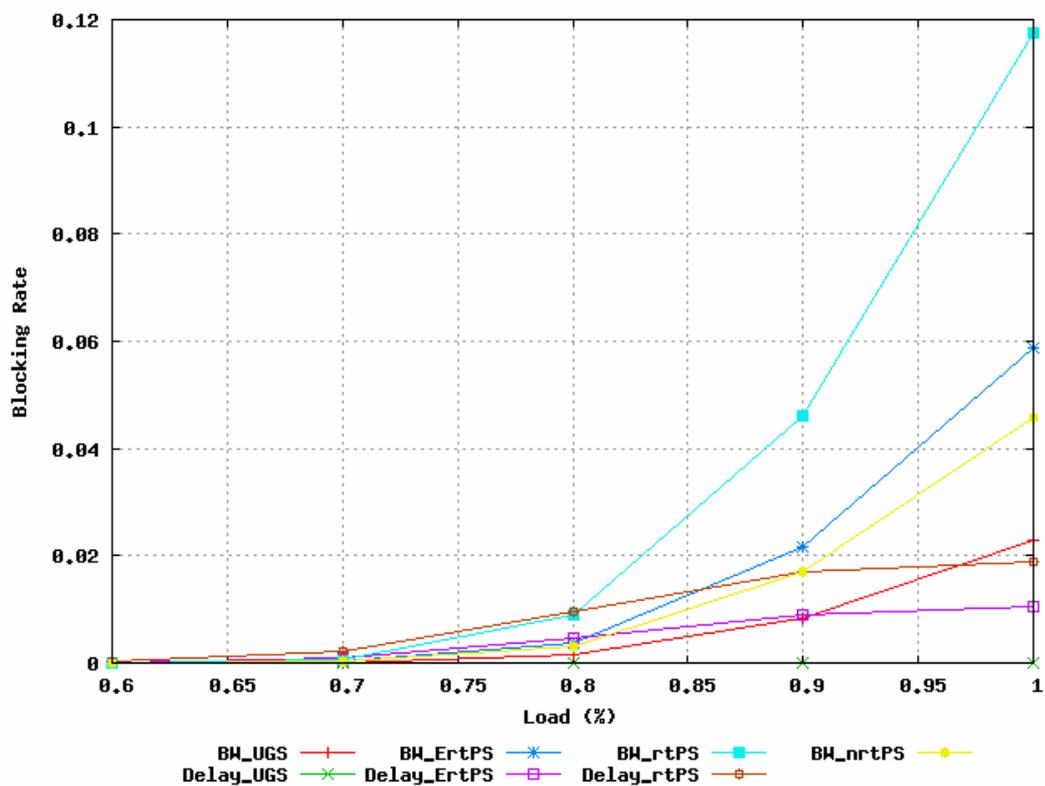


Figure 75 : Taux de blocage de CAC_WiMAX en fonction de la charge

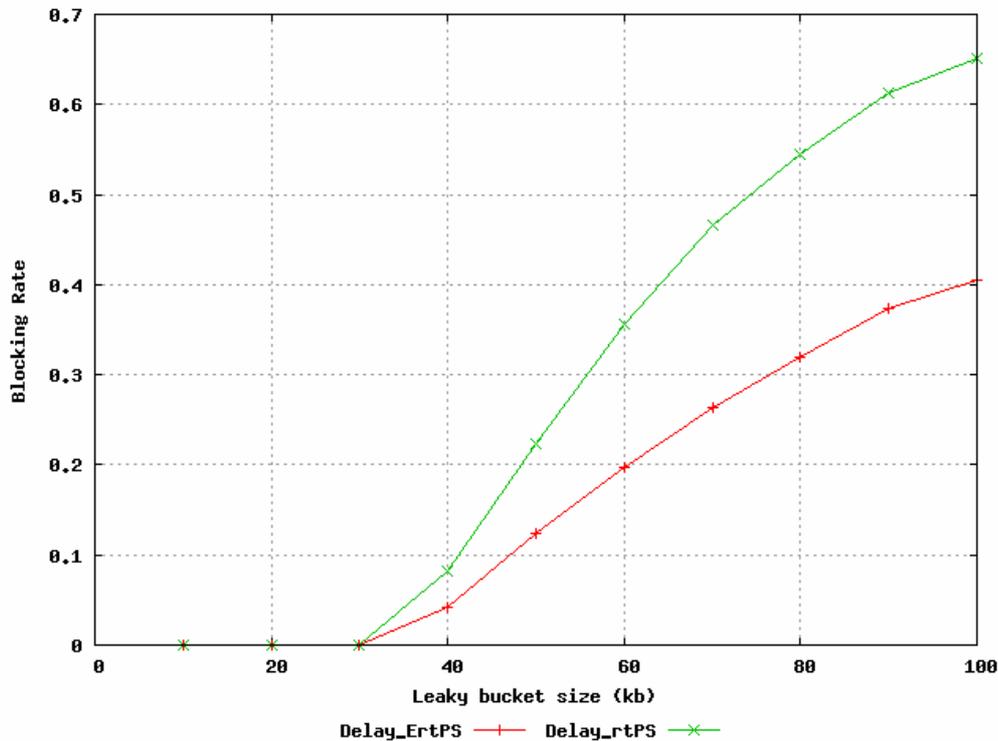


Figure 76 : Taux de blocage de CAC_WiMAX en fonction de la taille de leaky bucket

5.2. CAC dans le cas d'une interconnexion de réseaux WiMAX/DVB-RCS

Dans un cadre d'une interconnexion de réseaux WiMAX/DVB-RCS, de nombreux scénarios et stratégies peuvent être considérés. Cependant, nous n'allons étudier que quelques cas en laissant les autres comme perspectives. Notons que nous allons considérer que toutes les connexions d'une classe ont le même débit (le débit d'une classe est fixe) et les mêmes paramètres.

Nous avons décidé de nouveau que les débits d'arrivées des différents types de connexions, qui sont envisagés en priorité à WiMAX, étaient identiques : $\lambda_{UGS} = \lambda_{ErtPS} = \lambda_{rtPS} = \lambda_{nrtPS}$. On note $\lambda = \sum_i \lambda_i$. En revanche, dans ce cas, la notion de charge normalisée perd son sens.

Nous distinguons les cas suivants :

5.2.1. Stratégie 1 : Débit adaptatif et remplacement complet et strict

Dans la première stratégie, nous considérons les quatre classes de trafic dans WiMAX (UGS, ErtPS, rtPS et nrtPS) et deux classes de trafic dans DVB-RCS (CRA et RBDC). Les trafics BE et VBDC ne donnent pas lieu à des restrictions sur le CAC des autres connexions. A l'établissement de l'appel, on vérifie si le débit demandé est

disponible d'abord dans le système WiMAX puis dans le système DVB-RCS. Dans cette stratégie, on met en correspondance les classes UGS, ErtPS et rtPS d'un côté avec la classe CRA de l'autre. Dans ce cas, les changements de classe induisent une adaptation de l'application et donc un changement de débit sans affecter la durée de connexion. La classe nrtPS est mise en correspondance de son côté avec la classe RBDC. Cela correspond au trafic dit élastique pour lequel le changement de débit induit une variation de la durée de la connexion. A chaque handover la connexion prend le débit de la classe équivalente. Un fois qu'une connexion WiMAX est terminée, on essaie de la remplacer par une connexion DVB-RCS de classe équivalente. Il s'agit d'une opération de down handover. La connexion satellite candidate doit vérifier les conditions suivantes de QoS dans le réseau WiMAX : il y a suffisamment de débit disponible dans le réseau cible et, selon la classe, la connexion ne peut être acceptée que si le réseau peut lui offrir le délai demandé sans porter atteinte aux garanties des autres connexions en cours. Si une des ces conditions n'est pas vérifié, la connexion WiMAX se termine et la connexion satellite candidate continue à être prise en charge par le système DVB-RCS sans down handover. Concernant la procédure d'up handover, cette procédure peut se produire uniquement dans le cas des nouveaux appels et par conséquent le déclenchement est fait lorsque le nouvel appel n'est pas accepté par WiMAX. Notons que dans cette étude, nous supposons qu'une connexion UGS, rtPS ou ErtPS peut tolérer le délai satellite CRA qui est constant.

Cette stratégie est assez limitative pour le down handover, puisque la probabilité de trouver une connexion située dans la même cellule WiMAX de classe équivalente peut être assez faible. Néanmoins, cette stratégie est la plus simple.

5.2.2. Stratégie 2 : Débit non adaptatif et remplacement partiel (les connexions de type ErtPS et rtPS sont remplacées par des connexions de type RBDC)

Cette stratégie est semblable à la stratégie 1, mais lors d'une fin d'une connexion WiMAX cette dernière est remplacée uniquement par une ou plusieurs connexions satellite non temps réel. Une fois que la connexion UGS est terminée, elle ne est pas remplacée par aucune connexion CRA. Avec les valeurs que nous avons considérées, la fin d'une connexion ErtPS ou nrtPS conduit à chercher à la remplacer par une seule connexion RBDC. La fin d'une connexion rtPS permet de combler la place laissée par au plus trois connexions RBDC (Tableau 10). Les connexions sont acceptées si elles vérifient les conditions de QoS dans le réseau WiMAX. De plus, la connexion transférée garde son débit lorsque elle passe vers le réseau cible (Tableau 9). Cela signifie qu'à un moment donné, le réseau satellite a deux classes de connexions CRA et RBDC. En revanche, le réseau WiMAX peut avoir quatre classes mais avec différents débits concernant la classe nrtPS : ses quatre classes de trafic et une classe nrtPS (128 kbit/s).

L'idée sous-jacente à cette stratégie est que si une connexion temps réel a accepté d'être prise en charge par le satellite elle peut y rester.

c_{UGS} (80 kbit/s)	c_{ErtPS} (200 kbit/s)	c_{rtPS} (390 kbit/s)	c_{nrtPS} (160 kbit/s)
c_{CRA} (64 kbit/s)	c_{CRA} (64 kbit/s)	c_{CRA} (64 kbit/s)	c_{RBDC} (128 kbit/s)

Tableau 9 : Connexions échangées dans le sens montant lors de l'établissement de connexion (stratégie 2)

c_{UGS} (80 kbit/s)	c_{ErtPS} (200 kbit/s)	c_{rtPS} (390 kbit/s)	c_{nrtPS} (160 kbit/s)
x	c_{RBDC} (128 kbit/s)	$3*c_{RBDC}$ ($3*128= 384$ kbit/s)	c_{RBDC} (128 kbit/s)

Tableau 10 : Connexions échangées dans le sens descendant lors du down handover (stratégie 2)

5.2.3. Stratégie 3 : Débit non adaptatif et remplacement glouton

Cette stratégie dite gloutonne permet de transférer le nombre maximal des clients satellites. Elle est semblable à la stratégie deux, cependant, cette stratégie permet de compenser une fin de connexion ErtPS par le transfert de trois connexions CRA (voir Tableau 11 et Tableau 12), au prix d'une perte de 8 kbit/s. La fin d'une connexion ErtPS pourrait permettre le transfert au maximum de trois connexions RBDC, au prix d'une perte de 6 kbit/s.

c_{UGS} (80 kbit/s)	c_{ErtPS} (200 kbit/s)	c_{rtPS} (390 kbit/s)	c_{nrtPS} (160 kbit/s)
c_{CRA} (64 kbit/s)	c_{CRA} (64 kbit/s)	c_{CRA} (64 kbit/s)	c_{RBDC} (128 kbit/s)

Tableau 11 : Connexions échangées lors d'un up handover (stratégie 3)

c_{UGS} (80 kbit/s)	c_{ErtPS} (200 kbit/s)	c_{rtPS} (390 kbit/s)	c_{nrtPS} (160 kbit/s)
x	$3*c_{CRA}$ ($3*64=192$ kbit/s)	$3*c_{RBDC}$ ($3*128= 384$ kbit/s)	c_{RBDC} (128 kbit/s)

Tableau 12 : Connexion échangées lors d'un down handover (stratégie 3)

Nous avons décidé de ne représenter les résultats de simulations que pour cette dernière stratégie. En effet, la stratégie 1 est le plus souvent trop contraignante en terme de remplacement ; aucune connexion satellite ne peut remplacer la connexion WiMAX qui s'achève. La seconde stratégie est certes justifiée par l'argument évoqué (une fois qu'une connexion contrainte temporellement a accepté d'être prise en charge par le système satellite, autant l'y laisser) mais cela semble tout de même surprenant de favoriser la latence de transferts de fichiers par rapport à des flux vidéo.

On a représenté les différentes probabilités de blocage des connexions en fonction du débit global d'arrivée (λ) (Figure 77 et Figure 78). Pour WiMAX, plusieurs causes peuvent survenir pour refuser une demande de connexion : une condition est mise sur le débit disponible quand la connexion est demandée et une deuxième condition porte sur le délai maximum que peut accepter la connexion sans gêner les autres. Au cours de notre simulation (le temps de simulation a été augmenté à 10^6 s), nous avons constaté que la condition sur le débit était la plus contraignante. Nous avons obtenu un blocage très faible (de l'ordre 10^{-5}) de connexion dû à un non respect de la contrainte de délai. Les courbes correspondant au blocage des différentes classes WiMAX sont préfixées par BW pour faire référence au blocage dû au manque de bande passante disponible. Cette distinction n'a pas lieu d'être pour le système satellite comme nous l'avons exposé précédemment.

La courbe *UHO blocking rate* correspond aux nouveaux appels bloqués, quelle que soit leur classe ; avec le système satellite.

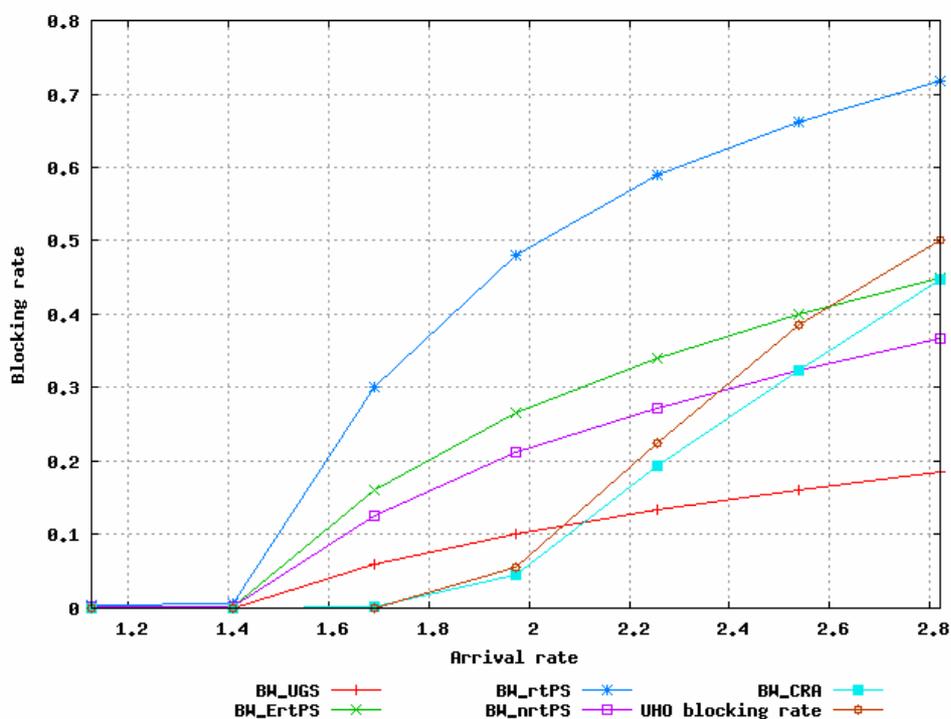


Figure 77 : Taux de blocage des différentes classes de service avec le taux d'arrivée (stratégie 3)

Les taux de blocage des connexions WiMAX croissent avec le débit demandé : on trouve donc que les taux de blocage sont les plus élevés pour les connexions rtPS qui ont besoin du plus fort débit, puis ces sont les connexions ErtPS et ainsi de suite.

La deuxième remarque porte sur le taux de blocage de CRA. Celui-ci va être fonction du débit des connexions (UGS, ErtPS et rtPS) refusées par le réseau WiMAX. Par conséquent, à charge faible ou moyenne, l'essentiel du trafic est pris en charge par WiMAX, peu de trafic déborde et il est alors très largement pris en charge par le système satellite.

A plus forte charge, il faut regarder à la fois le débit des nouveaux appels que l'on rejette de WiMAX mais aussi le trafic que l'on peut faire redescendre dans WiMAX. Ce dernier croît régulièrement avec la charge, jusqu'à ce que l'on arrive à la saturation du réseau WiMAX. A partir de ce moment-là, le débit que l'on arrive à faire redescendre du système satellite n'augmente plus. Cela est sans doute lié également au fait que le nombre de connexions pouvant être prises en charge par DVB-RCS va se stabiliser à saturation du système. La probabilité de rejet des connexions par le système satellite va croître exponentiellement avec la différence entre ces deux débits ce qui est traduit par la courbe de rejet de connexion CRA en fonction du taux d'arrivée des demandes de connexion.

Ce phénomène de croissance exponentielle est dû en particulier au fait que comme les down handovers ne pourront pas être effectués, la durée moyenne de prise en charge d'une connexion par le système satellite va augmenter avec l'augmentation du débit d'arrivées des connexions.

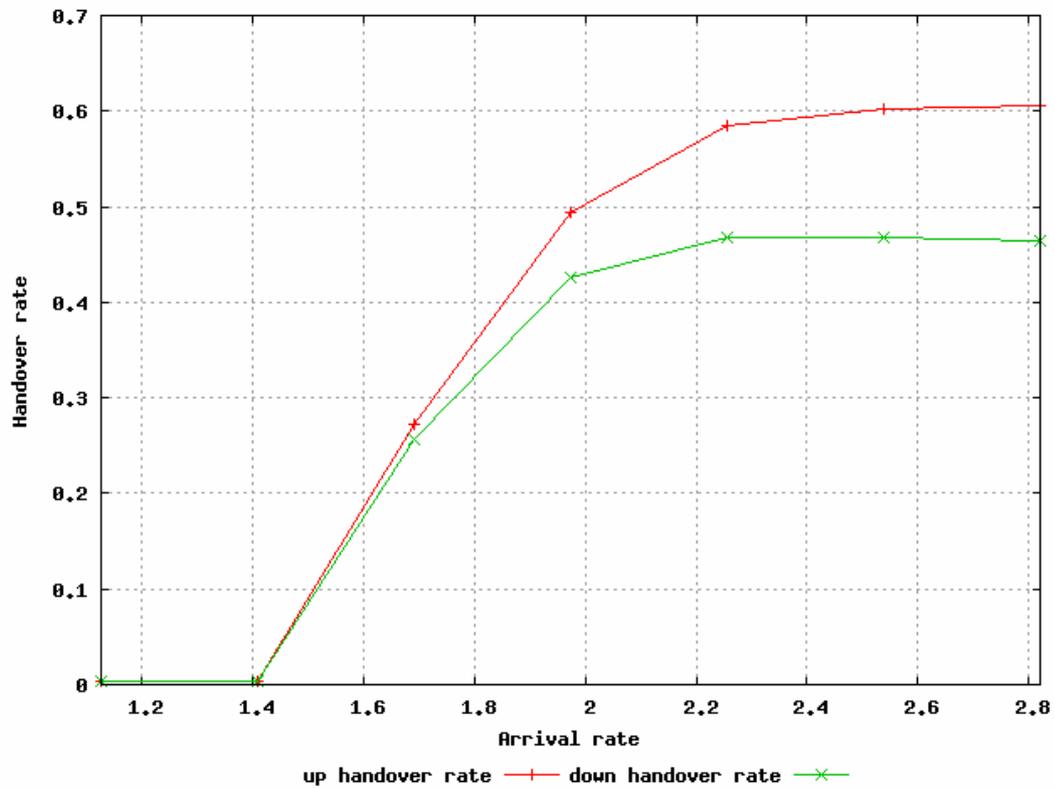


Figure 78 : Débits de différents handovers avec le taux d'arrivée (stratégie 3)

6. Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre une approche fondée sur un CAC avec mutualisation des ressources entre le système DVB-RCS et WiMAX, en tenant compte des contraintes de QoS de chaque classe de service. Différentes stratégies peuvent être considérées afin de permettre une coopération efficace entre les deux systèmes. Nous avons analysé les performances de la stratégie gloutonne qui nous semble être la stratégie qui permet d'utiliser les plus efficacement possible les ressources des deux systèmes. Nous nous sommes concentrés, dans ce sens, à une optimisation d'un point de vue de l'opérateur. Nous n'avons pas considéré dans ce travail le point de vue de l'utilisateur.

CONCLUSION

Les réseaux sans fil ont connu ces dix dernières années des développements très significatifs qui ont donné aux utilisateurs l'illusion que leurs qualités pouvaient être presque équivalentes à celles des réseaux filaires. Ils ont pris l'habitude que leur nomadisme et/ou leur mobilité puissent être pris en charge. En revanche, il apparaît également clairement qu'une seule solution technologique, quelle qu'elle soit, ne peut pas répondre à tous les contextes d'utilisation. Si les couches hautes semblent converger autour du tout IP, des solutions assez fortement hétérogènes vont forcément être amenées à cohabiter au niveau des couches basses : cette hétérogénéité portant à la fois sur les instances de standardisation les régissant, mais encore sur les techniques retenues au niveau des couches physiques (ces dernières étant probablement celles qui ont le plus évolué ces dernières années), des couches accès et de la prise en compte de la qualité de service.

Les nouvelles générations de réseaux devront apporter rapidement des solutions exploitables pour offrir la compatibilité entre ces différents réseaux de façon à ce que des utilisateurs puissent passer de manière transparente d'un système à l'autre. Notre point de vue est que l'approche la plus raisonnable est celle préconisée par le groupe de travail IEEE 802.21 qui propose un cadre générique permettant de faire interagir ces systèmes. Nous sommes conscients que les opérateurs de télécommunications n'ont pas le temps d'attendre une normalisation trop contraignante et qu'ils ont préféré commencer par des solutions « cousues main » dans lesquelles on réalise l'interconnexion de deux techniques spécifiques plutôt que d'attendre les résultats définitifs du cadre IEEE 802.21. Nous sommes tout de même optimistes et pensons que le cadre du 4G constitue un tournant dans l'interopérabilité entre les réseaux.

Dans cette thèse, nous nous sommes intéressés à plusieurs aspects liés à ces réseaux de 4^{ème} génération. Le premier point porte sur l'architecture d'un réseau à couverture très globale qui permettrait de prolonger la couverture d'un réseau sans fil terrestre par une couverture satellitaire. Les réseaux par satellite ont connu ces dernières années des évolutions assez importantes en terme de développement de standards de diffusion de télévision autour des solutions DVB-S, DVB-S2 ou DVB-SH (pour les mobiles) mais aussi pour une utilisation dans un contexte bidirectionnel avec la standardisation d'une voie retour, le DVB-RCS. En revanche, ce type de réseau n'a pas été jusqu'à présent pris en compte par le groupe de travail IEEE 802.21 qui s'est focalisé sur les réseaux IEEE (essentiellement WiFi et WiMAX) et sur les réseaux télécoms 2G et 3G. Notre première contribution a donc consisté à montrer comment la solution IEEE 802.21 pouvait être déclinée en terme d'architecture dans un contexte de système satellite de type DVB-S/RCS. Notre deuxième contribution a consisté à proposer des scénarios d'intégration dans lesquels nous avons déroulé les protocoles permettant de réaliser les transferts entre les différents systèmes. Ces deux contributions sont originales et constituent un travail pionnier.

La suite de la thèse s'est plus focalisée sur la prise en compte de la qualité de service dans des réseaux sans fil cellulaires le plus souvent hétérogènes. Notre réflexion est partie des mécanismes de réservation de ressources qui consistent à essayer de pré-réserver

des ressources afin d'éviter des interruptions de communications lors de transferts intercellulaires.

Si ce type de techniques a déjà été largement étudié dans la littérature, une des spécificités de notre proposition repose sur la possibilité offerte par les réseaux WiMAX de fonctionner en mode maillé (les terminaux dialoguent entre eux) ou avec infrastructure. Notre idée est alors que les mécanismes de réservation puissent être mis en œuvre par les stations de base entre elles ou bien par le biais d'équipements relais se situant dans les zones de recouvrement entre les cellules avant que le terminal mobile s'y retrouve lui-même.

Cette technique de base a été tout d'abord appliquée à un réseau uniquement WiMAX. L'objectif était dans cette première étape de pouvoir bien comprendre les qualités intrinsèques du mécanisme ; dans ce chapitre, nous n'avons d'ailleurs considéré qu'un seul type de connexion. Nous avons montré que l'utilisation de relais, pour effectuer les réservations à la place d'un nœud mobile, se révèle judicieuse à condition que la densité de nœud soit suffisante. Dans le cas contraire, il vaut mieux se reporter à des solutions plus classiques de réservations prises en charge directement par les équipements réseaux (stations de base).

L'étape suivante a été de considérer un réseau hétérogène composé par un réseau terrestre de type WiMAX recouvert par un satellite géostationnaire reposant sur le standard DVB-S/RCS. Nous avons commencé par nous replacer dans le scénario le plus vraisemblable du chapitre deux pour lequel, les solutions architecturales et protocolaires que nous avons proposées prennent tout leur sens. Nous avons de nouveau procédé par étapes en distinguant des solutions pour la prise de décision de handover et pour la réservation de ressources, encore une fois dans un contexte où un seul type de connexion est retenu. Concernant le fonctionnement général du système, il nous a semblé tout d'abord préférable que les utilisateurs soient pris en charge le plus souvent par le réseau WiMAX qui a une capacité beaucoup plus élevée et conduit à des délais beaucoup plus faibles. Les nouvelles connexions sont donc envoyées prioritairement vers WiMAX et, en cas de surcharge, vers le système satellite. Deux solutions ont alors été comparées pour faire descendre les utilisateurs du système satellitaire vers le réseau WiMAX : quand les utilisateurs changent de zone de couverture WiMAX et/ou dès que de la place se libère dans les cellules WiMAX. Il apparaît alors que la solution où l'on force trop d'utilisateurs à être pris en charge par le réseau WiMAX conduit à des performances d'ensemble moins bonnes du point de vue des rejets de connexions et des interruptions de connexion lors d'un transfert intercellulaire. Nous avons alors repris les stratégies du chapitre précédent quant à la réservation de ressources WiMAX. Il apparaît que les techniques de réservation de ressources permettent d'améliorer légèrement les performances du système. On sait classiquement que ces techniques de réservation favorisent les connexions en cours, c'est ce que nous avons de nouveau observé. Le mécanisme forçant les handovers conduit encore une fois à des performances moins bonnes ; l'assistance par des nœuds voisins pour effectuer des réservations est plutôt meilleure que la solution pilotée par le réseau.

Dans ces deux chapitres, nous avons analysé un certain nombre de mécanismes dans un contexte où l'on n'a qu'un seul type de connexion. Les réseaux considérés étant multi-services, nous nous sommes alors interrogés sur la mise en correspondance entre les classes

de services proposées dans les réseaux WiMAX et dans les réseaux DVB-RCS. Le problème peut se poser aussi bien dans le cas de terminaux possédant une double interface mais encore si l'on veut mettre en place des passerelles entre les deux types de réseaux. WiMAX distingue cinq classes de service là où DVB-RCS en propose essentiellement trois. Il ne peut donc y avoir bijection. Une de nos contributions a donc été de proposer une mise en relation entre les classes de service d'une part mais également une correspondance entre les paramètres de ces différentes classes de service.

Dans le dernier chapitre, nous nous sommes alors attachés à regrouper l'ensemble de nos contributions, en nous interrogeant à la fois sur la définition de nouvelles fonctions d'admission de connexion pour les deux types de systèmes et sur l'impact de l'aspect multi-service sur les solutions proposées pour réaliser le mécanisme de transfert entre systèmes. Nous avons donc repris et étendu des solutions d'admission de connexion permettant de traiter de façon différenciée les connexions : pour certaines classes, les conditions d'acceptation portent uniquement sur le débit, pour d'autres, on doit tenir compte également du délai ... Pour essayer de relâcher quelques contraintes dans cette dernière étude, nous n'avons considéré que des utilisateurs fixes, ce qui constitue tout de même une solution représentative, le réseau satellite permettant alors de réaliser du partage de charge. La question principale porte sur la façon avec laquelle on va procéder quand on va vouloir procéder à des remplacements de connexions pour équilibrer la charge. On peut soit partitionner les ressources et ne remplacer une connexion qui se termine que par une connexion du même type (on remplace un appel de VoIP WiMAX qui se termine par une communication VoIP prise en charge par le satellite), soit on autorise des recherches parmi toutes les connexions de la même classe, soit encore on partage complètement les ressources en examinant toutes les connexions susceptibles de remplacer une connexion qui se termine. Dans ce dernier cas, plusieurs variantes sont encore envisageables : donner priorité au trafic le plus contraint temporellement, ou tout au contraire, se dire que si une connexion contrainte a accepté d'être prise en charge par le satellite, autant l'y laisser et au contraire descendre des connexions non contraintes temporellement pour lesquelles la prise en charge par WiMAX va permettre une augmentation de débit et conduire à une réduction de la durée de connexion.

Nous n'avons implanté qu'une seule solution, celle qui permet un partage des ressources entre les différents types de trafic. La raison principale est la suivante, la capacité du réseau satellite est très faible par rapport au réseau WiMAX et par conséquent, des conditions trop restrictives dans les remplacements des connexions conduisent le plus souvent à ne trouver aucune connexion éligible.

Les perspectives de ce travail sont assez nombreuses. Tout d'abord les principes que nous avons proposé pourraient être enrichis en particulier ceux du dernier chapitre en testant des configurations variées tant en terme de cellules que de type de trafic. Cela dit, il est assez clair que l'analyse des résultats est de plus en plus délicate.

Notre travail s'est également beaucoup focalisé sur la performance rendue aux utilisateurs en terme d'acceptation ou de refus de connexion, nous pourrions aussi étendre ces études en intégrant d'autres types de critères liés par exemple au volume de signalisation ou bien encore à la qualité de service ressentie dans le plan de données. On sait par exemple que des protocoles tels que TCP réagissent très mal à des évolutions

brutales de débit et de délai qui sont justement des cas de figure que l'on peut rencontrer dans des basculements de systèmes cellulaires terrestres à des systèmes satellitaires.

Une perspective intéressante serait également d'enrichir nos types de réseaux d'accès : nous nous sommes focalisés sur une interconnexion WiMAX – Satellite, nous pourrions également intégrer dans nos études des réseaux WiFi ou 3G. Dans ce dernier cas, nous pensons que la démarche proposée dans notre thèse est également très judicieuse en particulier en terme d'architecture et de protocole mais encore avec la mise en correspondance des services et des mécanismes d'acceptation de connexion associés.

Notons enfin, que nous ne nous sommes pas trop focalisés sur les fluctuations de la qualité des supports de communication qui sont désormais relativement bien exploitées au niveau de la couche physique, on pense en particulier aux mécanismes de modulation et de codages adaptatifs. En revanche, l'exploitation de telles informations au niveau des fonctions d'admission de connexion, de réservation de ressources ou de transferts intercellulaires restent des défis pour les prochaines années.

Il existe une littérature abondante sur les réseaux coopératifs. Mais les travaux sont essentiellement élaborés au niveau physique. Très peu d'entre eux tiennent compte d'interactions entre les différents niveaux. A notre connaissance aucun de ces travaux ne considère les problèmes de coopération entre réseaux terrestre et systèmes satellites (qui sont pourtant complémentaires), ni encore moins les besoins d'applications en terme de QoS. Nous pouvons ainsi enrichir les mécanismes que nous avons proposés, en tenant compte de coopération de niveau physique, en mettant en place une coordination plus efficace aux niveaux plus élevés.

Finalement, la concrétisation de nos travaux pourrait également être des propositions d'intégration de nos solutions dans le cadre de la standardisation des réseaux mobiles de 4^{ème} génération.

RÉFÉRENCES

- [1] K-H. Li, PhD, "IEEE 802.16e-2005 Air Interface Overview", WiMAX Solutions Division, Intel Mobility Group, Technical Report, 05 June, 2006.
- [2] IEEE Standard for local and metropolitan area networks (802.16), 2004.
- [3] H-H. Cho, D-H. Cho, "TAKEOVER: A New Vertical Handover Concept for Next-Generation Heterogeneous Networks", Vehicular Technology Conference, 2005 VTC 2005-Spring 2005 IEEE 61st, page(s) : 2225-2229, 30-01 May.
- [4] I. Smaoui, F. Zarai, L. Kamoun, "Vertical handoff management for next generation heterogeneous networks", 2007. ICICT 2007. ITI 5th International Conference on, on page(s) : 19 – 25, 16-18 Dec. 2007.
- [5] N. Kim; H. Choi; H. Yoon, "Seamless Handoff Scheme for 4G Mobile Systems based on IP and OFDM", Vehicular Technology Conference, 2004. VTC2004-Fall. 2004 IEEE 60th, page(s) : 3315 - 3318 Vol. 5, 26-29 Sept. 2004.
- [6] R. Corvaja, "QoS Analysis in Overlay Bluetooth-WiFi Networks with Profile-Based Vertical Handover", Mobile Computing, IEEE Transactions on 2006, page(s) : 1679 – 1690, Dec. 2006.
- [7] K. Sethom, H. Afifi, "Requirements and Adaptation solutions for Transparent Handover between Wifi and Bluetooth", Communications, 2004 IEEE International Conference on, page(s) : 3916 – 3920, 20-24 June 2004.
- [8] A. H. Zahran, B. Liang, "Performance Evaluation Framework for Vertical Handoff Algorithms in Heterogeneous Networks", in Proceedings of the IEEE International Conference on Communications (ICC), Seoul, Korea, May 2005.
- [9] B. Liang, A. Zahran, A. Saleh, "Application Signal Threshold Adaptation for Vertical Handoff in Heterogeneous Wireless Networks", IFIP Networking 2005, Waterloo, Canada, May 2-6, 2005.
- [10] A. H. Zahran, B. Liang, "ALIVE-HO: Adaptive lifetime vertical handoff for heterogeneous wireless networks", Technical report, University of Toronto (2004).
- [11] A. H. Zahran, B. Liang, A. Saleh, "Signal threshold adaptation for vertical handoff in heterogeneous wireless networks" Journal Springer Science, page (s) : 625-640, 22 May 2006.
- [12] J. Nie; J.C. Wen; Q. Dong; Z. Zhou, "A Seamless Handoff in IEEE 802.16a and IEEE 802.11n Hybrid Networks", page(s) : 383 - 387 Vol. 1, 27-30 May 2005.
- [13] Q. Song, A. Jamalipour, "A Network Selection Mechanism for Next Generation Networks", 2005, ICC 2005, 2005 IEEE, International Conference on Communications, page(s): 1418-1422, 16-20 May 2005.
- [14] M. Li, K. Sandrasegaran, T. Tung, "Trust-Assisted Handover Decision Algorithm in Hybrid Wireless Networks", Wireless Communications and Networking Conference, 2007.WCNC 2007. IEEE, page(s) : 3535 – 3540, 11-15 March 2007.
- [15] H. Bing; C. He; L. Jiang, "Performance Analysis of Vertical Handover in a UMTS-WLAN Integrated Network", page(s):187 - 191 Vol.1, 7-10 Sept 2003.
- [16] S. Aust, C. Görg and C. Pampu, "Proactive Handover Decision for Mobile IP based on Link Layer Information", First IFIP International Conference on Wireless and Optical Communications Networks (WOCN 2004), Muscat, Oman, June 2004.

- [17] C. Yiping, Y. Yuhang, "A New 4G Architecture Providing Multimode Terminals Always Best Connected Services", *Wireless Communications, IEEE*, page(s) : 36 – 41, April 2007.
- [18] V.E. Zafeiris, E. A Giakoumakis, "An Agent-based Architecture for Handover Initiation and Decision in 4G networks", page(s): 72 – 77, 13-16 June 2005.
- [19] N. Akkari, S. Tohme, M. Doughan, "Vertical-to-Horizontal Handovers: Architecture and Mobility Management", *Wireless Communications and Networking Conference, 2007.WCNC 2007. IEEE*, page(s) : 3867 – 3871, 11-15 March 2007.
- [20] Q. Nguyen-Vuong, L. Fiat, N. Agoulmine, "An Architecture for UMTS-WIMAX Interworking", *Broadband Convergence Networks "BCN"*, page(s) : 1- 10, 07-07 April 2006.
- [21] A. Saleh, "A Location-aided Decision algorithm for Handoff across Heterogeneous Wireless Overlay Networks", Master's thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University, 2004.
- [22] M. Ylianttila, "Vertical Handoff and Mobility - System Architecture and Transition Analysis", Doctoral thesis, Department of Electrical and Information Engineering, University of Oulu, Finland. ACTA Univ. Oul. C220, 2005.
- [23] S. Choi, G-H. Hwang, T. Kwon, A-R. Lim and D-H. Cho, "Fast Handover Scheme for Real-Time Downlink Services in IEEE 802.16e BWA System", *Vehicular Technology Conference (2005 IEEE 61st)*, page (s) : 2028-2032, June 2005.
- [24] D. H. Lee, K. Kyamakya, J. P. Umondi, "Fast Handover Algorithm for IEEE 802.16e Broadband Wireless Access System", *Wireless Pervasive Computing, 2006 1st International Symposium on*, page (s) : 1-6, 16-18 Jan. 2006.
- [25] T. A. Yahiya, A-L. Beylot, G. Pujolle, "Policy-Based Threshold for Bandwidth Reservation in WiMAX and WiFi Wireless Networks", *Wireless and Mobile Communications, 2007. ICWMC '07. Third International Conference*, page(s) : 76-76, March 2007.
- [26] F. Tra, "Contrôle d'Admission des Connexions pour les Systèmes de Télécommunication par Satellite avec des Liaisons Physiques Adaptatives", *Ecole Nationale Supérieure de l'Aéronautique et de l'Espace*, Thèse soutenue le 29 janvier 2008.
- [27] ETSI. DVB; EN 301 790 V1.4.1 (2005-09), Digital Video Broadcasting (DVB); "Interaction channel for satellite distribution systems".
- [28] C. Baudoin, R. Dhaou, F. Arnal, M. Salhani, A-L. Beylot, "Analyse d'applicabilité de standards de télécoms terrestres aux systèmes de télécommunications par satellite, scénario 4G" , *Rapport de contrat, IRT-06-09-01, Institut National Polytechnique de Toulouse*, Septembre 2006.
- [29] IEEE 802.21, DCN 2105-0240-01-0000-Joint_Harmonized_MIH_Proposal_Draft_Text.doc, May, 2005.
- [30] Rapport : 284 23-3035 Uen Rev, "A GENERIC ACCESS NETWORK, GAN (FORMER GAN)", White Paper, Octobre 2006. http://www.ericsson.com/technology/whitepapers/3035_gan_a.pdf
- [31] J-Y. Baek, D-J. Kim, Y-J. Suh, E-S. Hwang, Y-D. Chung, "Network-initiated Handover Based on IEEE 802.21 Framework for QoS Service Continuity in UMTS/802.16e Networks", *IEEE Vehicular Technology Conference (VTC 2008)*, Marina Bay, Singapore, page(s): 2157-2161, 11-14, May 2008.

- [32] http://en.wikipedia.org/wiki/IP_Multimedia_Subsystem
- [33] Y-Y. An, B. H. Yae, K.-W. Lee, Y. Z. Cho, W. Y. Jung, "Reduction of Handover Latency Using MIH Services in MIPv6", *Advanced Information Networking and Applications (AINA)*, page(s) : 229-234, 18-20 April 2006.
- [34] Q. B. Mussabbir, W. Yao, "Optimized FMIPv6 Handover using IEEE802.21 MIH Services", in *Proceedings of the 1st ACM/IEEE International Workshop on Mobility in the Evolving Internet Architecture (MobiArch 2006)*.
- [35] Q. B. Mussabbir, W. Yao, Z. Niu, X. Fu, "Optimized FMIPv6 using IEEE 802.21 MIH Services in Vehicular Networks," *Vehicular Technology, IEEE Transactions on*, Page (s) : 3397-3407, Nov. 2007.
- [36] W. Ying, Y. Jun, Z. Yun, L. Gen, Z. Ping, "Vertical Handover Decision in An Enhanced Media Independent Handover Framework", *Wireless Communications and Networking Conference IEEE WCNC 2008*, page(s) : 2693-2698, 31 March-3 April 2008.
- [37] W. Ying, Z. Yun, Y. Jun, Z. Ping, "An Enhanced Media Independent Handover Framework for Heterogeneous Networks", *IEEE Vehicular Technology Conference (VTC 2008)*, Marina Bay, Singapore, page(s) : 2306-2310, 11-14, May 2008.
- [38] Y. C. Wang, H. F. Lo, Y. C. Li, W. T Lee, "Seamless Handover with Buffer Prediction for Wireless Networks Based on IEEE 802.21", *Information Networking, 2008. ICOIN 2008. International Conference on*, page(s) : 1 – 5, 23-25 Jan. 2008.
- [39] M. Li, K. Sandrasegaran, T. Tung, "Performance evaluation of a multi-interface model for media independent handover", *Communications and Information Technologies, 2007. ISCIT '07. International Symposium on*, page(s) : 735 – 738, 17 - 19 Oct. 2007.
- [40] M. Li, K. Sandrasegaran, T. Tung, "A Multi-Interface Proposal for IEEE 802.21 Media Independent Handover", *Management of Mobile Business, 2007. ICMB 2007. International Conference on the*, page(s): 1 – 7, 9 - 11 July 2007.
- [41] W. Wei, L. Yihua, W. Jianbai, "HIS: An Integrated Handover Scheme for Heterogeneous Wireless Networks in MIPv6", *Networking and Services, 2007. ICNS. Third International Conference on*, page(s): 55 – 55, 19 - 25 June 2007.
- [42] J-H. Seol, J-H. Chung, "IEEE 802.21 MIH based Handover for Next Generation Mobile Communication Systems", *Innovations in Information Technology, 2007. Innovations '07. 4th International Conference on*, page(s): 431 – 435, 18 - 20 Nov. 2007.
- [43] T. Ali-Yahiya, K. Sethom, G. Pujolle, "A Case Study: IEEE 802.21 Framework Design for Service Continuity across WLAN and WMAN", *Wireless and Optical Communications Networks, 2007. WOCN '07. IFIP International Conference on*, page(s) : 1 – 5, 2-4 July 2007.
- [44] S. Karapantazis, F.-N. Pavlidou, "Dynamic Time-based handover management in LEO satellite systems", *Electronics Letters*, page(s): 57 - 58, March 2007.
- [45] M. Salhani, R. Dhaou and A-L. Beylot, "Terrestrial Wireless Networks and Satellite Systems Convergence", *AIAA International Communication Satellite System Conference (ICSSC 2007)*, page (s) : 3288, 10-13 April, 2007.
- [46] G. Santoro, A. Pietrabissa, F. Rodriguez, Telespazio; Linghang Fan, Z. Sun, C. Baudoin, "Performance Evaluation of the Interconnection between DVB-RCS and WiMAX", *AIAA ICSSC*, page(s) : 3292, 10-13 April, 2007.

- [47] M-H. Han, N-K. Lee, K-S. Han, D-J. Lee, “Fast IP Handover between Satellite Networks and Wireless LAN Networks for high-speed Trains”, International Workshop on IP Networking over Next-generation Satellite Systems (INSS'07), http://www.mobilesummit2007.org/workshop_information.
- [48] M-H. Han, K-S. Han, D-J. Lee, “Fast IP Handover Performance Improvements Using Performance Enhancing Proxys between Satellite Networks and Wireless LAN networks for High-Speed Trains”, IEEE Vehicular Technology Conference (VTC 2008), Marina Bay, Singapore, page(s) : 2341-2344, 11-14, May 2008.
- [49] R. Qureshi, A. Dadej, “Adding Support for Satellite Interfaces to 802.21 Media Independent Handover”, Networks, 2007. ICON 2007. 15th IEEE International Conference on, page(s) : 542 – 546, 19-21 Nov. 2007.
- [50] C. Baudoin, R. Dhaou, F. Arnal, M. Salhani, A-L. Beylot, “Analyse d’applicabilité de standards de télécoms terrestres aux systèmes de télécommunications par satellite, Scénario 4G”, rapport de contrat, IRT-06-09-01, Institut National Polytechnique de Toulouse, septembre 2006.
- [51] A. Dutta, S. Das, D. Famolari, Y. Ohba, K. Tanichi, T. Kodama, H. Schulzrinne, “Seamless Handover across Heterogeneous Networks – An IEEE 802.21 Centric Approach ”, IEEE WPMC 2005.
- [52] IEEE 802.21, Joined Harmonized Media Independent Handover Draft, May, 2005. Vatistas, G. H., Lin, S., Kwok, C. K., “Reverse Flow Radius in Vortex Chambers,” AIAA Journal, page(s) : 1872 – 1873, No. 11, 1986.
- [53] M. Salhani, R. Dhaou, A-L. Beylot, “Performance of WiMAX Networks using Horizontal Handover with Channel Reservation Channel Mechanism”, IEEE Vehicular Technology Conference, Marina Bay, Singapore, page(s) : 2272-2276, 11-14 May 2008.
- [54] M. Salhani, R. Dhaou, A-L. Beylot, “Performance of WiMAX Networks integrated in a Segment of Satellite using Channel Reservation Channel Mechanism”, IEEE Vehicular Technology Conference, Marina Bay, Singapore, page(s): 2952 - 2956, 11-14 May 2008.
- [55] Digital Video Broadcasting (DVB), “Interaction channel for satellite distribution systems”, ETSI EN 301 790 V1.4.1 (2005-09).
- [56] Digital Video Broadcasting (DVB), “Interaction channel for Satellite Distribution Systems; Guidelines for the EN 301 790”, ETSI Technical Report 101 790, (2006-09).
- [57] M. Costabile, C. Follino, A. Iera, A. Molinaro, “QoS differentiation in DVB-RCS multimedia platforms”, Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2004. PIMRC 2004. 15th IEEE International Symposium on, on page(s): 2357- 2361 Vol.4, 5-8 Sept. 2004.
- [58] O. Alphand, “Architecture à QoS pour Systèmes Satellites DVB-S/RCS dans un contexte NGN”, Thèse présentée à l’INP de Toulouse, soutenue le 07.12.2005.
- [59] Livre sous la direction de Pierre Rolin, “Réseaux ATM”, HERMES SCIENCE PUBLISHING Ltd, en association avec le groupe LAVOISIER, Février 2002.
- [60] IEEE Standard for Local and metropolitan area networks Part 16 : Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems, IEEE Std 802.16e™-2005 and IEEE Std 802.16™-2004/Cor1-2005 (Amendment and Corrigendum to IEEE Std 802.16-2004), 28 February 2006.

- [61] http://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.16
- [62] IEEE Standard for local and metropolitan area networks (802.16), 2004.
- [63] K. Gakhar, “Ingénierie de la QoS sur une plaque radio mixte IEEE 802.16/IEEE 802.11e”, Thèse présentée à l’ENST de Bretagne, soutenue le 27.09.2007.
- [64] B. Rong, Y. Qian, H-H. Chen, “Adaptive power allocation and call admission control in multiservice WiMAX access networks”, IEEE Wireless Communications, page(s) : 14-19, Feb. 2007.
- [65] B-J. Chang, Y-L. Chen, C-M. Chou, “Adaptive Hierarchical Polling and Cost-Based Call Admission Control in IEEE 802.16 WiMAX Networks”, Wireless Communications and Networking Conference, 2007.WCNC 2007. IEEE, page(s) : 1954 – 1958, 11-15 March 2007.
- [66] H. Wang, W. Li, D. P. Agrawal, “Dynamic Admission Control and quality de service for 802.16 Wireless MAN,” in Wireless Telecommunications Symposium, 2005, page(s) : 60 – 66, April 28-30, 2005.
- [67] D.-H. Cho, J.-H. Song, M.-S. Kim, K.-J. Han, “Performance Analysis of the IEEE 802.16 Wireless Metropolitan Area Network”, in First International Conference on Distributed Frameworks for Multimedia Applications, 2005, page(s): 130-136, 6-9 Feb. 2005.
- [68] O. Gusak, N. Oliver, K. Sohraby, “Performance Evaluation of the 802.16 Medium Access Control Layer,” Lecture Notes in Computer Science - Proceedings of ISCIS, vol. 3280, page(s) : 228–237, 2004.
- [69] J. Chen, W. Jiao, H. Wang, “A Service Flow Management Strategy for IEEE 802.16 Broadband Wireless Access Systems in TDD mode,” in IEEE International Conference on Communications, vol. 5, page(s): 3422–3426, May 2005.
- [70] L. Huang, C. C. J. Kuo, “Dynamic Call Admission Control with Joint Connection-level and Packet-level quality de service Support in Wireless Multimedia Networks”, in IEEE Symposium on Real-Time and Embedded Technologies and Applications, May 2004.
- [71] A. Iera, A. Molinaro, S. Marano, “Call Admission Control and Resource Management Issues for Real-time VBR Traffic in ATM-Satellite Networks”, IEEE JSAC, Selected Areas in Communications, Wireless Series, page(s): 2393-2403, Nov. 2000.
- [72] P. Pace, G. Aloï, S. Marano, “Multimedia Traffic Admission Schemes Comparison for Satellite Systems”. Proceedings of the IEEE Vehicular Technology Conference (VTC Fall), Los Angeles - USA, page(s) : 4022-4026, 26-29 Sept. 2004.
- [73] P. Pace, G. Aloï, S. Marano, “Efficient Real-Time Multimedia Connections Handling over DVB-RCS Satellite System”. Proceedings of the IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM), Dallas Texas – USA, pp. 2722-2727, 29 Nov.-3 Dec. 2004.
- [74] P. Pace, G. Aloï, S. Marano, “A multilayered architecture supporting quality de service for multimedia traffic connections”, Proceedings of the IEEE Vehicular Technology Conference (VTC Spring), Stockholm – Sweden, page(s): 2702-2706, 30 May-1 June 2005.
- [75] F. De Rango, M. Tropea, P. Fazio, S. Marano, “Call admission control with statistical multiplexing for aggregate MPEG traffic in a DVB-RCS satellite network’’, Global Telecommunications Conference, 2005. GLOBECOM '05. IEEE, Volume: 6, page(s):

- 6 pp., 28 Nov.-2 Dec. 2005.
- [76] K. Gakhar; M. Achir, A.Gravey, “How Many Traffic Classes Do We Need In WiMAX ?”, Wireless Communications and Networking Conference, 2007.WCNC 2007. IEEE, page(s):3703 – 3708, 11-15 March 2007.
 - [77] K. Boussetta, “Méthodes Numériques et Protocoles pour le Support du Multicast dans les Réseaux Fixes et Mobiles” ; Thèse de Doctorat, Université de Versailles St-Quentin-en-Yvelines, 2003.
 - [78] H. Tallon, “Haut débit mobile : WiMAX et HSDPA, concurrence ou coexistence ?” Technical report, NORTEL-TELECOM PARIS, 14 septembre 2006.
 - [79] P. Pace, G. Aloï, “Effective Admission Policy for Multimedia Traffic Connections over Satellite DVB-RCS Network”, ETRI Journal, vol.28, no.5, page(s) : 593-606, Oct. 200

Résumé

Cette thèse porte sur l'interopérabilité et la qualité de service dans les réseaux de 4^{ème} génération. En particulier, nous proposons des solutions d'intégration entre le réseau WiMAX et le système satellite DVB-RCS en s'appuyant sur le standard IEEE 802.21. Trois solutions peuvent être mises en place pour l'interconnexion de réseaux sans fil. Il s'agit de la technologie GAN soutenue par le 3GPP, du protocole FMIP proposé par l'IETF et du standard IEEE 802.21. Notre choix se porte sur ce dernier standard car il propose un cadre générique pour l'interopérabilité des réseaux. En fait, nous proposons une architecture satellitaire à base de WiMAX, DVB-RCS et IEEE 802.21 et nous décrivons aussi la procédure de handover WiMAX/DVB-RCS. Par ailleurs, nous améliorons les performances des réseaux WiMAX en utilisant un handover horizontal avec un mécanisme de réservation de ressources. Ensuite, le réseau WiMAX est intégré dans un système satellite DVB-RCS afin d'étudier les performances de cette convergence avec une réservation de ressources. Les résultats obtenus montrent que les mécanismes de réservation améliorent les performances.

Afin de permettre au trafic de passer d'un réseau à l'autre en garantissant une qualité de service, une mise en correspondance de la qualité de service entre les réseaux WiMAX et DVB-RCS est proposée.

En outre, nous proposons un mécanisme d'admission de connexion CAC dans le cadre de l'interconnexion WiMAX/DVB-RCS. Plusieurs stratégies sont prises en compte afin de permettre une coopération efficace entre les deux systèmes.

Title

Modelling and Simulation of fourth Generation Mobile Wireless Networks

Abstract

This PH.D thesis is based on the interworking and the quality of service in 4th generation mobile wireless networks. In particular, we propose solutions of integration between WiMAX networks and satellite systems (DVB-RCS). Three solutions can be considered for the interconnection of wireless networks: GAN technology supported by the 3GPP, FMIP protocol suggested by the IETF and the IEEE 802.21 standard. Our choice is focused on this last standard because it proposes a generic framework for the interworking of wireless networks. A procedure of handover WiMAX/DVB-RCS is then described. In addition, we improve the performance of WiMAX networks by using a horizontal handover with resource reservation mechanisms. Then, the WiMAX network is integrated in a DVB-RCS satellite system. The performance of this convergence with a resource reservation mechanism is studied. The obtained results show that the reservation mechanisms improve the performance of the system. In order to switch the traffic from one network to the other by guaranteeing an appropriate level of quality of service, a mapping of quality of service between WiMAX networks and DVB-RCS system is proposed. Moreover, we propose a Connection Admission Control (CAC) mechanism within the framework of the WiMAX/DVB-RCS interconnection. Several strategies are taken into account in order to allow an effective co-operative between the two systems.

Discipline : Réseaux et Télécommunications

Mots-clés : WiMAX, DVB-RCS, architecture, QoS, réservation de ressources, mapping, CAC.

Adresse du laboratoire :

IRIT-ENSEEIH, 2 rue Charles Camichel, 31071, Toulouse Cedex 7, BP 7122, France

