

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

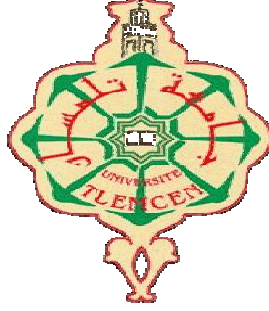
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبي بكر بلقايد -

تلمس -

Université Aboubakr Belkaïd- Tlemcen -

Faculté de TECHNOLOGIE



THESE

Présentée pour l'obtention du grade de **DOCTEUR EN SCIENCES**

En : Télécommunications

Spécialité : Télécommunications

Par : *DJEMAI Abderrezak*

Sujet

Contribution à l'étude de l'impact de la mobilité et du Handover sur la qualité de service dans les réseaux mobiles hauts débits

Soutenue en Mars 2018 devant le jury composé de :

Mr. Borsali Ahmed Riad	MCA	Univ. Tlemcen	Président
Mr. Merzougui Rachid	MCA	Univ. Tlemcen	Directeur de thèse
Mr. LASRI Boumediène	Professeur	Univ. Saïda	Examineur
Mr. Azzouz Abdelhalim	MCA	Univ. Saïda	Examineur

**Contribution à l'étude de l'impact de la Mobilité et du Handover
sur la qualité de service dans les réseaux mobiles hauts débits**

Auteur : DJEMAI Abderrezak
Sujet proposé au sein du labo *STIC*

Á la mémoire de mon père ;

Á ma mère ;

Á toute ma Famille ;

Remerciement

Nous remercions ALLAH le Tout-puissant de nous avoir donné le courage, la volonté et la patience de mener à terme le présent travail.

Ce thème de recherche a été effectué au Laboratoire de *Systèmes et Technologies de l'information et de la Communication (STIC)* au Département de Télécommunications de la Faculté de Technologie à l'Université Abou-bekr Belkaïd Tlemcen, dirigé par Mr. **Merzougui Rachid**, Maître de Conférences à l'Université Abou-bekr Belkaïd Tlemcen, je lui exprime particulièrement toutes mes reconnaissances pour m'avoir fait bénéficier de ces compétences scientifiques, ses qualités humaines, sa clairvoyance, son charisme, son dynamisme et sa constante disponibilité.

Je tiens à exprimer mes plus vifs remerciements à Mr. **Borsali Ahmed Riad**, Maître de Conférences à l'université Abou-bekr Belkaïd Tlemcen, qui m'a fait l'honneur de présider ce jury.

Je remercie sincèrement Mr. **LASRI Boumediène**, Professeur à l'université de Saïda, Mr. **Azzouz Abdelhalim**, Maître de Conférences à l'université de Saïda, d'avoir accepté de juger les travaux de cette Thèse.

Je tiens aussi à exprimer ma gratitude envers le Professeur **Hossam Afifi** responsable de l'Equipe Mobiles & Services à Télécom SudParis pour leur suivi, et leurs conseils d'expert tout au long de ma thèse.

Je dédie cette thèse à ma famille. J'y puise une ouverture d'esprit, un soutien, une confiance et un amour indéfectibles que j'espère rendre pareillement et transmettre à mon tour.

J'adresse mes remerciements les plus sincères à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la concrétisation de ce travail.

Enfin, Je remercie tous les gens qui m'aiment et qui m'ont aidé tout au long de ma thèse.

Résumé

Avec l'évolution de nombreuses technologies sans fil et des terminaux mobiles à interfaces réseau multiples, un compromis apparaît entre la mobilité, la transparence et la performance. Les utilisateurs mobiles auront besoin d'accéder à leurs services IP en tout lieu, à tout moment et de la meilleure manière possible sans coupure et avec une bonne qualité de service sans se soucier des transitions entre les différents réseaux d'accès.

Comme la continuité de service est un élément demandé (indispensable) et important dans les communications mobiles et avec la coexistence de différentes technologies d'accès au réseau et l'émergence de dispositifs mobiles avec plusieurs interfaces réseau, les travaux effectués dans le cadre de cette thèse de doctorat se situent autour des recherches dédiées à l'interopérabilité entre les réseaux hétérogènes et l'impact de la mobilité et du Handover sur la qualité de service dans les réseaux mobiles hauts débits.

Cette thèse analyse tout d'abord les performances de handover vertical dans un contexte de réseaux sans fil hétérogènes entre les réseaux UMTS, WiFi et WiMAX en définissant une architecture de développement pour le support de la mobilité entre ces trois technologies. Cette architecture, prouvée par sa faisabilité et sa simplicité, se base sur le protocole Mobile MIPv6 et le module de Handover MIH afin de gérer la mobilité des utilisateurs pour une continuité de service.

Elle étudie ensuite les architectures et les principes de fonctionnement des réseaux sans fil maillés WMNs (Wireless Mesh Networks) en évaluant les performances des mécanismes de handover dans les réseaux Mesh.

Dans cette thèse, notre attention s'est portée sur la conception et le développement d'une architecture logicielle qui permet la mobilité d'un réseau entier NEMO (Network Mobility). L'étude se focalise sur la gestion de mobilité et aux spécificités du Handover en détaillant ses phases et ses types notamment dans le cadre du réseau NEMO. Cette architecture se base sur le protocole NEMO BS qui se comporte comme une extension de MIPv6 pour la prise en charge de la mobilité d'un réseau NEMO afin de garantir la continuité de service.

Notre thèse propose un outil très performant provenant de la théorie des jeux qui permet de modéliser et analyser une situation de compétition dans le monde des télécommunications. L'objectif de cette partie consiste à concevoir et développer un formalisme mathématique à base de la théorie des jeux non-coopératifs qui permet de trouver le point optimum (Equilibre de Nash) d'un jeu représenté par sa forme stratégique entre le fournisseur de service (réseau d'opérateur) et l'utilisateur de ce service (client) afin de répondre aux besoins des utilisateurs mobiles d'une part, et assurer la continuité de service d'autre part.

Mots clés : Réseau, Handover, Mobilité, MIPv6, MIH, Ns-2, Mesh, Routage, réseau mobile, NEMO, NEMO BS, routeur mobile, Optimisation, Théorie des jeux, Client, Equilibre de Nash.

Abstract

With the evolution of many wireless technologies and mobile terminals with multiple network interfaces, a compromise appears between mobility, transparency and performance. Mobile users will need to access their IP services anywhere, at any time and in the best possible way without a break and with a good quality of service without worrying about the transitions between the different access networks.

Since continuity of service is an essential and important element in mobile communications and the coexistence of different network access technologies and the emergence of mobile devices with several network interfaces, the work carried out under this Doctoral thesis are based on research dedicated to interoperability between heterogeneous networks and the impact of mobility and Handover on quality of service in high-speed mobile networks.

This thesis first analyzes the performance of vertical handover in a context of heterogeneous wireless networks between the UMTS, WiFi and WiMAX networks by defining a development architecture to support mobility between these three technologies. This architecture, proven by its feasibility and simplicity, is based on the Mobile MIPv6 protocol and the Handover MIH module in order to manage user mobility for a continuity of service.

She then studies the architectures and operating principles of Wireless Mesh Networks (WMNs) mesh networks by evaluating the performance of handover mechanisms in mesh networks.

In this thesis, we focused on the design and development of a software architecture that allows the mobility of an entire Network Mobility (NEMO) network. The study focuses on mobility management and the specificities of Handover, detailing its phases and types, in particular within the framework of the NEMO network. This architecture is based on the NEMO BS protocol which acts as an extension of MIPv6 to support the mobility of a NEMO network in order to guarantee the continuity of service.

Our thesis proposes a very powerful tool coming from the theory of the games which makes it possible to model and analyze a situation of competition in the world of the telecommunications. The objective of this part is to design and develop a mathematical formalism based on the theory of non-cooperative games that allows to find the optimum point (Nash equilibrium) of a game represented by its strategic form between the service provider (Operator network) and the user of this service (client) in order to meet the needs of mobile users on the one hand, and to ensure continuity of service on the other hand.

Keywords: Network, Handover, Mobility, MIPv6, MIH, Ns-2, Mesh, Routing, mobile network, NEMO, NEMO BS, Mobile router, Optimization, Game Theory, Client, Nash equilibrium.

Table des matières

Remerciement.....	2
Résumé.....	3
Abstract.....	5
Table des matières.....	7
Table des figures.....	13
Liste des tableaux.....	15
Glossaire.....	16

Introduction générale.....	19
Problématique.....	19
Motivation et Contribution.....	19
Organisation du manuscrit.....	23

Premier Chapitre:
Etat de l'art des réseaux sans fils et de handover.

I.1 – Introduction.....	25
I.2 – Concepts généraux sur les réseaux sans fil.....	25
I.2.1 – Les réseaux locaux sans fil (WLAN, <i>Wireless Local Area Network</i>).....	25
I.2.2 – Les réseaux larges sans fil (WWAN, <i>Wireless Wide Area Network</i>).....	26
I.2.3 – Les réseaux métropolitains sans fil (WMAN, <i>Wireless Metropolitan Area Network</i>).....	26
I.3 – UMTS.....	26
I.3.1 – L'architecture de réseau UMTS.....	26
I.3.1.1 – Réseau d'accès Utran.....	27
I.3.1.2 – Réseau cœur.....	27
I.4 – WiFi.....	29
I.4.1 – Les modes opératoires.....	29
I.4.1.1 – Mode infrastructure.....	29
I.4.1.2 – Mode ad hoc.....	30
I.5 – WiMAX.....	30
I.5.1 – Les composants de réseau WiMAX.....	31
I.5.2 – Standard de l'interface air IEEE 802.16.....	31

I.6 – Mobilité et Handover	32
I.6.1 – Mobilité	32
I.6.1.1 – Micro-mobilité	32
I.6.1.2 – Macro-mobilité	32
I.6.2 – Handover	33
I.6.2.1 – Handover Horizontal.....	33
I.6.2.2 – Handover vertical.....	33
I.7 – Les raisons pour exécuter un Handover	34
I.7.1 – Qualité de signal	34
I.7.2 – Le trafic.....	34
I.8 – Les raisons pour exécuter un Handover	34
I.8.1 – Phase de découverte	34
I.8.2 – Phase de décision	35
I.8.3 – Phase d'exécution	35
I.9 – Types de Handover	36
I.9.1 – Hard Handover	36
I.9.2 – Soft Handover	37
I.9.2.1 – MDHO	38
I.9.2.2 – FBSS.....	38
I.9.3 – Fast Handover	39
I.9.3.1 – Mode prédictif	41
I.9.3.2 – Mode réactif	42
I.9.4 – Smooth Handover	43
I.9.5 – Handover sans coutures ou Seamless Handover	44
I.9.5.1 – La procédure du mode de mouvement stochastique.....	47
I.9.5.2 – La procédure du mode de mouvement stationnaire.....	47
I.9.5.3 – La procédure du mode de mouvement linéaire	47
I.10 – Handover vertical entre les différents réseaux	48
I.11 – Les paramètres de qualité de service	49
I.11.1 – Le délai (Delay)	49
I.11.2 – La gigue (jitter)	49
I.11.3 – Le taux de perte de paquets (packet loss)	49
I.11.4 – Le débit.....	49
I.12 – Conclusion	50

Second Chapitre:

Interopérabilité entre les réseaux hétérogènes.

II.1 – Introduction	51
II.2 – Présentation du simulateur NS2	51
II.3 – Les objets de base	51
II.4 – Organisation du simulateur	52
II.5 – Les modules nécessaires pour la simulation	53
II.5.1 – Module de découverte voisin	53
II.5.2 – La gestion de mobilité MIPv6.....	53
II.5.3 – Media Independent Handover (MIH IEEE 802.21)	53
II.5.3.1 – Présentation du standard IEEE 802.21	54
II.6 – Topologie et scénario du système à simuler	55

II.7 – Paramétrage et configuration du réseau	56
II.7.1 – Paramètres de simulation	56
II.7.2 – Paramètres du réseau WiMAX.....	56
II.7.3 – Paramètres du réseau WiFi	57
II.7.4 – Paramètres du réseau UMTS	58
II.8 – Technique de simulation	58
II.8.1 – Pré-simulation	58
II.8.2 – Simulation	58
II.8.3 – Post-simulation	58
II.8.4 – Exploitation	59
II.9 – Critère de performance	60
II.9.1 – Le délai moyen de transmission des paquets	60
II.9.2 – Le taux de perte des paquets.....	60
II.10 – Analyse des performances de handover vertical	61
II.10.1 – Trafic TCP.....	61
II.10.1.1 – Taux des paquets perdus.....	61
II.10.1.2 – Délai moyen de transmission.....	62
II.10.2 – Trafic UDP.....	62
II.10.2.1 – Taux des paquets perdus	63
II.10.2.2 – Délai moyen de transmission.....	63
II.10.3 – Trafic Vidéo	64
II.10.3.1 – Taux des paquets perdus.....	65
II.10.3.2 – Délai moyen de transmission.....	65
II.10.4 – Trafic Voix.....	66
II.10.4.1 – Taux des paquets perdus.....	67
II.10.4.2 – Délai moyen de transmission.....	67
II.10.5 – Etude comparative	68
II.10.5.1 – Comparaison entre TCP et UDP	68
II.10.5.2 – Comparaison entre l’UDP, la voix et la vidéo	70
II.11 – Conclusion	71

Troisième Chapitre:

Performances de Handover dans les réseaux WiFi Mesh.

III.1 – Introduction	72
III.2 – Réseau sans fil maillé (Wireless Mesh Network)	72
III.2.1 – Définition.....	72
III.2.1.1 – Autres normes de WiFi	73
III.2.2 – Composantes de WMN	74
III.2.3 – Architectures de WMN	74
III.2.3.1 – WMN avec infrastructure ou hiérarchique.....	74
III.2.3.2 – WMN plats ou mobiles	75
III.2.3.3 – WMN hybride	76
III.2.4 – Caractéristiques du WMN	77
III.2.5 – Applications des WMNs	78
III.2.5.1 – Réseau Domestique (Broadband Home Networking)	78
III.2.5.2 – Réseau de communauté et de Voisinage	79
III.2.5.3 – Réseaux d'entreprises.....	80

III.2.5.4 – Réseaux métropolitain (WMAN).....	80
III.2.5.5 – Systèmes médicaux et de santé.....	81
III.2.5.6 – Sécurité et systèmes de surveillance.....	82
III.3 – Couche physique	82
III.3.1 – FHSS.....	82
III.3.1.1 – La structure de la trame en FHSS.....	82
III.3.2 – Technique DSSS.....	83
III.3.2.1 – Structure de la trame en DSSS.....	84
III.3.2.2 – Avantages de DSSS.....	84
III.3.3 – Technique OFDM.....	85
III.4 – Couche liaison	85
III.4.1 – Sous couche LLC.....	85
III.4.2 – Sous-couche MAC	85
III.4.2.1 – Méthodes d'accès aux supports	86
III.5 – Couche réseaux	89
III.5.1 – Routage	89
III.5.1.1 – Protocole HWMP	90
III.5.1.2 – Protocole DSDV.....	90
III.5.1.3 – Protocole AODV.....	92
III.5.1.4 – Protocole DSR	94
III.5.1.5 – Protocole OLSR	96
III.5.2 – Tableaux de comparaison	96
III.6 – Handover dans le réseau WiFi	98
III.6.1 – Gestion de mobilité.....	98
III.6.2 – Gestion de localisation.....	98
III.6.3 – Gestion de handover.....	98
III.6.4 – L'utilisation de handover.....	100
III.7 – Handover dans le réseau WiFi Mesh	100
III.7.1 – Conditions d'exécution de Handover.....	101
III.7.2 – Objectif de Handover dans le réseau WiFi Mesh.....	101
III.7.3 – Soft Handover dans le réseau WiFi Mesh	101
III.7.3.1 – Principe de soft handover.....	101
III.7.3.2 – Algorithme du soft handover.....	102
III.8 – Etude de cas d'un handover dans un réseau WiFi mesh	103
III.8.1 – Objectifs	103
III.8.2 – Scénario de simulation.....	103
III.9 – Paramétrage et configuration du réseau	104
III.9.1 – Paramètres de simulation	104
III.9.2 – Paramètres du réseau WiFi.....	105
III.10 – Cadres des simulations	105
III.10.1 – Programmation TCL.....	106
III.10.1.1 – Pré-simulation.....	106
III.10.1.2 – Simulation	106
III.10.1.3 – Post-simulation	106
III.10.2 – Simulation et évaluation des performances du handover WiFi mesh.....	106
III.10.2.1 – Introduction	106
III.10.2.2 – Performance du handover.....	106
III.10.2.3 – Taux de paquets perdus sans handover	107
III.10.2.4 – Délai sans handover	108
III.10.2.5 – Débit sans handover	108
III.10.2.6 – Taux de paquets perdus avec Handover.....	109
III.10.2.7 – Délai avec handover	110

III.10.2.8 – Débit avec handover	110
III.10.2.9 – Etude comparative.....	111
III.11 – Conclusion.....	113

Quatrième Chapitre:
Gestion de mobilité dans le réseau NEMO.

IV.1 – Introduction.....	114
IV.2 – problématique.....	114
IV.3 – Définition.....	116
IV.4 – Les applications.....	117
IV.4.1 – Les réseaux de capteurs.....	117
IV.4.2 – Les réseaux d'accès à Internet.....	117
IV.4.3 – Les réseaux personnels.....	117
IV.5 – Caractéristiques.....	118
IV.5.1 – Taille.....	118
IV.5.2 – Hétérogénéité des MNNS.....	119
IV.5.3 – Mobilité enchaînée (Nested Mobility).....	119
IV.5.4 – Hétérogénéité des réseaux d'accès.....	119
IV.5.5 – Multidomiciliation (Multihoming).....	119
IV.5.6 – Interaction entre réseau Ad Hoc et réseau mobile.....	120
IV.5.7 – Fréquence distincte de changement du point d'ancrage.....	120
IV.5.8 – Variation dynamique de débit.....	120
IV.6 – L'architecture de NEMO.....	121
IV.7 – Fonctionnalité.....	122
IV.7.1 – Opérations du protocole NEMO Support Basique (NEMO BS).....	122
IV.7.2 – Format des messages BU et BAcK du protocole NEMO BS.....	124
IV.8 – Les avantages et Les inconvénients.....	125
IV.9 – Analyse du délai du Handover NEMO.....	127
IV.9.1 – Délai du Handover L2.....	128
IV.9.2 – Délai du Handover L3.....	129
IV.10 – Paramétrage et configuration du réseau.....	131
IV.10.1 – Les paramètres de simulation.....	132
IV.10.2 – Les paramètres de réseau Wifi.....	132
IV.10.3 – Configuration du point d'accès.....	133
IV.10.4 – Paramètres du réseau WiMAX.....	133
IV.10.5 – Configuration de la station de base_16 (WiMAX1).....	134
IV.10.6 – Configuration de la station de base_161 (WiMAX2).....	134
IV.11 – Simulations et Résultats.....	135
IV.11.1 – Débit.....	136
IV.11.2 – Taux des paquets perdus.....	137
IV.11.3 – Délai de transmission.....	139
IV.12 – Conclusion.....	140

Cinquième Chapitre:
Optimisation du Handover par la théorie des jeux.

V.1 – Introduction	142
V.2 – Jeux non coopératifs et coopératifs	144
V.3 – Quelques champs d'application	145
V.4 – Présentation générale	146
V.5 – Classification des jeux	146
V.6 – Formalisme	148
V.7 – Notion de stratégie et d'équilibre d'un jeu	150
V.7.1 – Notion de stratégie	150
V.7.2 – Le concept d'équilibre d'un jeu	151
V.7.2.1 – Résolution des jeux par élimination des stratégies dominées.....	152
V.7.2.2 – Equilibre de Nash.....	154
V.7.2.3 – Equilibre de Nash en stratégie mixte.....	156
V.8 – Scénario	157
V.9 – Formalisme mathématique des gains	158
V.10 – Applications et résultats (sur Matlab)	160
V.11 – Conclusion	170

Conclusion générale et perspectives	172
--	-----

Annexes

Annexe A1 : programme principal	175
Annexe A2 : Calcul du taux des paquets perdus	185
Annexe A2 : Calcul du délai moyen de transmission des paquets	185
Annexe B : PUBLICATIONS ASSOCIÉES À CETTE THÈSE	187
Bibliographies	214

Table des figures

Figure I.1 : Architecture globale du réseau UMTS	27
Figure I.2 : le mode infrastructure	29
Figure I.3: mode ad hoc.....	30
Figure I.4 : Standard IEEE 802.16	31
Figure I.5 : Hard Handover	36
Figure I.6 : Soft Handover	38
Figure I.7: Fast Handover	39
Figure I.8 : Procédure du mode prédictif de FHO	41
Figure I.9 : Procédure du mode réactif de FHO	42
Figure I.10 : Principe de fonctionnement Smooth Handover	43
Figure I.11 : Principe de fonctionnement Seamless Handover	45
Figure I.12 : Procédure de Seamless Handover	46
Figure I.13 : Accès multiple	49
Figure II.1 : Flot de simulation avec NS2	52
Figure II.2 : Vue d'ensemble de conception de MIH	54
Figure II.3: Topologie du scénario	55
Figure II.4 : Technique de simulation	59
Figure II.5 : Evolution du Taux des paquets perdus moyen (trafic TCP)	61
Figure II.6 : Evolution du délai moyen de transmission des paquets (trafic TCP).....	62
Figure II.7 : Evolution du Taux des paquets perdus moyen (trafic UDP)	63
Figure II.8 : Evolution du délai moyen de transmission des paquets (trafic UDP).....	64
Figure II.9 : Evolution du Taux des paquets perdus moyen (trafic vidéo)	65
Figure II.10 : Evolution du délai moyen de transmission des paquets (trafic vidéo).....	66
Figure II.11 : Evolution du Taux des paquets perdus moyen (trafic voix).....	67
Figure II.12 : Evolution du délai moyen de transmission des paquets (trafic voix)	68
Figure II.13 : comparaison des taux des paquets perdus moyens entre TCP et UDP	69
Figure II.14 : Comparaison des délais moyens de transmission entre TCP et UDP.	69
Figure II.15 : Comparaison des taux des paquets perdus moyens entre UDP, la voix et la vidéo	70
Figure II.16 : Comparaison des délais moyens de transmission entre UDP, la voix et la vidéo.....	71
Figure III.1 : WMN hiérarchique.....	75
Figure III.2 : WMN plats.	75
Figure III.3: Fonctionnement en mode ad hoc.	76
Figure III.4: WMN hybride.....	76
Figure III.5 : Les réseaux maillés pour la maison numérique.....	78
Figure III.6: Les réseaux maillés pour les réseaux de voisinage.	79
Figure III.7 : Les réseaux maillés pour les entreprises.....	80
Figure III.8 : Les réseaux maillés métropolitain.	81
Figure III.9 : Etalment de spectre à saut de fréquence.	83
Figure III.10 : Technique de chipping.	84
Figure III.11 : Accès au support CSMA/CA.	87
Figure III.12: Algorithme de Back off.....	88

Figure III.13 : Réserveion du support avec les trames RTS/CTS.....	89
Figure III.14 : Exemple de routage.	89
Figure III.15 : Un réseau ad hoc.....	91
Figure III.16 : La requête RREQ.	94
Figure III.17 : La requête RREP.	94
Figure III.18 : Le principe de decouverte de route par DSR.	95
Figure III.19 : Transition BSS.....	99
Figure III.20 : Transition ESS.	99
Figure III.21 : comparaison entre soft et hard handover.	102
Figure III.22 : la procédure de soft handover.....	103
Figure III.23 : Topologie du scénario.	104
Figure III.24 : Evolution du Taux des pertes de paquets sans Handover.	107
Figure III.25 : Evolution du délai de transmission sans Handover.	108
Figure III.26 : Evolution du débit sans Handover.	109
Figure III.27 : Evolution du Taux de paquets perdus avec Handover.....	109
Figure III.28 : Evolution du Délai avec Handover.	110
Figure III.29 : Evolution du Débit avec Handover.....	111
Figure III.30 : Comparaison du Débit sans et avec le handover (vitesse=20 Km/h).....	112
Figure III.31 : Comparaison des pertes de paquets sans et avec le handover (vitesse=20 Km/h)..	112
Figure III.32 : Comparaison du Délai sans et avec le handover (vitesse=20 Km/h).	113
Figure IV.1 : Exemples d’applications des réseaux NEMO.	118
Figure IV. 2 : Architecture de NEMO.	121
Figure IV. 3 : Fonctionnement de base du protocole NEMO BS.	123
Figure IV.4 : Procédures du Handover NEMO BS.	129
Figure IV.5 : topologie de réseu NEMO.....	135
Figure IV.6 : Evolution du débit en fonction du temps.	136
Figure IV.7 : Evolution du débit moyen en fonction de la vitesse.....	137
Figure IV.8 : Evolution du nombre de paquets perdus en fonction du temps.	138
Figure IV.9 : Taux de paquets perdus en fonction de la vitesse.....	139
Figure IV.10 : Evolution du délai de transmission en fonction du temps.	139
Figure IV.11 : Le délai en fonction de la vitesse.	140
Figure V.1 : Représentation d’un jeu sous forme d’arbre.....	148
Figure V.2 : Représentation graphique du jeu.	161
Figure V.3 : l’intersection de p et q avec $b = 0.3000$, $\alpha=0.6000$, $\beta = 0$, $\gamma=0.4000$	162
Figure V.4 : l’intersection de p et q avec $b = 0.3000$, $\alpha=0.9000$, $\beta=0$, $\gamma=0.1000$	163
Figure V.5 : l’intersection de p et q avec $b = 0.3000$, $\alpha=0.3000$, $\beta=0.6000$, $\gamma=0.1000$	164
Figure V.6 : l’intersection de p et q avec $b = 0.3000$, $\alpha=0.3000$, $\beta=0.3000$, $\gamma=0.4000$	165
Figure V.7 : l’intersection de p et q avec $b = 0.4000$, $\alpha=0$, $\beta= 0.6000$, $\gamma= 0.4000$	166
Figure V.8 : l’intersection de p et q avec $b = 0.4000$, $\alpha= 0.3000$, $\beta= 0.3000$, $\gamma= 0.4000$	167
Figure V.9 : l’intersection de p et q avec $b = 0.4000$, $\alpha= 0.6000$, $\beta= 0$, $\gamma= 0.4000$	168
Figure V.10 : l’intersection de p et q avec $b = 0.5000$, $\alpha= 0$, $\beta=0.6000$, $\gamma=0.4000$	169
Figure V.11: l’intersection de p et q avec $b = 0.5000$, $\alpha=0.3000$, $\beta=0.3000$, $\gamma=0.4000$	170

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Type de Handover dans le réseau	48
Tableau II.1 : Les paramètres de simulation	56
Tableau II.2 : Les paramètres du réseau WiMAX	56
Tableau II.3 : Les paramètres de la station de base WiMAX.....	57
Tableau II.4 : Les paramètres du réseau WiFi	57
Tableau II.5 : Les paramètres du point d'accès WiFi.....	57
Tableau II.6 : Les paramètres du réseau UMTS.....	58
Tableau II.7 : trafic TCP pour le nœud mobile.....	61
Tableau II.8 : trafic UDP pour le nœud mobile.....	62
Tableau II.9 : trafic vidéo pour le nœud mobile.....	64
Tableau II.10 : trafic voix pour le nœud mobile	66
Tableau III.1 : Les différents types du 802.11	73
Tableau III.2 : Les références du 802.11.....	73
Tableau III.3 : La structure de la trame 802.11 au niveau physique, FHSS	83
Tableau III.4 : La composition de la trame 802.11 au niveau physique pour le DSSS.....	84
Tableau III.5 : Table de routage du nœud M1.....	92
Tableau III.6 : Les classes des protocoles de routage pour les réseaux ad hoc	96
Tableau III.7 : Les avantages et les inconvénients des protocoles.....	97
Tableau III.8 : Les paramètres de simulation	104
Tableau III.9 : Les paramètres du réseau WiFi	105
Tableau III.10 : Les paramètres du point d'accès WiFi.....	105
Tableau IV.1 : Changement dans le message BU pour le support NEMO	124
Tableau IV.2 : Option du préfixe pour le support NEMO	124
Tableau IV.3 : Changement dans le message BAck pour le support NEMO.....	125
Tableau IV.4 : Les paramètres de simulation	132
Tableau IV.5 : Les paramètres de réseau WiFi	132
Tableau IV.6 : Les paramètres du point d'accès WiFi	133
Tableau IV.7 : Les paramètres du réseau WiMAX.....	133
Tableau IV.8 : Les paramètres de la station de base WiMAX (bs_16).....	134
Tableau IV.9 : Les paramètres de la station de base WiMAX.(bs_161)	134
Tableau V.1 : Le jeu de pile ou face.....	147
Tableau V.2 : Exemple de jeu en forme stratégique	150
Tableau V.3 : forme stratégique d'un jeu	153
Tableau V.4 : Elimination de la stratégie R.....	153
Tableau V.5 : Elimination de la stratégie B.....	153
Tableau V.6 : Exemple de matrice d'un jeu.....	155
Tableau V.7 : Matrice avec les probabilités des stratégies	156
Tableau V.8 : Matrice du jeu avec les probabilités des stratégies	158

Glossaire

- **2G** (*2ème génération*): technologies de communication radio mobile de 2ème génération.
- **3G** (*3ème génération*): technologies de communication radio mobile de 3ème génération.
- **3G+**: technologies de communication radio mobile après la 3ème génération.
- **3GPP** (*3rd Generation Partnership Project*): coopération entres organisations de standardisation régionaux en télécoms visant la spécification technique de la 3G.
- **3GPP2** (*3rd Generation Partnership Project 2*): coopération entres organisations de standardisation régionaux en télécoms visant la spécification technique de la 3G.
- **4G** (*4ème génération*): technologies de la communication radio mobile de 4ème génération.
- **AAA**: *Authentication Authorization Accounting*.
- **ABC**: Always Best Connected.
- **ACK**: *Acknowledge*.
- **Ad-Hoc**: version du WIFI.
- **AGW**: *Access Gateway*.
- **AODV**: Ad hoc On demand Distance Vector.
- **AP**: *Access Point*.
- **AR**: Access Router.
- **ASN**: *Access Service Network*.
- **ASN-GW**: *Access Service Network Gateway*.
- **ASP**: *Access Service Provider*.
- **AT**: *Access Terminal*.
- **ATM**: *Asynchronous Transfer Mode*.
- **AuC**: *Authentication Center*.
- **BA**: Binding Acknowledgment.
- **BE**: Best Effort.
- **BLR**: Boucle Local Radio.
- **BS**: *Base Station*.
- **BSC**: Base Station Controller.
- **BSS**: *Basic Service Set*.
- **BU**: Binding Update.
- **CBR**: *Constant Bit Rate*.
- **CDMA 2000** : *Code Division Multiple Access 2000*.
- **CS**: Circuit Switched.
- **CSMA/CA**: *Carrier sense multiple access with collision avoidance*.
- **CSMA/CD**: Carrier Sense Multiple Access with Collision Detect.
- **CSN**: *Connectivity Service Network*.
- **CN**: (*Core Network*): cœur du réseau UMTS.
- **CN**: (*Correspondant Node*): nœud qui communique avec une station.
- **CoA**: adresse temporaire.
- **DAD**: Duplicate Address Detection.
- **DBF**: Distributed Bellman Ford.
- **DCF**: *Distributetd Coordination Function*.
- **DS**: *Distribution System*.
- **DSDV**: Destination Séquence Distance Vector.
- **DSR**: Dynamic Source Routing.
- **DSSS**: Direct Sequence Spread Spectrum.
- **EIF**: Egress Interface.
- **EIR**: *Equipment Identity Register*.
- **ESS**: *Extended Service Set*.
- **ETSI**: *European Telecommunications Standards institute*).
- **FBSS**: *Fast Base Station Switching*).

- **FDD**: *Frequency Division Duplex*.
- **FDMA**: *Frequency Division Multiple Access*.
- **FEC**: *Forward Error Correction*.
- **FHSS**: *Frequency Hopping Spread Spertium*.
- **GGSN**: *Gateway GPRS Support Node*.
- **GMSC**: *Gateway MSC*.
- **GPRS**: *General Packet Radio Service*.
- **GSM**: *Global System for Mobile Communications*.
- **HLR**: *Home Location Register*.
- **HWMP**: *Hybrid Wireless Mesh Protocol*.
- **IBSS**: *Independent Basic Service Set*.
- **IETF**: *Internet Engineering Task Force*.
- **IFS**: *Inter-Frame Spacing*.
- **IP**: *Internet Protocol*.
- **IPv6**: *IP version 6*.
- **ISO**: *International Organization for Standardization*.
- **ISP** : *Internet Service Provider*.
- **ITU**: *International Telecommunications Union*.
- **L2 (Layer 2)**: *niveau 2 du modèle OSI*.
- **L3 (layer 3)**: *niveau 3 du modèle OSI*.
- **LA**: *Location Area*.
- **LDPC**: *Low Density Parity Check*.
- **LLC**: *Logical Link Control*.
- **LFN**: *Local Fixed Node*.
- **LMN**: *Local Mobile Node*.
- **LOS**: *Line Of Sight*.
- **MAC**: *Media Access Control*.
- **MAP**: *Mesh Access Point*.
- **MP**: *Mesh Point*.
- **MPP**: *Mesh Portal Point*.
- **MANET**: *Mobile Ad hoc Network*.
- **MD**: *Movement Detection*.
- **MDHO (Macro Diversity Handover**.
- **ME**: *Mobile Equipement*.
- **MF-TDMA**: *Multiple Frequency Time Division Multiple Access*.
- **MIH**: *Media Independent Handover/IEEE 802.21*.
- **MIHF**: *MIH Function*): *fonction principale de MIH*.
- **MIP**: *Mobile IP*.
- **MIPv6**: *Mobile IP version 6*.
- **MME**: *Mobility Management Entity*.
- **MN**: *Mobile Node*.
- **MNN**: *Mobile Network Node*.
- **MNP**: *Mobile Network Prefix*.
- **MR**: *Mobile Router*.
- **MSC**: *Mobile Serving Switchnig*.
- **MSCTP**: *Mobile Stream Control Transmission Protocol*.
- **NAM**: *Network Animator*.
- **NAR**: *Next Access Router*.
- **NIST**: *National Institute of Standards and Technology*.
- **ND**: *Neighbor Discovery*.
- **NEMO**: *Network Mobility*.
- **NLOS**: *NO Line Of Sight*.
- **NS2**: *Network Simulator 2*.
- **OFDM**: *Orthogonal Frequency Division Multiplexing*.
- **OFDMA**: *Orthogonal Frequency Division Multiple Access*.
- **OLSR**: *Optimized Link State Routing*.
- **OSI**: *Open Systems Interconnection*.

- **PAN**: Personal Area Network.
- **PAR**: Previous Access Router.
- **PCF**: *Point Coordination Function*.
- **PDA**: *Personal Digital Assistant*.
- **PLCP**: Physical Layer Convergence Protocol.
- **PMD**: Physical Medium Dependent.
- **PS**: *Packet Switched*.
- **PSTN**: *Public Switched Telephone Network*.
- **QAM**: *Quadrature Amplitude Modulation*.
- **QoS**: *Quality of Service*.
- **QPSK**: *Quadrature phase-shift keying*.
- **RA**: Router Advertisement.
- **RS**: Router Solicitation.
- **RSSI**: Received Signal Strength Indicator.
- **RTS/CTS**: Request To Send/Clear To Send.
- **RNC**: *Radio Network Controller*.
- **SGSN**: *Serving GPRS Support Node*.
- **SIP**: *Session Initiation Protocol*.
- **SM**: *Session Management*.
- **SMTP**: *Simple Mail Transfer Protocol*.
- **TCL**: Tool Command Language.
- **TCP**: *Transmission Control Protocol*.
- **TDD**: *Time Division Duplex*.
- **TDM/TDMA**: *Time Division Multiplexing/Time Division Multiple Access*.
- **UDP**: *User Datagram Protocol*.
- **UE** : *User equipment*.
- **UMTS**: *Universal Mobile Telecommunications System*.
- **Unix**: système d'exploitation.
- **UTRAN**: *UMTS Terrestrial Radio Access Network*.
- **UWB**: *Ultra Wide Band*.
- **VLR**: *Visited Location Register*.
- **VMN**: Visiting mobile node.
- **VoIP**: *Voice over IP*.
- **WCDMA**: *Wideband CDMA*.
- **WiFi**: *Wireless Fidelity*.
- **WiMAX**: *Worldwide Interoperability for Microwave Access*.
- **WLAN**: *Wireless Local Area Network*.
- **WMAN**: *Wireless Metropolitan Area Network*.
- **WMN**: *Wireless Mesh Networks*.

Introduction générale

I. problématique

La gestion de la mobilité dans les réseaux sans fil hétérogènes, fournissant le handover et la qualité de service, est l'un des principaux défis de ce type de réseaux. Les utilisateurs mobiles ont besoin d'accéder à leurs services IP en tout lieu, à tout moment et de la meilleure manière possible sans se soucier des transitions entre les différents réseaux d'accès. Cet accès sans fil universel fait référence au concept ABC (Always Best Connected) dans les nouvelles générations de systèmes de communication telle que 4G ou NGN. Cette nouvelle génération n'est autre qu'un environnement sans fil hétérogène dans lequel différents réseaux d'accès doivent coexister. Elle peut ainsi offrir une variété de services à haut débit et une couverture ubiquitaire aux utilisateurs mobiles. Au sein de ce type d'environnement, il est nécessaire d'intégrer ou de faire coopérer des réseaux sans fil hétérogènes par un modèle d'Interworking. Une des principales exigences d'un modèle d'Interworking est de gérer la mobilité des utilisateurs pour une continuité de service de manière transparente. Dans ce cas, un réseau d'accès doit être sélectionné et la communication active doit être maintenue avec prise en compte possible des préférences de l'utilisateur. Pour cela, un schéma de gestion du handover vertical devrait collecter les informations nécessaires, décider du besoin d'initier le handover en temps opportun, choisir le réseau le plus approprié parmi les réseaux d'accès hétérogènes disponibles et exécuter le handover. Pour garantir et satisfaire la continuité de service entre les réseaux hétérogènes avec une bonne qualité de service, on doit faire appel à l'implémentation des protocoles de mobilité et à des mécanismes de handover capables de réaliser ce souhait.

II. Motivation et Contribution

Notre choix a été sur ce thème de recherche parce qu'il répond à trois domaines d'actualité et d'importance dans le monde des télécommunications : Green Communication, Cognitive Radio et Smart Grids.

De récentes percées technologiques dans le domaine des terminaux portables et dans celui des réseaux sans fil ont conduit à une forte évolution des environnements mobiles.

Les environnements mobiles se caractérisent par la présence d'un ou de plusieurs terminaux portables ayant chacun un ou plusieurs moyens de communication sans fil. Ces interfaces de communication sans fil permettent aux terminaux, tout en se déplaçant, de communiquer entre eux ou avec des stations fixes. Ces environnements présentent de grandes différences par rapport aux environnements traditionnels ou fixes. Pour des raisons de taille et de poids, les terminaux portables disposent de ressources moins importantes par rapport à celles qu'offrent des stations fixes. De plus, l'utilisation de ces ressources est limitée dans le temps puisqu'elle dépend d'une source d'énergie limitée, la batterie. En ce qui concerne les réseaux de communication sans fil, ils offrent une bande passante beaucoup plus faible et variable que les réseaux filaires. En effet, ces communications sont soumises à de fortes variations résultant des interférences du signal avec les éléments physiques alentours. Ces variations conduisent, dans le cas extrême, à la déconnexion lorsque le signal ne parvient plus au terminal portable.

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 (WiFi, UMTS). 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.

Notre travail de cette thèse s'est donc concentré sur ces problèmes d'interopérabilité avec prise en compte de la qualité de service. Pour cela, nous avons fait porter une bonne partie de nos efforts sur l'interopérabilité entre ces systèmes terrestres (WiFi, UMTS, WiMAX). 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.

Notre première contribution porte sur le développement et le déploiement de la norme IEEE 802.21 afin qu'elle puisse intégrer les systèmes hétérogènes. 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. Le but de cette partie est donc de modéliser une architecture de

développement permettant de mettre en œuvre ce principe et d'analyser les performances du handover inter-système entre les réseaux, UMTS, WiFi et WiMAX.

Les entreprises étaient confrontées autrefois à de nombreux problèmes dus au non interconnexion des ordinateurs. La mise en réseau des ordinateurs et périphériques a permis de résoudre ces problèmes en offrant des avantages tels que la possibilité de communiquer avec plusieurs utilisateurs, le partage des ressources, la facilité d'administration des différents équipements. Le besoin de plus en plus important de mobilité, ainsi que la diversification des réseaux a poussé les organismes à normaliser les réseaux sans fil pour assurer une compatibilité entre les différents fabricants.

Les environnements sans fils et mobiles permettent une grande flexibilité d'emploi. En particulier, ils permettent la mise en réseau des sites donc le câblage serait trop onéreux à réaliser dans leur totalité, voire même impossible (par exemple en présence d'une composante mobile). L'environnement mobile offre beaucoup d'avantages par rapport à l'environnement habituel. Cependant de nouveaux problèmes peuvent apparaître (le problème de routage par exemple), causés par les nouvelles caractéristiques du système. Les solutions conçues pour les systèmes distribués avec uniquement des sites statiques, ne peuvent pas donc être utilisées directement dans un environnement mobile. De nouvelles solutions doivent être trouvées pour s'adapter aux limitations qui existent, ainsi aux facteurs qui rentrent dans le jeu lors de la conception.

Notre deuxième contribution porte sur des mécanismes permettant d'améliorer les procédures de handover dans les réseaux Mesh. Cette partie consiste à étudier la technologie d'un réseau sans fil de type IEEE 802.11 (WiFi) et les réseaux mesh (802.11s) en focalisant sur les protocoles de routage et les mécanismes de Handover dans les réseaux maillés sans fil (Wireless Mesh Networks). L'objectif recherché à travers ce travail est de modéliser une architecture de développement permettant de mettre en œuvre des mécanismes afin d'évaluer et analyser les performances du handover dans les réseaux Mesh.

Depuis quelques années, les appareils mobiles font partie de notre vie de tous les jours. Néanmoins pour être pleinement utilisables, les téléphones intelligents, tablettes et portables ont une condition nécessaire : être connectés à Internet ou un autre réseau de grande envergure.

En plus de ce qui a été dit auparavant sur les environnements mobiles, On affiche un désir de la part des usagers à bénéficier d'un accès Internet sans discontinuité de leurs applications réseaux usuelles lors de leurs déplacements, de sorte que nous avons des réseaux entiers constitués de dispositifs sans fils se déplaçant ensemble et désirant cette qualité de service. Les systèmes de transport (avion, bateau, TGV, train, tramway, métro, train, bus, voiture,...) sont un environnement typique. Ainsi, nous parlerons de mobilité lorsque la localisation d'un équipement ou d'un réseau change dans la topologie Internet. La gestion de la mobilité constitue aujourd'hui un véritable challenge dans l'Internet nouvelle génération. En effet, le problème de dualité de l'adressage IP, conçu initialement pour supporter un double rôle d'identification et de localisation dans la topologie Internet, ne permet pas une connectivité sans interruption des services. Lors de son changement de réseau, un terminal mobile par exemple change de point d'attachement (routeur d'accès), son adresse IP change également, il n'est plus joignable par ses correspondants et ses sessions actives sont interrompues. Des architectures de gestion de la mobilité sont donc nécessaires. Il est aujourd'hui communément admis que ces architectures doivent séparer les deux rôles d'identification et de localisation de l'adresse IP. La gestion de la mobilité implique en général un handover vertical nécessitant la reconfiguration d'adresse IP et la mise à jour de cette nouvelle localisation pour le maintien des sessions.

Les réseaux mobiles et la gestion de leur mobilité permettent en effet de réaliser tout un ensemble de scénarii permettant le déploiement d'applications multimédia en tout lieu et à tout instant, mais nécessitant la prise en compte de l'environnement mobile dans lequel sont situés les équipements.

Notre troisième contribution se focalise sur le développement et l'adaptation d'une nouvelle approche de gestion de la mobilité adéquate à ce type de réseau (NEMO). Le but de cette étude est donc de mettre l'accent sur la notion du réseau mobile (NEMO) et de modéliser une plate forme de développement permettant de mettre en œuvre des outils afin d'étudier et analyser la gestion de la mobilité dans ce type de réseaux.

Le réseau cellulaire se situe à l'heure actuelle comme le système observant la plus forte croissance du nombre d'abonnés profitant de ses services. Ainsi, la garantie d'une qualité de service acceptable devient une nécessité à réaliser. L'opérateur des télécommunications cellulaires doit maintenir une qualité de service satisfaisante, pour ne pas perdre ses clients et aussi attirer d'autres abonnés (élévation d'abonnés) dont le but de réaliser et maximiser ses

gains. Contre face le client, veut toujours une bonne qualité de service mais avec un coût moins cher, c'est-à-dire lui aussi cherche à profiter et maximiser ses gains. Donc, on a deux joueurs concurrents où chacun d'entre eux veut gagner et maximiser ses gains. La satisfaction de ces concurrents nécessite l'établissement d'un compromis, autrement dit, on doit trouver un point optimum qui se comporte comme la meilleure solution pour les deux. Pour réaliser ce but, on doit faire appel à la théorie des jeux pour la modélisation de cette situation de compétition.

Cette théorie est la discipline mathématique qui étudie les situations où le sort de chaque participant dépend non seulement des décisions qu'il prend mais également des décisions prises par d'autres participants. En conséquence, le choix "optimal" pour un participant dépend généralement de ce que font les autres. Parce que chacun n'est pas totalement maître de son sort, on dit que les participants se trouvent en situation d'interaction stratégique.

La théorie des jeux en tant que discipline est couramment répertoriée comme une branche des mathématiques appliquées. Les problèmes étudiés dans le cadre de la théorie des jeux sont des objets mathématiques bien définis. Un jeu comprend un ensemble de joueurs ayant chacun un ensemble d'actions possibles et une fonction de gain à valeur pour chaque combinaison possible d'actions. Il y a de nombreuses catégories de jeux.

Dans ce contexte, notre quatrième contribution a consisté à proposer un formalisme mathématique et élaborer un modèle analytique dans le cadre de la théorie des jeux permettant de trouver le point optimum entre le réseau et son client. Cette contribution est originale et constitue un travail pionnier.

III. Organisation du manuscrit

Cette thèse se décompose en cinq chapitres :

Dans le premier et le deuxième chapitre, notre travail de thèse s'est focalisé sur la présentation des concepts généraux sur les réseaux, UMTS, WiFi et WiMAX ; puis sur la modélisation réseau du handover inter-système entre ces trois technologies, ainsi, nous présenterons l'outil de simulation et les implémentations nécessaires pour le support des mécanismes du handover vertical ; et enfin sur l'évaluation des performances du handover vertical en simulant différents types d'application.

Dans le troisième chapitre, le travail s'est concentré sur la présentation des concepts généraux sur les réseaux WiFi Mesh ; ensuite sur les caractéristiques et les applications de la technologie Mesh, ainsi, nous envisagerons l'étude du principe de fonctionnement des réseaux maillés sans fil (WMNs), les spécificités du routage dans le cadre du réseau WLAN Mesh et les mécanismes du handover dans les réseaux Mesh avec la gestion de la mobilité. Enfin, nous évaluerons les performances du handover dans les réseaux Mesh.

Le quatrième chapitre sera consacré à la présentation générale du réseau NEMO, en focalisant sur l'architecture et la fonctionnalité de ce type de réseau. Ensuite, l'étude se focalise sur la gestion de mobilité et aux spécificités du Handover en détaillant ses phases et ses types notamment dans le cadre du réseau NEMO. Nous finirons cette partie par l'évaluation et l'analyse des résultats obtenus de notre modélisation.

Le cinquième chapitre sera réservé à l'étude de la théorie des jeux. En premier temps, nous avons présenté quelques champs d'applications importants de la théorie des jeux qui l'ont influencée. Dans la seconde partie nous avons mentionné plusieurs notions de base comme les jeux coopératifs, qui sont en général représentés à l'aide d'une fonction caractéristique et les jeux non-coopératifs en forme normale. Finalement, nous avons introduit ce qu'est un équilibre au sens de Nash.

La phase de l'implémentation de la théorie des jeux à l'optimisation du jeu représenté par sa forme stratégique et l'interprétation des résultats obtenus est décrite au niveau de la troisième partie de ce chapitre.

Finalement, une conclusion générale finira cette étude, en dressant un bilan de la thèse et en présentant quelques perspectives d'études futures.

Chapitre I :

Etat de l'art des réseaux sans fils et de handover

I.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous allons présenter des concepts généraux sur les réseaux sans fil avec les différents types, suivi d'une présentation des trois technologies sans fil « UMTS WiFi WiMAX ». Ensuite, nous allons citer les types de mobilité et définir le phénomène de Handover, aussi détailler les phases de ce mécanisme, suivi d'une description de différents types de Handover .finalement, une présentation d'analyse des composants du Handover du protocole NEMO BS (ou MIPv6-NEMO).

I.2. Concepts généraux sur les réseaux sans fil

Un réseau sans fil substitue aux habituels câbles des connexions via les ondes radioélectriques. A cette fin, ces bornes sont installées pour délimiter une zone de couverture ; les utilisateurs peuvent en profiter à condition de disposer d'un adaptateur pour émettre et recevoir sur ce réseau. Cet adaptateur peut prendre la forme d'un boîtier, d'une carte PCI ou encore, pour les ordinateurs portables, d'une carte au format PCMCIA.

Il existe plusieurs standards de réseaux sans fil (WLAN, WMAN, WWAN), ces standards permettent à un terminal mobile de communiquer avec une base fixe et permettre de passer d'une base fixe à une autre.

Les prochaines évolutions des systèmes mobiles permettront d'intégrer ces diverses technologies dans le même terminal pour permettre une communication "sans couture" et en permanence, quelque soit l'endroit où l'on se trouve.

On distingue les différents types suivants :

I.2.1. Les réseaux locaux sans fil (WLAN, *Wireless Local Area Network*)

Ils sont faits pour interagir avec des infrastructures filaires. Ce sont les réseaux sans fil qui ont les meilleures performances en débit et en portée. On peut utiliser ce type de réseaux dans deux cas de figure : soit dans des locaux privés (bureaux, salles de conférences), soit dans un environnement public (aéroports, hôtels, restaurants), avec des restrictions.

I.2.2. Les réseaux larges sans fil (WWAN, *Wireless Wide Area Network*)

Ce sont essentiellement les réseaux cellulaires utilisés par les opérateurs de téléphonie portable, exemple :

- Voix : GSM, CDMA.
- Voix, Données : GPRS.
- Voix, Données (y compris de la vidéo numérique) : UMTS.

I.2.3. Les réseaux métropolitains sans fil (WMAN)

Le réseau métropolitain sans fil (**WMAN** pour *Wireless Metropolitan Area Network*) est connu sous le nom de **Boucle Locale Radio** (BLR). Les WMAN sont basés sur la norme IEEE 802.16. La boucle locale radio offre un débit utile de 1 à 10 Mbit/s pour une portée de 4 à 10 kilomètres, ce qui destine principalement cette technologie aux opérateurs de télécommunication. La norme de réseau métropolitain sans fil la plus connue est le WiMAX, permettant d'obtenir des débits de l'ordre de 70 Mbit/s sur un rayon de plusieurs kilomètres.

I.3. UMTS

L'UMTS est la norme de nouvelle génération pour la transmission vocale, texte, vidéo ou multimédia numérisée, sa bande de fréquence de fonctionnement est 1900MHz-2000MHz. C'est une évolution décisive par rapport au GSM, mais au contraire du GSM ce sera une norme internationale unifiée, basée sur une combinaison de services fixes et radio / mobiles. La téléphonie standard, l'accès à l'Internet, la téléphonie vidéo et les services spécialement adaptés tels que les actualités et les informations sur la bourse seront mis à disposition des utilisateurs sans interruption, où qu'ils soient et lorsqu'ils sont en déplacement.

I.3.1. L'architecture de réseau UMTS

Le réseau UMTS [1, 2] est composé d'un réseau d'accès UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network) et d'un réseau cœur.

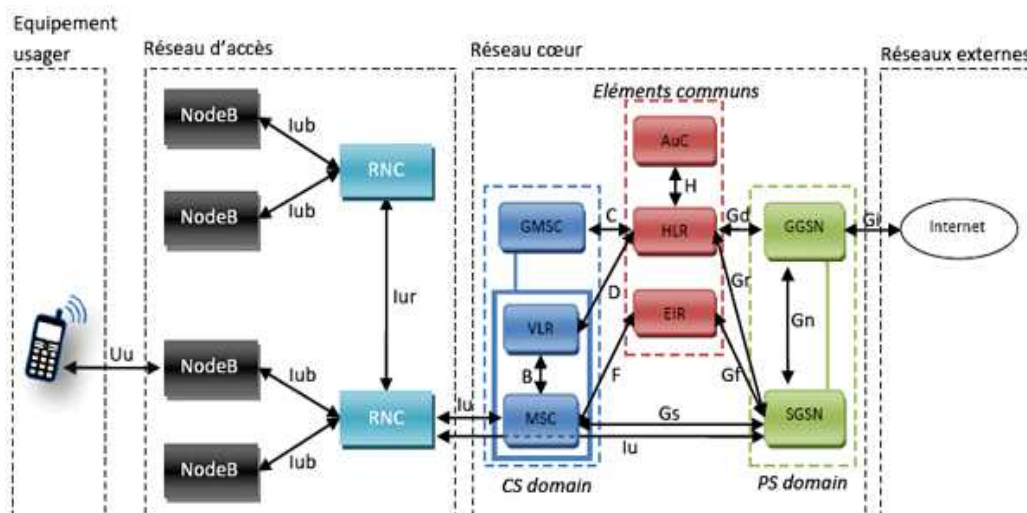


Figure I.1 : Architecture globale du réseau UMTS [3]

I.3.1.1. Réseau d'accès Utran

C'est la partie radio du réseau UMTS ; elle se compose de :

❖ NodeB :

Le rôle principal du NodeB est d'assurer les fonctions de réception et de transmission radio pour une ou plusieurs cellules du réseau d'accès de l'UMTS avec un équipement usager. Le NodeB travaille au niveau de la couche physique du modèle OSI (codage et décodage).

❖ Les interfaces de communication :

Les interfaces entre les différents équipements (Uu, lu, lub, lur) ont été normalisées pour permettre une compatibilité totale entre les équipements de différents constructeurs.

❖ RNC:

C'est la partie intelligente de l'UTRAN. Elle est responsable de la gestion des ressources radio et de la gestion de la mobilité.

Il travaille au niveau des couches 2 et 3 du modèle OSI (contrôle de puissance, allocation de codes).

I.3.1.2. Réseau cœur

Le réseau cœur de l'UMTS est composé de trois parties dont deux domaines :

- Le domaine CS (Circuit Switched) utilisé pour la téléphonie.
- Le domaine PS (Packet Switched) qui permet la commutation de paquets.

- Les éléments communs aux domaines CS et PS.

Ces deux domaines permettent aux équipements usagers de pouvoir gérer simultanément une communication circuits et paquets.

❖ **Éléments communs**

Le groupe des éléments communs est composé de plusieurs modules :

- Le HLR (Home Location Register) représente une base de données des informations de l'utilisateur : l'identité de l'équipement usager, le numéro d'appel de l'utilisateur...etc.
- L'AuC (Authentication Center) est en charge de l'authentification de l'abonné, ainsi que du chiffrement de la communication. Si une de ces deux fonctions n'est pas respectée, la communication est rejetée.
- L'EIR (Equipment Identity Register) est en charge de la gestion des vols des équipements usagers.

❖ **Le domaine CS**

Le domaine CS est composé de :

- Le MSC (Mobile-services Switching Center) appartenant au domaine circuit. Cette entité est responsable de l'acheminement des communications.
- Le VLR (Visitor Location Register) est une base de données attachée à un ou plusieurs MSC. Il est en charge d'enregistrer les usagers dans une zone géographique LA (Location Area).
- Le GMSC (Gateway MSC) est une passerelle entre le réseau UMTS et le réseau téléphonique commuté PSTN (Public Switched Telephone Network).

❖ **Le domaine PS**

Le domaine PS est composé de :

- Le SGSN (Serving GPRS Support Node) a les mêmes fonctions que celles du MSC mais dans le domaine paquet.
- Le GGSN (Gateway GPRS Support Node) est une passerelle vers les réseaux à commutation de paquets extérieurs tels que l'Internet.

I.4. WiFi

Le mot générique WiFi [4, 5] signifie Wireless Fidelity (Fidélité sans fil), c'est l'appellation commerciale d'une technologie de transmission sans fil basée sur la norme de réseau radioélectrique 802. Elle a été normalisée en 1999 par l'IEEE (Institut of Electrical and Electronics Engineers).

Le WiFi est un réseau local de type Ethernet à accès sans fil. Actuellement, les débits sont de 2 à 11 Mbps dans la bande de fréquence de 2.4 GHz. Des évolutions de cette norme sont en cours, pour permettre des transferts plus importants sur la même bande et celle des 5 GHz.

I.4.1. Les modes opératoires

Le WiFi définit deux modes : un mode infrastructure et un mode ad hoc.

I.4.1.1. Mode infrastructure

En mode infrastructure, le réseau sans fil consiste au minimum en un point d'accès connecté à l'infrastructure du réseau filaire et un ensemble de postes réseaux sans fil. Cette configuration est baptisée Basic Service Set (BSS, ou ensemble de services de base). Un Extended Service Set (ESS, ou ensemble de services étendu) est un ensemble d'au moins deux BSS formant un seul sous-réseau. En entreprise, la plupart des WLAN devront pouvoir accéder aux services pris en charge par le LAN filaire (serveurs de fichiers, imprimantes, accès Internet). Aussi ils fonctionneront en mode infrastructure.

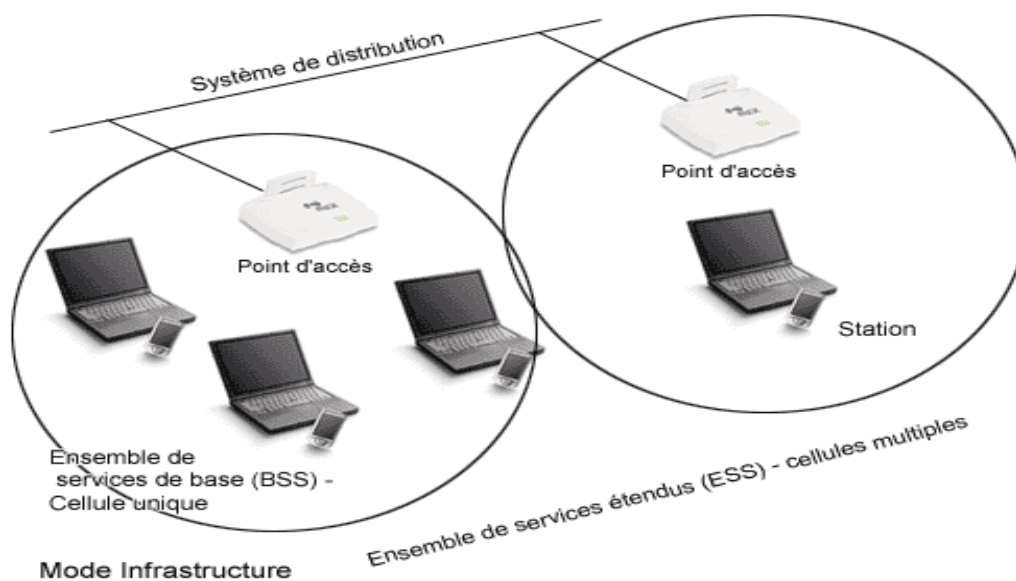


Figure I.2 : Mode infrastructure

I.4.1.2. Mode ad hoc

Le mode ad hoc (également baptisé point à point, ou ensemble de services de base indépendants - soit IBSS, de l'anglais Independent Basic Service Set) représente simplement un ensemble de stations sans fil 802.11 qui communiquent directement entre elles sans point d'accès ni connexion à un réseau filaire. Ce mode permet de créer rapidement et simplement un réseau sans fil là où il n'existe pas d'infrastructure filaire ou encore là où une telle infrastructure n'est pas nécessaire pour les services attendus.

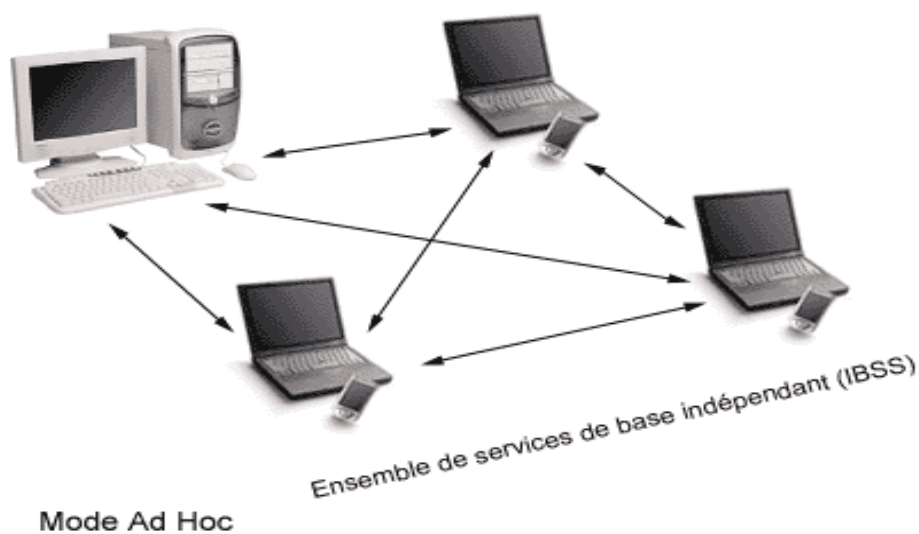


Figure I.3: Mode ad hoc

I.5. WiMAX

Le réseau WiMAX [6, 7, 8, 9, 10] 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.

I.5.1. Les composants de réseau WiMAX

Le WiMAX permet de mettre en place une boucle locale radio, c'est-à-dire un lien par ondes radio entre l'antenne WiMAX (ou «station de base») et l'utilisateur. Depuis le réseau du Web jusqu'à l'utilisateur, on trouve les éléments suivants :

- 1) Une liaison à très haut débit, desservie par fibre optique ou faisceau hertzien, pour alimenter l'antenne WiMAX.
- 2) Une antenne WiMAX (ou "station de base"), placée sur un lieu élevé (pylône, château d'eau,...) afin d'assurer une couverture spatiale maximale.
- 3) entre l'antenne et l'utilisateur, plusieurs kilomètres de transmission sans fil.
- 4) chez l'abonné, un équipement WiMAX assure la liaison entre l'émetteur de la zone et l'ordinateur connecté : une antenne posée sur le toit de l'utilisateur et un équipement intérieur ou une Carte WiMAX insérée dans les ordinateurs portables (en projet).

I.5.2. Standard de l'interface air IEEE 802.16

Plusieurs standards IEEE 802.16 (Figure I.4) 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.

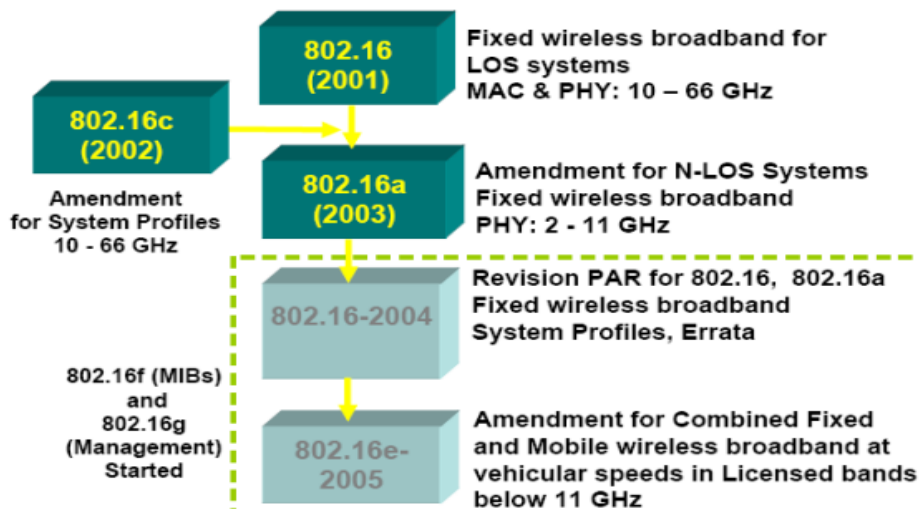


Figure I.4 : Standard IEEE 802.16 [11]

I.6. Mobilité et Handover

Les possibilités de se connecter à Internet à tout moment et en tout lieu se multiplient aujourd'hui avec l'avènement des nouvelles technologies d'accès sans fil et le déploiement par les opérateurs d'infrastructures mobiles faisant usage de ces technologies. Il s'en suit une mobilité induite par l'utilisation de plusieurs outils de travail mobiles (PDA, SmartPhone, Laptop, etc). Ainsi, on affiche aujourd'hui un désir croissant de la part des utilisateurs en déplacement à bénéficier d'un accès Internet sans discontinuité de leurs applications réseaux habituelles.

Depuis quelques années déjà, des recherches ont été entamées pour développer des solutions de gestion de la mobilité, ces solutions avaient pour principal objectif la continuité des services en cours de déplacement d'un terminal mobile. D'autres part, les sociétés de transport désirant offrir un service de connexion à leurs clients en déplacement et aux fabricants de véhicules, qui interconnectent de plus en plus d'équipements à bord, envisagent la question de la mobilité d'un réseau entier et non plus uniquement celle d'équipements isolés. Des recherches ont été menées également dans ce sens [12].

I.6.1. Mobilité

Les protocoles de mobilité interviennent généralement au cours du Handover.

Il existe plusieurs niveaux de mobilité faisant référence au modèle OSI [13].

Nous nous intéressons plus particulièrement à savoir si un changement d'adresse IP est nécessaire lors d'un scénario de mobilité (qu'il soit intra-technologie ou inter-technologies). Nous nous basons donc sur ce critère pour distinguer les différents types de mobilité.

I.6.1.1. Micro-mobilité

Le niveau de mobilité le plus bas, est le niveau 2 (Layer 2, L2) qui correspond à la couche liaison du modèle OSI. Ce niveau de mobilité est connu sous le nom Micro Mobilité ou la mobilité locale. Par définition, la Micro Mobilité concerne le déplacement d'une station mobile entre deux points d'attachement situés sur le même réseau sans changement de son adresse IP courante [13].

I.6.1.2. Macro-mobilité

La mobilité de niveau réseau (Layer 3, L3) est connue également sous le nom Macro-Mobilité ou la mobilité globale. Il s'agit de gérer le déplacement d'un utilisateur mobile entre deux

réseaux d'accès différents. Ce déplacement nécessitera une mise à jour de l'adresse IP courante de la station mobile [13].

I.6.2. Handover

Le Handover (HO) ou le transfert intercellulaire est l'ensemble des fonctions et des opérations mises en œuvre entre une ou plusieurs stations de service et une station mobile, pour permettre à cette dernière de changer son point d'attachement au réseau Internet (changement de cellule) et de bénéficier des services d'une autre cellule au lieu de l'ancienne. La station mobile aura la possibilité de continuer sa communication en cours avec un minimum d'interruption [13], sachant que les deux cellules impliquées sont gérées soit par un même réseau (Handover horizontal) soit par les différents réseaux (Handover vertical).

I.6.2.1. Handover Horizontal

Le handover horizontal est défini comme handover entre différentes stations de base avec la même interface du réseau sans fil.

I.6.2.2. Handover vertical

Un handover vertical est défini comme handover entre les stations de base qui emploient différentes interfaces de réseau sans fil (wireless network interface). Le handover vertical est une technique qui permet à un utilisateur mobile d'errer entre les réseaux sans fil multiples d'une sorte complètement transparente aux applications et aux utilisateurs et qui perturbent le moins possible la connexion. Une fois on se trouve en dehors de la gamme, le système devrait automatiquement commuter à une autre station de base, sans se déconnecter. S'il y a plus d'une interface disponible le système devra décider laquelle il faut employer. Une des difficultés avec le handover vertical est de commuter entre les réseaux comme s'il n'y avait pas de coupure et avec peu de perte de données en tant que possible.

Pour un utilisateur, une telle connexion signifie que les dispositifs qui ont accès au réseau peuvent être utilisés dans tous les réseaux sans nécessité de recharger ou remettre en marche des dispositifs ou des applications.

En deux mots, nous pouvons dire que le handover vertical n'est autre qu'une commutation, sans coupure ou théoriquement sans coupure, entre deux réseaux de technologies différentes, en maintenant la même connexion [14].

I.7. Raisons pour exécuter un Handover

Les raisons les plus communes pour qu'un HO soit exécuter sont en raison de manque de qualité de signal ou du niveau du trafic pour une station de base.

I.7.1. Qualité de signal

Si le rapport de signal/bruit diminue au-dessous d'un certain niveau (Seuil) c'est-à-dire la diminution de la qualité de signal qui est indiqué par le système, le HO doit être exécuté.

La puissance du signal est constamment mesurée par l'UE/MS et le nœud B/BS (note : dans ce qui suit BS sera rapporté à un nœud B ou une station du base WIMAX) [15].

I.7.2. Trafic

Chaque cellule a un certain niveau de charge, en effet quand la quantité du trafic dépasse le niveau maximum de la capacité d'une cellule, les utilisateurs de cette cellule sont remis à une autre cellule qui a une capacité plus disponible. De cette façon, les ressources radio sont utilisées d'une façon uniforme. Les HOs sont également adaptés au comportement de l'utilisateur mobile. D'une façon générale, lorsqu'un utilisateur mobile accélère, un Handover peut être effectué d'une microcellule à une macro-cellule et s'il ralentit, un Handover sera favorable à une pico-cellule [15].

I.8. Différentes phases du Handover

I.8.1. Phase de découverte

La notion de découverte est importante car elle pose de nombreuses difficultés. La procédure de Handover suppose un grand nombre de mesures pour un mobile afin de découvrir son environnement et les points d'accès auxquels, il peut potentiellement s'attacher. Ces mesures sont :

- la puissance du signal reçu (qui est un indicateur de qualité).
- le taux d'erreur binaire.
- la distance entre le mobile et le point d'attachement.

Dans cette phase, le Handover vertical doit être utilisé en conjonction avec les mesures (signal reçu, taux d'erreur,..). Les éléments sont les suivants :

- Type de service : On peut avoir différents types de services qui demandent des qualités de services différentes.
- Le coût : Il s'agit d'un élément très important pour l'utilisateur, car les opérateurs vont utiliser des stratégies de taxation qui vont déterminer son choix.
- Paramètres réseau : Des paramètres de réseau comme le trafic, la bande passante disponible.
- Performance du système : On peut inclure ici des paramètres de canal comme la BER, l'interférence. La batterie peut avoir aussi une influence dans le handover.

I.8.2. Phase de décision

Lorsque des paramètres mesurés sur l'accès courant franchissent certains seuils (puissance de signal, taux de perte), le mécanisme de HO est déclenché.

La phase de décision qui vient une fois que le mobile a déjà acquis son environnement, et qui consiste à choisir parmi la liste des AR disponibles le prochain AR auquel il va s'attacher. Ce choix peut être fait par le mobile ou par une entité dans le réseau. La seconde approche est souvent utilisée pour préparer l'attachement avant que le changement de AR ne soit commencé afin de réduire le temps d'interruption.

En fonction du niveau de la pile réseau auquel on se place, les informations utilisées pour prendre la décision ne sont pas de même nature.

De plus en plus, les approches cherchent à s'affranchir la séparation stricte en couche dont on n'est plus très sûr qu'elle soit bien adaptée à la gestion de la mobilité. Elle limite, en effet, l'acheminement des données utiles au déclenchement du Handover puis à la sélection du prochain AR, surtout en environnement hétérogène où chaque niveau de liaison ne dispose que des informations relatives à sa technologie d'accès et ne voit pas les AR d'autres technologies présents dans la zone.

I.8.3. Phase d'exécution

La phase d'exécution comprend l'attachement au nouvel AR, c'est-à-dire l'ensemble des actions que le mobile doit entreprendre pour être capable de communiquer à travers le nouvel AR. Une fois l'attachement effectué, il est nécessaire de faire la publicité de la nouvelle localisation pour permettre aux nouveaux correspondants de joindre le mobile en fonction d'une identité qu'ils connaissent. Il s'agit donc d'avertir le réseau et/ou les correspondants courants ou potentiels de la nouvelle position du mobile. Il faut ensuite diriger le trafic vers la nouvelle position. Dans le cas de la mobilité IP les deux dernières actions sont combinées lors

des mises à jour d'association qui informe l'agent mère (ou Home Agent) ou les correspondants pour qu'ils envoient leur trafic vers la nouvelle position.

I.9. Types de Handover

Un mécanisme de Handover qu'il est proactif lorsque tout ou partie de la phase d'exécution peut être préparée avant le changement effectif du point d'attachement. Il sera réactif lorsque l'ensemble des phases sont effectués après. Nous avons deux grandes catégories de handover suivant ce qu'il se déroule au niveau liaison (handover L2) ou au niveau réseau (handover L3), dont plusieurs types sont possibles :

I.9.1. Hard Handover

Le mécanisme du Hard Handover est appliqué généralement dans le cas d'une mobilité relativement lente ou moyenne. Durant le Handover, ce mécanisme oblige la station mobile à interrompre la connexion avec l'ancienne station de base avant d'établir la connexion avec la nouvelle station de base (mécanisme Break-Before-Make) [13].

Ce type de Handover est utilisé dans les systèmes cellulaires, où chaque cellule a une bande de fréquences différentes. Quand l'utilisateur entre dans une nouvelle cellule, il entraîne la démolition de la connexion existante avant qu'une nouvelle connexion utilisant une autre fréquence soit établie dans la cellule visitée. L'algorithme de ce type de handover est assez simple ; la station mobile effectue un Handover lorsque la puissance du signal d'une cellule voisine dépasse la puissance du signal de la cellule actuelle à un seuil donné [15].

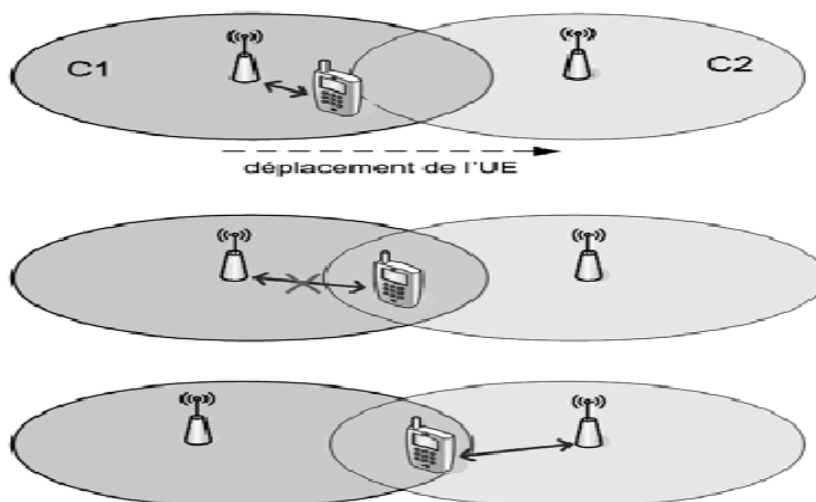


Figure I.5 : Hard Handover

Le problème majeur du hard Handover c'est la coupure de communication causé par la non disponibilité des ressources. Ce problème peut être résolu par l'introduction d'un critère de priorité concernant l'allocation des ressources. Dans une cellule donnée, la demande des ressources pour le Handover est prioritaire par rapport aux nouvelles demandes. Cette idée mène à une mauvaise efficacité spectrale puisque, pour une cellule donnée, on aura des ressources non utilisées lorsqu'il n'y a pas de demandes de Handover vers cette cellule ce qui implique un blocage pour les nouvelles demandes [15].

Ce mécanisme est bénéfique du point de vue de l'allocation des ressources, mais en cas d'échange du trafic temps-réel de volume important, ou dans le cas du déplacement du mobile avec une vitesse importante, ce mécanisme provoque une interruption de service au cours du Handover, ce qui n'est pas bon pour le trafic temps-réel [13].

Le Handover du GSM est un Hard Handover car le circuit est complètement relâché avant qu'un nouveau soit établi. Aussi le réseau WIMAX utilise ce type de Handover.

Le réseau de mobilité (NEMO) a été normalisé par IETF pour faciliter la connectivité Internet continue à hôtes dans un tel réseau. Le routeur mobile est l'élément clé dans un réseau mobile, il fournit la connectivité Internet à tous les nœuds de réseaux mobiles.

Le protocole NEMO Basic permet à MR de se connecter au réseau d'accès via une interface physique qui est moins fiable. Au cours de la période du Handover, le MR doit briser la connexion avec l'ancien réseau d'accès avant d'établir une connexion (break-before-make) avec le nouveau réseau d'accès, résultant l'augmentation du temps de Handover et la perte de paquets. Le problème majeur du hard Handover dans le réseau mobile c'est la coupure de communication qui effectue le retard des applications sensibles par exemple la voix sur IP, la vidéo à la demande. Donc le fonctionnement de NEMO est mauvais [16].

I.9.2. Soft Handover

Le soft-Handover (SHO) est une technique qui permet au mobile de se déplacer d'un routeur d'accès à un autre routeur d'accès sans déconnexion. Ainsi, le mobile a toujours une connectivité de bonne qualité avec le réseau de cœur : les pertes de paquets induites par le Handover sont inexistantes, et la gigue induite par la dégradation du signal radio est minime [17].

Le soft-Handover est réalisable, si le mobile est capable de communiquer simultanément avec plusieurs routeurs d'accès (mécanisme make-before-Break), c'est-à-dire, soit le mobile

dispose de plusieurs interfaces sans-fil (homogènes ou hétérogènes), soit la technologie d'accès permet la connexion du mobile vers plusieurs routeurs d'accès (802.11 en mode ad-hoc, ou WCDMA).

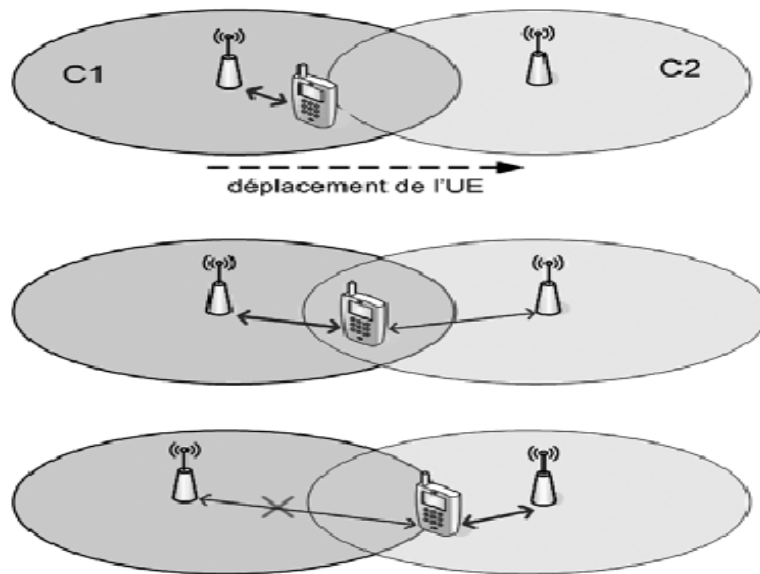


Figure I.6 : Soft Handover

Il propose deux techniques : le MDHO et le FBSS.

I.9.2.1. MDHO

Durant le Handover, le MDHO (Macro Diversity Handover) permet à la MN de se connecter aux routeurs d'accès voisins appartenant à une liste des ARs (Diversity Set) maintenue par la MN avant d'interrompre la connexion avec l'ancien routeur d'accès (mécanisme Make-Before-Break). Dans ce cas le mobile communique avec plusieurs routeurs d'accès en même temps.

Contrairement au Hard Handover, ce mécanisme utilise beaucoup de ressources radio vu qu'il se connecte à plusieurs ARs en même temps, mais il permet d'éviter l'interruption du service au cours du Handover [13].

I.9.2.2. FBSS

Le FBSS (Fast Base Station Switching) est très proche du MDHO dans son principe (Make-Before-Break). Il ajoute une technique qui se résume dans le fait que le mobile peut choisir parmi les ARs avec lesquelles, il est connecté une seule qui sera appelée AR ancre (Anchor AR). Il va échanger avec cette AR ancre tous ses données ainsi que les messages de signalisation. La MS aura le droit de changer de l'AR ancre quand elle le voudra, à condition qu'elle choisisse un nouvel AR ancre parmi la liste des ARs appartenant à son Diversity Set

avec lesquelles, elle est connectée. Généralement, la MN change de AR ancre quand cette dernière n'est plus disponible en nombre de connexions ou en ressources, ou bien encore quand le signal d'une autre AR candidate deviendra meilleur que celui de son AR Ancre courante [13].

Ce type de Handover est utilisé à partir de l'UMTS et dans les générations suivantes puisqu'il maintient la connexion lors du Handover, même le réseau WIMAX utilise le soft Handover. Le Soft Handover permet plus de deux liens sans fil pour réduire les pertes de paquets, et aussi pour éviter d'injecter plusieurs copies de paquets dans le LFN lorsque les deux paquets dupliqués sont livrés avec succès. En comparaison avec le make-before-Break transfert, la différence significative est de savoir si le même paquet est distribué sur deux liaisons sans fil ou non à certains moments. Cela signifie que les utilisateurs peuvent compter sur les deux liaisons pendant un temps donné, dans le cas de NEMO-SHO, alors que le make-before-Break oblige les utilisateurs à s'appuyer soit sur le lien actuel ou sur le nouveau lien.

I.9.3. Fast Handover

Le Fast Handover a été accepté comme une solution efficace de Handover pour résoudre les problèmes de latence de Handover et de perte de paquets. Cette solution assure une latence de handover beaucoup plus courte et moins de perte de paquets par une détection rapide du mouvement et réduction du délai d'enregistrement de la nouvelle CoA.

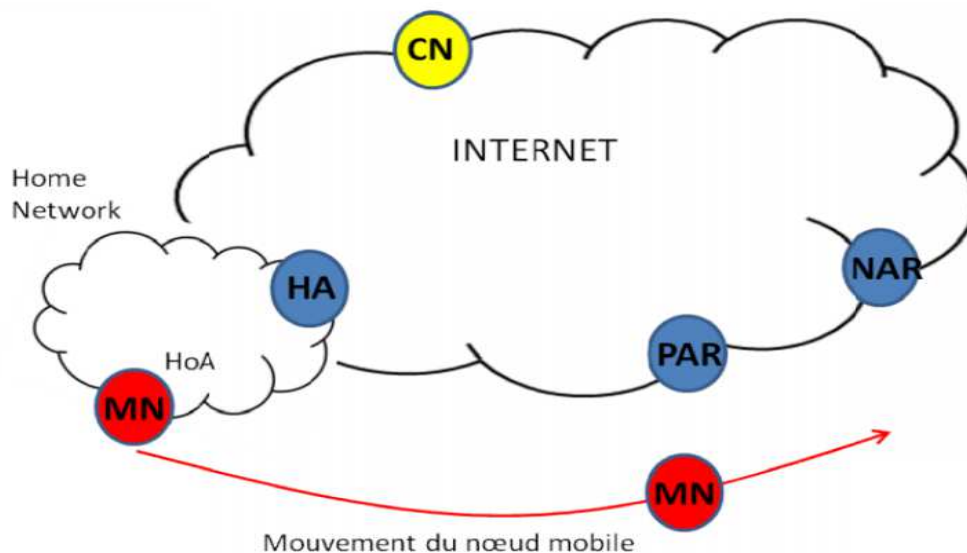


Figure I.7: Fast Handover

Où :

1. PAR (Previous Access Router) : le routeur d'accès précédent.

2. NAR (New Access Router) : le nouveau routeur d'accès.
3. NCoA (New CoA) : nouvelle adresse temporaire CoA.
4. PCoA (Previous CoA) : l'adresse temporaire CoA précédente.

Le Fast Handover utilise les messages suivants :

- RtSolPr (Router Solicitation for Proxy Advertisement) : ce message est envoyé par le MN à son PAR pour demander les informations concernant un Handover potentiel.
- PrRtAdv (Proxy Router Advertisement) : ce message est envoyé par le PAR au MN pour fournir les informations concernant les liens d'accès des réseaux voisins, facilitant ainsi la détection rapide de mouvement.
- FBU (Fast Binding Update) : ce message est envoyé par le MN à son PAR. Il a pour objet de permettre au PAR de lier l'adresse temporaire précédente PCoA à la nouvelle adresse temporaire NCoA et de rediriger les paquets destinés à l'adresse temporaire précédente (PCoA) à sa nouvelle adresse temporaire (NCoA).
- FBBack (Fast Binding Acknowledgement) : ce message est envoyé par le PAR au MN et au NAR pour indiquer la création d'un tunnel.
- HI (Handover Initiate) : ce message est envoyé par le PAR au NAR pour le Handover du MN.
- HAcK (Handover Acknowledge) : ce message d'acquiescement du Handover est envoyé par le NAR au PAR pour répondre au message HI.
- FNA (Fast Neighbor Advertisement) : ce message est envoyé par le MN à son NAR pour annoncer son attachement sur ce réseau. Il est aussi utilisé pour assurer la possibilité d'utilisation de la nouvelle adresse temporaire (NCoA) si le MN n'a pas reçu le message FBBack [12].

Après avoir découvert un ou plusieurs liens d'accès, le MR envoie un message RtSolPr au PAR afin d'obtenir les informations de préfixe des routeurs d'accès associés à ces nouveaux liens. L'envoi de ce message peut être déclenché par un trigger L2. A la réception du message RtSolPr, le PAR répond au MN en envoyant le message PrRtAdv qui contient les informations concernant les routeurs d'accès, tels que le préfixe, l'adresse IP et l'adresse MAC. Une fois que le message PrRtAdv est reçu par le MN, il peut s'auto-configurer avec une nouvelle adresse temporaire NCoA qui est potentiellement utilisable dans le nouveau réseau [12].

I.9.3.1. Mode prédictif

Le MN envoie sa nouvelle adresse (NCoA) au PAR au moyen du message FBU du réseau du PAR. Le PAR doit assurer la possibilité d'utilisation de la nouvelle adresse temporaire NCoA pour le MN dans le nouveau réseau avant d'envoyer la réponse FBack au MN. Il envoie le message HI qui contient l'adresse MAC, l'adresse PCoA et l'adresse NCoA du MN au NAR. Le NAR approuve l'utilisation de cette adresse NCoA ou propose une nouvelle adresse NCoA en envoyant le message Hack au PAR. A la réception du message Hack, le PAR envoie le message FBack au MN et au NAR pour répondre au message FBU.

Si le NAR propose une nouvelle adresse NCoA, le PAR doit informer le MN au moyen du message FBack. Ainsi, le MN pourra utiliser sa nouvelle adresse NCoA dans le nouveau réseau puisqu'il a reçu le message FBack avant de changer le réseau. Dès que le MN s'attache au nouveau réseau, il envoie le message FNA au NAR pour annoncer son attachement à ce nouveau réseau [12].

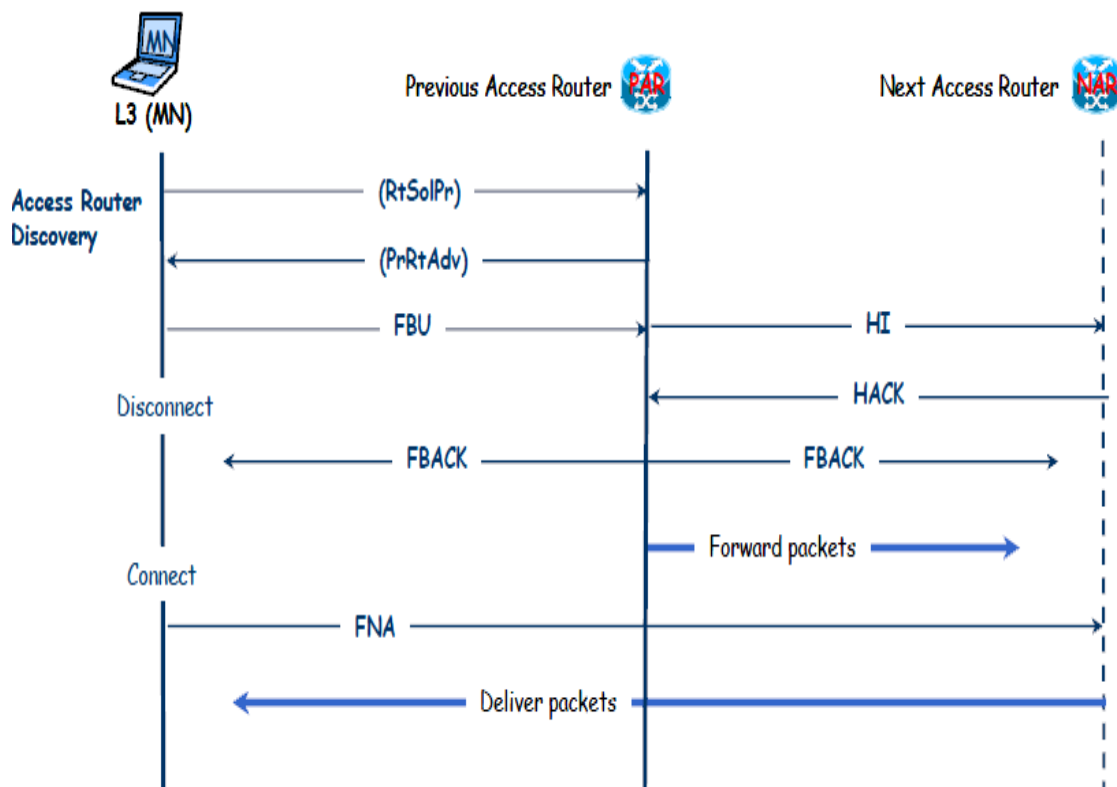


Figure I.8 : Procédure du mode prédictif de FHO

Le PAR crée le tunnel entre l'AR précédent et le NAR et redirige les paquets du MN à sa nouvelle adresse NCoA. Par conséquent, le MN peut envoyer et recevoir les paquets via ce tunnel pendant la phase de Mise à jour d'association [12].

I.9.3.2. Mode réactif

Le MN n'a pas pu envoyer le message FBU ou n'a pas pu recevoir le message FBACK avant de changer de réseau. Donc, le MN ne peut pas assurer qu'il peut utiliser la nouvelle adresse NCoA. Le PAR peut créer une association entre l'adresse PCoA et l'adresse NCoA. Une fois que le MN s'attache au nouveau réseau, il utilise son adresse NCoA comme l'adresse source du message FNA.

Le message FBU est encapsulé dans le message FNA. Ce message FNA est envoyé au NAR. Si le NAR approuve l'utilisation de la nouvelle adresse NCoA, il envoie le message FBU au PAR. En réponse au message FBU, le PAR crée l'association et le tunnel entre l'adresse PCoA et l'adresse NCoA. Ensuite, les messages HI/HACK sont échangés de la même manière que dans le mode prédictif. Le PAR peut alors tunnelier le FBACK ainsi que les paquets à destination du MN en passant par le NAR. Dans le cas contraire, le NAR soit propose une nouvelle adresse NCoA au MN, soit lui demande de générer une nouvelle tout en envoyant un message Router Advertisement au MN [12].

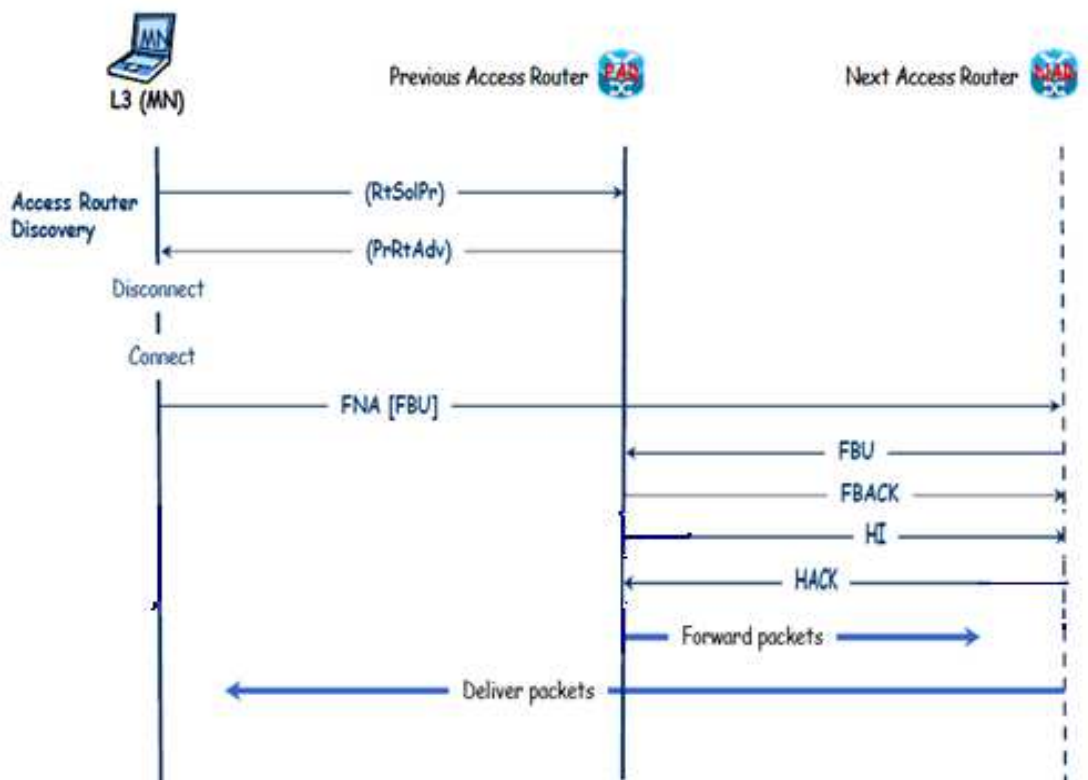


Figure I.9 : Procédure du mode réactif de FHO

I.9.4. Smooth Handover

Le MN change le routeur d'accès (AR) à un autre AR. Ce changement d'AR est considéré comme un Handover. Lors de Handover et avant, le HA reçoit la nouvelle CoA de MR, en lui envoyant des paquets où certains d'eux sont probablement perdus [18].

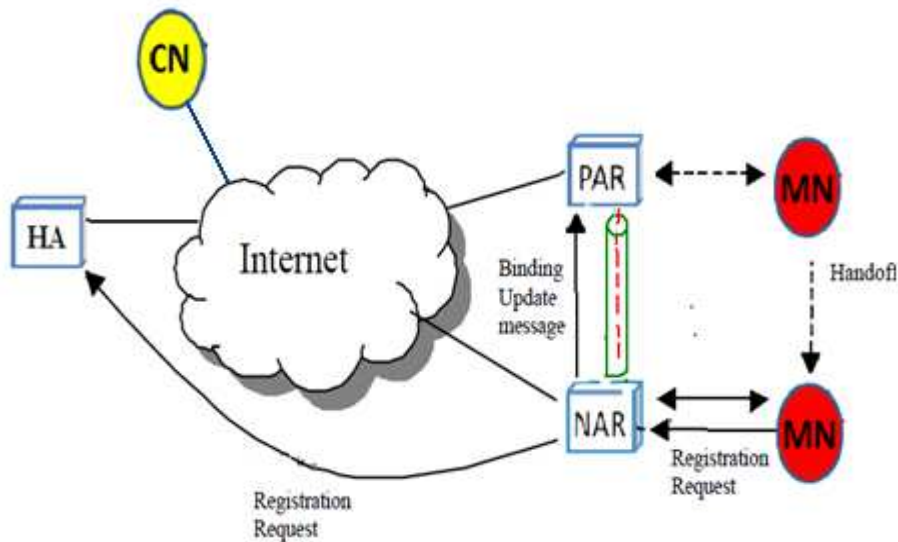


Figure I.10 : Principe de fonctionnement Smooth Handover

Le smooth Handover est une technique qui réduit le nombre de pertes de paquets IP, en moment de Handover. Pour réduire ces pertes, il fait appel à un mécanisme de sauvegarde dans PAR. Le PAR effectue une copie de tous les paquets qu'il transmet au mobile avant, pendant et après la déconnexion [17].

Nous partons du principe qu'il n'existe pas des chevauchements entre deux éléments AR, ce qui signifie que le MN est toujours à l'intérieur de la cellule d'au moins une AR. Cependant, il peut y avoir des chevauchements entre les cellules adjacentes qui couvrent les ARs, ce qui signifie que le MN pourrait recevoir des agents advertisements de plusieurs ARs. Les solutions différentes sur lesquelles AR à utiliser .la solution est basée sur la force du signal et qu'il ya un certain chevauchement entre les cellules de AR adjacentes. Comme le MN commence à se déplacer, il remarque que les signaux reçus par le MN sont en train de s'affaiblir [18].

Le MN commence alors à chercher un autre AR. Quand il reçoit un agent avertissements de NAR, (l'étape initiale de Handover), le MN envoie le Registration Request à NAR qui la transmet au HA. Si le MN obtient son nouvelle localisation et son NCoA, le NAR demande

à PAR d'envoyer les paquets mémorisés au MN à cette NCOA, le NAR doit informer le PAR au moyen du message binding update. Le PAR répond par le message Binding Ack (BAck) au NAR [18].

Le NAR établit un tunnel IP avec le PAR et ce dernier indique la présence de MN. A cet instant, le PAR transmet au mobile, et à travers le tunnel, tous les paquets précédemment sauvegardés. Le NAR décapsule alors ces paquets et les transmet au MN. Les paquets dupliqués et sauvegardés lors de la déconnexion sont récupérés localement [17]. Lorsque le HA reçoit la demande d'enregistrement, il traite la requête puis envoie la registration reply à NAR qui les transmet au MN. Le Registration reply contient les informations indiquant si la demande a été acceptée ou rejetée [18].

I.9.5. Handover sans coutures ou Seamless Handover

Le Seamless Handover est une extension du Fast Handover, dont l'objectif est la réduction du protocole de signalisation i.e. la quantité de message de signalisation. En fait, le Seamless Handover permet également d'obtenir un temps de latence de Handover similaire à celle du retard de Handover L2 (l'ordre de plusieurs dizaines de millisecondes), donc de réduire le temps d'interruption des communications entre le MN et ses correspondants. Celui-ci permet de Minimiser la perte de paquets.

Le mécanisme de Seamless Handover ajout une nouvelle entité dénommée decision engine (DE). Comme dans la hiérarchie, il introduit une entité appelée MAP (Mobility Anchor Point) qui découpe le réseau global en différents domaines pour gérer la mobilité [19].

La Decision engine (DE) contrôle la procédure de Handover dans son domaine de réseau, et prendre les décisions de Handover. Lorsque les nœuds mobiles peuvent déplacer au domaine de réseau, la DE poursuit ces nœuds mobiles afin d'identifier les modes de déplacement. Cela peut se faire par le biais de messages périodiques des routeurs d'accès. Pour minimiser les pertes des paquets, on utilise le processus SPS (Synchronized-Packet-Simulcast) qui permet de transmettre les paquets en même temps au routeur d'accès précédent et au routeur d'accès potentiel où le nœud mobile se déplace [19].

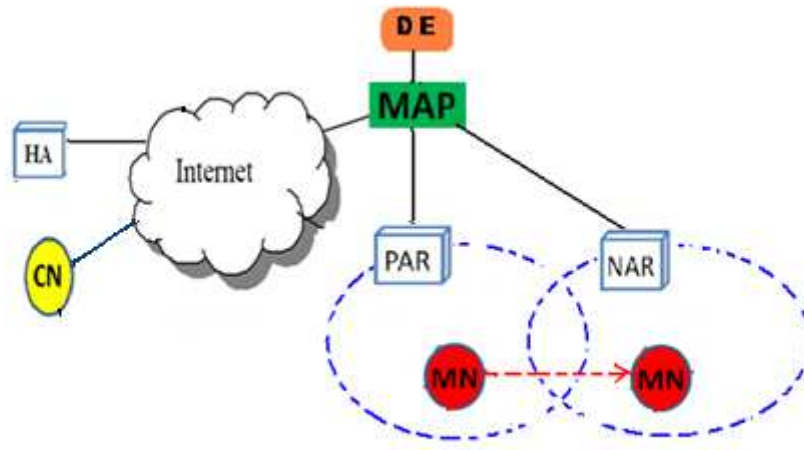


Figure I.11 : Principe de fonctionnement Seamless Handover

Ce type de Handover ajoute six nouveaux messages aux messages de Fast Handover :

- CTS (Current Tracking Status): ce message est envoyé par le MN à DE pour donner des informations de localisation.
- CLS (Carrying Load Status) : ce message est envoyé par les ARs au DE pour fournir les informations concernant le nombre de nœuds mobiles géré actuellement par le AR.
- HD (Handover Decision) : ce message est envoyé par DE à AR, ce message contient la décision de Handover par DE, donc déterminer le AR avec lequel, le MN peut attacher avec lui.
- HN (Handover Notification) : ce message est envoyé par PAR à MN pour fournir les informations concernant le NAR.
- Scast (Simulcast) : ce message est envoyé par PAR à MAP Pour démarrer le processus de SPS.
- Soff (Simulcast Off) : ce message est envoyé par NAR à MAP. Ce message arrête le processus de SPS.

Le Seamless Handover commence lorsque le nœud mobile veut passer à un nouveau réseau, il recevra de beacon advertisement messages du nouveau routeur d'accès. Au début de Handover, le MN envoie un message RtSolPr à PAR. A la réception du message RtSolPr, le PAR transmet le message HI à tous les NARs potentiels avec lesquels le MN lui demande dans le message RtSolPr. Ce message contient la nouvelle adresse NCoA et l'ancienne adresse PCoA.

Tous les NARs répondent par un message Hack qui indique l'acceptation ou la récusation de NCoA. Dans le cas où le NAR accepte la nouvelle CoA, le PAR établit un tunnel temporaire

à la NCoA. Dans l'autre cas, le PAR établit un tunnel des paquets à NAR, qui transmet temporairement au MN. En réponse de RtSolPr, le MN reçoit un message PrRtAdv de PAR [19].

Le MN envoie un message CTS à DE quand il reçoit un message beacon advertisement d'un nouveau routeur d'accès. Le message CTS contient des informations sur la puissance du signal du nouveau routeur d'accès. Cette information sera utilisée pour la localisation, les NARs transmettent un message CLS à chaque seconde jusqu'à ce qu'il reçoit un message HD de DE. Le message CLS indique le nombre de nœuds mobiles qui ont été connectés au routeur d'accès et leurs adresses IP. Le DE analyse le message CLS et le message CTS afin de suivre le mouvement de nœud mobile pour une courte période (moins de trois second), puis le DE donne la décision et envoie un message HD à tous les NARs participants. Ensuite, le PAR envoie un message HN avec le PrRtAdv au MN indiquant exactement par quel NAR, le MN devrait passer [20].

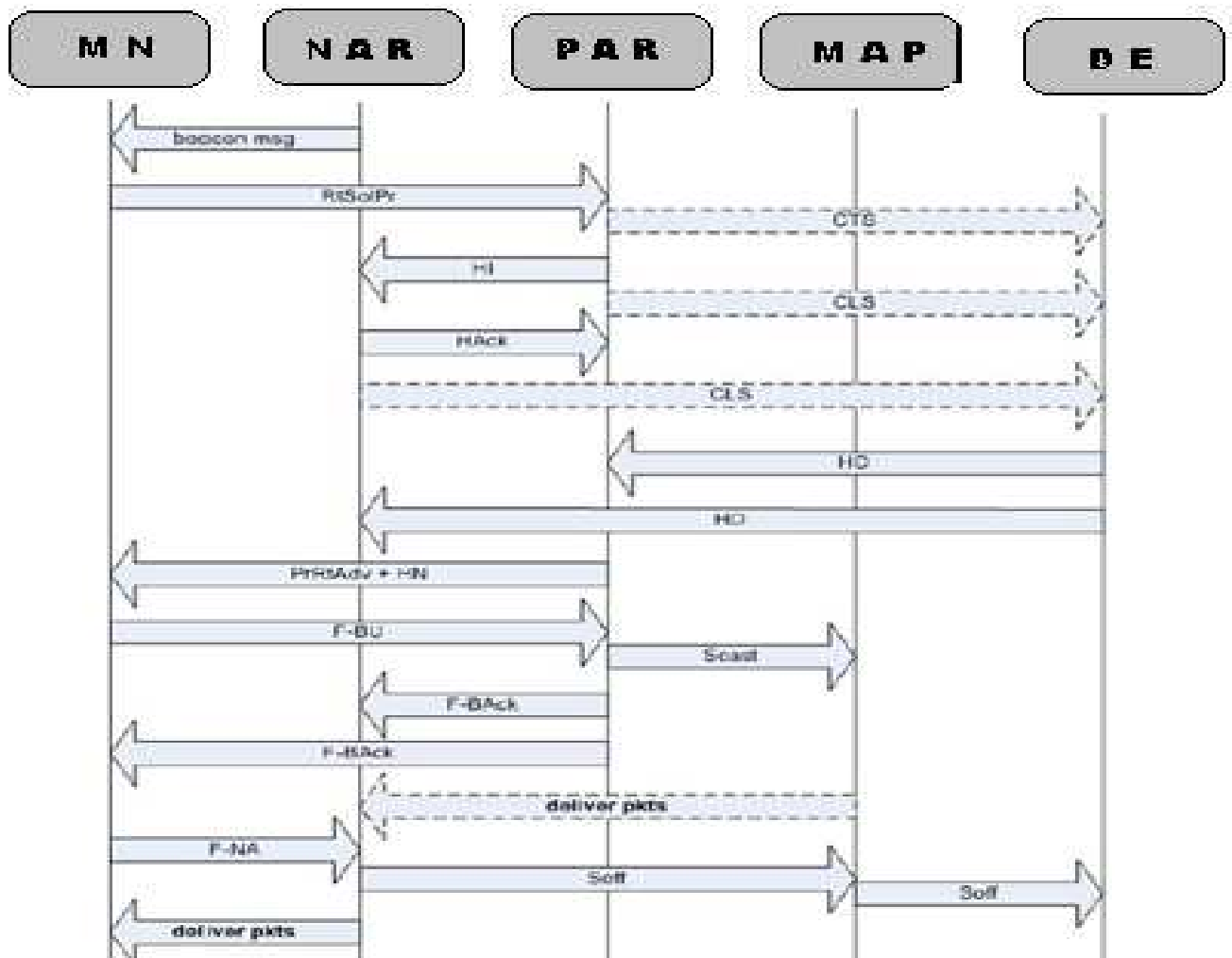


Figure I.12 : Procédure de Seamless Handover [19]

Le mode de mouvement de Seamless Handover suivre trois procédures :

I.9.5.1. La procédure du mode de mouvement stochastique

L'utilisation de message HD pour informer les NARs à l'anticipation de mode. Dans ce mode, le MN ne veut pas être associé à NAR. Le MN prépare une liaison avec le NAR pour que le MN retourne à ce NAR. Cela permet d'éviter l'utilisation des ressources inutiles et réduire le temps. Le PAR transmet au MN le message HN qui indique que le MN est capable de passer au réseau. Une fois la force du signal est diminuée jusqu'à un certain seuil prédéfini, Le DE envoie un autre message HD aux NARs participants, dans le cas où il a déterminé qu'ils ne sont plus nécessaires dans l'anticipation de mode [20].

I.9.5.2. La procédure du mode de mouvement stationnaire

Le MN sera l'état stationnaire entre deux zones de couverture NARs. Le DE utilise le message HD pour établir plusieurs liaisons entre le MN et les NARs. Ces derniers permettent au MN d'utiliser plusieurs CoAs en même temps.

I.9.5.3. La procédure du mode de mouvement linéaire

Le message HD contient les informations du NAR où le MN peut se déplacer. Un autre message HD inclut le reste des informations d'autres NARs qui ne sont pas sélectionnés par le DE [19].

Ensuite, le MN transmet le message FBU à PAR, après il reçoit le message HN et forme la NCoA, afin d'associer entre le PCoA et le NCoA. La procédure SPS est lancée au moyen de message Scast qui est envoyé au MAP par PAR, ce qui signifie la duplication d'envoi des paquets à PAR et à NAR en même temps. Le PAR envoie le message Fback au MN et NAR.

Après réception du message FNA qui démontre que le MN est arrivé au nouveau réseau, le NAR transmet des paquets au MN. Pendant ce temps, le PAR est également transmis les paquets au NAR. Ce dernier envoie tous les paquets sur le canal sans fil pour assurer la réception par le nœud mobile dans le cas où il n'a pas changé de réseau immédiatement. Puis, le NAR envoie un message Soff à MAP après il transmet tous les paquets qui sont envoyés par PAR au MN pour la mise à jour de la liaison entre la nouvelle adresse du MN et son adresse régionale. Le message Soff sera transmis à la DE, qui ne permettra pas au nœud mobile d'exécuter un autre Handover avant que la procédure de Handover en cours est terminée [19].

Le tableau ci-dessous indique le type de Handover utilisé dans le réseau adéquat.

	Hard Handover	Soft Handover	Fast Handover	Handover sans coutures	Smooth Handover
WIFI					
GSM	x				
UMTS		x			
WIMAX	x	x			
LTE					
GPRS	x				
NEMO	x	x	X	x	x

Tableau I.1 : Type de Handover dans le réseau

I.10. Handover vertical entre les différents réseaux

Dans la vie moderne, plusieurs technologies de transfert de données et d'accès à l'Internet existent, la gestion de réseau sans fil devient de plus en plus populaire, les infrastructures des réseaux hétérogènes croissent. D'où la nécessité devient plus importante pour pouvoir se déplacer entre les différents réseaux sans fil sans souffrir de la perte de données et sans faire participer l'utilisateur mobile et là il est nécessaire de voir la macro mobilité contre la micro-mobilité, c'est-à-dire, faire un handover vertical. Il est à noter que le déplacement et la mobilité ne donnent aucune excuse pour couper la connexion au réseau.

Les solutions mobiles pour l'accès à l'Internet sont donc un champ où la volonté de développement accélère. Se bouger librement entre les différents réseaux tout en gardant toujours la connexion courante est une question importante. Les différents réseaux peuvent employer différentes technologies pour l'accès, le LAN, le MAN, le Bluetooth etc...

Le handover vertical implique le déplacement entre différentes interfaces sans fil, par exemple entre le réseau local sans fil (WLAN) et le Bluetooth.

L'accès multiple n'est autre que la possibilité de système à combiner un nombre différent de technologies d'accès radio et/ou fixe. C'est une solution permettant l'utilisation simultanée de différents réseaux d'accès et des technologies dans un nœud mobile appelé Simultaneous Multi-Access. La différente circulation de trafic appartenant à différentes applications peut être transférée entre différents accès, indépendamment les uns des autres et d'une manière transparente aux applications.

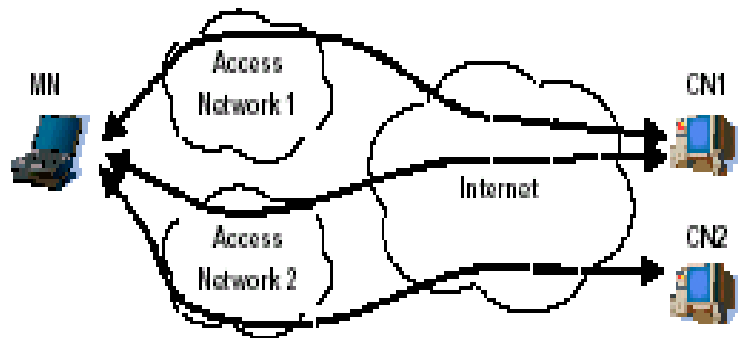


Figure I.13 : Accès multiple

Les dispositifs attachés à des multiples réseaux sont connus sous le nom Multi-homed devices ou multi-mode devices. Les dispositifs multi-mode doivent être capables de se déplacer hors de la marge du réseau et dans celle d'un autre.

I.11. Paramètres de qualité de service

Comme la Qualité de Service (QoS) est un point important dans tous les réseaux (informatique et télécom.), il semble intéressant d'étudier les moyens permettant d'introduire cette notion dans les réseaux NEMO où les terminaux sont en mouvement les uns par rapport aux autres.

La QoS peut être apportée à différents niveaux : couche application, couche transport, couche réseau, couche MAC, etc.

La qualité de service possède quatre paramètres de performance qui sont :

I.11.1. Délai (Delay)

Il correspond au temps que met un paquet pour traverser le réseau d'un point d'entrée à un point de sortie [21].

I.11.2. Gigue (jitter)

Elle représente la variation des délais d'acheminement des paquets dans le réseau.

I.11.3. Taux de perte de paquets (packet loss)

Les pertes de paquets sont dues à des phénomènes de congestion sur le réseau ou à une mauvaise qualité de liaison.

I.11.4. Débit

Il désigne le nombre de bits transmis par seconde.

I.12. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons concentré sur la présentation des concepts généraux sur les réseaux, UMTS, WiFi et WiMAX ; sur la gestion de mobilité et nous sommes intéressés aux spécificités du Handover en détaillant ses phases et ses types sans oublier d'étudier le handover dans le cadre de réseau NEMO.

Les réseaux sans fil peuvent être examinés selon deux aspects : l'architecture du réseau et la technologie utilisée. L'architecture définit les différents éléments d'un réseau sans fil et comment ceux-ci communiquent et réagissent à la mobilité. La technologie utilisée permet de caractériser différents paramètres de ces communications.

Le deuxième chapitre de cette thèse aura donc pour objectif d'implémenter les modules nécessaires pour pouvoir définir une architecture logicielle capable de supporter le handover inter-système entre trois technologies hétérogènes (WiMAX, UMTS, WiFi).

Chapitre II :
Interopérabilité entre les réseaux
hétérogènes

II.1. Introduction

NS est un outil logiciel permettant la simulation d'un grand nombre de réseaux locaux et/ou étendus, filaires ou sans fil. C'est un moyen de modélisation qui est à la portée du public gratuitement à travers l'Internet. Le logiciel est exécutable tant sous Unix que sous Windows.

Dans ce chapitre on va tout d'abord présenter ce simulateur avec ses objets de base et les modules nécessaires pour la simulation, ensuite on va créer une topologie et enfin on présente une technique de simulation.

II.2. Présentation du simulateur NS2

NS2 [22] est un moyen de simulation de réseaux de données. Il est bâti autour d'un langage de programmation appelé TCL dont il est une extension. Du point de vue de l'utilisateur, la mise en oeuvre de ce simulateur se fait via une étape de programmation qui décrit la topologie du réseau et le comportement de ses composants, puis vient l'étape de simulation proprement dite et enfin l'interprétation des résultats. Cette dernière étape peut être prise en charge par un outil annexe, appelé nam qui permet une visualisation et une analyse des éléments simulés. Le NS2 est en réalité un programme relativement complexe écrit en C++ et interfacé via TCL. Pour modifier le comportement d'objets existants, il est donc nécessaire de modifier le code C++ qui en réalise l'implantation.

TCL (Tool Command Language) est un langage de commandes qui sert à contrôler les applications. C'est essentiellement un langage de scripts offrant des structures de programmation telles que les boucles, les procédures ou les notions de variables.

II.3. Objets de base

- **Le simulateur** : c'est l'objet global qui contiendra le réseau.
- **Les nœuds** : représentent les différentes machines du réseau, qui peuvent être des postes fixes, des routeurs, des nœuds mobiles, etc ...
- **Les liens** : représentent les connexions présentes entre les nœuds. Ils modélisent le système de transmission. On peut régler le type de lien, le débit, le temps de latence ainsi que le comportement de la file d'attente.
- **Les agents** : rattachés à des nœuds, ils définissent les producteurs et les consommateurs de paquets IP comme par exemple : TCP, UDP ...

- **Les applications** : rattachées à un agent producteur, elles permettent de générer du trafic comme par exemple : CBR, FTP, WEB.

II.4. Organisation du simulateur

NS2 est un interpréteur de commandes Otcl qui comporte un Ordonnanceur d'événements et une bibliothèque des composants réseaux. L'utilisation de NS2 se fait en trois temps comme montre la figure suivante :

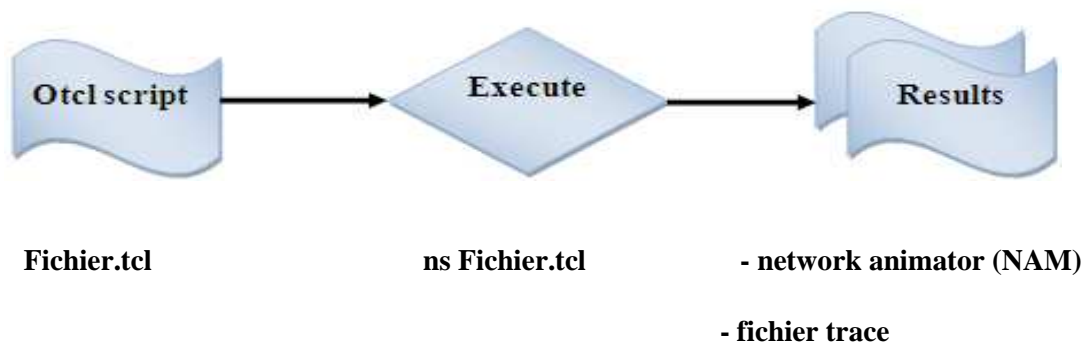


Figure II.1 : Flot de simulation avec NS2

- 1) L'utilisateur écrit un script Otcl pour définir la topologie du réseau, instancier les différents modules du réseau et décrire des scénarios de trafic.
- 2) NS-2 interprète le script et exécute la simulation. Les résultats sont stockés dans des fichiers en fonction des commandes du simulateur utilisé.
- 3) Une fois la simulation terminée, les résultats peuvent être analysés directement avec l'outil de visualisation NAM et un fichier de trace.

3.1) Network Animator :

Il permet de visualiser le déroulement d'une simulation en affichant la topologie du réseau et le déplacement des paquets.

3.2) Fichier Trace :

L'exécution d'un Fichier.tcl donne un fichier trace qui contient l'événement (d'émission, de réception ou de suppression), le temps simulé auquel chaque événement est arrivé, le type et la taille du paquet.

II.5. Modules nécessaires pour la simulation

Trois modules sont nécessaires pour que le mobile effectue le handover :

II.5.1. Module de découverte voisin

Le module ND est utilisé pour fournir la détection de mouvement de la couche 3. Dans le réseau, la BS envoie périodiquement des messages RAs (Router Advertisement) pour informer les MNs au sujet du préfixe de réseau. L'agent de ND situé dans le MN reçoit ces RAs et détermine si le message contient un nouveau préfixe et informe le directeur d'interface. Un temporisateur est associé au préfixe. Quand le préfixe est expiré, un avis est envoyé au directeur d'interface. L'implémentation supporte également RS (Router Solicitation) pour permettre à un MN de découvrir une nouvelle BS après un Handover.

II.5.2. Gestion de mobilité MIPv6

Le MIPv6 décrit un moyen de gérer la mobilité des terminaux IPv6. Cette mobilité permet qu'un terminal IPv6 soit toujours joignable quelle que soit sa localisation dans l'Internet et que ses connexions en cours restent actives malgré ses déplacements.

Ce protocole introduit une nouvelle entité réseau appelée l'agent mère. Situé dans le réseau mère, il joue le rôle d'une station relais en redirigeant les paquets IPv6 aux positions courantes des MNs dont il a la charge. Lorsqu'un MN est situé dans son réseau mère, il communique tel un noeud fixe en utilisant son adresse mère. Dès qu'il se déplace dans un réseau visité, il obtient une nouvelle adresse temporaire et en informe l'agent mère afin que ce dernier lui redirige ses paquets à son actuelle localisation.

II.5.3. 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, la qualité de service, la découverte et la sélection du réseau [23, 24].

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 qu'IEEE 802.3 (réseau local filaire), IEEE 802.11x (réseau local sans fil), IEEE 802.16e (réseau WiMAX mobile), UMTS (réseau mobile 3G).

II.5.3.1. Présentation du standard IEEE 802.21

Le standard IEEE 802.21 consiste en l'élaboration d'une architecture qui permet la continuité de service de manière transparente lorsque le terminal mobile (MN) passe entre deux réseaux hétérogènes au niveau liaison de données.

Un ensemble de fonctions permettant l'optimisation du Handover est défini dans la pile protocolaire de gestion de mobilité MME (Mobility Management Entity) des éléments du réseau où il y a une création d'une nouvelle entité appelée MIHF (Media Independent Handover Function). Cela fonctionne sur la couche 3 et peut communiquer entre les interfaces locales et à distance. Les interfaces à distance peuvent être entrées en contact par l'intermédiaire d'un autre MIHF. Ceci est illustré sur la figure ci-dessous.

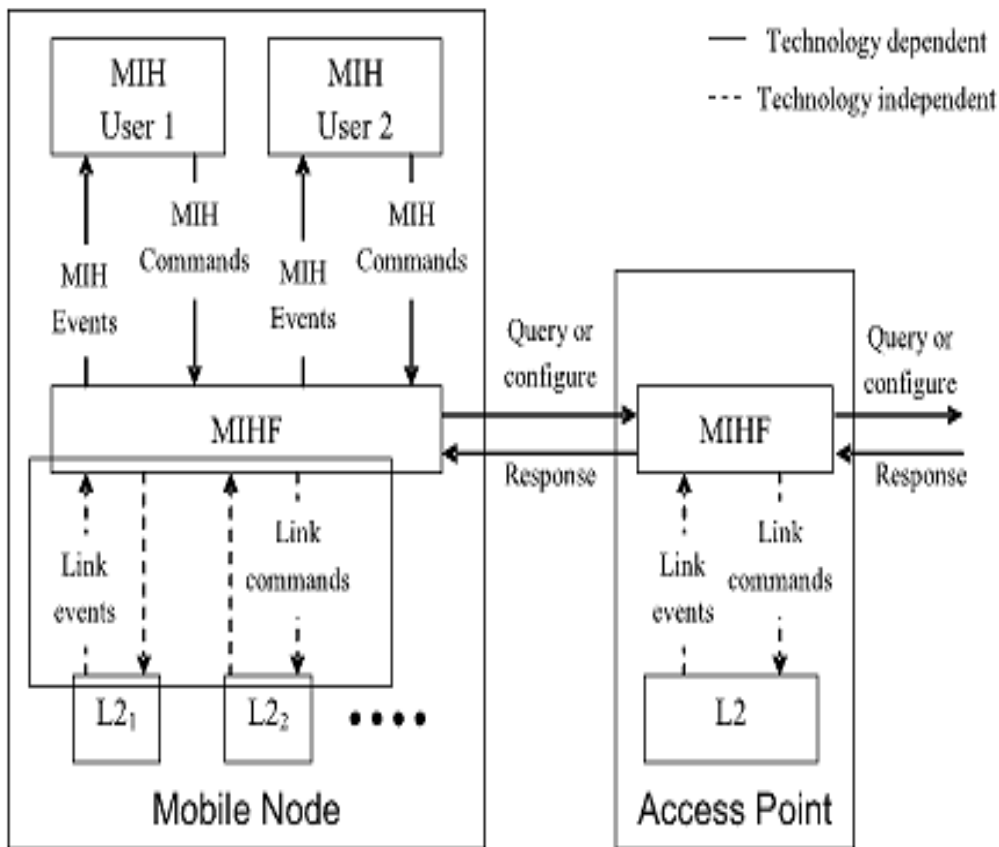


Figure II.2 : Vue d'ensemble de conception de MIH [25]

II.6. Topologie et scénario du système à simuler

On considère un nœud multi-interface supportant les trois technologies WiFi, WiMAX, et UMTS.

Le mobile MN établit une connexion avec le CN (correspondent Node). Au début, le MN emploie l'interface UMTS. Dans ce cas, la **BS** de l'UMTS est la station de base serveuse. Ensuite, il commute le trafic à l'interface WiMAX (802.16e) pour que la station de base du réseau WiMAX soit la station de base serveuse. Après, Le MN quitte le réseau WiMAX pour accéder au réseau WiFi.

Les deux **BS** des deux technologies (WiMAX et UMTS) et l'AP du WiFi ont une liaison avec le router pour établir des connexions avec le réseau extérieur.

La figure II.3 illustre la topologie du scénario modélisé.

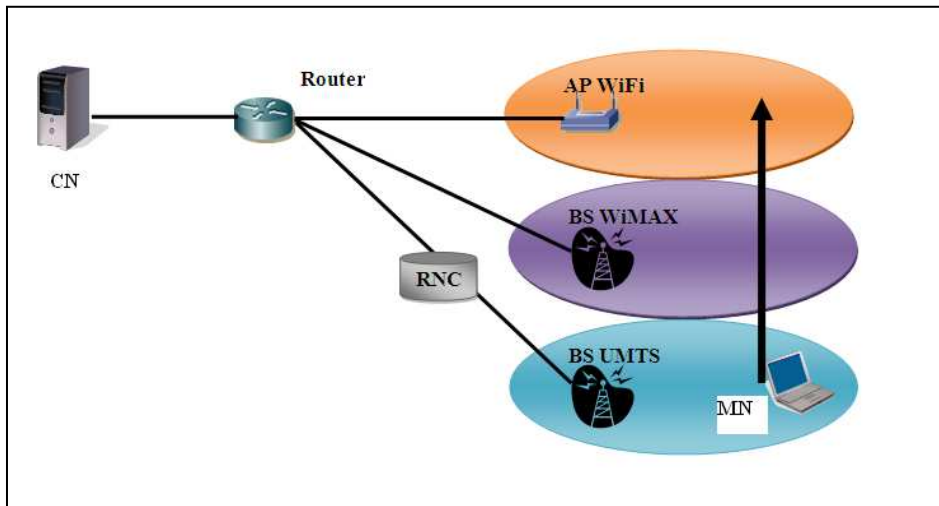


Figure II.3: Topologie du scénario

Pour évaluer les performances du handover de ce scénario, on a choisi les applications suivantes :

- Application TCP (les données);
- Application UDP (les données) ;
- La vidéo ;
- La voix.

II.7. Paramétrage et configuration du réseau

Avant de pouvoir utiliser le simulateur, la topologie du réseau et le besoin de chaque nœud doivent être décrits dans un fichier TCL qui sera ensuite lu par le simulateur. Les paramètres et les configurations définis au niveau de ce fichier sont les suivants :

II.7.1. Paramètres de simulation

Paramètres	Signification
Trafic_start	=5s : le début de trafic
Finish	=120s : la fin de simulation

Tableau II.1 : Paramètres de simulation

II.7.2. Paramètres du réseau WiMAX

Paramètres	Signification
Channel/WirelessChannel	type de canal : sans fils
Propagation/TwoRayGround	modèle de propagation radio : 802.16
Phy/WirelessPhy /OFDM	type d'interface du réseau : 802.16
Mac/802_16	type de couche MAC 802.16
Queue/DropTail/PriQueue	type d'interface de la file d'attente
LL	Link layer type 802.16
Antenna/OmniAntenna	modèle d'antenne
50	taille maximale des files d'attente
Adhocrouting	le protocole de routage utilisé. Dans ce cas DSDV

Tableau II.2 : Paramètres du réseau WiMAX

a) Configuration de la station de base WiMAX

Paramètres	Signification
WiMAX coverage	potée de la station de base fixée à 20 m de rayon
Pt_	=0.025w : puissance du signal transmis de la station de base
RXThresh_	=2.025 e-12w : seuil de réception de puissance
CSThresh_	= [expr 0.9*[2.025 e-12]] w : seuil de détection de porteuse

Tableau II.3 : Paramètres de la station de base WiMAX

II.7.3. Paramètres du réseau WiFi

Paramètres	Signification
Channel/WirelessChannel	type de canal : sans fils
Propagation/TwoRayGround	modèle de propagation radio : 802.11
Phy/WirelessPhy	type d'interface du réseau : 802.11
Mac/802_11	type de couche MAC 802.11

Tableau II.4 : Paramètres du réseau WiFi

a) Configuration du point d'accès

Paramètres	Signification
WiFi Coverage	potée de la station de base fixée à 20 m de rayon
Pt_	=0.025w : puissance du signal transmis de la station de base
freq_	=2412 e+6 : fréquence de 2.4GHz
RXThresh_	=6.12277e-09w: seuil de réception de puissance
CSThresh_	= [expr 0.9*[6.1227e-09]] w:seuil de détection de porteuse

Tableau II.5 : Paramètres du point d'accès WiFi

II.7.4. Paramètres du réseau UMTS

	Signification
UmtsNodeType rnc	type de nœud (c'est un nœud de type rnc)
UmtsNodeType ue	type de nœud (c'est un nœud de type ue)
UmtsNodeType bs	type de nœud (c'est un nœud de type bs)
uplinkBW	=384kbps ; débit de la bande passante en UL
uplinkTTI	=10ms ; intervalle du temps de transmission en UP
downlinkBW	=384kbps ; débit de la bande passante en DL
downlinkTTI	=10ms ; intervalle du temps de transmission en DL

Tableau II.6 : Paramètres du réseau UMTS

II.8. Technique de simulation

Notre simulation s'articule autour de 4 grandes parties interdépendantes (Figure II.4) :

II.8.1. Pré-simulation

Durant cette phase, nous allons paramétrer et configurer notre réseau.

II.8.2. Simulation

Durant cette phase, on va simuler notre scénario (fichier.tcl) pendant une durée bien fixée. Le résultat de cette simulation se trouve dans un fichier de trace (trace.tr) générés par NS2 et contient tous les évènements survenus pendant la simulation.

Le fichier trace sera par la suite filtré pour en extraire l'information à interpréter.

II.8.3. Post-simulation

Cette étape consiste dans le filtrage du fichier de trace. Elle est basée sur le logiciel AWK. C'est un logiciel d'interprétation de scripts qui sert à extraire des données de fichiers textes.

Le fichier trace sera successivement filtré par les fichiers **taux.awk** et **delai.awk**

- **taux.awk** donne le taux des paquets perdus;
- **delai.awk** permet de calculer le délai de transmission.

II.8.4. Exploitation

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

La figure II.4 illustre les différentes étapes de la technique de simulation.

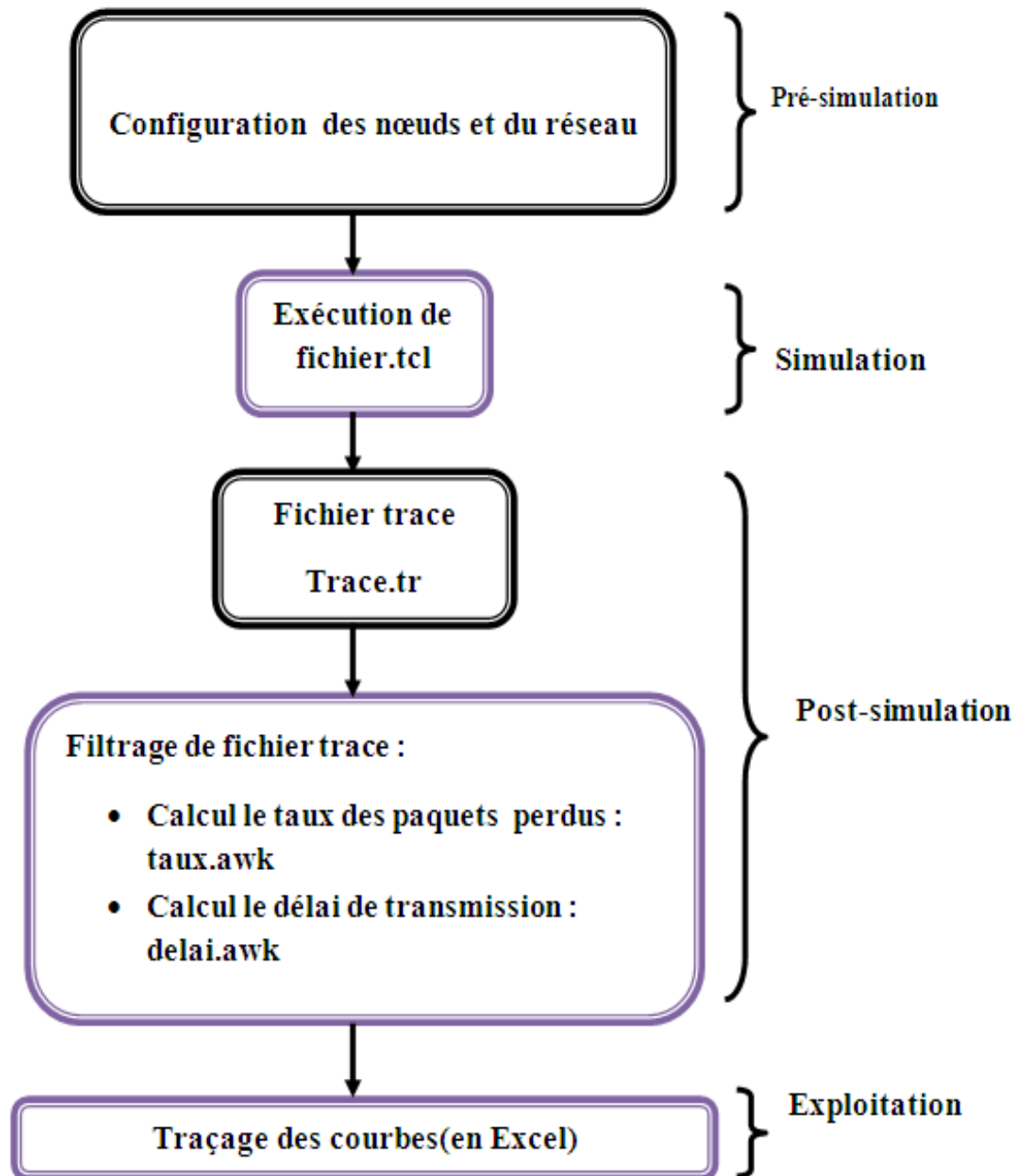


Figure II.4 : Technique de simulation

II.9. Critère de performance

Cette partie contient les résultats de simulation de scénario et l'influence des métriques utilisées dans l'exécution de handover vertical entre les réseaux UMTS, WiFi et WiMAX avec des différentes applications : TCP, UDP, voix, vidéo.

Pour évaluer la performance de handover vertical, deux critères sont choisis :

II.9.1. Délai moyen de transmission des paquets

Cette métrique représente la somme des délais écoulés entre l'instant où un paquet de données quitte l'émetteur et l'instant où il est reçu par le destinataire sur le nombre total des paquets envoyés.

II.9.2. Taux de perte des paquets

En plus de la latence du handoff, la qualité de service au niveau applicatif est aussi affectée par la perte de paquet pendant le handoff. Pour déterminer la perte de paquet pendant un handoff, un nœud de l'Internet quelconque transmet un flot de paquets périodiquement au nœud mobile. Avant qu'un handoff ne soit amorcé, les paquets sont acheminés le long de l'ancienne route.

Dans la simulation, on suppose que le router connaît d'avance lequel des paquets du flot sera le dernier pour atteindre le nœud mobile à son ancienne localisation. On suppose que le router0 marque ce paquet. En recevant le paquet marqué, le nœud mobile exécute un handoff et transmet immédiatement un paquet de mise à jour à travers la nouvelle station de base.

Les paquets acheminés par le router0 après le paquet marqué, mais avant l'arrivée du paquet de mise à jour, sont envoyés à l'ancienne station de base et sont donc perdus.

Cet intervalle de temps est égal à la somme du temps pris par le paquet marqué pour atteindre le nœud mobile et le temps pris pour le paquet de mise à jour pour atteindre le router0. La perte de paquet due au handoff est donc liée au temps d'aller-retour entre les anciennes et nouvelles localisations et le router0.

Dans notre cas, nous allons évaluer le taux des paquets perdus moyen qui représente le rapport du nombre des paquets perdus sur le nombre total des paquets générés.

II.10. Analyse des performances de handover vertical

II.10.1. Trafic TCP

Le tableau suivant présente les paramètres de simulation du trafic TCP.

Type	TCP
Packet size (bytes)	500
Packet interarrival time (s)	0.02

Tableau II.7 : Trafic TCP pour le nœud mobile

II.10.1.1. Taux des paquets perdus

La figure II.5 montre l'évolution du taux des paquets perdus moyen en fonction de temps de simulation pour différentes vitesses en m/s.

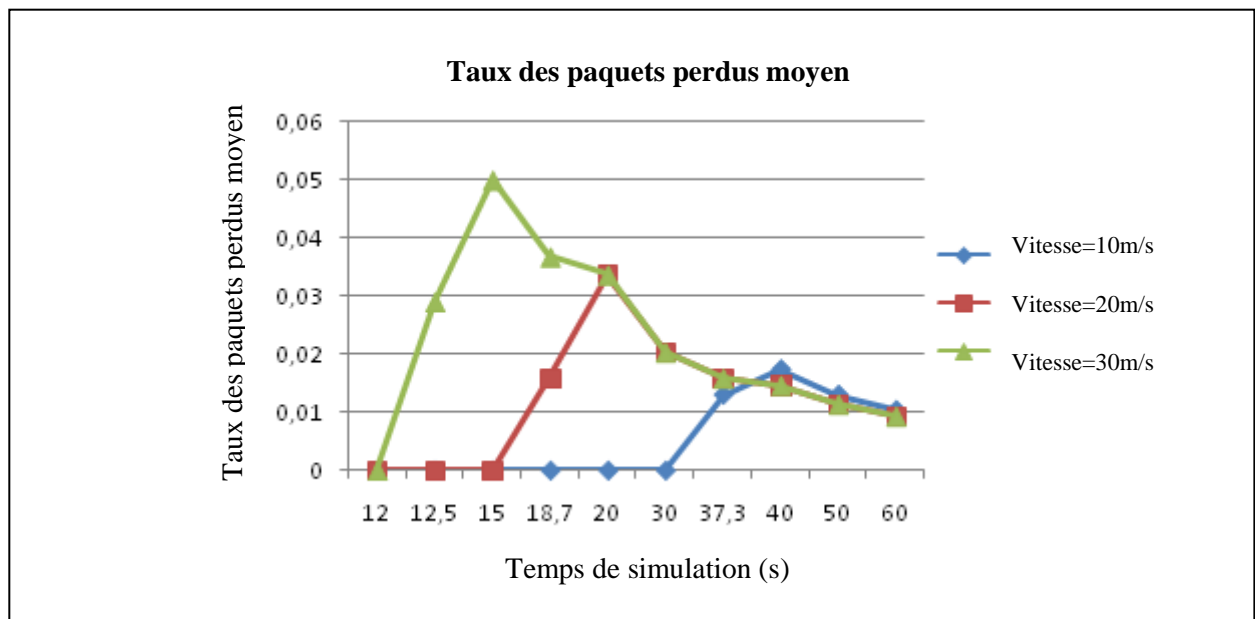


Figure II.5 : Evolution du Taux des paquets perdus moyen (trafic TCP)

- D'après la figure II.5, on remarque qu'au moment du handover, le taux des paquets perdus est proportionnel à la vitesse.
- D'après les fichiers de trace obtenus, la majorité des paquets perdus est due au handover de WiFi vers WiMAX et ça revient à l'hétérogénéité de ces deux technologies mais pour les autres handovers, il n'y a pas des paquets perdus.

II.10.1.2. Délai moyen de transmission

La figure II.6 présente l'évolution du délai de transmission des paquets pour un trafic TCP.

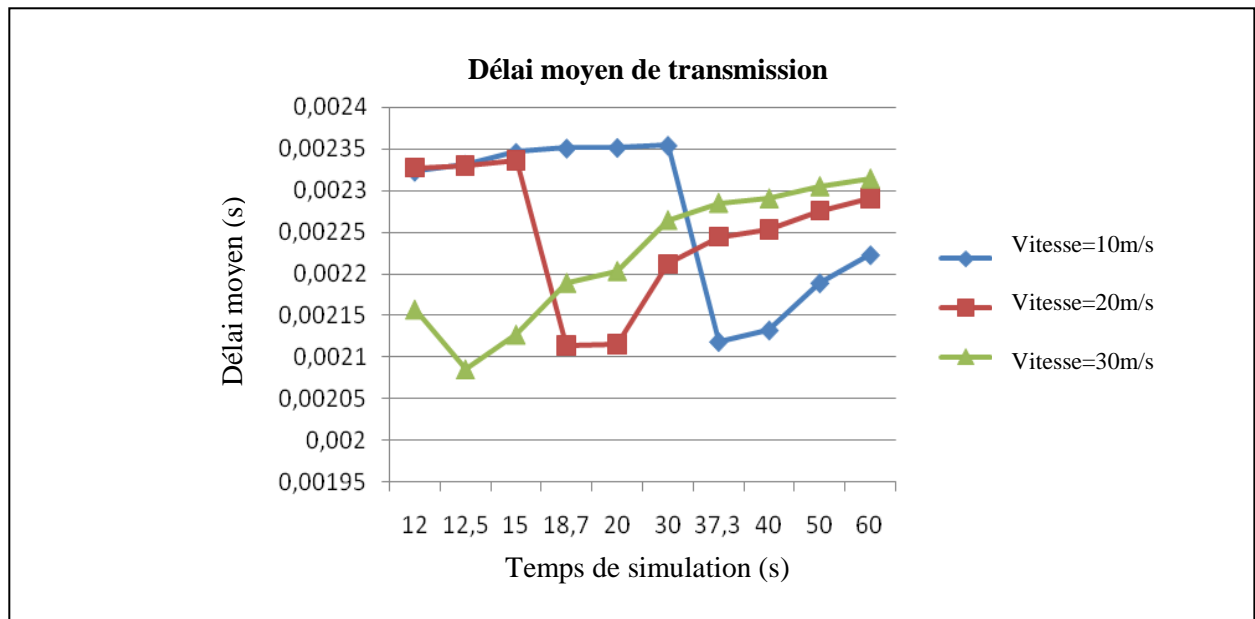


Figure II.6 : Evolution du délai moyen de transmission des paquets (trafic TCP)

- La présence des pics signifie qu'au moment de handover des paquets envoyés ont été détruits.
- Le délai moyen de transmission des paquets diminue avec la vitesse et avec l'exécution du handover à cause du changement de réseau.

II.10.2. Trafic UDP

Le tableau II.8 présente les paramètres de simulation du trafic UDP.

Type	UDP
Packet size (bytes)	500
Packet interarrival time (s)	0.02

Tableau II.8 : Trafic UDP pour le nœud mobile

II.10.2.1. Taux des paquets perdus

La figure II.7 montre l'évolution du taux des paquets perdus en fonction de temps de simulation pour un trafic UDP.

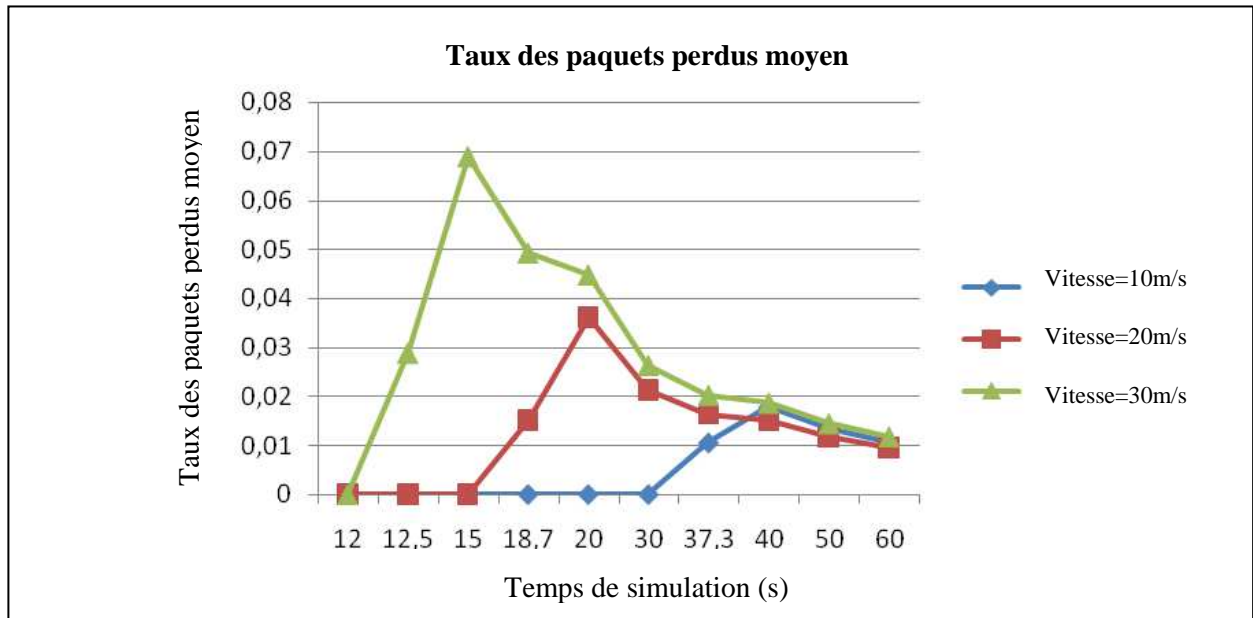


Figure II.7 : Evolution du Taux des paquets perdus moyen (trafic UDP)

D'après cette figure nous déduisons que :

- Pour une faible mobilité, les performances du handover sont satisfaisantes. En effet, pour une vitesse de 10 m/s le taux des paquets perdus est inférieur à 2%.
- Pour des vitesses élevées les performances du handover chutent considérablement.
- La présence des pics lors de l'exécution du handover qui augmente avec la vitesse et atteint 6,9 % pour une vitesse de 30m/s.
- Le nombre des paquets détruits augmente avec la vitesse et avec l'exécution du handover, de plus, si on examine les fichiers traces générés, on trouve que la majorité de la destruction des paquets est due au temps de passage d'un réseau local (WiFi) vers un réseau étendu (WiMAX).

II.10.2.2. Délai moyen de transmission

La figure II.8 présente l'évolution du délai de transmission des paquets utiles en fonction du temps de simulation pour une application de trafic UDP.

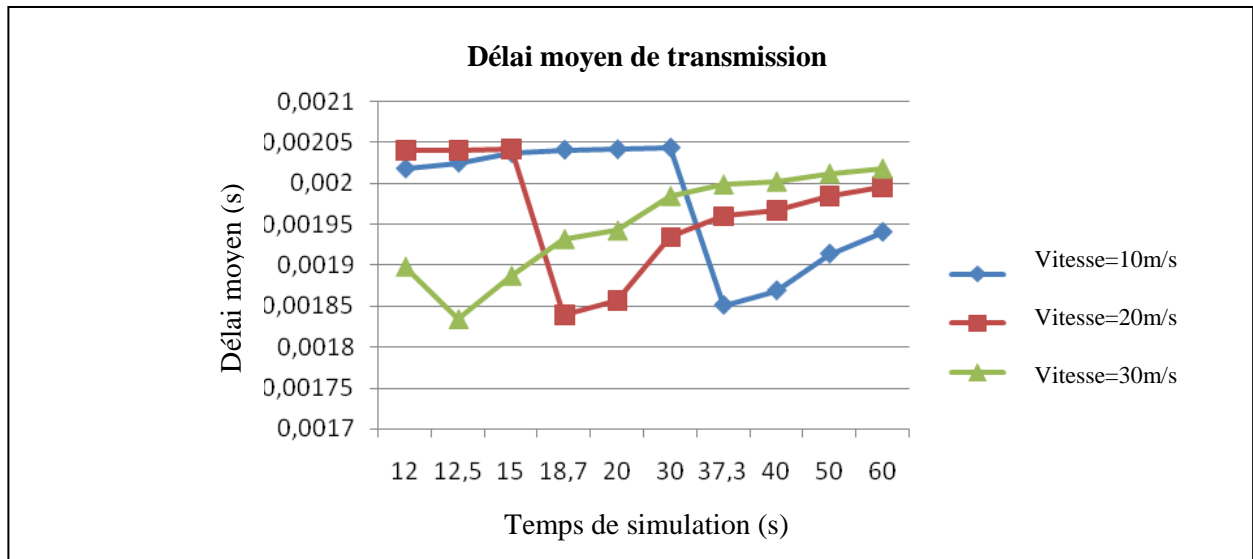


Figure II.8 : Evolution du délai moyen de transmission des paquets (trafic UDP)

Cette figure montre :

- Avant et après l'exécution de handover, le délai moyen de transmission (entre 1,9 ms et 2,05ms) est grand par rapport le délai au moment du handover.
- La diminution du délai au moment du handover est due à la destruction des paquets à ce moment parce que le mobile se situe dans une région d'intersection entre deux technologies de type différent.
- Après l'exécution du handover, le délai moyen de transmission récupère difficilement sa valeur initiale dans le nouveau réseau qui se diffère par rapport l'ancien réseau quitté par le mobile.

II.10.3. Trafic vidéo

Pour mieux expliciter les performances du handover, nous allons illustrer le cas d'une application de trafic vidéo.

Le tableau II.9 présente les paramètres de simulation du trafic vidéo.

Type	Vidéo
Packet size (bytes)	800
Packet interarrival time (s)	0.02

Tableau II.9 : Trafic vidéo pour le nœud mobile

La taille des paquets pour un trafic vidéo est nettement plus supérieure à celle d'une application de trafic UDP et voix. Dans ce qui suit, nous allons interpréter cet effet sur les performances du handover.

II.10.3.1. Taux des paquets perdus

La figure II.9 montre l'évolution du taux des paquets perdus en fonction du temps et de la vitesse.

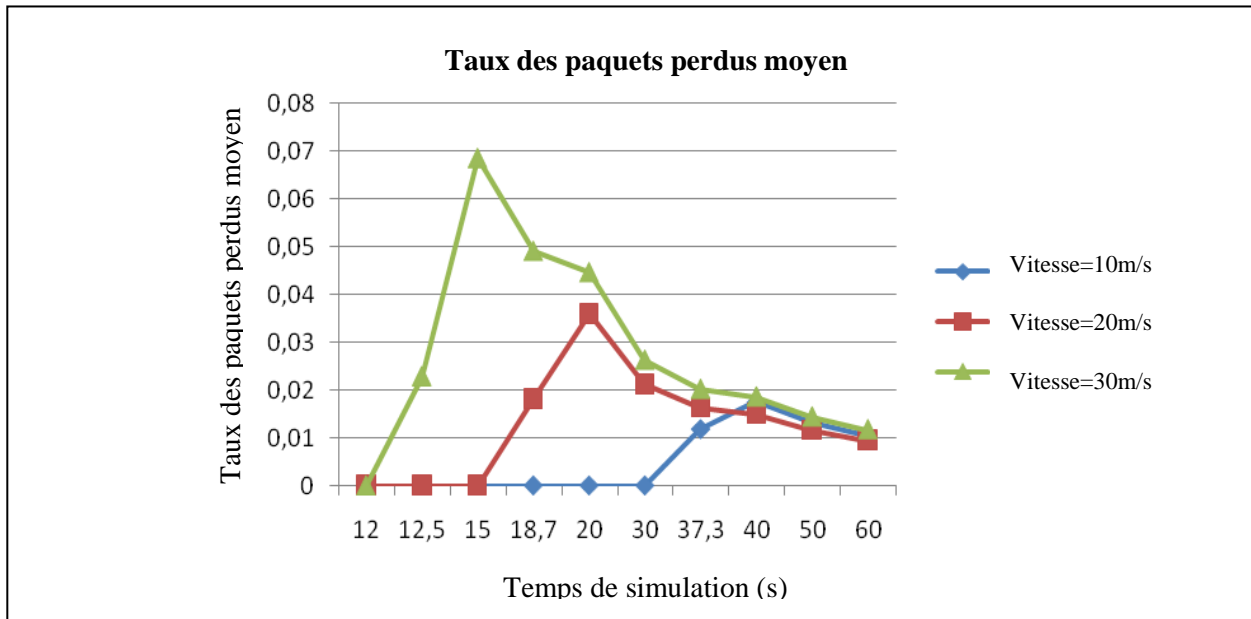


Figure II.9 : Evolution du Taux des paquets perdus moyen (trafic vidéo)

D'après cette figure, on peut constater que :

- La variation de taux des paquets perdus pour une application vidéo est quasiment identique à celle d'une application UDP.
- Le taux des paquets perdus augmente avec l'exécution de handover (passage de réseau WiFi vers le réseau WiMAX) et avec la vitesse.

II.10.3.2. Délai moyen de transmission

La figure II.10 présente l'évolution du délai de transmission des paquets utiles en fonction de la vitesse du mobile pour une application de trafic vidéo.

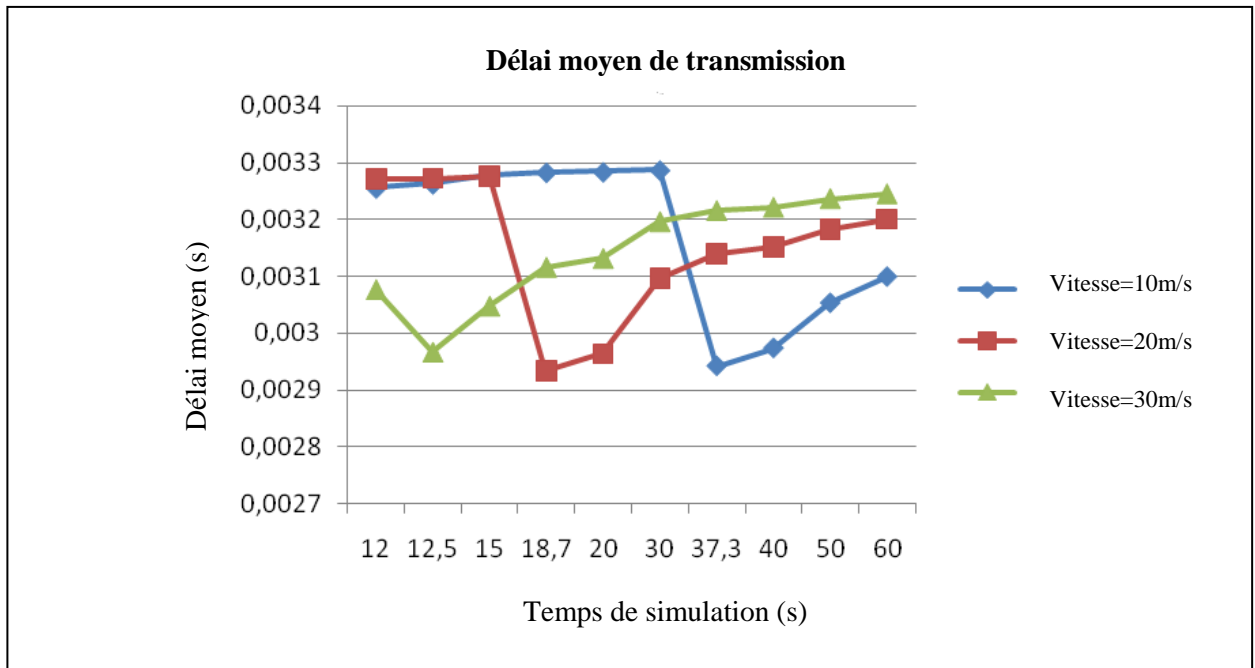


Figure II.10 : Evolution du délai moyen de transmission des paquets (trafic vidéo)

D'après cette figure nous déduisons que :

- Le délai moyen de transmission des paquets est vari entre 2,9 ms et 3,3 ms. Cette variation est grande par rapport à celle des autres applications et ça revient toujours à la taille des paquets qui varie entre 500 (ms) et 1,21 (s) pour les applications temps réel.

II.10.4. Trafic voix

Le tableau présente les paramètres de simulation du trafic voix.

Type	Voice
Packet size (bytes)	160
Packet interarrival time (s)	0.02

Tableau II.10 : Trafic voix pour le nœud mobile

II.10.4.1. Taux des paquets perdus

La figure II.11 montre l'évolution du taux des paquets perdus en fonction de la vitesse.

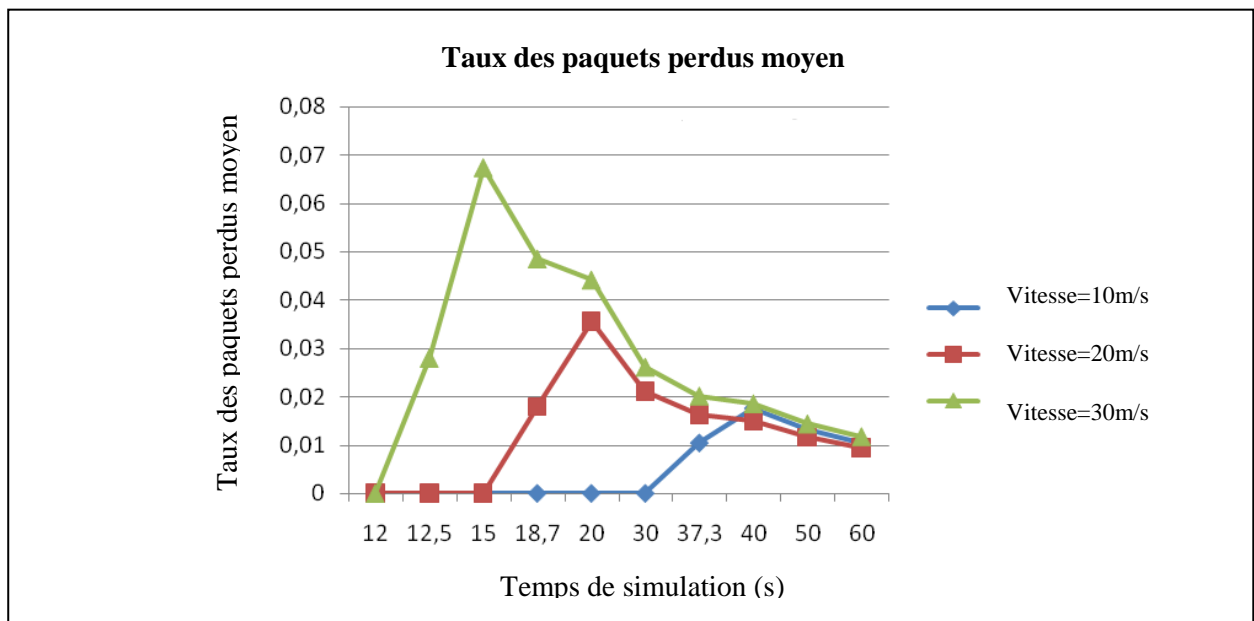


Figure II.11 : Evolution du Taux des paquets perdus moyen (trafic voix)

Cette figure montre :

- L'évolution du taux des paquets perdu relatif au trafic voix est légèrement inférieure à celle d'une application de trafic UDP. En effet, on illustre un taux maximum de 6,7 % lors de l'exécution du handover pour une vitesse de 30 m/s. Cela est du également aux protocoles introduits pour les applications temps réel, qui correspondent à un taux de paquets perdus important.

II.10.4.2. Délai moyen de transmission

La figure II.12 présente l'évolution du délai de transmission des paquets utiles en fonction de la vitesse du mobile pour une application de trafic voix.

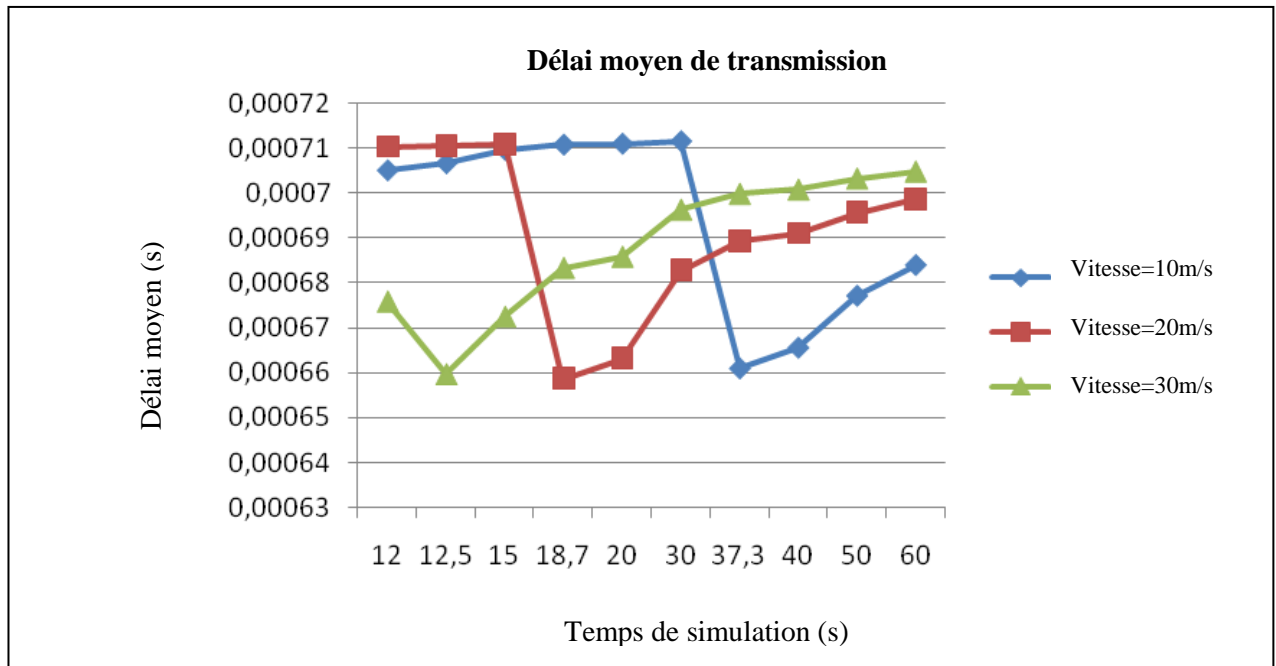


Figure II.12 : Evolution du délai moyen de transmission des paquets (trafic voix)

On constate que :

- l'évolution du délai de transmission des paquets présente un délai du handover nettement inférieure à celui d'une application UDP, ceci est dû à la différence de la taille des paquets, ainsi qu'aux protocoles introduits pour ces types d'applications.

II.10.5. Etude comparative

II.10.5.1. Comparaison entre TCP et UDP

On a choisi la même taille des paquets et le même intervalle entre les paquets pour les deux applications TCP et UDP :

a. Taux des paquets perdus

La figure II.13 montre l'évolution du taux des paquets perdus en fonction de la vitesse pour les deux applications TCP et UDP.

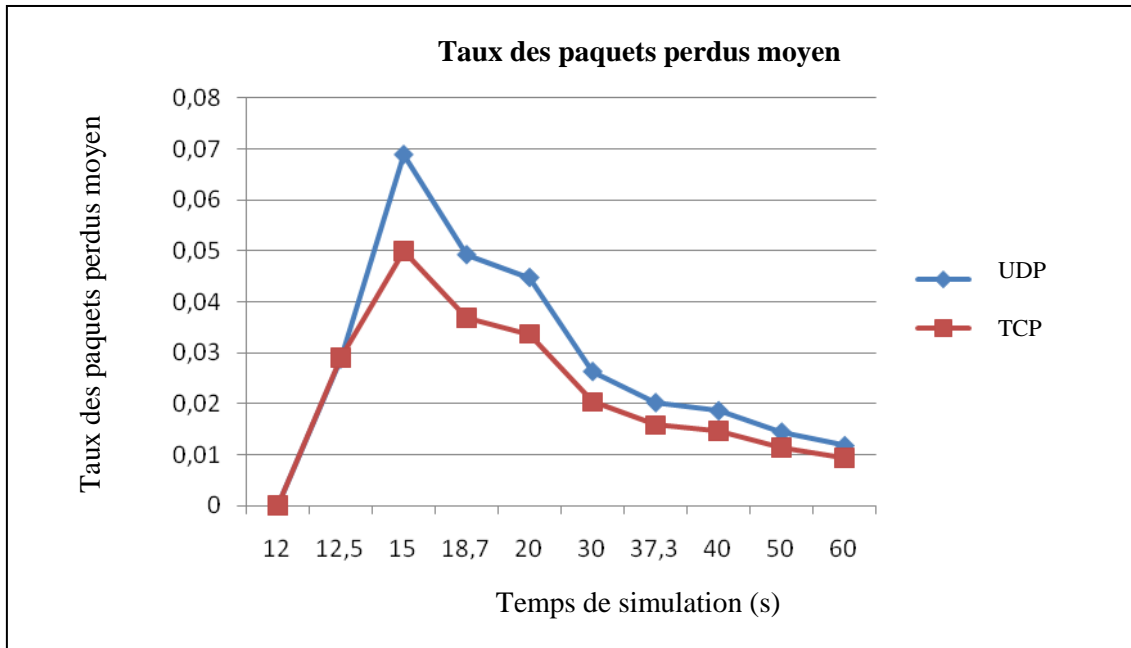


Figure II.13 : Comparaison des taux des paquets perdus moyens entre TCP et UDP
 D'après cette figure, on remarque que le taux des paquets perdus pour une application UDP est grand par rapport à celui d'une application TCP, parce que cette dernière a un accusé de réception des paquets envoyés, qui n'existe pas dans une application UDP.

b. Délai moyen de transmission

La figure II.14 montre l'évolution de délai de transmission en fonction de la vitesse pour les deux applications TCP et UDP.

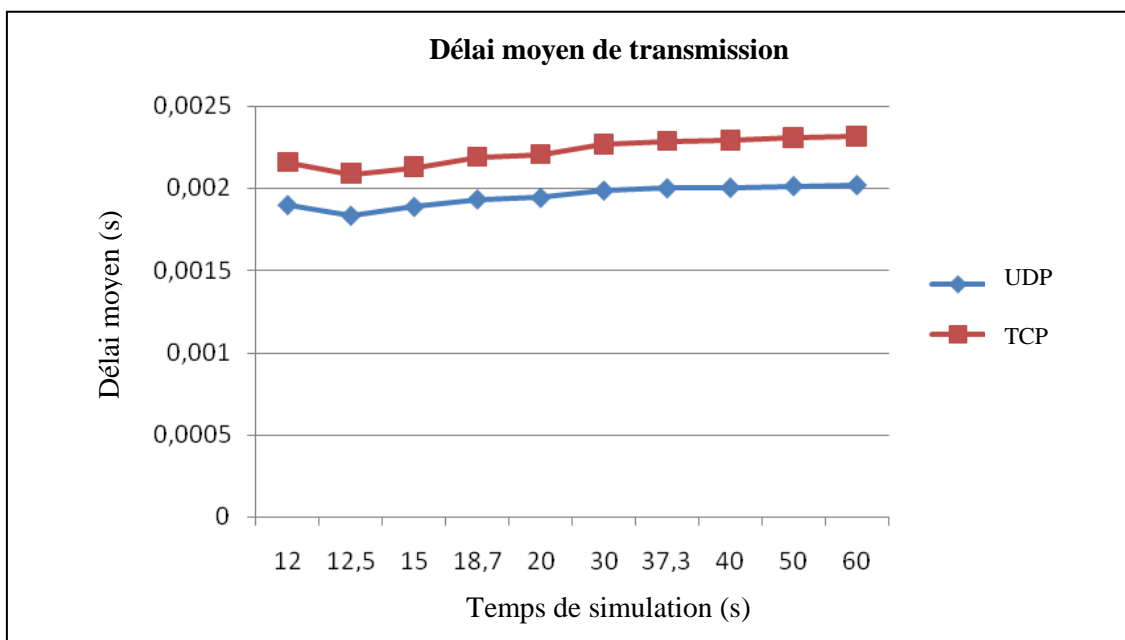


Figure II.14 : Comparaison des délais moyens de transmission entre TCP et UDP

- Dans une application TCP, les paquets envoyés nécessitent un acquittement sous forme de paquets afin d'envoyer d'autres, donc le délai moyen de transmission pour une application TCP est supérieur à celui d'une application UDP.

II.10.5.2. Comparaison entre l'UDP, la voix et la vidéo

a. Taux des paquets perdus

La figure II.15 montre l'évolution du taux des paquets perdus en fonction de la vitesse Pour les trois applications.

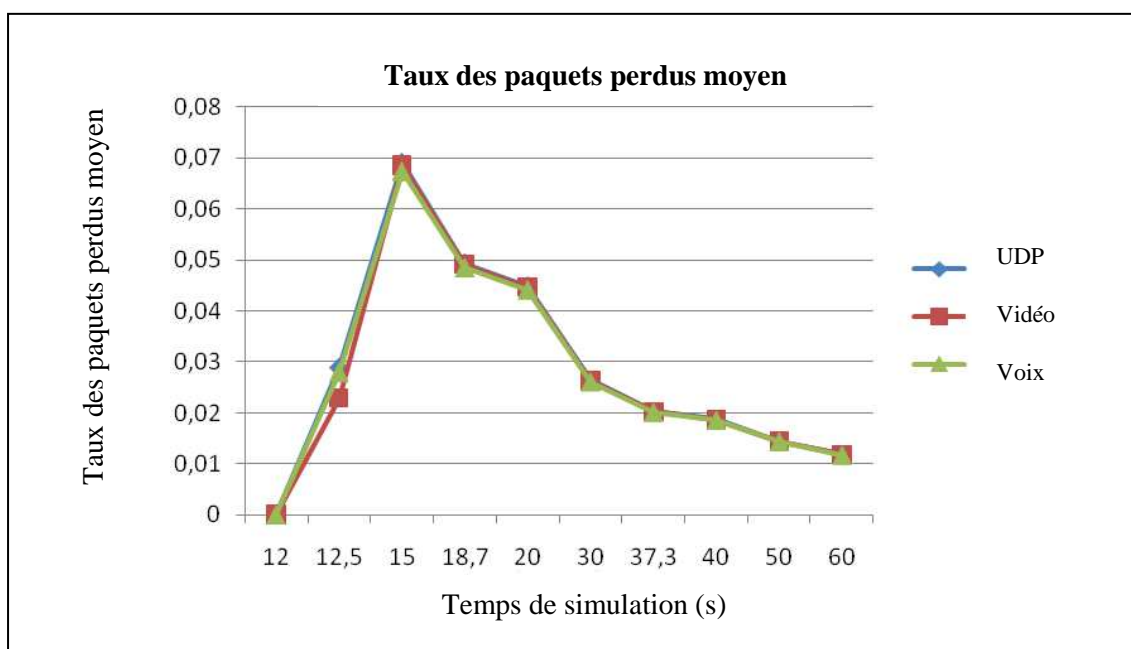


Figure II.15 : Comparaison des taux des paquets perdus moyens entre UDP, la voix et la vidéo

D'après cette figure, on peut constater que :

- La légère variation de taux des paquets perdus entre les trois applications UDP, voix et vidéo est due a la variation de la taille des paquets.

b. Délai moyen de transmission

La figure II.16 montre l'évolution de délai moyen de transmission en fonction de la vitesse pour les trois applications.

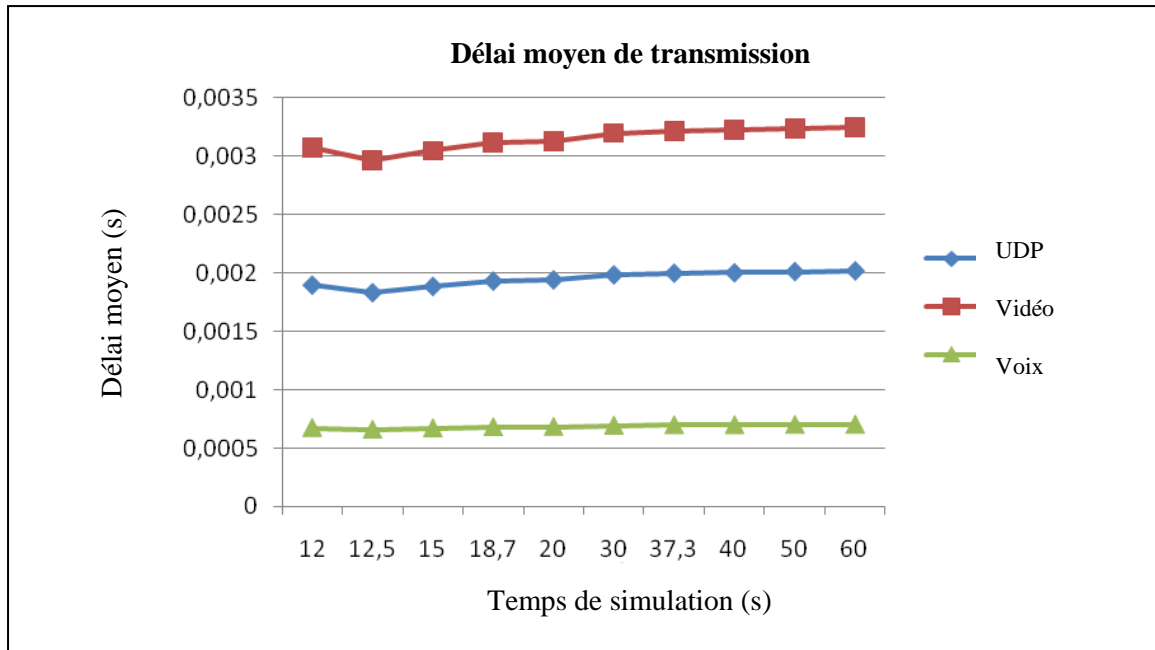


Figure II.16 : Comparaison des délais moyens de transmission entre UDP, la voix et la vidéo

- On remarque de la figure II.16 que le délai moyen de transmission dans une application vidéo est supérieur à celui d’une application UDP et également à celui de la voix. Cette variation de ces trois applications est due à la différence de la taille des paquets.

II.11. Conclusion

Dans ce chapitre, notre travail s’est focalisé sur la modélisation réseau du handover inter-système entre trois technologies hétérogènes (WiMAX, UMTS, WiFi).

En guise de conclusion, les performances du handover vertical chutent considérablement à l’exécution du handover tant pour le taux des paquets perdus que pour le délai de transmission des paquets. Ces résultats dépendent également de types d’application.

Dans le chapitre qui va suivre, les travaux vont converger vers l’étude du principe de fonctionnement des réseaux maillés sans fil (WMNs) en prenant compte de la mobilité des utilisateurs afin d’analyser les performances de Handover dans les réseaux WiFi Mesh dont le but de garantir la continuité de service en assurant la bonne qualité.

Chapitre III :
Performances de Handover
dans les réseaux WiFi Mesh

III.1. Introduction

Le 802.11s [26, 27] est une évolution des réseaux 802.11 qui facilite la formation d'un réseau maillé entre des points d'accès 802.11, dans un objectif d'étendre la couverture du réseau WLAN. Un réseau maillé est un réseau multi-sauts basé sur une infrastructure. Il offre un accès sans fil avec un coût attractif et des débits élevés.

Le groupe IEEE 802.11s a été créé en Janvier 2004 pour offrir les fonctionnalités du maillage aux architectures et protocoles de la famille IEEE 802.11. Plus spécifiquement, pour définir les amendements nécessaires au niveau des couches MAC et physique pour la création d'un système de distribution sans fil à base de la technologie IEEE 802.11.

Dans les réseaux WLAN non maillés, les stations (STAs) doivent s'associer à un point d'accès (AP) afin d'accéder au réseau, et ces STAs dépendent de ce point d'accès avec lequel ils se sont associés pour communiquer. Dans un réseau maillé les APs peuvent communiquer entre eux directement sans l'intermédiaire d'un réseau externe [28].

III.2. Réseau sans fil maillé (Wireless Mesh Network)

III.2.1. Définition

Un réseau maillé est tout simplement un réseau où chaque nœud peut communiquer, directement ou non, avec n'importe quel nœud, et où la perte d'un lien ne compromet pas complètement la connectivité. Un réseau maillé peut être défini comme un réseau qui, pour un nœud donné, fournit au minimum deux chemins différents vers n'importe quel autre nœud du réseau. Les données circulent alors de nœud à nœud (hop by hop) jusqu'à atteindre le nœud de destination. Un réseau sans fil maillé WMN [29] a une topologie où pour une transmission entre deux nœuds, les autres nœuds fonctionnent comme des routeurs et effectuent les fonctions de relais via des liens sans fil.

Après le succès qu'ont connu les réseaux 802.11 avec infrastructure et les réseaux ad-hoc, les WMNs se présentent comme une nouvelle architecture réseau qui permet de combler les faiblesses et les limites de ses prédécesseurs en améliorant les services tout en minimisant les coûts. Les WMNs permettent alors de fournir une connectivité à large bande avec un déploiement facile et à faible coût.

Les WMNs permettent d'offrir une connectivité aux utilisateurs en tout temps et en tout lieu grâce à un dorsal réseau (back haul) constitué de routeurs sans fils qui ont pour fonction de

relayer le trafic jusqu'à une passerelle qui est connectée d'une manière filaire aux réseaux extérieurs et essentiellement Internet et vice versa. Au contraire des réseaux cellulaires et des WLAN, les WMN fournissent alors, à travers cette topologie maillée, aux clients mobiles une infrastructure décentralisée résistante aux pannes. Le caractère multi-sauts des WMN permet d'augmenter la couverture du réseau.

Référence	802.11a(WIFI 5)	802.11b(WIFI)	802.11g
Débit	54Mbit/s	11Mbit /s	20Mbit/s
Fréquence	5GHZ	2.4GHZ	2.4GHZ
Portée	40m	100m	100m
Principale	Permet d'obtenir un haut débit, il est incompatible avec 802 .11b	C'est la norme la plus répandue actuellement	Plus répandue dans le commerce actuellement, Assure la compatibilité avec le standard 802.11b

Tableau III.1 : Différents types du 802.11

III.2.1.1. Autres normes de WiFi

Référence	Description
802.11c	Modification de la norme 802 .11 au niveau interne.
802.11e	Ce standard ajoute un supplément de QoS (qualité de service) pour les applications données, voix, vidéo.
802.11f	Elle achève le point de l'interopérabilité entre les différents standards.
802.11h	Ce standard est développé pour mieux gérer la consommation d'énergie des mobiles, selon leurs locations (indoor or outdoor).
802.11X et 802.11i	Ces deux standards assurent la sécurité des réseaux WLAN utilisant la norme IEEE802 .11.

Tableau III.2 : Références du 802.11

III.2.2. Composantes de WMN

Avant de présenter l'architecture des WMN, il est essentiel d'identifier les différentes composantes de ces réseaux. Notons que plusieurs dénominations sont présentes dans la littérature ; on a choisi celle proposée par IEEE802.11s :

- ♦ MP (Mesh Point) : ils forment la dorsale du réseau. Ce sont des routeurs sans fils qui ont la capacité de router et relayer le trafic d'un MP à un autre jusqu'à la passerelle. Les MP sont généralement fixes et n'ont pas de contraintes de consommation d'énergie.

- ♦ MAP (Mesh Access Point) : c'est un MP qui joue parallèlement le rôle d'un point d'accès. Il fournit l'accès au réseau pour les stations ou les clients mobiles.

- ♦ MPP (Mesh Portal Point) : un MP qui joue aussi un rôle de passerelle vers d'autres types de réseaux comme Wimax. Il est généralement connecté au réseau filaire afin de fournir aux clients une connectivité Internet en tout temps et en tout lieu.

- ♦ STA (Station ou Client) : il s'agit du client ou l'utilisateur. Les STAs ne participent ni au routage ni aux services Mesh. Ils sont mobiles et ils communiquent entre eux à travers leurs stations de base. Les STAs peuvent être par exemple un ordinateur portable.

III.2.3. Architectures de WMN

Un WMN peut avoir l'une des trois architectures suivantes, le choix de l'une ou de l'autre dépend du but d'utilisation.

III.2.3.1. WMN avec infrastructure ou hiérarchique

Ce type d'architecture est caractérisé par plusieurs niveaux. Les clients (STA) constituent le niveau plus bas. Ce sont l'origine du trafic et ils ne participent pas au routage ou à l'acheminement (relais). Les MPs forment la dorsale et ont pour fonction le relai du trafic.

Le troisième niveau est constitué des passerelles MPP qui permettent l'accès à l'Internet ou bien l'intégration des WMN avec les réseaux sans fils existants. Cette architecture qui est nommée aussi WMN fixe permet d'étendre la couverture réseau pour les clients. Les MP peuvent être installés à l'extérieur, dans les rues, dans les lieux publics, etc. Ils peuvent être aussi installés à l'intérieur des entreprises, par exemple, et ainsi le client qui est mobile peut toujours avoir une connectivité. Cette architecture est la plus utilisée et elle est illustrée sur la figure III.1.

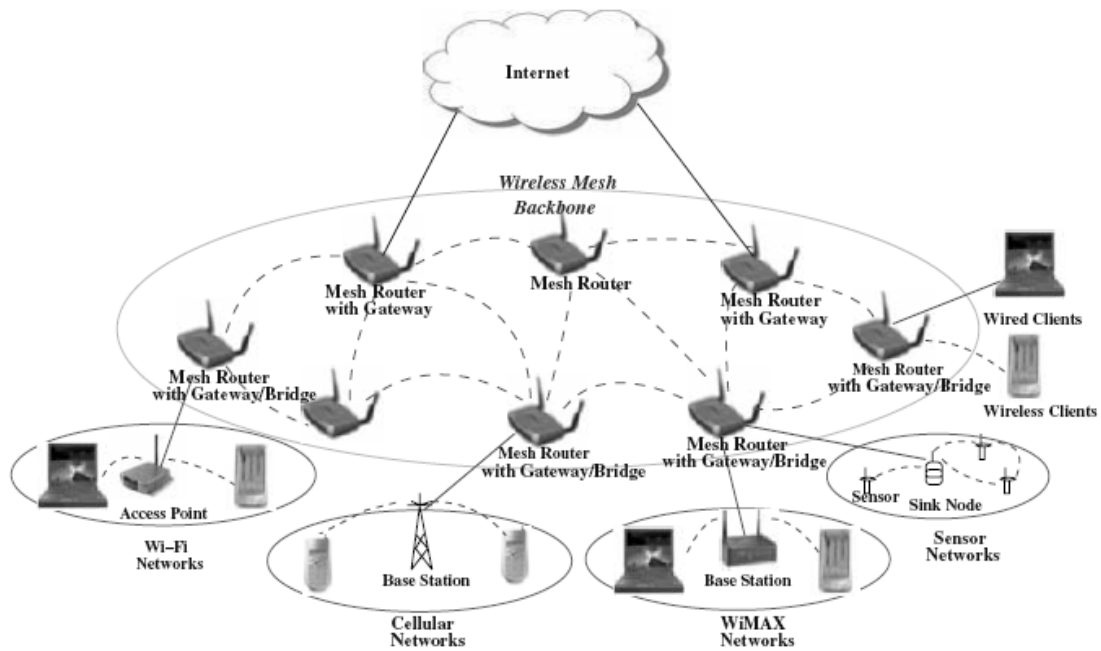


Figure III.1 : WMN hiérarchique

III.2.3.2. WMN plats ou mobiles

Ce type d'architecture est nommé aussi WMN ad-hoc car elle est très similaire aux réseaux ad-hoc. Tous les équipements sont sur le même niveau et ils peuvent être à la fois des clients et des routeurs. Ce type d'architecture fournit un réseau point à point entre les clients [30]. Les WMN utilisent les MAP et les MPP qui sont nécessaires dans le cas où il y a un besoin de joindre des réseaux externes comme l'Internet.

Ce type d'architecture est idéal pour les applications distribuées. La topologie du réseau change fréquemment en raison de la mobilité des équipements. Ce qui exige une mise à jour fréquente des tables de routage et résulte en une charge importante. Cette architecture est utilisée pour plusieurs cas d'usage comme par exemple pour les services de sécurité publique, les applications de transport etc. [31]. La figure III.2 illustre ce type d'architecture

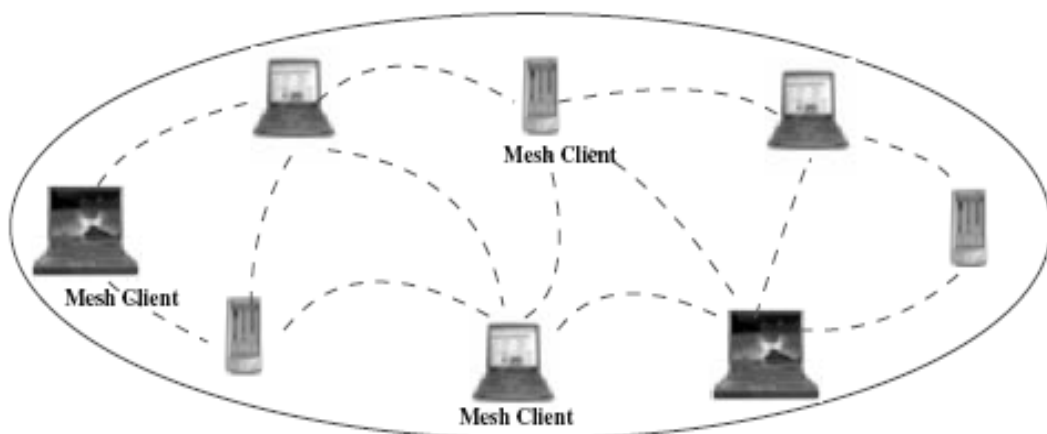


Figure III.2 : WMN plats

A. Mode Ad-hoc

Le mode ad hoc (généralement baptisé point à point) représente simplement un ensemble de stations sans fil 802.11 qui communiquent entre elles sans avoir recours à un point d'accès ou une connexion à un réseau filaire à travers le système de distribution. Chaque station peut établir une communication avec n'importe quelle autre station dans la cellule que l'on appelle cellule IBSS (Independent Basic Service Set).

Comme dans le mode infrastructure, un réseau ad hoc est généralement identifié par une identification de réseau SSID (Figure III.3).

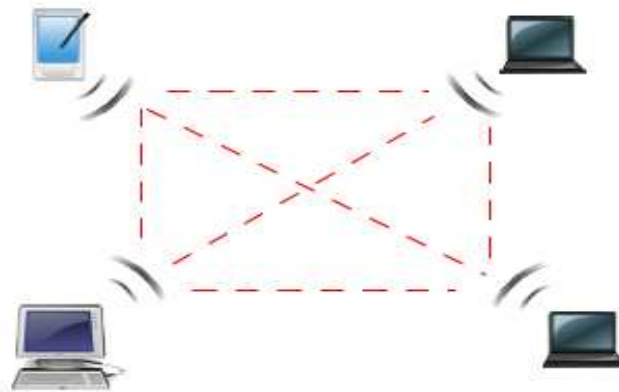


Figure III.3: Fonctionnement en mode ad hoc

III.2.3.3. WMN hybride

Cette architecture est une combinaison entre les deux architectures précédentes. Les clients peuvent communiquer directement entre eux et ils sont munis des fonctions de routage pour passer le trafic d'un client à un autre, et utilise l'infrastructure pour avoir une connectivité aux réseaux externes (Internet). Cette architecture devient de plus en plus importante pour le développement de WMN [30]. La figure III.4 illustre cette architecture.

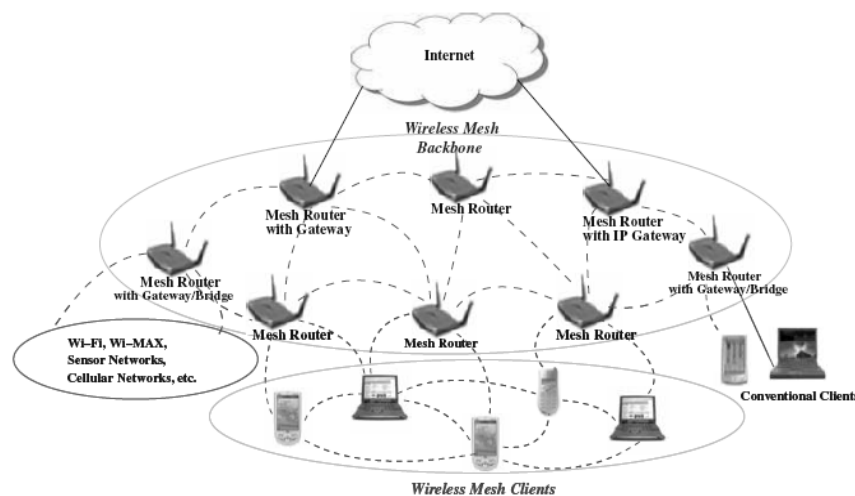


Figure III.4: WMN hybride

III.2.4. Caractéristiques du WMN

Les caractéristiques du réseau maillé sont les suivantes :

- a- Un réseau à multi-sauts :** Deux nœuds qui ne sont pas liés directement peuvent communiquer par l'intermédiaire des nœuds qui assurent le routage saut par saut. Cette caractéristique permet à un nœud d'atteindre la totalité des nœuds du réseau.
- b- Support des fonctionnalités des réseaux Ad-hoc :** Ces fonctionnalités sont essentiellement la capacité d'auto-configuration et d'auto-organisation. Les réseaux maillés améliorent les performances des réseaux Ad-hoc par la flexibilité de l'infrastructure, le déploiement facile, la tolérance à la rupture de lien, la connectivité et la communication multipoint à multipoint. De ce fait, l'installation et l'extensibilité d'un réseau maillé sont faciles.
- c- La mobilité dépend des types de nœud :** Les routeurs maillés ont généralement une mobilité minimale, tandis que les clients peuvent être des nœuds fixes ou mobiles [30].
- d- Plusieurs types d'accès au réseau :** Dans les réseaux maillés, l'accès simultané aux communications Peer-to-Peer (P2P) et à l'Internet au sein des réseaux maillés sont prises en charge. En outre, l'intégration des réseaux maillés avec d'autres réseaux sans fil fournit des services supplémentaires aux utilisateurs finaux de ces réseaux [30].
- e- La dépendance en vue la consommation d'énergie :** En général, les routeurs maillés ne disposent pas des contraintes strictes sur la consommation d'énergie puisqu'ils sont généralement alimentés en énergie. Toutefois, les clients maillés peuvent exiger des protocoles efficaces en économie d'énergie [30].
- f- Compatibilité et interopérabilité avec les réseaux sans fil existants :** Le réseau maillé IEEE 802.11s est compatible avec les normes IEEE 802.11. Ces réseaux ont aussi besoin d'être interopérables avec d'autres réseaux sans fil comme le WiMAX, ZigBee et les réseaux cellulaires.
- g- Intégration :** Les réseaux WMN supportent les clients qui utilisent les mêmes technologies radio comme un routeur maillé. Ceci est accompli grâce à une fonction de routage disponible dans ces routeurs. Les réseaux maillés permettent également l'intégration des différents réseaux existants, tels que WiFi, Internet, réseaux cellulaires et des capteurs sans fil par le biais des fonctionnalités de la passerelle.
- h- Mobilité :** La topologie et la connectivité du réseau dépendent de la circulation des usagers. Cela impose des défis supplémentaires pour les protocoles de routage ainsi que la

configuration et le déploiement du réseau. Comme les routeurs maillés fournissent l'infrastructure dans les réseaux maillés, la couverture du réseau peut être conçue facilement tout en supportant la mobilité des utilisateurs [30].

III.2.5. Applications des WMNs

Les réseaux WMN sont de nos jours de plus en plus sollicités. Plusieurs applications ont été déployées à la base des WMNs. Nous présentons ci-dessous quelques domaines d'applications pour les réseaux WMN [31, 32].

III.2.5.1. Réseau Domestique (Broadband Home Networking) (figure III.5)

Les réseaux domestiques classiques (qui utilisent la technologie IEEE 802.11) souffrent d'un problème de coût de déplacement des points d'accès filaires, d'où il faut faire une étude préalable de localisation des points d'accès pour assurer une couverture idéale dans tous les coins de la maison, et éviter par conséquent le déplacement des points d'accès. Cette étude ne résoud pas le problème définitivement, lorsque il y a des changements dans la structure de la maison (travaux de construction), ceci peut engendrer des points morts (non couverts) et dans ce cas le déplacement des points d'accès est inévitable. La solution Mesh est capable de résoudre ce problème par l'utilisation des points d'accès sans fil à moindre coût avec une facilité de déplacement et ajustement.

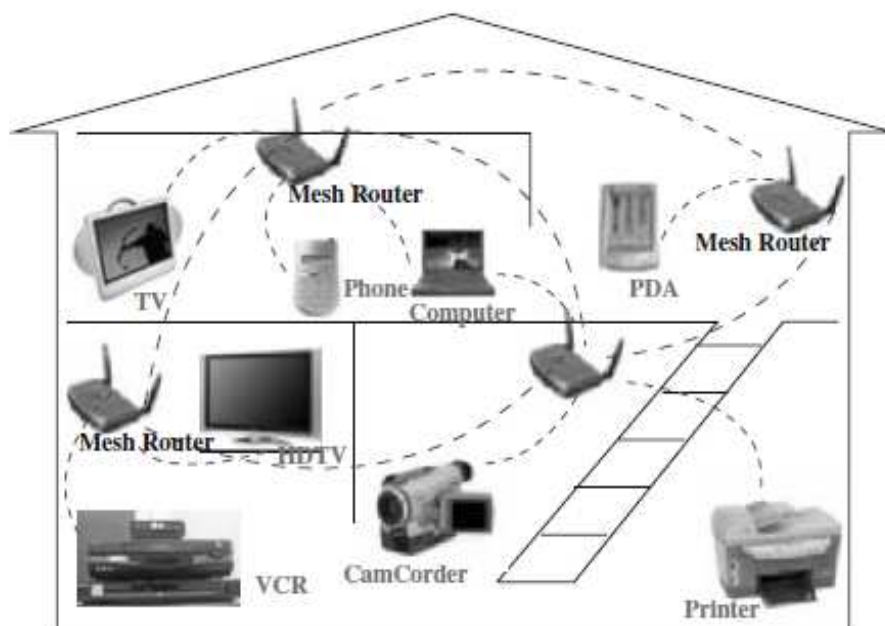


Figure III.5 : Réseaux maillés pour la maison numérique

III.2.5.2. Réseau de communauté et de Voisinage (community and Neighborhood

Networking) (figure III.6)

Actuellement, la communication entre maisons se fait par l'intermédiaire du réseau internet.

L'avantage de cette architecture est la couverture étendue du réseau. Par contre, elle possède des inconvénients :

- ♦ N'importe quelle communication entre deux utilisateurs passe obligatoirement par internet.
- ♦ La nécessité d'une passerelle pour chaque maison.

La solution Mesh peut faire face à ces problèmes par l'installation des mesh routeurs pour chaque maison, ainsi que doter quelques maisons par des passerelles pour permettre l'accès aux autres réseaux.

Dans ce cas, les communications sont assurées par le backbone (formé par les WMRs : Wireless Mesh Router), ainsi que l'accès aux autres réseaux se fait seulement lorsqu'il y a besoin par n'importe quel utilisateur, et pas forcément possédant une passerelle.

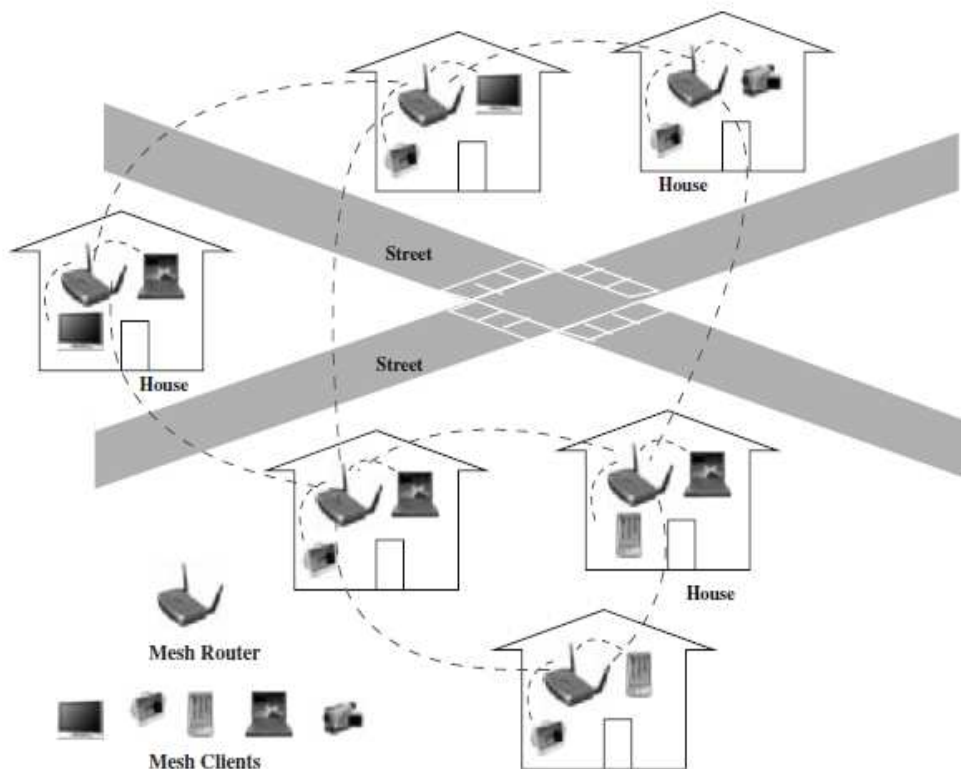


Figure III.6: Réseaux maillés pour les réseaux de voisinage

III.2.5.3. Réseaux d'entreprises

Cela peut être un petit réseau dans un bureau ou un réseau de taille moyenne pour l'ensemble des bureaux dans tout le bâtiment, ou d'un réseau à grande échelle entre les bureaux dans plusieurs bâtiments. Actuellement le standard IEEE 802.11 est largement utilisé dans les différents bureaux. Cependant, ces réseaux sans fil sont encore isolés. Les connexions entre eux doivent être atteintes grâce à des connexions Ethernet câblées, qui est la principale raison du coût élevé des réseaux d'entreprise. En outre, l'ajout des modems d'accès ne font qu'accroître les capacités locales, mais elles n'améliorent pas la robustesse aux pannes de liens, la congestion du réseau et d'autres problèmes du réseau d'entreprise.

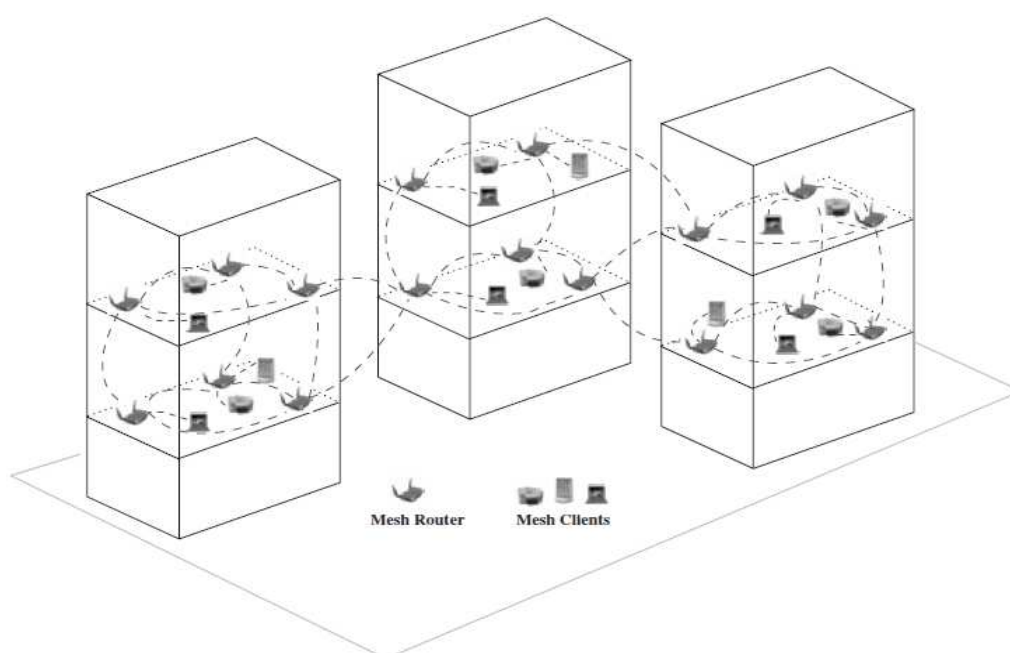


Figure III.7 : Réseaux maillés pour les entreprises

Si les points d'accès sont remplacés par des routeurs Mesh, comme le montre la figure III.7, le côté filaire peut être éliminé. Plusieurs modems d'accès peuvent être partagés par tous les nœuds du réseau, et donc améliorer l'utilisation des ressources et la robustesse des réseaux d'entreprise. Les WMNs peuvent se développer facilement une fois que la taille de l'entreprise devienne importante [30].

III.2.5.4. Réseaux métropolitain (WMAN)

Les réseaux maillés dans une région métropolitaine ont plusieurs avantages. Le taux de transmission de la couche physique d'un nœud dans les réseaux maillés est beaucoup plus élevé que dans les systèmes cellulaires. Par exemple, un port IEEE 802.11a peut transmettre un débit

de 54 Mbps. De plus, la communication entre les nœuds du maillage ne repose pas sur un réseau fédérateur câblé. Le WMAN couvre une zone potentiellement beaucoup plus grande qu'une maison, entreprise, bâtiment ou les réseaux communautaires, comme le montre la figure III.8. Ainsi, l'exigence sur l'évolutivité du réseau WMN est beaucoup plus élevée que par d'autres applications [30].

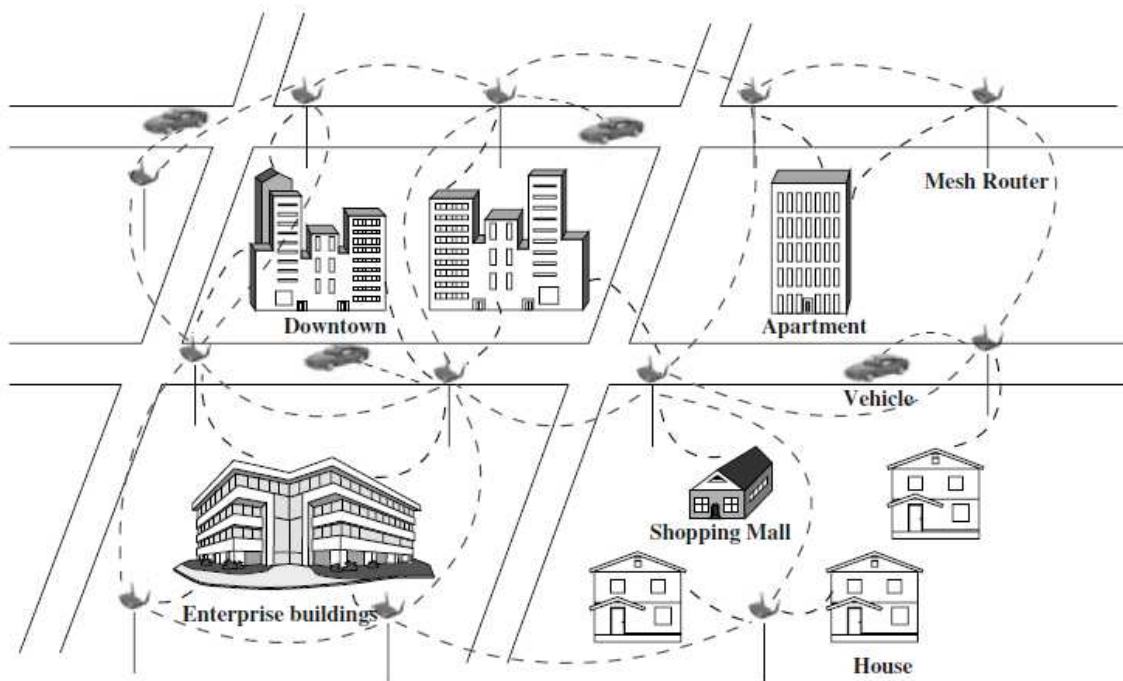


Figure III.8 : Réseaux maillés métropolitain

III.2.5.5. Systèmes médicaux et de santé

Dans un hôpital ou un centre médical, des données de surveillance et de diagnostic doivent être traités et transmis d'une pièce à l'autre. La transmission des données est généralement à large bande, car les images médicales à haute résolution et diverses informations de suivi périodique peuvent facilement produire un volume constant et important de données. Les réseaux filaires traditionnels ne peuvent fournir un accès réseau limité à certains dispositifs médicaux fixes. Des réseaux WiFi doivent se fonder sur l'existence de connexions Ethernet, ce qui peut causer le coût élevé et la complexité du système. Cependant, ces problèmes n'existent pas dans les réseaux WMN.

III.2.5.6. Sécurité et systèmes de surveillance

Les systèmes de surveillance et de sécurité sont devenus une nécessité pour les bâtiments d'entreprise, les centres commerciaux, les Banques, etc. Afin de déployer ces systèmes, les réseaux maillés sont une solution beaucoup plus fiable pour connecter tous les périphériques de surveillance. Les images fixes et les vidéos sont les trafics majeurs circulant dans le réseau, ces applications exigent une capacité du réseau beaucoup plus élevée [30].

En plus de ces applications, les réseaux maillés peuvent également être appliqués à des applications spontanées (urgences / catastrophes).

III.3. Couche physique

La couche physique définit la modulation des ondes radioélectriques et les caractéristiques de la signalisation pour la transmission de données. Chaque couche physique (couche physique d'IEEE 802.11 et amendements 802.11a, 802.11b, 802.11g) est divisée en deux sous-couches :

- La couche PMD (Physical Medium Dependent) : définit les caractéristiques de la couche physique employée à savoir les techniques de transmissions utilisées (FHSS, DSSS ou OFDM).
- La couche PLCP (Physical Layer Convergence Protocol) : permet la liaison entre la couche PMD et la couche MAC et à pour principal rôle la gestion des trames (encapsulation, décapsulation, etc.). Elle permet aussi d'envoyer à la couche MAC des rapports d'erreur ou encore de lui signifier si le support est libre ou non.

III.3.1. FHSS

Le FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum) est un système à saut de fréquence où la totalité de la bande disponible est divisée en 79 canaux de 1 MHz. Les transmissions se font sur l'ensemble des canaux selon une séquence de sauts prédéfinie, définissant ainsi le facteur d'étalement : le système passe d'un canal à un autre toutes les 300 ms selon cette séquence. L'avantage de cette technique est que toute personne écoutant la bande et ne connaissant pas la séquence de sauts ne pourra intercepter les données. D'autre part, étant donné que le système saute d'un canal à un autre, le FHSS possède une immunité contre des interférences locales. Son seul défaut réside dans la faible largeur de bande par canal, ne lui permettant pas d'atteindre des débits élevés.

III.3.1.1. Structure de la trame en FHSS

Une trame au niveau physique est composée de trois parties. Elle débute par un préambule, suivi d'un entête et se termine par la partie données (Tableau III.3).

Préambule		En-tête			Trame MAC
Synchro 80 bits	SFD 16 bits	PLW 11bits	PSF 5 bits	CRC En-tête 16 bits	

Tableau III.3 : Structure de la trame 802.11 au niveau physique, FHSS

Avec l'étalement de spectre par saut de fréquence ou FHSS, le signal est transmis en diffusion générale (broadcast) en une suite aléatoire de fréquences radio, sautant d'une fréquence à une autre à des intervalles fixes (figure III.9). Pour récupérer le message transmis, le récepteur passe lui aussi d'une fréquence à une autre en synchronisation avec l'émetteur.

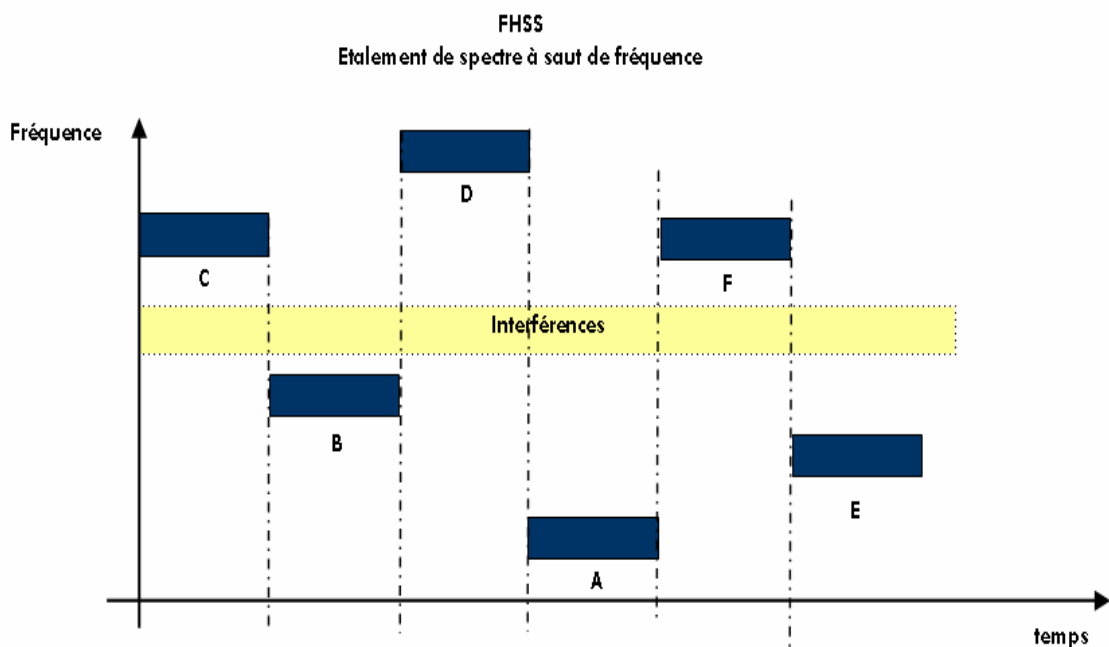


Figure III.9 : Etalment de spectre à saut de fréquence

III.3.2. Technique DSSS

Le DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) utilise comme facteur d'étalement une technique de chipping [33]. Au lieu de découper la bande en canaux de 1MHz, la bande est découpée en quatorze canaux de 20 MHz mais un seul des canaux sera utilisé pour les transmissions. La technique de chipping consiste à envoyer un ensemble de bits (le chip) correspondant à un bit de données. L'étalement se fait donc au niveau de la quantité d'information envoyée. IEEE 802.11a définit le code de Barker sur 11 bits comme technique de chipping tandis que 802.11b et 802.11g utilise le CCK (8 bits). L'avantage de cette technique couplée à différentes techniques de modulation est de proposer des immunisés contre les interférences locales étant donné qu'un seul canal de 20 MHz est utilisé.

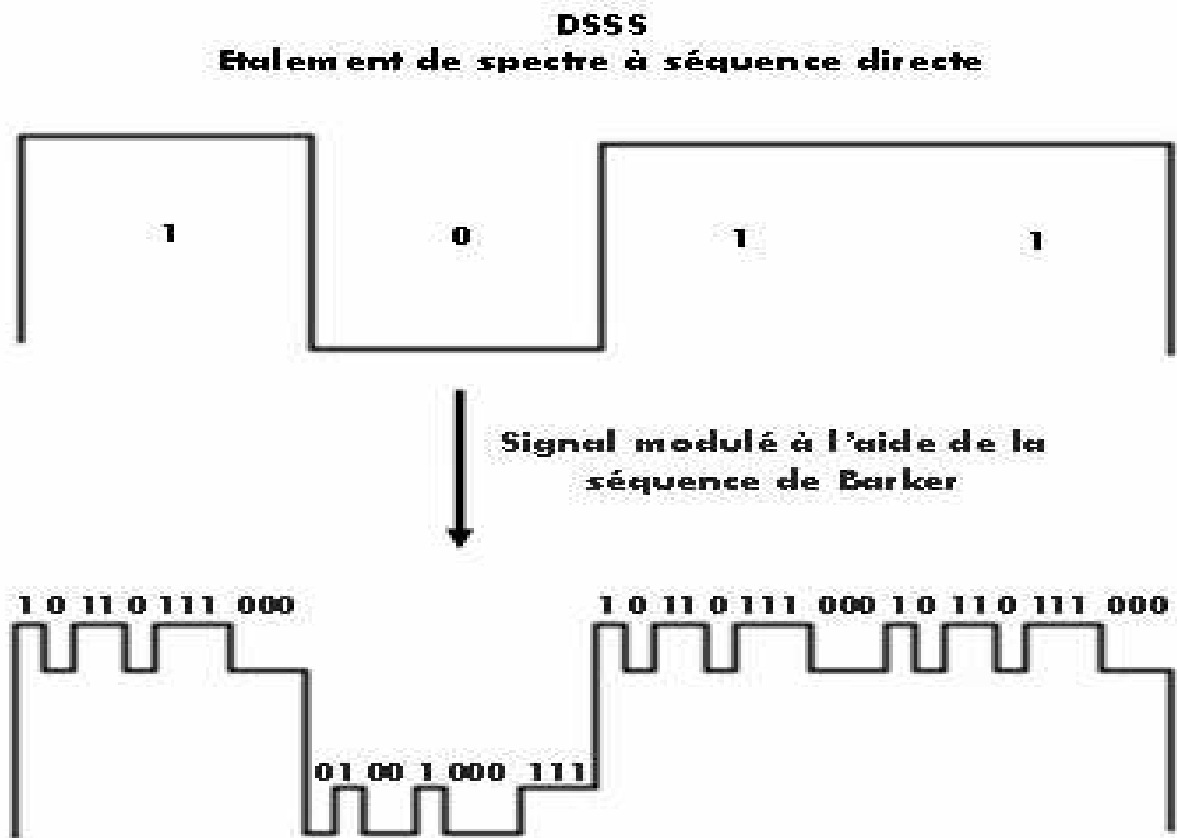


Figure III.10 : Technique de chipping [34]

III.3.2.1. Structure de la trame en DSSS

Une trame au niveau physique est composée de trois parties : un préambule, puis un entête et enfin la partie données (Tableau III.4).

Préambule		En-tête				Trame MAC
Synchro 128 bits	SFD 16 bits	Signal 8 bits	Service 8 bits	Longueur 16 bits	CRC En-tête 16 bits	

Tableau III.4 : Composition de la trame 802.11 au niveau physique pour le DSSS

III.3.2.2. Avantages de DSSS

- ♦ Utilisation de messages de négociation pour s'assurer que le récepteur peut comprendre les paquets émis.
- ♦ Systèmes de redondance par étalement peu sensible aux interférences et aux erreurs de transmission.
- ♦ Bonne efficacité spectrale → Possibilité d'obtenir des débits élevés.

- ♦ Possibilité d'améliorer les performances par allongement du vecteur d'étalement.

III.3.3. Technique OFDM

OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) est une technique de transmission utilisée dans les amendements 802.11a et 802.11g, dans hyper LAN mais aussi dans des standards pour réseaux locaux personnels sans fil ou certains standards pour réseaux mobiles.

Comme pour le DSSS, la bande disponible est divisée en canaux de 20 MHz et sa transmission ne se fait que sur un canal. Chaque canal est divisé en 52 sous-canaux ayant pour largeur 300Khz. 48 sous-canaux sont utilisés pour la transmission des données tandis que les quatre autres sont chargés de la correction d'erreur ou FEC (Forward Error Correction). A chaque sous-canal est appliquée une technique de modulation définissant ainsi un canal à très bas débit. L'avantage de l'OFDM vient de la formation d'un canal très haut débit de ces sous-canaux à très faible débit, permettant ainsi d'atteindre des débits de 54 Mbit/s pour les amendements 802.11g ou 802.11s. L'avantage d'OFDM est le mécanisme de correction d'erreur sur l'interface physique, évitant ainsi la gestion des retransmissions au niveau de la couche MAC.

III.4. Couche liaison

La couche liaison de données est composée de deux sous-couches :

- ♦ La sous-couche de contrôle de liaison logique (LLC : Logical Link Control)
- ♦ La sous-couche de contrôle d'accès au support (MAC : Medium Access Control)

III.4.1. Sous couche LLC

Son but est de permettre aux protocoles réseaux de niveau 3 (par exemple IP) de reposer sur une couche unique (la couche LLC) quel que soit le protocole sous-jacent utilisé, dont le Wifi ou l'Ethernet par exemple. Tous les paquets de données WiFi transportent donc un paquet LLC. Il est possible d'avoir en même temps, sur un même réseau trois protocoles de niveau 3 [35].

III.4.2. Sous-couche MAC

La norme IEEE 802.11 propose deux modes de fonctionnement selon la configuration du réseau ; le mode infrastructure et le mode Ad-hoc. Pour chacune de ces deux architectures, l'IEEE 802.11 a défini un mode de fonctionnement de la sous-couche MAC : le mode PCF (Point Coordination Function) et le mode DCF (Distributed Coordinated Function).

III.4.2.1. Méthodes d'accès aux supports

1) Mode **PCF** : il utilise la station de base pour contrôler l'activité de la cellule. Ce mode est conçu pour :

- Interrogation à tour de rôle des terminaux (polling).
- Contrôle par le point d'accès.
- La transmission de données sensibles.
- Gestion du délai, application de type de temps réel : Voix, Vidéo.

Le mode PCF consiste à contrôler les échanges dans le réseau par un Point de coordination (*en anglais Point Coordinator*). Le Point de Coordination, généralement représenté par l'AP (Access Point), permet d'avoir une coordination centralisée de l'accès au médium.

2) Mode **DCF** (Distributed Coordinated Function) : il n'utilise aucune entité de gestion centralisée pour communiquer. Ce mode est conçu pour :

- Prendre en charge le transport de données asynchrones.
- Tous les utilisateurs qui veulent transmettre ont une chance égale d'accéder au support.

Dans ce mode, le réseau 802.11 utilise le protocole CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) qui permet l'accès multiple avec écoute préalable de la porteuse/évitement de collision. Son principe de fonctionnement consiste à résoudre la contention avant que les données soient transmises en utilisant des accusés de réception – ACK (Acknowledgement) et des temporisateurs – IFS (Inter-Frame Spacing).

A. Ecoute de support

- ♦ La station voulant émettre écoute le support.
 - Si aucune activité n'est détectée pendant un DIFS (*Distributed Inter-Frame Spacing*); la transmission des données est immédiate.
 - Si le support est occupé, la station écoute jusqu'à ce qu'il soit libre.
- ♦ Quand le support est disponible, la station retarde sa transmission en utilisant l'algorithme de back off avant de transmettre.
 - ♦ Si les données ont été reçues de manière intacte (vérification du CRC de la trame), la station de destination attend pendant un SIFS et émet un ACK.
 - ♦ Si l'ACK n'est pas détecté par la source ou si les données ne sont pas reçues correctement, on suppose qu'une collision s'est produite et la trame est retransmise.

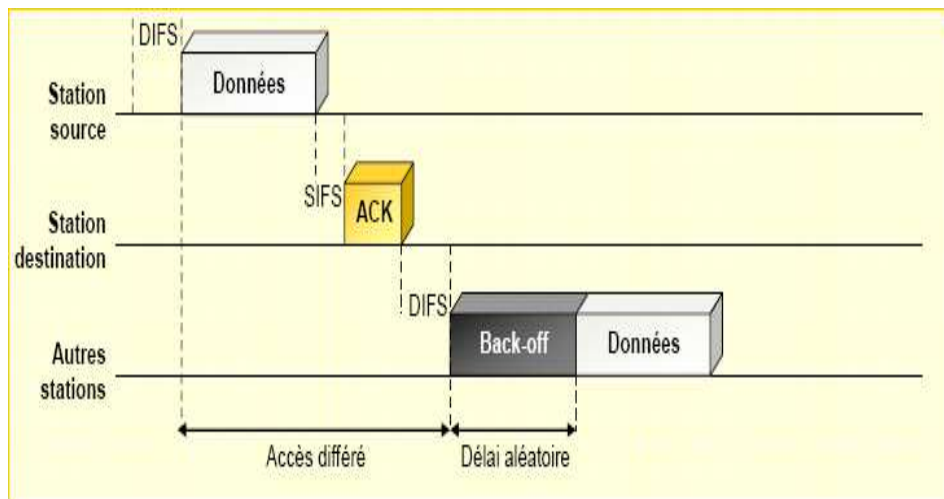


Figure III.11 : Accès au support CSMA/CA

B. Algorithme de Back off

- ♦ Permet de résoudre le problème de l'accès au support lorsque plusieurs stations veulent transmettre des données en même temps.
 - ♦ Temps découpé en tranches (Time slots) : Le Time slot du 802.11 est un peu plus petit que la durée de transmission minimale d'une trame ; utilisé pour définir les intervalles IFS.
 - ♦ Initialement, une station calcule la valeur d'un temporisateur égal au Timer back off, compris entre 0 et 7. Lorsque le support est libre, les stations décrémentent leur temporisateur jusqu'à ce que le support soit occupé ou que le temporisateur atteigne la valeur 0.
- Si le temporisateur n'a pas atteint la valeur 0 et que le support est de nouveau occupé, la station bloque le temporisateur.
 - Dès que le temporisateur atteint 0, la station transmet sa trame.
 - Si deux ou plusieurs stations atteignent la valeur 0 au même instant, une collision se produit et chaque station doit régénérer un nouveau temporisateur, compris entre 0 et 15.
- ♦ Pour chaque tentative de retransmission, le temporisateur croît de la façon suivante : $[2^{n+1} * \text{randf}()] * \text{time slot}$.

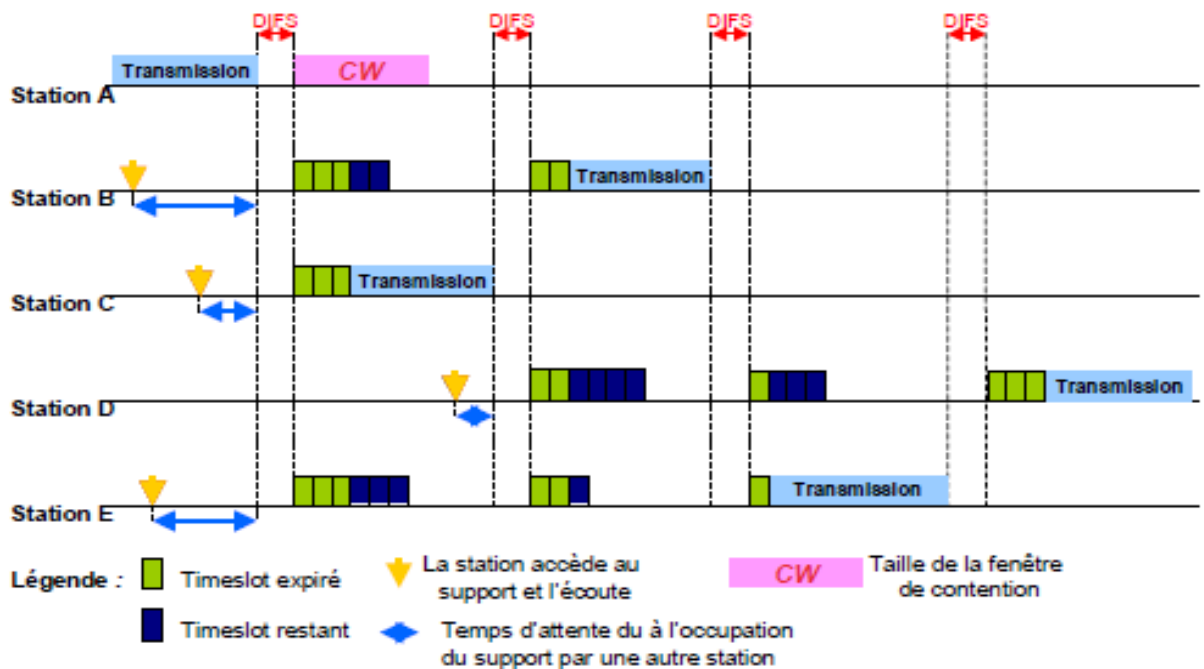


Figure III.12: Algorithme de Back off

C. Mécanisme de réservation

- ♦ Envoi de trames RTS/CTS (Request To Send/Clear To Send) entre une station source et une station destination avant tout envoi de données.
 - La station qui veut émettre envoie un RTS.
 - ♦ Toutes les stations du BSS entendent le RTS, lisent le champ de durée du RTS et mettent à jour leur NAV.
 - La station destination répond après un SIFS, en envoyant un CTS.
 - Les autres stations lisent le champ de durée du CTS et mettent de nouveau à jour leur NAV.
 - Après réception du CTS par la source, celle-ci est assurée que le support est stable et réservé pour la transmission de données.
 - ♦ Le NAV est calculé par rapport à l'information située dans le champ de durée de vie ou TTL contenu dans les trames envoyées. Le NAV permet de retarder toutes les transmissions.
 - ♦ Les trames RTS / CTS réservent le support pour la transmission d'une station.
 - ♦ Transmission des données et réception de l'ACK sans collision.

Le mécanisme est habituellement utilisé pour envoyer de grosses trames pour lesquelles une retransmission serait trop coûteuse en termes de bande passante.

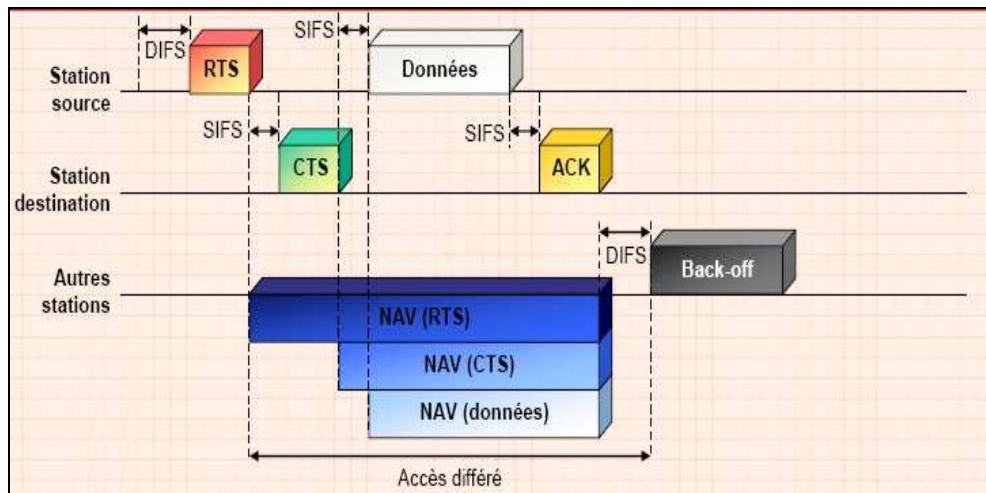


Figure III.13 : Réserve du support avec les trames RTS/CTS

III.5 Couche réseaux

III.5.1. Routage

Le routage est une méthode d'acheminement des informations d'une source à une destination à travers un réseau de connexion donné.

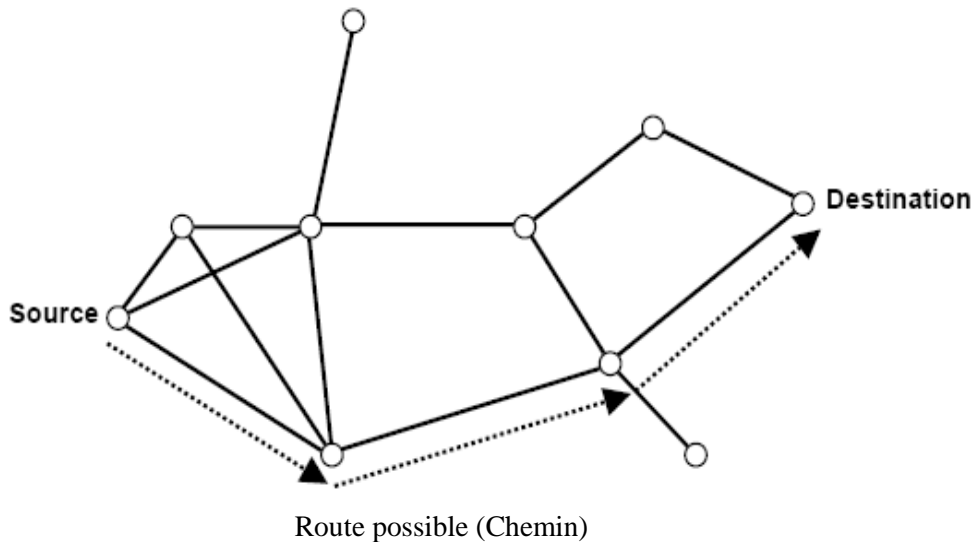


Figure III.14 : Exemple de routage

L'algorithme de routage doit prendre en compte l'extensibilité, le découvert rapide des routes et des pannes. Il doit aussi supporter la mobilité et assurer la flexibilité et la qualité de service (QoS). Les nœuds dans les WMNs ont une mobilité réduite et n'ont pas de contrainte de consommation d'énergie. Plusieurs types de protocoles sont proposés et utilisés pour résoudre le

problème de routage dans les WMNs. il existe deux types de protocoles de base : les protocoles réactifs et les protocoles proactifs.

Les protocoles réactifs ne vont chercher à calculer une route que sur la demande d'une application. Ils réduisent ainsi le trafic de contrôle mais augmentent le délai nécessaire pour obtenir la route vers sa destination. Parmi ces protocoles, on cite :

III.5.1.1. Protocole HWMP

Le protocole HWMP (Hybride Wireless Mesh Protocol) [26, 36, 37] est un protocole de routage développé pour les réseaux maillés. Il combine les deux approches proactive et réactive. Le HWMP utilise un ensemble de primitives et de traitements acquis du protocole AODV (Ad-hoc On Demande Distance Vector) [38, 39]. L'extension de AODV pour les réseaux mesh est adaptée pour faire l'adressage au niveau de la couche 2 (couche liaison) et l'utilisation d'une métrique radio. AODV est le protocole de base pour la version reactive.

♦ **Mode réactif** : dans ce mode, les nœuds créent et maintiennent les routes selon le besoin. Lorsqu'un nœud a besoin d'une route qui n'existe pas dans sa table de routage, une procédure de découverte globale de route est lancée.

♦ **Mode proactif** : dans ce mode, lorsqu'un nœud du réseau souhaite communiquer avec un autre nœud, il peut localement interroger la table de routage dont il dispose. Le routage peut ainsi être effectué de proche en proche, à l'image du routage IP. Le mode proactif définit deux sous modes à base d'arbre :

- Proactive Path REQuest (Proactive PREQ)
- Proactive Route ANNouncement (Proactive RANN)

III.5.1.2. Protocole DSDV

Le protocole DSDV (Destination Séquence Distance Vector) [40, 41] est considéré comme un protocole proactif. Il est basé sur l'idée classique de l'algorithme distribué de Bellman-Ford (DBF : Distrubted Bellman Ford) qui calcule le meilleur chemin pour accéder d'une source à une destination en rajoutant quelques améliorations.

Chaque station mobile maintient une table de routage qui contient :

- ♦ Toutes les destinations qui sont possibles.
- ♦ Le nombre de nœuds (ou de sauts) nécessaire pour atteindre la destination.
- ♦ Le numéro de séquence (NS) qui correspond à un nœud destination.
- ♦ Le NS est utilisé pour faire la distinction entre les anciennes et les nouvelles routes, ce qui évite la formation des boucles de routage.

La mise à jour dépend de deux paramètres : Le temps, c'est-à-dire la période de la transmission et les événements.

Un paquet de mise à jour contient :

- ♦ Le nouveau numéro de séquence incrémenté du nœud émetteur.
- ♦ Pour chaque nouvelle route :
 - l'adresse de la destination.
 - Le nombre de sauts (hop count) séparant le nœud de la destination.
 - Le numéro de séquence tel qu'il a été estampillé par la destination.

Les données de routage reçues par une unité mobile sont comparées avec les données déjà disponibles. La route étiquetée par la plus grande valeur du numéro de séquence (la route la plus récente) est la route utilisée. Si deux routes ont le même numéro de séquence alors la route qui possède la meilleure métrique (hop count) est celle qui sera utilisée. Les modifications faites sur les données de routage locales sont immédiatement diffusées à l'ensemble courant des voisins. Les routes reçues par une diffusion seront aussi envoyées quand le récepteur procédera à l'envoi de ses paquets. Le récepteur doit incrémenter les métriques des routes reçues avant l'envoi car le récepteur représente un nœud en plus qu'il participe dans l'acheminement des messages vers la destination. Un lien rompu est matérialisé par une valeur infinie de sa métrique, une valeur plus grande que la valeur maximale permise par la métrique. A titre d'exemple, la figure III.15 montre la représentation d'un réseau Ad hoc.

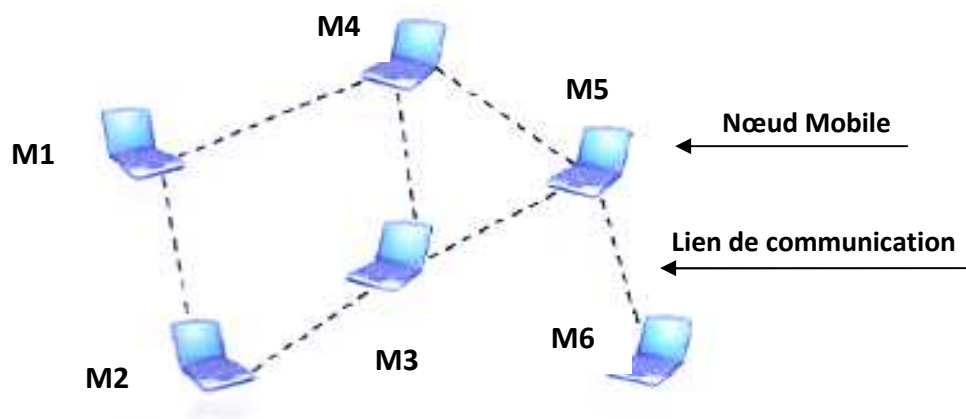


Figure III.15 : Réseau Ad hoc

Si on utilise le protocole de routage DSDV, la table de routage correspondante au nœud M1 est représentée dans le tableau III.5.

Destination	Nombre de sauts	Prochaine saut	Numéro de séquence
M1	0	M1	NS1
M2	1	M2	NS2
M3	2	M2	NS3
M4	1	M4	NS4
M5	2	M4	NS5
M6	3	M4	NS6

Tableau III.5 : Table de routage du nœud M1

Le DSDV élimine deux problèmes : le problème de boucle de routage ‘‘routing loop’’ et celui du comptage à l’infini ‘‘counting to infinity’’. Cependant, on décèle les problèmes suivants :

- ♦ Une unité mobile doit attendre jusqu’à ce qu’elle reçoive la prochaine mise à jour initiée par la destination afin de mettre à jour l’entrée associée à cette destination dans la table de distance, ce qui fait que le DSDV est lent.
- ♦ Le DSDV utilise une mise à jour périodique ce qui cause un contrôle excessif.

III.5.1.3. Protocole AODV

Le protocole AODV (Routage avec Vecteur de Distance à la Demande : Ad hoc On demand Distance Vector), représente essentiellement une amélioration de l’algorithme DSDV. Le protocole AODV, réduit le nombre de diffusions de messages, et cela en créant des routes en cas de besoin, contrairement au DSDV, qui maintient la totalité des routes. L’AODV est basé sur l’utilisation des deux mécanismes ‘‘Découverte de route’’ et ‘‘Maintenance de route’’ (utilisés par le DSR), en plus du routage nœud-par-nœud, le principe des numéros de séquence et l’échange périodique du DSDV.

L’AODV utilise les principes des numéros de séquence à fin de maintenir la consistance des informations de routage. A cause de la mobilité des nœuds dans les réseaux ad hoc, les routes changent fréquemment ce qui fait que les routes maintenues par certains nœuds, deviennent invalides. Les numéros de séquence permettent d’utiliser les routes les plus récentes ou autrement dit les plus fraîches (fresh routes).

De la même manière que dans le DSR, l'AODV utilise une requête de route dans le but de créer un chemin vers une certaine destination. Cependant, l'AODV maintient les chemins d'une façon distribuée en gardant une table de routage, au niveau de chaque nœud de transit appartenant au chemin cherché. Une entrée de la table de routage contient essentiellement :

- 1- L'adresse de la destination.
- 2- Le nœud suivant.
- 3- La distance en nombre de nœud (i.e le nombre de nœuds nécessaires pour atteindre la destination).
- 4- Le numéro de séquence destination.
- 5- Le temps d'expiration de l'entrée de la table.

Quand un nœud de transit (intermédiaire) envoie le paquet de la requête à un voisin, il sauvegarde aussi l'identificateur du nœud à partir duquel la première copie de la requête est reçue. Cette information est utilisée pour construire le chemin inverse, qui sera traversé par le paquet réponse de route (cela veut dire que l'AODV supporte seulement les liens symétriques).

Puisque le paquet réponse de route va être envoyé à la source, les nœuds appartenant au chemin de retour vont modifier leurs tables de routage suivant le chemin contenu dans le paquet de réponse.

Un nœud diffuse une requête de route (RREQ :Route REQuest), dans le cas où il aurait besoin de connaître une route vers une certaine destination et qu'une telle route n'est pas disponible comme dans la figure III.16. Cela peut arriver si la destination a expiré sa durée de vie ou elle est devenue défaillante (i.e la métrique qui lui est associée est infinie).

Le champ numéro de séquence est associé au nœud destination. Cette valeur est recopiée de la table de routage.

Si le numéro de séquence n'est pas connu, la valeur nulle sera prise par défaut. Le numéro de séquence source du paquet RREQ contient la valeur du numéro de séquence du nœud source. Après la diffusion du RREQ, la source attend le paquet réponse de route (RREP :Route REPLY) (la figure III.17). Si ce dernier n'est pas reçu durant une certaine période (appelée RREP_WAIT_TIME), la source peut rediffuser une nouvelle requête RREQ. A chaque nouvelle diffusion, le champ Broadcast ID du paquet RREQ est incrémenté. Si la requête RREQ est rediffusée un certain nombre de fois (RREQ_RETRIES) sans l'obtention de réponse, un message d'erreur est délivré à l'application [42].

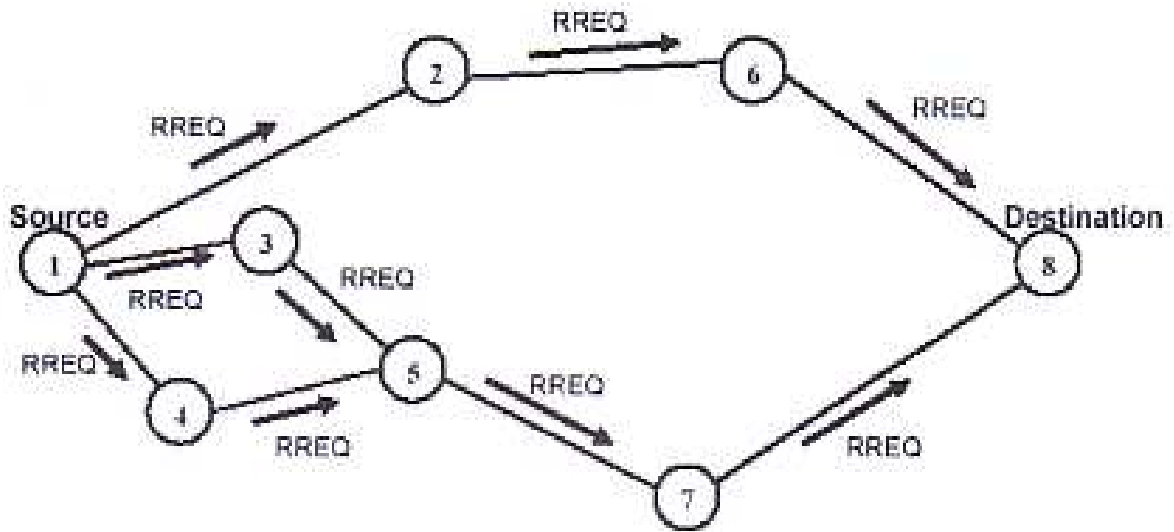


Figure III.16 : Requête RREQ

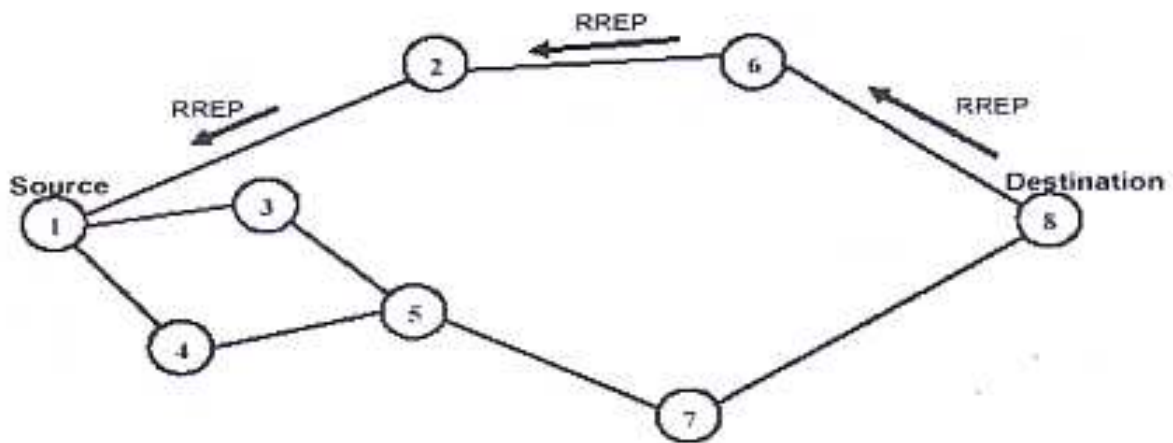


Figure III.17 : Requête RREP

III.5.1.4. Protocole DSR

Le DSR (Dynamic Source Routing) [43, 44] est un protocole semblable au protocole AODV, il utilise une technique appelée « Source Routing » dans laquelle l'émetteur (la source) indique la route complète par le quel un paquet doit passer pour atteindre sa destination. Cette route est insérée dans l'entête du paquet. Les nœuds intermédiaires entre le nœud source et le nœud destination n'ont pas besoin de maintenir à jour les informations sur la route traversée puisque la route complète est insérée dans l'entête du paquet.

Si un nœud dans DSR veut communiquer avec une destination à laquelle il ne possède pas de route, il inonde le réseau avec un paquet de requête (RREQ) similaire à celui de AODV. Chaque nœud qui reçoit la requête et qui ne possède pas de route à la destination demandée insère son adresse dans le paquet RREQ et le diffuse à ses voisins. La réponse à la requête (RREP) (la figure III.17) est retournée par la destination ou par un autre nœud qui possède une route à la destination.

Les routes dans AODV sont construites en traversant la route inverse vers la source (de la destination à la source). Dans le DSR, les routes sont construites quand la requête traverse le réseau vers la destination (de la source à la destination).

Si un nœud reçoit un paquet de données, et le lien à utiliser pour retransmettre ce paquet est coupé (coupure de route), le nœud envoie un message d'erreur de route (RERR) semblable à celui de AODV au nœud source ; le nœud source va lancer une autre requête de découverte de route pour atteindre la destination.

Le protocole DSR comme le protocole AODV utilise l'inondation pour découvrir les routes ce qui génère un trafic de contrôle énorme quand le réseau est très utilisé. La taille des paquets de données dans le DSR devient très grande quand le nombre de nœuds dans le réseau est grand, puisque les paquets doivent porter les adresses de chaque nœud dans la route traversée (la figure III.18). Le DSR a aussi un délai avant de commencer la transmission des paquets provoqués par la procédure de découverte de route [42].

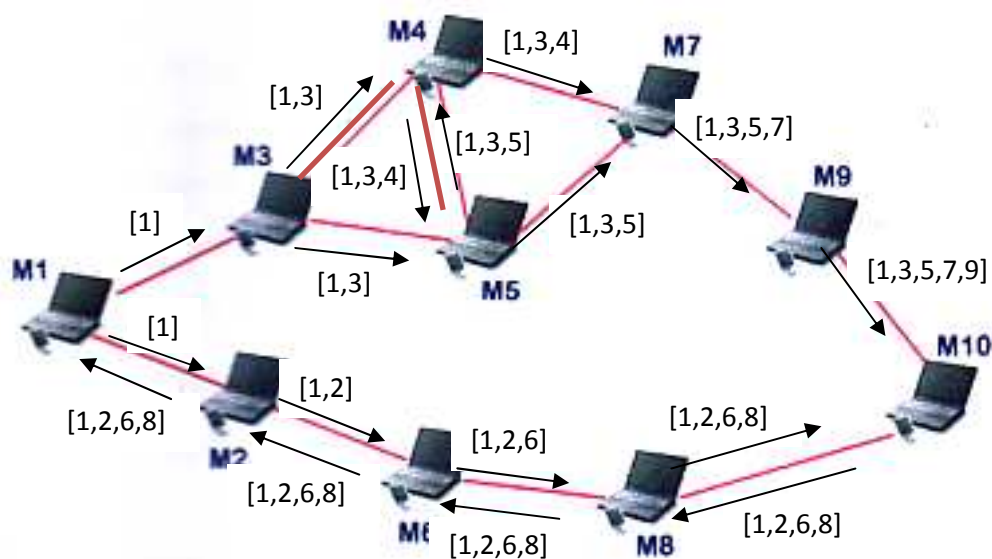


Figure III.18 : Principe de decouverte de route par DSR [45]

III.5.1.5. Protocole OLSR

Le OLSR (Optimized Link State Routing) [46, 47] est un protocole de routage proactif non uniforme dédié aux réseaux ad hoc. Il a comme objectif de fournir des routes de plus court chemin en termes de nombre de sauts. Le OLSR utilise les multipoints relais (MPR) pour retransmettre les messages diffusés au cours d'une inondation dans le but de réduire le nombre de messages envoyés, ce qui réduit par conséquent les frais ; tel que, lorsqu'un nœud MPR reçoit un message de diffusion, il traite et rediffuse le message. Par contre un nœud non MPR traite seulement le message. Par ailleurs, le OLSR utilise le concept d'interface, tel qu'un nœud peut posséder plusieurs instances d'écoute, ce qui lui donne le comportement de plusieurs nœuds virtuels. C'est un protocole qui fonctionne mieux dans les réseaux denses et larges.

III.5.2. Tableaux de comparaison

Nous décrivons dans les deux tableaux suivants (III.6, III.7) les différentes classes de protocoles de routage pour les réseaux ad hoc ainsi que les protocoles de routage présentés dans ce chapitre.

Classes	Caractéristique	Avantages	Inconvénient
Proactif	- Calculer les routes à l'avance.	- Transmission immédiate des données.	- Utilise beaucoup de paquets de contrôles. - Consommation de la bande passante.
Réactif	- Calculer les routes à la demande.	- Utilise moins de paquets de contrôles. - Economise la bande passante	- Délai initial avant de commencer la transmission des données.
Hybride	- Combinaison des deux approches précédentes.	- Bénéficie des avantages des deux approches précédentes	- Cumule les inconvénients des deux approches précédentes

Tableau III.6 : Classes des protocoles de routage pour les réseaux Ad hoc

Protocoles	Classe	Avantages	Inconvénients
DSDV	Proactif	- fournit à tout moment des routes valables vers toutes les destinations du réseau.	- L'inondation des paquets de mise à jour cause d'une charge de contrôles importante au réseau.
AODV	Réactif	- découvre les routes à la demande en inondant le réseau avec un paquet de requête.	- Délai initial avant de commencer la transmission des données.
DSR	Réactif	- découvre les routes à la demande en inondant le réseau avec un paquet de requête. - Les paquets de données peuvent être redirigés pendant leurs transmissions.	- Délai initial avant de commencer la transmission des données. - La taille des paquets de données très grande quand le nombre de nœud dans le réseau est grand.
OLSR	Proactif non uniforme	- fournit des routes de plus court chemin	- rediffuse les messages
HWMP	Proactif et Réactif	- découvre la route selon le besoin	- introduit la table de routage

Tableau III.7 : Avantages et les inconvénients des protocoles

III.6. Handover dans le réseau WiFi

III.6.1. Gestion de mobilité

La spécification 802.11 traite la mobilité de façon simple par rapport à un autre réseau (UMTS par exemple). Il n'y a pas de distinction entre gestion de localisation et gestion de handover.

III.6.2. Gestion de localisation

La gestion de localisation dans 802.11 diffère fortement de la gestion de localisation UMTS (par exemple).

Quand une station est associée à un AP de BSS ou ESS, le DS (Distribution System) connaît la position de la station dans le Basic Service Set (BSS) ou l'Extended Service Set (ESS). Pour que la station demeure dans le BSS/ ESS, la station doit être capable de transmettre et recevoir des trames de AP.

III.6.3. Gestion de handover

Le 802.11 gère le handover en termes de transition. Il existe 3 types de transitions différentes : Aucune transition, transition BSS, transition ESS.

- Aucune transition :

Tant que la station reste dans l'AP service area, elle n'effectue aucune transition.

- Transition BSS :

Si une station, initialement située dans la basic service area d'un AP1 est associée à cet AP1, sort de ce BSS pour entrer dans le BSS de l'AP2 de l'ESS.

La station utilise alors le service réassociation pour s'associer avec l'AP2 qui commence alors à envoyer des trames vers la station. La transition BSS demande une communication entre les APs via le protocole IAPP. En effet, lors de réassociation, AP2 doit signaler à AP1 que la station lui est à présent associée.

Dans ce type de transition, les basic service area des APs doivent se superposer en partie pour assurer la mobilité des stations [48].

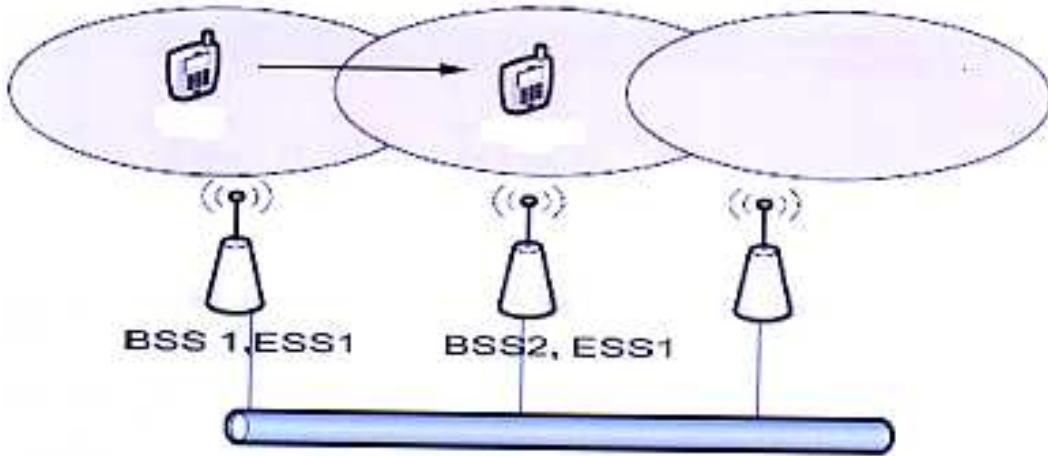


Figure III.19 : Transition BSS [48]

- Transition ESS :

Une transition ESS correspond au mouvement d'une station d'un ESS1 vers un ESS2 distinct. 802.11 supporte ce type de transition dans le sens où la station peut s'associer à un AP de l'ESS2 en quittant l'ESS1 mais aucune garantie n'est faite quant au maintien de la connexion. Dans la pratique, la connexion est supposée se couper. Ceci signifie que les connexions de couche réseau et les couches supérieures sont rompues. Afin de conserver les connexions de couche réseau, le recours à des protocoles de mobilité est requis.

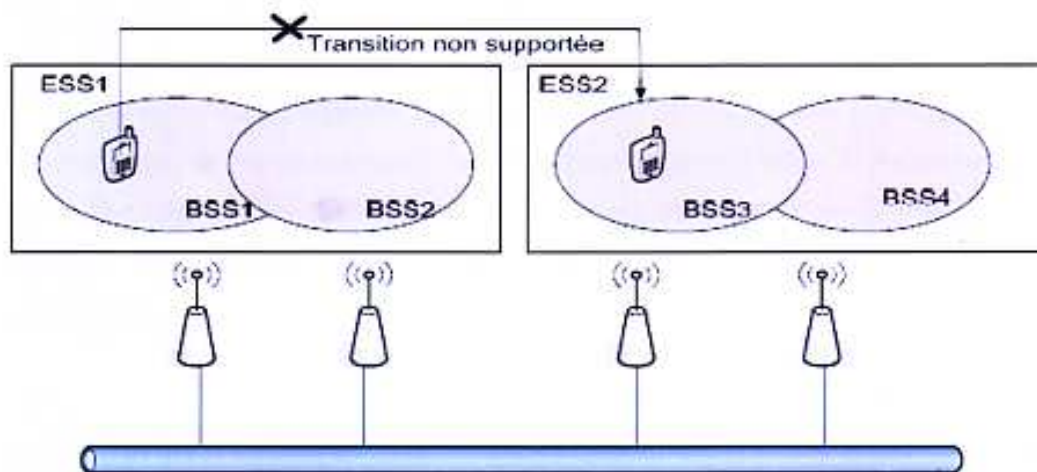


Figure III.20 : Transition ESS [48]

III.6.4. Utilisation de handover

Le handover a pour principales fonctions de permettre :

- aux utilisateurs de se déplacer pendant un appel.
- d'équilibrer la charge du trafic entre cellules.
- le maintien d'une qualité acceptable pour l'utilisateur en cas d'interférences.
- d'optimiser l'utilisation des ressources radio,

Il existe trois cas où un handover est nécessaire :

- **Rescue Handover** : la station mobile quitte la zone couverte par une BS (Base Station) vers une autre. C'est la qualité de transmission qui détermine la nécessité du handover, qualité indiquée par le taux d'erreur, l'intensité du signal reçu, le niveau d'interférences et le délai de propagation.
- **Confinement Handover** : la station mobile subirait moins d'interférences si elle changeait de cellule (les interférences sont dues en partie aux autres stations mobiles dans la cellule). La station mobile écoute en permanence d'autres BS pour mesurer la qualité d'une connexion à ces dernières. De plus, chaque station mobile est synchronisée avec plusieurs BS pour être prête en cas de handover.
- **Traffic Handover** : le nombre de stations mobiles est trop important pour la BS, et des cellules voisines peuvent accueillir de nouvelles stations mobiles. Cette décision nécessite de connaître la charge des autres BS. Le handover tient compte de la direction du déplacement.

III.7. Handover dans le réseau WiFi Mesh

Il existe plusieurs types de handover dans le réseau Mesh, parmi eux [49, 50] :

1- Intra-système HO: se produit dans un seul système. Cela peut être divisé en intra-fréquence HO et Inter-fréquence HO. L'Intra-fréquence se produit entre les cellules appartenant à un même support réseau maillé sans fil, tandis que l'inter-fréquence se produit entre des cellules fonctionnant sur différents supports de réseau maillé sans fil.

2- Inter-système HO: a lieu entre les cellules appartenant à deux différentes technologies d'accès radio (RAT) ou différents modes d'accès radio (RAM).

3- Hard HO: une catégorie de procédure en HO où toutes les anciennes liaisons radio d'un mobile sont libérés avant que les nouvelles liaisons radio sont établies.

4- Soft HO : permet au mobile de se déplacer d'un routeur d'accès à un autre routeur d'accès sans déconnexion. Ainsi le mobile a toujours une connectivité de bonne qualité avec le réseau de cœur.

III.7.1. Conditions d'exécution de Handover

- Un nœud mobile fonctionne et passe d'une zone de couverture d'un AP vers un autre AP.
- Un nœud mobile qui se trouve dans l'intersection de deux couvertures provoque l'augmentation du taux d'erreur qui s'influe sur la qualité de transfert.
- Le trafic est important, donc on a besoin d'un handover pour établir une connexion avec un nouveau AP.

III.7.2. Objectif de Handover dans le réseau WiFi Mesh

- ✓ garantir la continuité des services sans fil.
- ✓ Garder la QoS nécessaire.
- ✓ Minimiser le niveau d'interférence de l'ensemble du système en gardant le mobile attaché avec l'AP le plus fort.
- ✓ Itinérance entre différents réseaux.
- ✓ Distribution de charges sur les zones de points chauds (équilibre de charge).

III.7.3. Soft Handover dans le réseau WiFi Mesh

Cette partie détaille le fonctionnement de soft handover qui présentent de nombreux avantages par rapport au Hard Handover. Cependant il a aussi des inconvénients dûs à la complexité et à la consommation des ressources supplémentaires.

III.7.3.1. Principe de soft handover

Durant le soft handover, le mobile étant en communication avec une seule station de base, il utilise simultanément deux canaux radio. Dans le sens descendant, deux codes d'étalement sont activés pour que le mobile distingue les signaux issus des deux secteurs. Dans le sens montant,

les signaux émis par le mobile sont reçus par les deux secteurs de la station de base et dirigés vers le même récepteur. Ils sont donc combinés au niveau de la station de base.

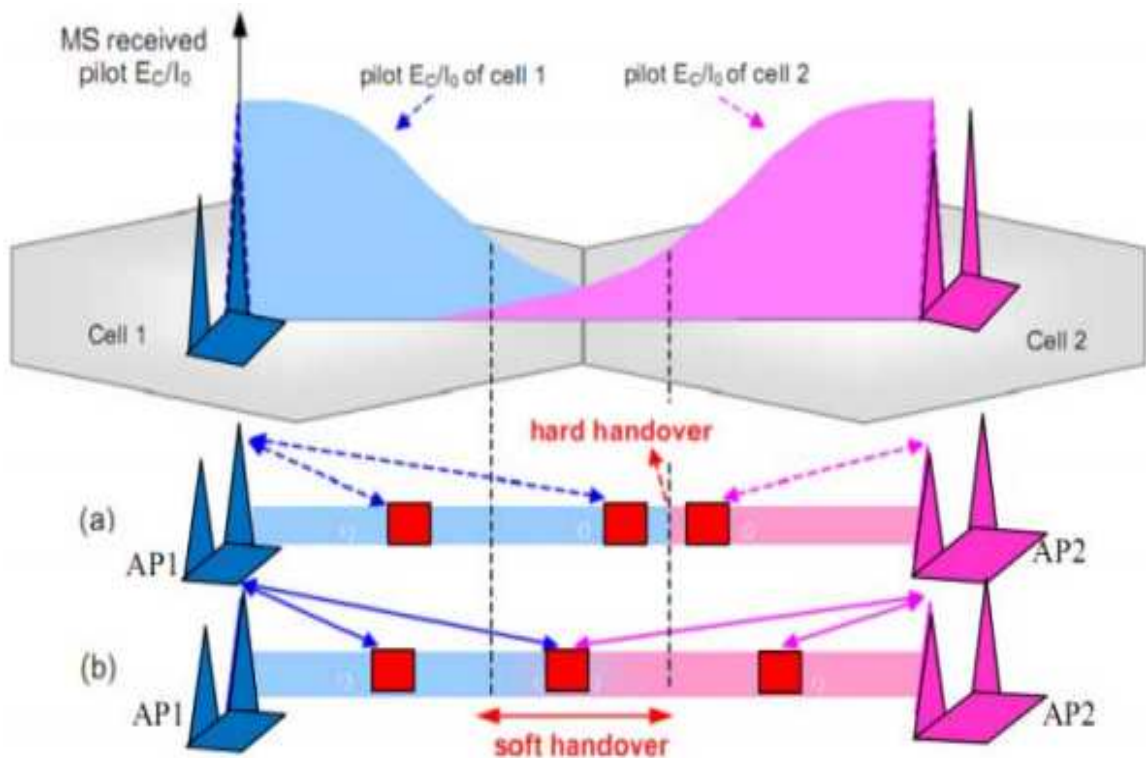


Figure III.21 : Comparaison entre soft et hard handover [51]

La figure III.21 montre le processus de base entre hard handover et soft handover, il s'agit d'un nœud mobile qui passe d'un AP1 à AP2. Pendant la mobilité, le nœud mobile mesure continuellement la puissance du signal pilotée reçue de l'AP à proximité.

III.7.3.2. Algorithme du soft handover

Comme il est illustré sur la figure III.22, le soft handover peut être divisé en trois phases: évaluation, décision et exécution [52].

- Dans la phase de mesure, l'information est nécessaire pour prendre la décision du handover.
- Dans la phase de décision, les résultats de mesure sont comparés à des seuils prédéfinis pour prendre la décision du handover ou non.
- Dans la phase d'exécution, le processus de transfert est achevé et les paramètres relatifs sont modifiés, en fonction des différents types de handover. La performance du soft handover est étroitement liée à l'algorithme.

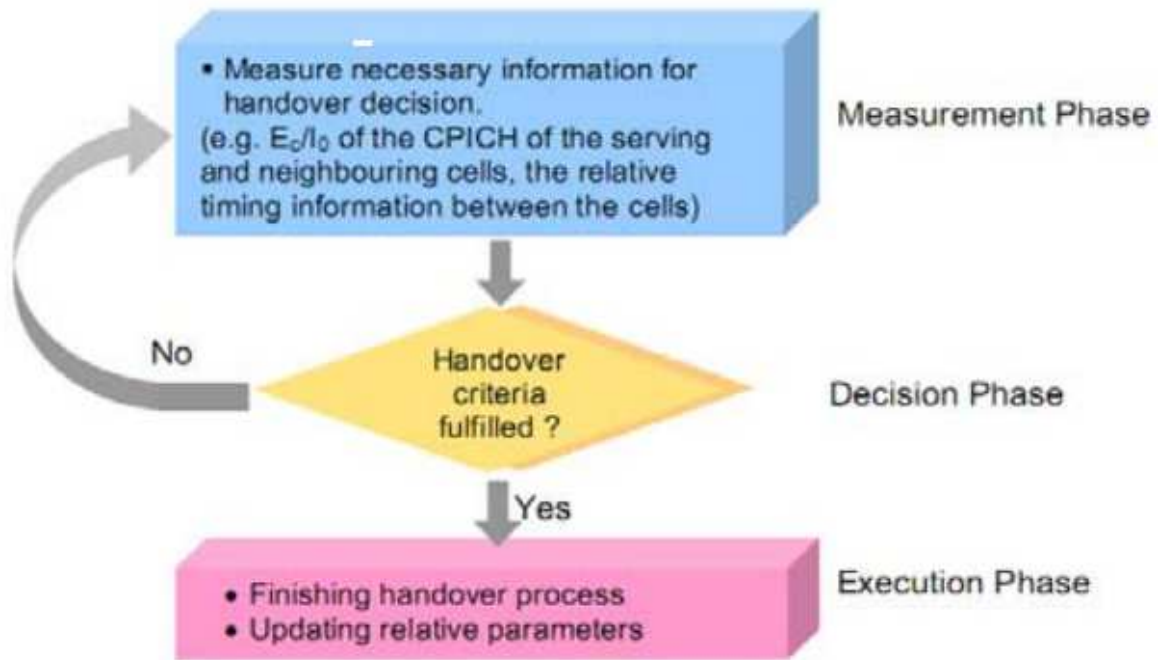


Figure III.22 : Procédure de soft handover

III.8. Etude de cas d'un handover dans un réseau WiFi Mesh

III.8.1. Objectifs

Les objectifs de cette étude consiste à :

- créer et simuler sous NS2 un scénario de handover dans un réseau WiFi Mesh.
- Evaluer les performances de ce scénario.

Nous présenterons alors le scénario à simuler, ensuite nous définirons les paramètres nécessaires du réseau.

III.8.2. Scénario de simulation

Dans cette partie nous considérons une topologie simple comprenant un nœud multi-interface supportant les deux technologies WiFi. Le nœud mobile (MN) établit une connexion avec le CN (Correspondent Node).

Supposant que le MN emploie au début l'interface WiFi, on commute le trafic à autre interface WiFi quand il devient disponible.

La figure III.23 contient les éléments essentiels de notre scénario :

- Router 0 (CN)
- Router1 (passerelle)

- Point d'accès WiFi2 (AP2 802.11)
- Point d'accès WiFi1 (AP 802.11)
- Nœud mobile (MN1)
- Nœud mobile(MN2)

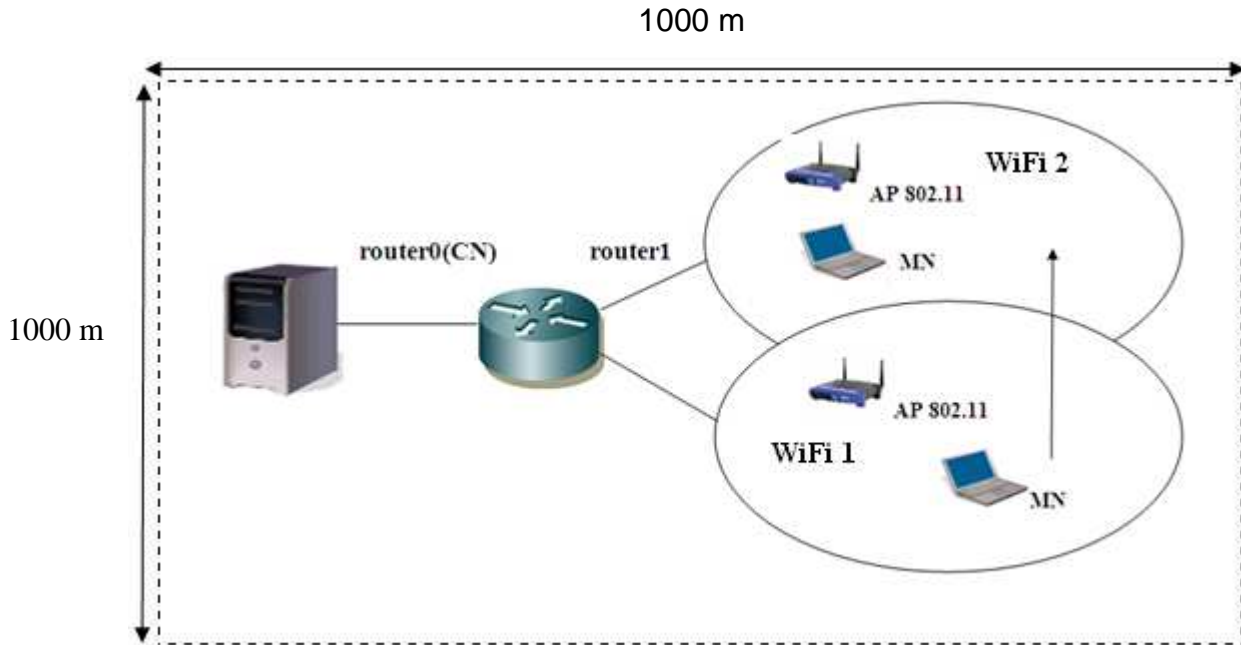


Figure III.23 : Topologie du scénario

III.9. Paramétrage et configuration du réseau

Avant de pouvoir utiliser le simulateur, la topologie du réseau et le besoin de chaque nœud doivent être décrits dans un fichier TCL qui sera ensuite lu par le simulateur. Les paramètres et les configurations définis au niveau de ce fichier sont les suivants :

III.9.1. Paramètres de simulation

Les paramètres de simulation sont décrits dans le tableau III.8.

Paramètres	Signification
Trafic_start	=5s : le début de trafic
Trafic_stop	=70 s: la fin de trafic
Simulation_stop	=70s : la fin de simulation
Seed	RNG (Random Number Generator) fixé à 1 pour tous les scénarios simulés

Tableau III.8 : Paramètres de simulation

III.9.2. Paramètres du réseau WiFi

Les paramètres du réseau WiFi sont représentés sur le tableau III.9.

8.2. Paramètres du réseau WiFi	Signification
Channel/WirelessChannel	type de canal : sans fils
Propagation/TwoRayGround	modèle de propagation radio : 802.11g
Phy/WirelessPhy	type d'interface du réseau : 802.11g
Mac/802_11	type de couche MAC 802.11

Tableau III.9 : Paramètres du réseau WiFi

a) Configuration du point d'accès

Les paramètres de configuration du point d'accès WiFi sont représentés sur le tableau III.10.

Paramètres	Signification
WiFi Coverage	potée de la station de base fixée à 20 m de rayon
Pt_	=0.025w : puissance du signal transmis de la station de base
freq_	=2412 e+6 : fréquence de 2.4GHz
RXThresh_	=6.12277e-09w: seuil de réception de puissance
CSThresh_	= [expr 0.9*[6.1227e-09]] w:seuil de détection de porteuse

Tableau III.10 : Paramètres du point d'accès WiFi

III.10. Cadres des simulations

Les simulations ont été effectuées par le moyen du simulateur NS2 déjà décrit précédemment. Nous avons travaillé avec la version 2.29 sous Windows.

Nous rappelons que le simulateur NS2 comprend deux parties :

- Une partie cœur du réseau en langage C++ qui définit les protocoles et tous les modules nécessaires pour le support des mécanismes de handover.
- Une partie pour la description de la topologie du réseau et du scénario de trafic en langage tcl.

Au cours de ce travail, nous avons intervenu au niveau des deux parties.

III.10.1. Programmation TCL

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

III.10.1.1. Pré-simulation

Cette première phase consiste à paramétrer et configurer notre réseau.

III.10.1.2. Simulation

Cette phase consiste dans l'exécution du programme principal Fichier.tcl. A partir des fichiers définis dans la phase de pré-simulation, le simulateur enregistre le déroulement du scénario dans un fichier trace nommé trace.tr.

A la fin de la simulation, nous obtenons un fichier trace complet. Il s'agit d'un fichier de données structurées qui renferme tous les évènements survenus pendant la simulation.

Le fichier trace sera par la suite filtré pour en extraire l'information à interpréter.

III.10.1.3. Post-simulation

On a simulé un réseau mesh qui utilise le protocole de routage réactif AODV.

Notre travail de simulation comprend deux parties :

- Simulation du scénario sans implémentation de mécanismes de Handover.
- Simulation du scénario avec implémentation de mécanismes de Handover.

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

III.10.2. Simulation et évaluation des performances du handover WiFi Mesh

III.10.2.1. Introduction

Cette partie contient les résultats des scénarios simulés et les analyses des métriques (taux de paquets perdus, délai de transmission et le Débit) utilisés dans notre étude avant et après l'implémentation de mécanismes de handover dans le réseau Mesh. Finalement, nous comparerons les performances obtenues.

III.10.2.2. Performance du handover

La qualité de service au niveau applicatif est affectée par la perte de paquet pendant le handover. Le délai (Delay) correspond au temps que met un paquet pour traverser le réseau d'un point

d'entrée à un point de sortie. Le débit désigne le nombre de bits transmis par seconde. Un nœud quelconque de l'Internet transmet un flot de paquets périodiquement au nœud mobile. Avant qu'un handover ne soit effectué, les paquets sont acheminés le long de l'ancienne route. Dans la simulation, on suppose que le Correspondent Node (CN) connaît à l'avance lequel des paquets du flot sera le dernier pour atteindre le nœud mobile à son ancienne localisation. On suppose que le CN marque ce paquet. En recevant le paquet marqué, le nœud mobile exécute un handover et transmet immédiatement un paquet de mise à jour à travers la nouvelle station de base. Les paquets acheminés par le CN après le paquet marqué sont envoyés à l'ancienne station de base avant l'arrivée du paquet de mise à jour, enfin ils sont perdus. Cet intervalle de temps est égal à la somme du temps pris par le paquet marqué pour atteindre le nœud mobile et le temps pris pour le paquet de mise à jour pour atteindre le CN. La perte de paquet dû au handover est donc liée au temps d'aller-retour entre l'ancienne et la nouvelle localisation et le CN.

III.10.2.3. Taux de paquets perdus sans handover

La figure III.24 montre l'évolution du taux des paquets perdus en fonction du temps de simulation.

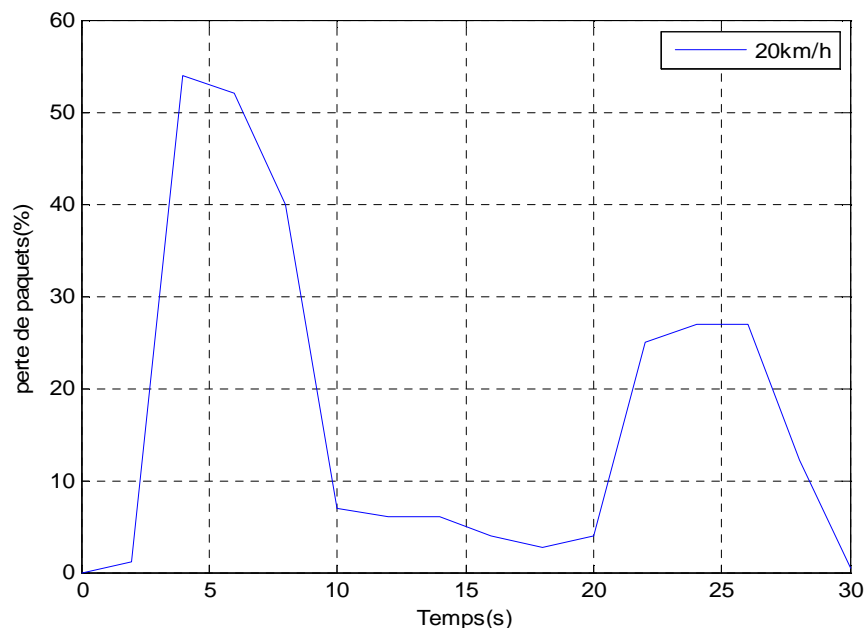


Figure III.24 : Evolution du Taux des pertes de paquets sans Handover

D'après la figure III.24 nous déduisons que :

- Pour un faible temps de simulation, le nombre de paquets perdus est très élevé.
- Lorsqu'on augmente le temps de simulation, le nombre des paquets perdus diminue ; cela signifie que lorsque le MN se déplace d'un réseau mère (WiFi) vers un autre réseau

(WiFi), il communique d'abord avec son point d'accès puis il va être connecté avec un autre point d'accès d'un autre réseau.

- si on examine les fichiers traces générés, on trouve que la destruction des paquets est due au temps d'établissement d'une nouvelle localisation où le mobile ne reçoit plus des paquets de l'ancienne station de base.

III.10.2.4. Délai sans handover

La figure III.25 montre l'évolution de Délai en fonction du temps de simulation.

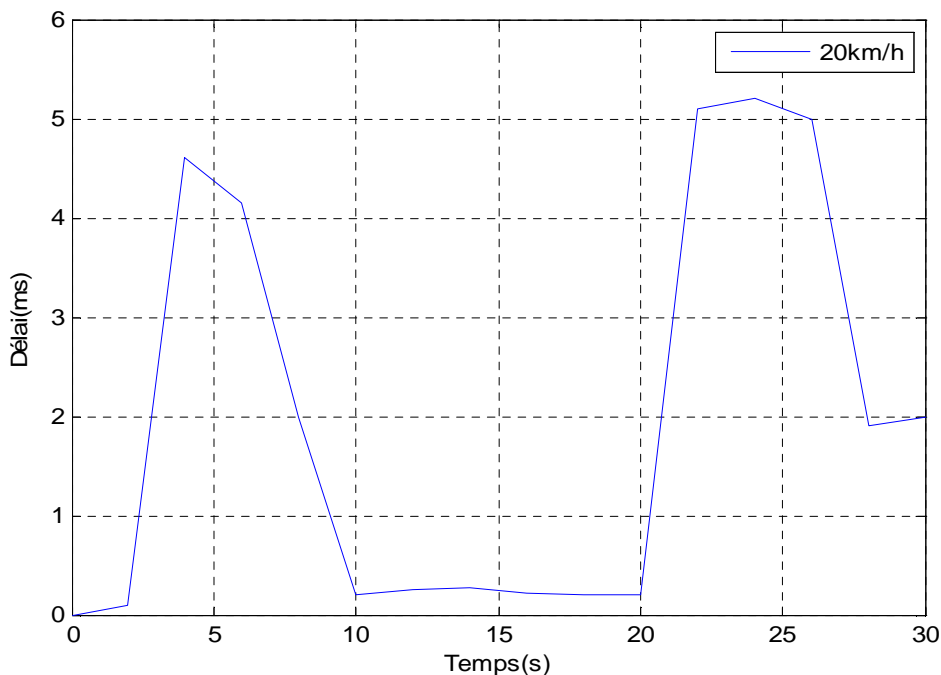


Figure III.25 : Evolution du délai de transmission sans Handover

On remarque au début de simulation que le délai varie mais à partir de $t=10s$ jusqu'au $t=20s$, le délai reste constant. Au delà, le délai augmente puis diminue.

Au moment de l'exécution du handover, les délais de transfert qui présentent la latence du handover (le temps de basculement vers une nouvelle station de base) deviennent très importants (entre 4.5 et 5.2 ms) car le mécanisme du handover n'est pas appliqué.

III.10.2.5. Débit sans handover

La figure III.26 montre l'évolution de Débit en fonction du temps de simulation.

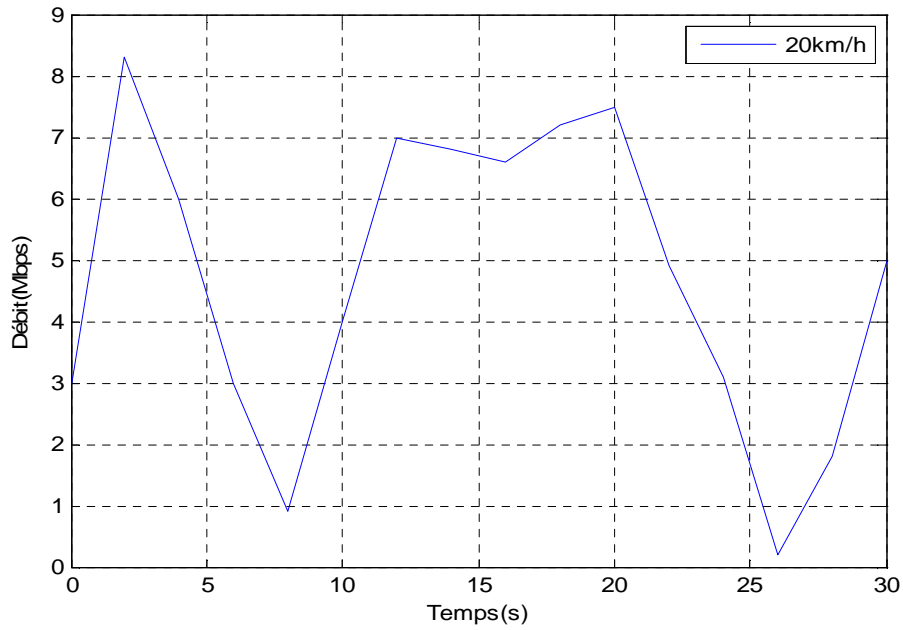


Figure III.26 : Evolution du débit sans Handover

D'après la courbe de la figure III.26, durant le passage du MN d'un réseau mère (WiFi) vers un autre réseau (WiFi), le débit chute considérablement car les outils du handover ne sont pas appliqués.

III.10.2.6. Taux de paquets perdus avec Handover

La figure III.27 montre l'évolution du taux de paquets perdus en fonction du temps de simulation pour différentes vitesses.

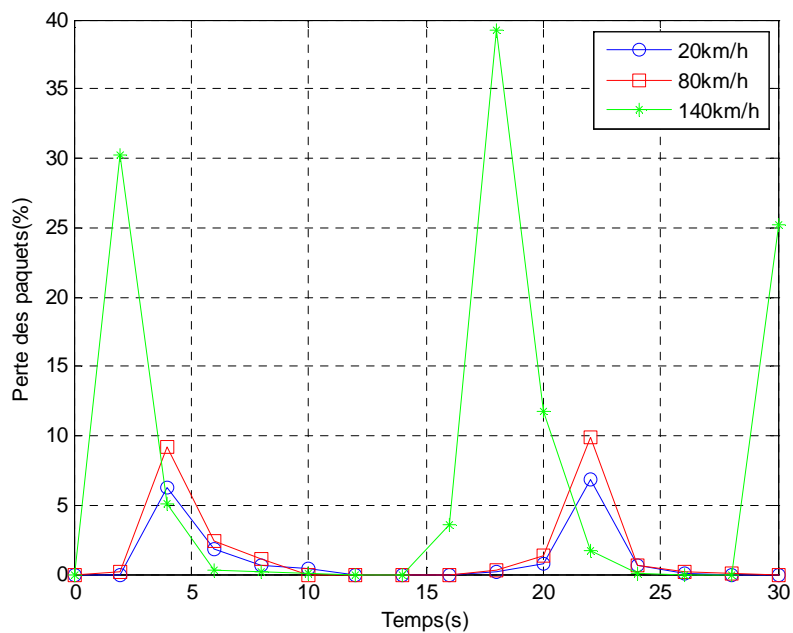


Figure III.27 : Evolution du Taux de paquets perdus avec Handover

- En comparant l'évolution des paquets perdus de la figure III.27 à celle obtenue dans le premier scénario (figure III.24), on remarque qu'après l'implémentation de mécanismes de handover, le nombre des paquets perdus est réduit.

- Pour des vitesses élevées, les performances du Handover chutent considérablement.

- Le nombre des paquets perdus augmente avec la vitesse et avec l'exécution du handover.

III.10.2.7. Délai avec handover

La figure III.28 illustre le délai en fonction de temps de simulation à différentes vitesses.

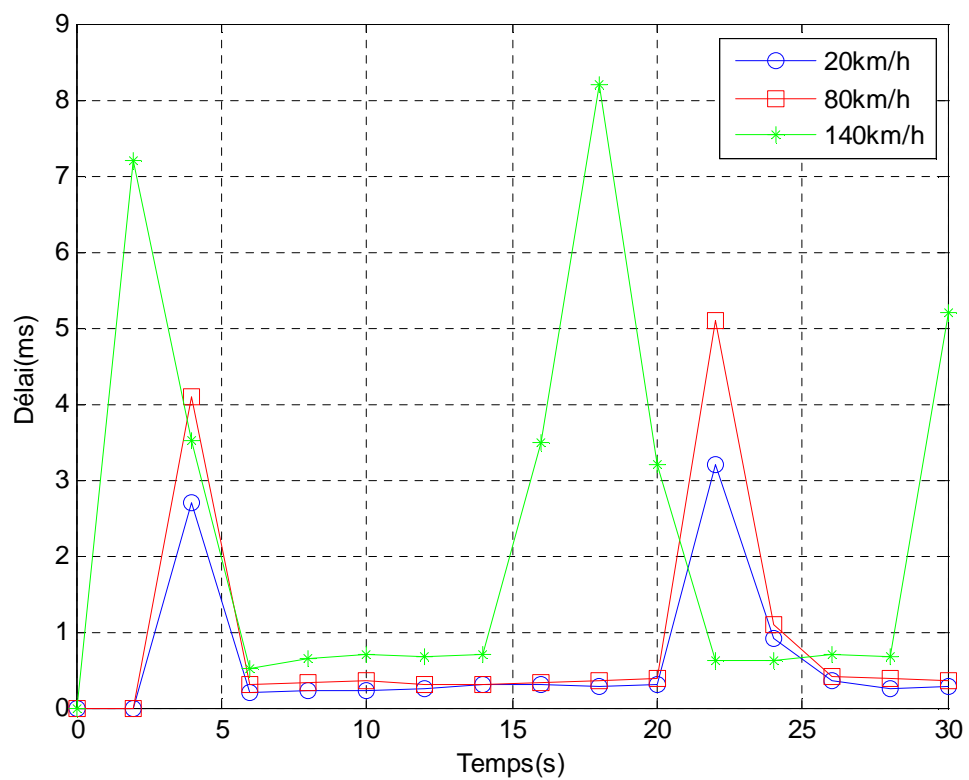


Figure III.28 : Evolution du Délai avec Handover

Ces résultats montrent que le délai au moment du Handover est plus important pour une vitesse faible. Par contre lorsqu'on augmente la vitesse, le délai devient considérable surtout au moment du Handover.

III.10.2.8. Débit avec handover

La figure III.29 illustre le débit en fonction du temps de simulation à différentes vitesses.

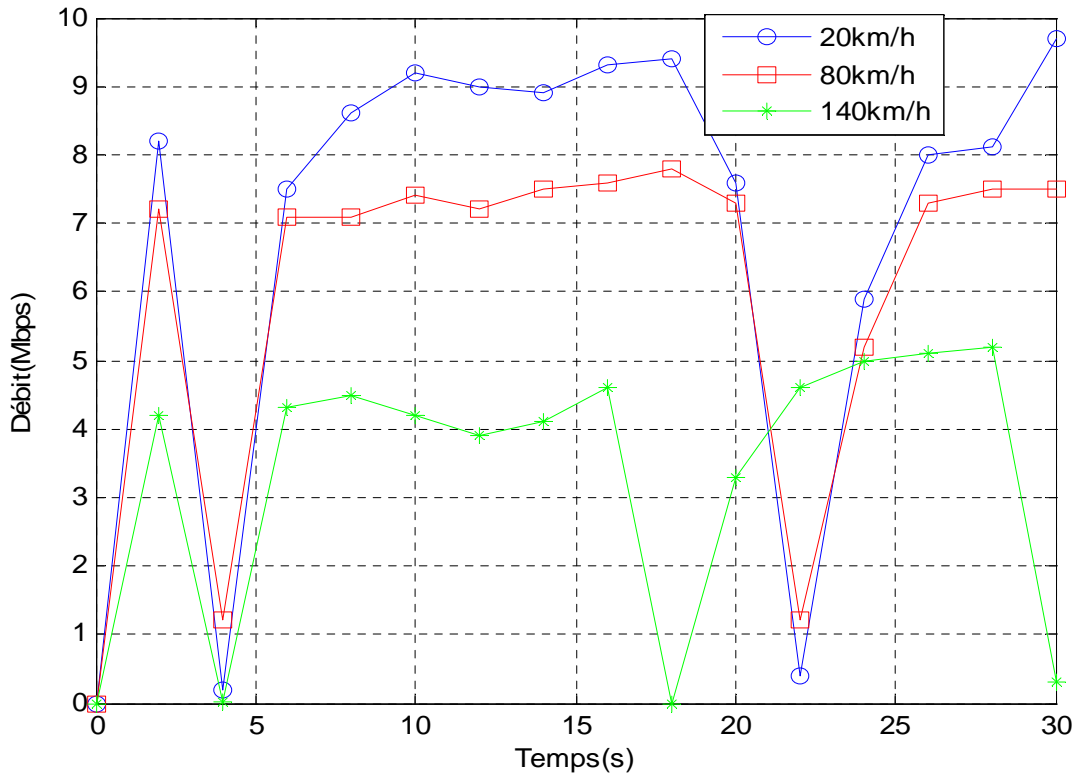


Figure III.29 : Evolution du Débit avec Handover

D'après la figure III.29, on déduit que le débit chute avec l'augmentation de la vitesse.

III.10.2.9. Etude comparative

Dans cette partie, on va faire une comparaison entre les deux cas étudiés auparavant. D'après les trois figures III.30, III.31 et III.32, nous déduisons que sans l'implémentation du mécanisme de handover dans le réseau Mesh, les performances chutent considérablement ce qui implique une rupture de service. Par contre, avec l'implémentation de mécanismes efficaces, la continuité de service est assurée et avec une bonne qualité de service.

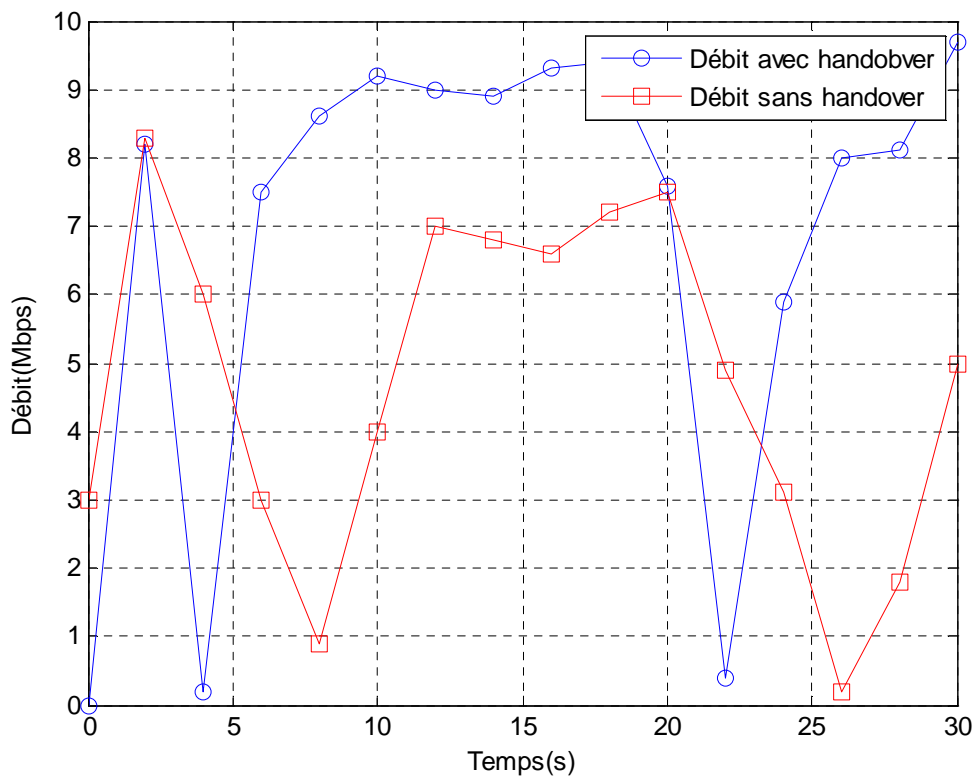


Figure III.30 : Comparaison du Débit sans et avec le handover (vitesse=20 Km/h)

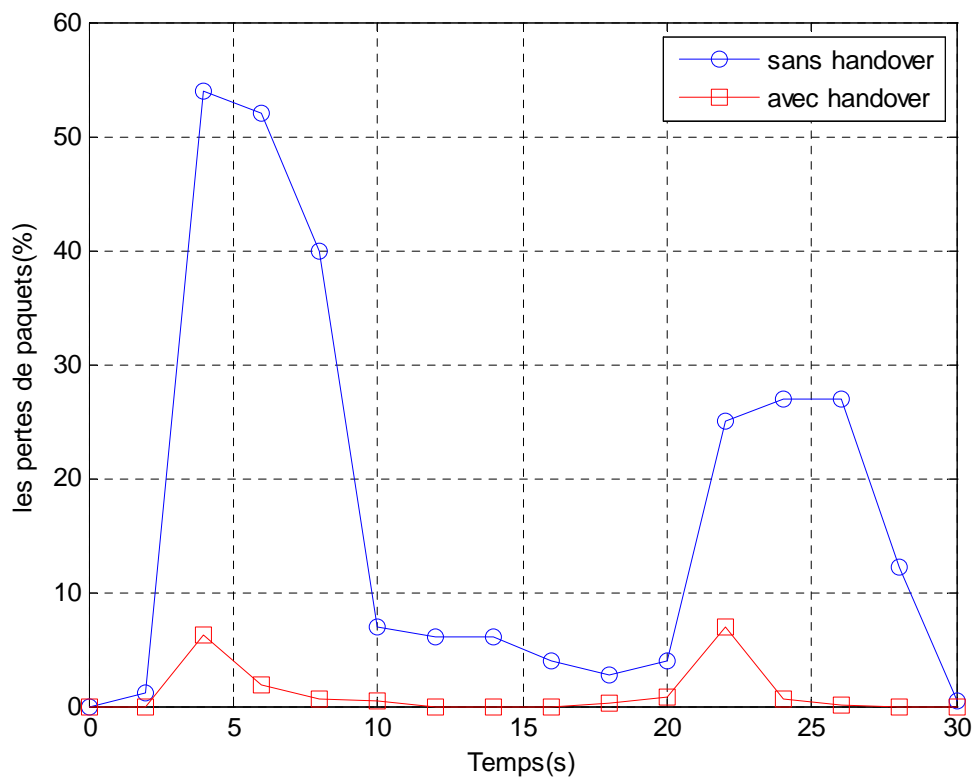


Figure III.31 : Comparaison des pertes de paquets sans et avec le handover (vitesse=20 Km/h)

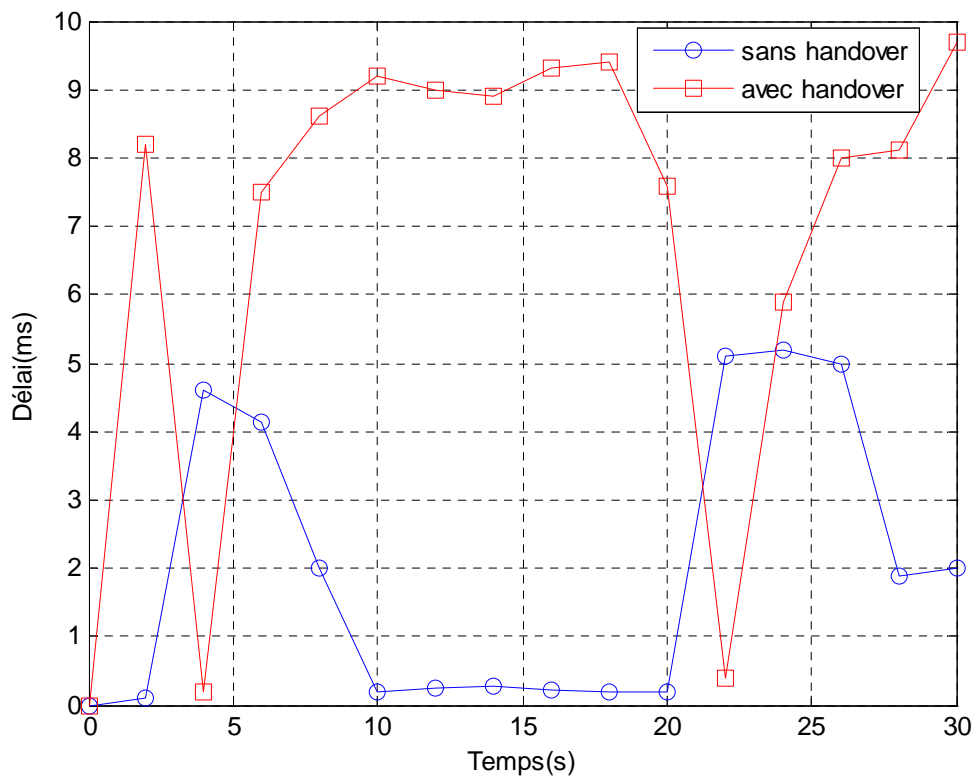


Figure III.32 : Comparaison du Délai sans et avec le handover (vitesse=20 Km/h)

III.11. Conclusion

Ce chapitre s'est concentré sur l'étude du principe de fonctionnement des réseaux maillés sans fil (WMNs), les spécificités du routage dans le cadre du réseau WLAN Mesh et les mécanismes du handover dans les réseaux Mesh avec la gestion de la mobilité. Enfin, nous avons envisagé l'analyse et l'interprétation de résultats de simulation obtenus avant et après l'implémentation de mécanismes de Handover dans la topologie du système à modéliser.

Dans le quatrième chapitre, nous proposons l'utilisation d'un simulateur (NS-2) pour évaluer et analyser les performances du handover et la gestion de la mobilité d'un réseau entier en implémentant le module MIH (module développé par IEEE 802.21) et MIPv6 (module de la gestion de mobilité) au lieu d'utiliser le package (Mobiwan) réservé spécialement au réseau NEMO.

Chapitre IV :
Gestion de mobilité
dans le réseau NEMO

IV.1. Introduction

Dans le domaine des transports intelligents communicants comme dans beaucoup d'autres, le développement très rapide des technologies de communication sans fil ouvre des perspectives nouvelles. Il est maintenant envisageable de déployer, dans les véhicules, des applications impliquant des communications avec d'autres véhicules ou avec l'infrastructure en profitant des capacités de communication environnantes. Ces dernières peuvent être déployées pour un usage spécifique mais disposer de capacité inutilisée pouvant être réaffectée de manière temporaire ou permanente à d'autres usages. Cela permet de réduire les coûts de déploiement des nouveaux services dans la mesure où les technologies utilisées sont déjà déployées. Il faut pour cela que les équipements embarqués soient opportunistes en profitant séquentiellement ou simultanément de ce qu'on pourrait appeler la "diversité technologique".

L'ISO a débuté en 2003 la standardisation de CALM [53] qui définit l'architecture protocolaire des équipements embarqués dans les véhicules. Le choix d'IPv6 et de Mobile IPv6 (tous les deux sont définis à l'IETF), a été fait pour la communication entre le véhicule et l'Internet. Cela permet de supporter le grand nombre potentiel d'équipements communicants. Le protocole NEMO permet quant à lui de supporter les changements d'attachement dans le réseau IP et de cacher cette mobilité aux éléments embarqués.

Ces protocoles sont par nature capables de supporter les attachements multiples à l'Internet en utilisant une ou plusieurs interfaces de communication. Pourtant, la gestion des différentes interfaces et des réseaux d'accès d'attachement est un problème déjà difficile sur les terminaux mobiles qui se complique lorsque le nombre d'entités impliquées augmente comme dans le cas des réseaux mobiles (véhicule) [54].

IV.2. problématique

Depuis quelques années déjà, les terminaux informatiques deviennent moins encombrants et par conséquent plus mobiles. Par ailleurs les possibilités de se connecter à l'Internet se multiplient. Il s'en suit une mobilité induite par l'utilisation de plusieurs technologies d'accès (Ethernet, WiFi, GPRS,...) sur un même terminal dans la même journée. Les études sont actuellement conduites par les constructeurs et les opérateurs pour fournir des infrastructures mobiles utilisant de nouvelles technologies radio, WiFi et WiMax notamment, ont pour objet d'offrir la continuité des services en cours de déplacement, comme le permet le GSM dans le

cas de la téléphonie mobile. Cela nécessite que les applications ne soient pas interrompues lors des épisodes de mobilité.

Enfin, les sociétés de transport désirant offrir un service de connexion à leurs clients en déplacement et les fabricants de véhicules, qui interconnectent de plus en plus d'équipements à bord, envisagent la question de la mobilité d'un réseau entier et non plus uniquement celle d'équipements isolés.

Le problème de la mobilité dans IP peut se décomposer en trois sous-problèmes distincts :

- pouvoir communiquer.
- être joignable.
- conserver les communications en cours lors des déplacements.

Le premier problème est élégamment résolu par le mécanisme d'auto configuration d'IPv6, en effet, dès que le terminal a réussi à construire une adresse IPv6 globale, il est capable de communiquer avec toute autre station sur l'Internet. Mobile IPv6 (MIPv6) modifie très peu ces mécanismes. Il ne requiert que de nouvelles directives de configuration permettant d'accélérer le processus. Le délai d'acquisition d'une adresse globale routable est en effet critique dans les situations de mobilité.

Le second problème est résolu pour les postes IP fixes par le DNS qui établit la relation entre un nom logique connu de tous et une adresse IP (Nommage). Dans le contexte de la mobilité, la fréquence d'attribution d'une nouvelle adresse est incompatible avec la mise à jour du DNS distribué. D'autres mécanismes ont été proposés.

Le troisième problème est plus difficile à résoudre. Il a pour origine la dualité des fonctions d'une adresse IPv6. Cette dernière identifie de manière unique sur l'Internet un terminal, ou pour être plus précis une interface réseau d'un terminal. Elle permet aussi de localiser un nœud dans la topologie de l'Internet. Ainsi chaque fois qu'un nœud se déplace, ce dernier doit changer d'adresse pour que la nouvelle adresse corresponde à sa nouvelle localisation (fonction de localisation). Malheureusement son identification change aussi ce qui pose des problèmes aux couches supérieures. En effet, TCP utilise le quintuplé : Adresse IPv6 source, Adresse IPv6 destination, Port source, Port destination et numéro de protocole pour identifier une connexion. Lorsqu'un de ces éléments change, il ne s'agit plus pour lui de la même session et les communications en cours sont interrompues.

Dès 1998, l'IETF a standardisé une solution de mobilité IP pour IPv4 [55]. Les contraintes liées à la modification d'un protocole très largement déployé ont limité le travail à la modification du comportement du mobile lui-même (sans implication du correspondant pour qui la mobilité devait être transparente) et à l'ajout de nouvelles entités dans le réseau. IPv6 offrait l'opportunité du déploiement d'un nouveau protocole intégrant dès l'origine la mobilité. Les correspondants peuvent ainsi être mis à contribution pour des traitements liés à la mobilité. De plus la conception plus moderne d'IPv6 permet d'alléger les mécanismes d'encapsulation et de profiter des mécanismes d'auto configuration.

Des désaccords concernant la sécurisation de Mobile IPv6 (c.f. Les risques induits par la mobilité et leur limitation) et les différentes optimisations possibles, ont rendu la standardisation de Mobile IPv6 longue et laborieuse, les RFCs n'ayant été publiés qu'en juin 2004. La gestion de la mobilité dans IPv6 est maintenant définie dans le RFC 3775 pour ses aspects fonctionnels. Le RFC 3776 traite pour sa part des aspects liés à la sécurité de la signalisation de la mobilité.

Si les travaux dans le domaine de la mobilité IP se sont dans un premier temps exclusivement consacrés au support des stations mobiles, le besoin de fournir un accès Internet permanent aux routeurs mobiles et aux stations situées dans un réseau en mouvement (réseau mobile) est aujourd'hui clairement identifié. Les problèmes spécifiques posés par ce type de mobilité sont traités à l'IETF au sein du groupe de travail NEMO (Network Mobility) récemment créé. Ces travaux ont abouti à l'édition du RFC 3963 qui spécifie des fonctionnalités semblables à celles de MIPv6 dédiées aux routeurs mobiles [56].

Nous allons détailler le protocole de mobilité du réseau NEMO.

IV.3. Définition

Un réseau mobile est défini comme un ensemble de sous-réseaux connectés à l'Internet par l'intermédiaire d'un ou plusieurs routeurs mobiles qui changent leurs points d'attache à l'Internet [57].

Les routeurs mobiles en mouvement passant d'un réseau d'accès à un autre conservent les connexions réseaux de manière transparente pour les stations ou terminaux embarqués.

IV.4. Applications

Les applications possibles des réseaux mobiles sont nombreuses et très variées. Celles-ci incluent en particulier :

IV.4.1. Réseaux de capteurs

Ils sont déployés dans les véhicules (avions, trains, bateaux, Voitures). Certains ont besoin d'interagir avec des serveurs dans l'Internet, par exemple pour assurer la transmission de données nécessaires à la navigation, pour procéder à la maintenance et au contrôle de l'état du véhicule, etc. Un autre exemple, encore futuriste, est celui des vêtements intelligents dans lesquels sont incorporés des capteurs (humidité, température, rythme cardiaque, tension artérielle, etc.) permettant entre autres le contrôle en temps réel de l'état de santé d'un Patient [54].

IV.4.2. Réseaux d'accès à Internet

Ils sont déployés dans les transports publics comme bus, trains et taxis offrant une borne d'accès Internet aux passagers. Exemple tout aussi démonstratif est celui d'une compagnie de transport ferroviaire ou aérienne offrant un accès Internet permanent et ininterrompu à ses passagers. Cet accès pourrait non seulement permettre aux passagers de se connecter sur un site distant, télécharger de la musique et de la vidéo depuis n'importe quel fournisseur de service, ou de surfer sur la toile sans interruption de service en utilisant les appareils proposés par la compagnie, mais aussi de s'y connecter en utilisant leur propre ordinateur portable ou téléphone [54].

IV.4.3. Réseaux personnels

Ils sont constitués d'un ensemble d'appareils électroniques de petite taille (cardio-fréquence-mètre, montre, téléphone cellulaire, assistant personnel, appareil photo digital, etc.) portés par les personnes. De nombreux scénarii d'utilisation des PANs peuvent être imaginés, notamment pour des applications liées à la sécurité civile (police, pompiers) (Boot, 2002), à la médecine (Ernst, 2004) et bien entendu aussi à l'armée. Par exemple, un fauteuil roulant, un sac, ou un vélo équipé d'un PAN (Personal Area Network) pourrait permettre, à un handicapé moteur, à une personne ayant des déficiences mentales, ou à un sportif, d'être suivi à distance

et en temps réel (par un médecin, la famille, la cellule antidopage, etc.) et d'appeler automatiquement les secours en cas de défaillance, et pourraient aussi bien répondre aux besoins de la police, des pompiers, des journalistes, etc. [54].

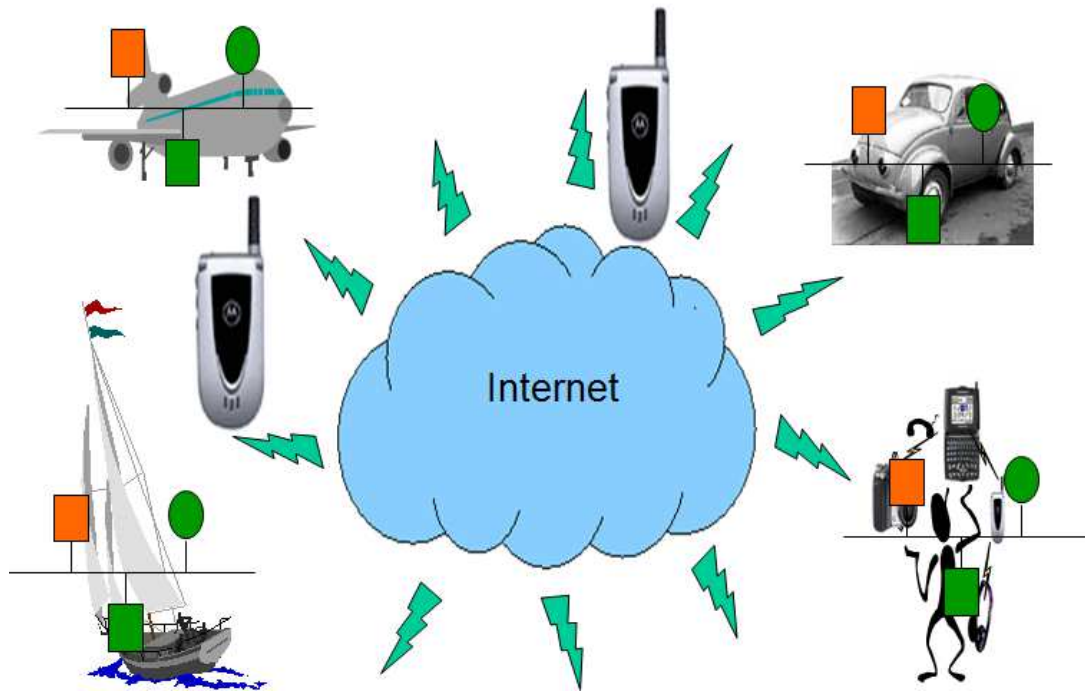


Figure IV.1 : Exemples d'applications des réseaux NEMO

IV.5. Caractéristiques

Un réseau embarqué de type IP, c'est-à-dire un réseau mobile. Ils démontrent aussi que les réseaux mobiles peuvent avoir des caractéristiques et donc des besoins très différents d'un cas à l'autre [54].

IV.5.1. Taille

Les réseaux mobiles peuvent être de taille variable, allant de l'ordre de quelques MNNs dans le cas d'un PAN jusqu'à plusieurs centaines de stations interconnectées par plusieurs routeurs et sous-réseaux dans le cas d'un train. Le nombre de correspondants, quant à lui, est indépendant du nombre de MNNs, mais peut potentiellement être très grand [54].

IV.5.2. Hétérogénéité des MNNs

Les nœuds embarqués (MNNs) peuvent être de trois types. Un LFN (Local Fixed Node) est un nœud résidant de manière permanente dans le réseau mobile et ne changeant pas son point d'ancrage (par exemple un capteur de pression des pneus ou de température). Un LMN (Local Mobile Node) est un nœud mobile appartenant au réseau mobile et capable de changer son point d'ancrage dans le réseau mobile, voire de le quitter (la clé du véhicule), tandis qu'un VMN est un nœud mobile n'appartenant pas au réseau mobile mais capable de s'y attacher (équipements appartenant aux passagers tels un ordinateur portable ou un PDA) [54].

IV.5.3. Mobilité enchaînée (Nested Mobility)

Un réseau mobile pouvant accueillir soit une station mobile, soit un routeur mobile servant lui-même de passerelle à un autre réseau mobile, la mobilité des réseaux peut être récursive. Dans le cas d'un bus servi par un MR et offrant un accès Internet aux stations mobiles (VMN) des passagers, nous avons deux niveaux de mobilité. Dans le cas d'un passager disposant d'un PAN qui à son tour permet l'ancrage d'un VMN, nous devons faire face à trois niveaux de mobilité. Le réseau et les MRs qui connectent l'ensemble à Internet sont respectivement appelés root-NEMO et root-MR. Les autres réseaux (respectivement MRs) se servant d'un root-NEMO pour se connecter à Internet sont nommés sub-NEMO et sub-MRs [54].

IV.5.4. Hétérogénéité des réseaux d'accès

Un réseau mobile peut prendre ancrage à l'Internet via des points très éloignés dans la topologie, et d'autre part le faire par le biais de technologies hétérogènes. Il est ainsi raisonnable de considérer le cas où les réseaux mobiles non seulement changent de réseau d'accès, mais certainement aussi de fournisseurs de service ou de domaine administratif (mobilité globale). Dans un tel cas, la sécurisation des données de contrôle, le contrôle d'accès aux ressources du réseau visité, et l'adaptation des applications à la bande passante disponible sont des besoins cruciaux [54].

IV.5.5. Multidomiciliation (Multihoming)

Un réseau mobile est dit multidomicilié lorsqu'il a plusieurs points d'ancrage à Internet, c'est-à-dire lorsqu'il est simultanément connecté à Internet via plusieurs MRs ou lorsqu'un MR a plusieurs interfaces externes, ou plusieurs adresses sur son interface externe. Les motivations et les bénéfices attendus sont les mêmes pour un réseau fixe ou mobile, mais la mobilité rend

cette configuration plus fréquente. En effet, une telle configuration permet de pallier aux pannes, de partager les flux, de mettre en place des préférences ou plus simplement de garantir un meilleur accès à l'Internet en faisant appel à plusieurs technologies. Cette possibilité de se connecter par l'intermédiaire d'un ou plusieurs routeurs mobiles disposant au total de plusieurs interfaces externes nécessite de considérer les aspects de changement d'interface et de changement de routeur mobile [54].

IV.5.6. Interaction entre réseau Ad Hoc et réseau mobile

Les réseaux ad hoc sont des réseaux sans infrastructure, dont l'ensemble des nœuds sont des routeurs mobiles, avec ou sans sous-réseau attaché à leur interface interne, et dont la topologie est très dynamique. Les routes de la source à la destination (en règle générale toutes deux situées à l'intérieur du réseau ad hoc) sont calculées dynamiquement. L'hétérogénéité des MNNs peut mener à confondre réseaux mobiles et réseaux ad hoc car il est possible qu'un réseau ad hoc constitue un réseau mobile et inversement qu'un ensemble de réseaux mobile constitue un réseau ad hoc [54].

IV.5.7. Fréquence distincte de changement du point d'ancrage

A chaque configuration, et selon l'usage, correspond une certaine fréquence de mobilité. Un métro, par exemple, suit une trajectoire déterminée à vitesse déterminée, probablement au sein d'un seul fournisseur d'accès. Les handovers sont donc prévisibles. Un piéton ou une automobile en milieu urbain, en revanche, change de trajectoire, de vitesse, et de réseau d'accès ; les handovers sont donc très difficilement prévisibles. Ils seront en revanche semi-prévisibles dans le cas d'une voiture sur autoroute [54].

IV.5.8. Variation dynamique de débit

Lorsque le routeur mobile change le point d'attachement, le réseau NEMO prend le débit de réseau d'accès (WiFi, GSM, WiMAX,...)

- WiMAX : 70 Mbit/s
- WiFi : compris entre 1 et 54 Mbits/s.
- GSM : 13 Kbits/s.
- GPRS : 171,2 Kbits/s.
- UMTS : 2Mbits/s.

IV.6. Architecture de NEMO

Le réseau NEMO, de l'IETF est dérivé de Mobile IP pour gérer la mobilité des réseaux IP. Un sous-réseau comporte des nœuds mobiles. Ce sous-réseau est associé à un réseau mère et peut changer de réseau en changeant de point d'accès. Un des objectifs est de ne pas imposer des modifications aux nœuds mobiles [58].

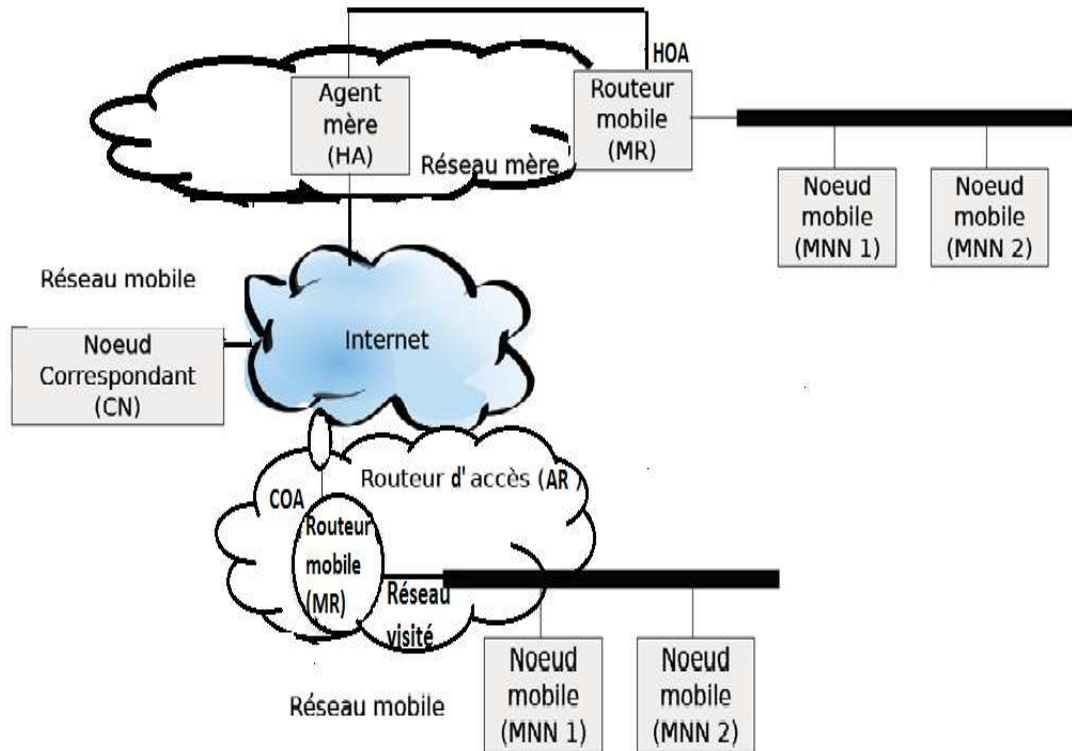


Figure IV. 2 : Architecture de NEMO

Les nouvelles entités sont introduites :

- Home Network ou réseau mère : c'est le réseau auquel est attaché initialement un MR.
- Home Agent (HA) ou agent mère : un routeur d'accès particulier situé dans le réseau mère qui participe à la gestion de la mobilité du réseau mobile.
- Foreign Network ou réseau visité : n'importe quel réseau autre que le réseau mère auquel le réseau mobile est connecté.
- Le routeur d'accès (RA): situe dans le réseau visité qui fournit au MNN de réseau mobile un service de routage des paquets qui lui sont destinés par le HA
- Correspondant Node (CN) ou nœud correspondant : est un terminal en communication avec le MNN. Un CN peut être fixe ou mobile [4].

- Mobile Network Nodes (MNN) : est un nœud mobile qui fait partie du réseau mobile.
- Le routeur mobile (MR) : est l'entité la plus importante de NEMO. Le changement de point d'accès ne provoque pas de changement d'adresse IP du MNN. La gestion de la mobilité est déléguée au MR [58]. Le MR admet au minimum deux interfaces : une interface interne (Ingress Interface, IIF) et une interface externe (Egress Interface, EIF). L'interface IIF est configurée avec une adresse IP prise du préfixe MNP, tandis que l'interface EIF est configurée avec l'adresse HoA lorsque le réseau NEMO (plus précisément le MR) est attaché au réseau mère (Home Network), c'est l'adresse mère unique par laquelle il est accessible quand il est lié au réseau mère. Lorsque le MR est attaché à un réseau visité, l'interface EIF sera configurée avec une adresse temporaire CoA [4].

IV.7. Fonctionnalité

Le groupe de travail NEMO a pour objectif de gérer la mobilité IP, c'est-à-dire le changement de réseau d'accès, au niveau d'un routeur appelé routeur mobile (MobileRouter, MR). Le réseau NEMO est attaché au réseau d'accès par le biais du routeur mobile qui contrôle son mouvement. La règle fondamentale est de ne pas imposer de modifications sur les nœuds localisés derrière le routeur (MNNs) et de maintenir les sessions, sans optimisation de routage.

Toutes les communications depuis et vers les nœuds mobiles situés au sein du réseau NEMO passent à travers le MR. Un préfixe IPv6 (Mobile Network Prefix, MNP) est délégué par le Home Agent au MR pour l'annoncer aux MNNs situés au sein du réseau NEMO [4].

IV.7.1. Opérations du protocole NEMO Support Basique (NEMO BS)

Le protocole de routage le plus utilisable dans le réseau NEMO c'est le protocole NEMO BS qui possède les mêmes opérations conduites par MIPv6.

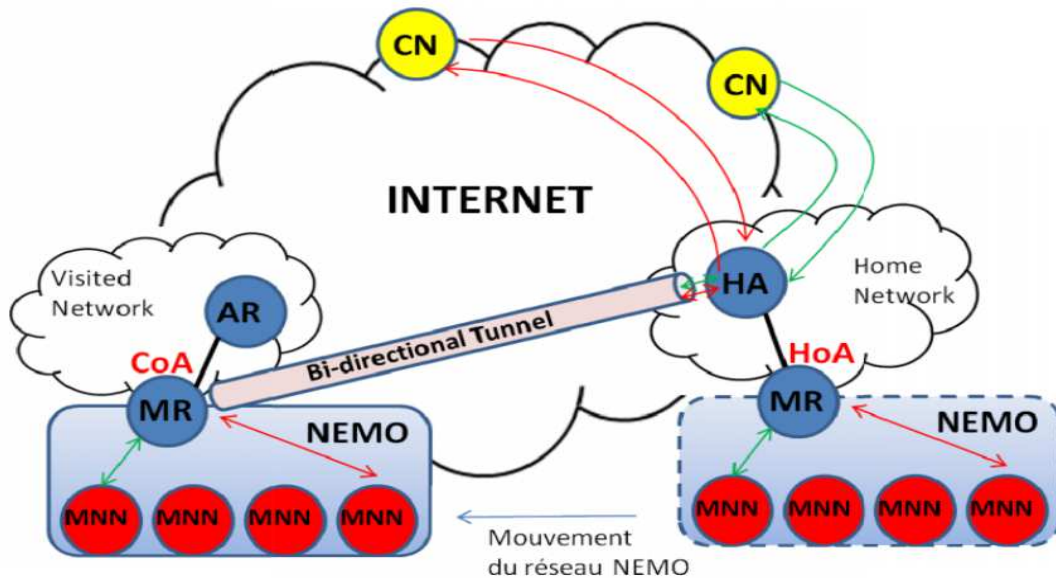


Figure IV. 3 : Fonctionnement de base du protocole NEMO BS

Quand le MR s'éloigne du réseau mère et s'attache à un nouveau routeur d'accès, il acquiert une adresse temporaire CoA. Il envoie immédiatement un binding update (BU) à son HA. Quand le HA reçoit cette mise à jour, il crée dans son binding cache une entrée indiquant la nouvelle adresse CoA de l'actuel point d'attachement du MR [4].

Le MR peut à tout moment agir soit comme un nœud mobile ou comme un routeur mobile. Si le MR vise à agir en tant que routeur mobile et à fournir la connectivité aux nœuds dans le réseau mobile NEMO, il indique ceci au HA en plaçant le Flag R à la valeur 1 dans le message BU (). Il inclut également les informations sur le préfixe du réseau mobile de sorte que le HA peut expédier les paquets destinés aux MNNs du réseau mobile NEMO [4].

Quand le HA reçoit le message binding update du MR, il répond par un message binding Ack (BAck) avec un Flag R=1. Tous les messages de signalisation entre le MR et le HA en particulier les BU/BAck doivent être protégés par IPsec [59].

Une fois le processus de mise à jour est terminé, un tunnel IP-in-IP [60] bidirectionnel est établi entre le HA et le MR. Ce tunnel peut être protégé par IPsec ou non. Le tunnel bidirectionnel est créé entre le MR et son HA en fusionnant deux tunnels bidirectionnels.

Le tunnel du MR vers le HA a comme point d'entrée du tunnel, l'adresse CoA du MR et l'adresse du HA comme point de sortie du tunnel. Le tunnel du HA vers le MR a comme point d'entrée, l'adresse du HA et comme point de sortie, l'adresse CoA du MR. Tout le trafic IPv6 depuis et vers le réseau mobile NEMO transite par ce tunnel bidirectionnel.

Quand un nœud correspondant CN envoie un paquet de données à un nœud MNN dans le réseau mobile NEMO, ce paquet est reçu par le HA qui l'achemine au MR par ce tunnel. L'envoi du paquet dans le tunnel est fait en employant l'encapsulation IPv6-dans-IPv6, arrivant au routeur mobile, il le dé-encapsule et le transmet au nœud MNN. Pour le trafic lancé par le réseau mobile, le MR emploie la direction inverse du tunnel, mais avant ; il doit s'assurer que le trafic provient bien d'un des nœuds du réseau mobile sinon, il rejette le paquet [4].

IV.7.2. Format des messages BU et BAcK du protocole NEMO BS

➤ Message BU:

Un nouveau bit R (Flag R) est inclus dans le paquet binding update pour indiquer au HA qu'il s'agit d'un routeur mobile et non un nœud mobile (R=1 correspond à un MR, R=0 correspond à un MN). Une option du préfixe MNP du réseau mobile est incluse également dans le message BU pour indiquer l'information du préfixe du réseau mobile au HA [4].

					Sequence #	
A	H	L	K	R	Reserved	LifeTime
Mobility options						

Tableau IV.1 : Changement dans le message BU pour le support NEMO

Option du préfixe :

Le NEMO ajoute une option de préfixe (Tableau IV.2) dans le champ « Mobility Options » du message BU de MIPv6.

Type	Length	Reseved	Prefix Length
Mobile Network Prefix (MNP)			

Tableau IV.2 : Option du préfixe pour le support NEMO

- Type : valeur égal à 6
- Length (8 bits) : indiquant la longueur en octets de l'option, à l'exception des champs « Type » et « Length ».
- Reserved : Ce champ est inutilisé maintenant. La valeur doit être initialisée à 0 par l'expéditeur et doit être ignoré par le récepteur.
- Prefix Length (8 bits) : indiquant la longueur du préfixe IPv6 contenu dans l'option.
- Mobile Network Prefix (MNP) : un champ de 16 octets contenant le préfixe du réseau mobile.

➤ Message BAcK

Le bit R est inclus dans le message BAcK (Tableau IV.3) pour indiquer que le HA qui a traité le message BU correspondant supporte les routeurs mobiles. Il est placé à 1 seulement si le flag R du message BU correspondant était mis à 1.

	Status	K	R	Reserved
Sequence #	LifeTime			
Mobility Options				

Tableau IV.3 : Changement dans le message BAcK pour le support NEMO

IV.8. Avantages et Inconvénients

a- Les avantages

- L'avantage le plus attrayant du protocole NEMO BS est sa simplicité, étant donné qu'il s'agit d'une extension logique des opérations de MIPv6 aux routeurs mobiles et leurs HAS [4].
 - Lors d'un mouvement, les mécanismes de NEMO entrent en jeu pour assurer de manière transparente aux utilisateurs une connectivité IPv6 ainsi qu'une continuité des flux [61].

b- Les inconvénients

Le déploiement pratique des réseaux mobiles dans le contexte NEMO dépendra de la capacité de celui-ci à surmonter quelques problèmes qui nécessitent des recherches davantage. Nous citons :

- **Optimisation du routage :**

L'optimisation de routage (Route Optimization, RO) consiste à fournir un mécanisme pour éliminer l'inefficacité du tunneling des paquets du MR vers son HA avant d'être émis au CN (routage triangulaire). La RO permettrait donc de faire un routage direct des MNNs ou du MR vers les CNs. Ce qui permet ainsi de réduire le délai de livraison des paquets, la charge du réseau Internet et évite des goulots d'étranglement au niveau des HAs. Cependant, contrairement à MIPv6, le protocole NEMO BS ne supporte pas ce mécanisme. Le groupe de travail de NEMO a publié la RFC 5522 [62] pour documenter ces problèmes liés au RO.

- **Performance du handover :**

Le protocole NEMO BS hérite les inconvénients de MIPv6 notamment en termes de délai de handover et la perte de paquets induite. Cela peut être pénalisant pour les applications temps réel et exigeantes en QoS. Des optimisations sont donc nécessaires pour réduire ou même anéantir ces effets. Des solutions reposant sur les améliorations existantes de MIPv6 (tel que FMIPv6) ont été déjà fait leur apparition [63, 64], mais les performances obtenues restent encore insuffisantes [65].

- **Multi-domiciliation (Multihoming) :**

Le multihoming est la capacité d'avoir plusieurs chemins à Internet, ceci peut est possible si le MR dispose de multiples interfaces ou si le réseau NEMO est desservi par plusieurs MRs, ces deux cas de figures conduiront à l'acquisition de plusieurs adresses CoAs, et donc plusieurs tunnels.

Le protocole NEMO BS est une extension de MIPv6 pour la prise en charge de la mobilité d'un réseau NEMO desservi par un seul MR, il ne supporte pas donc le multihoming. Le groupe de travail NEMO a publié la RCF 4980 [66] dans laquelle les issues du multihoming sont analysées. Le développement de support de mobilité dans le contexte du multihoming est une issue ouverte.

- **Sécurité :**

Le NEMO hérite certains inconvénients de MIPv6 tels que les menaces de sécurité. Dans [67] diverses attaques (redirection attacks, trafic hijacking, denial of service) contre NEMO ont été décrites et ont mené à l'adoption d'IPSec [68] pour protéger le trafic d'arrivée (inbound) et le trafic de départ (outbound) de NEMO.

Dans l'architecture NEMO, la mobilité est masquée aux MNNs (MNNs unaware of mobility), il est donc important que le NEMO fournit la sécurité quand le réseau mobile est attaché à un réseau étranger. Le NEMO doit permettre aux utilisateurs de différents domaines de se connecter à Internet via son MR. Dans de tels cadres, les modèles de confiance statiques ne sont pas applicables. Cependant, il n'est pas mentionné dans [69] comment les issues d'autorisation et d'authentification [70] sont manipulées dans l'environnement NEMO particulièrement pour le handover. Ainsi, de nombreuses approches d'authentification pour le handover du réseau NEMO ont été proposées. Malheureusement, avec ces propositions, les menaces de sécurité ne sont pas toutes maîtrisées et le problème de sécurité dans NEMO reste toujours ouvert [4].

- **Contrôle d'accès :**

Les mécanismes de contrôle d'accès ont été développés pour autoriser et gérer l'accès d'une station dans un réseau quelconque, mais pas pour permettre l'accès à un MR et au réseau qui lui est attaché. Il est nécessaire de mettre en place une procédure permettant aux VMNs de bénéficier de l'accès qu'a obtenu le MR. Ces aspects ont été étudiés dans (Ng et al. 2002; Zrelli et al, 2005; Bournelle et al, 2006) mais les problèmes soulevés n'ont pas été jugés au cas des réseaux mobiles spécifiques et ne sont donc pas traités dans le groupe de travail NEMO. Ils doivent pourtant être résolus pour permettre un déploiement commercial du RFC 3963 [54].

IV.9. Analyse du délai du Handover NEMO

Le protocole NEMO BS [69] proposé par IETF fournit un support de mobilité pour un réseau mobile entier en se déplaçant à travers différents réseaux d'accès hétérogènes. L'accès continu et non interrompu à Internet aux nœuds (MNN) à l'intérieur du réseau mobile NEMO est fourni par le routeur mobile (MR) qui contrôle le mouvement du réseau NEMO.

Le MR est identifié par son adresse (HoA) par laquelle, il est accessible dans son réseau mère, et il est localisé par son adresse (CoA) acquise au réseau visité. L'agent mère (Home Agent :

HA) situé au réseau mère aide le MR dans la gestion de mobilité du réseau NEMO. Pour changer son point d'attachement à un nouveau réseau d'accès (i-e : attachement à un nouveau routeur d'accès AR), Le MR doit exécuter en général un handover vertical comprenant les deux Handovers L2 et L3.

IV.9.1. Délai du Handover L2

Puisque les Handover L2 et L3 sont indépendants dans le protocole de NEMO BS (le Handover L3 se produit après le Handover L2), le délai global du Handover T_{HO} peut être exprimé par l'équation suivante :

$$T_{HO} = T_{L2} + T_{L3}$$

Où :

- T_{L2} est le délai du Handover de la couche L2 (le temps requis pour établir une nouvelle association par l'interface physique)
- T_{L3} est le délai du Handover de la couche L3 ou niveau IP (c'est le délai pour enregistrer une nouvelle adresse CoA auprès du Home Agent (HA) et recevoir le premier paquet de données à cette nouvelle localisation).

La procédure du Handover L2 inclue en général les trois phases suivantes qui dépendent de la technologie d'accès et affichent une grande variation :

1. Le scanning introduisant un délai T_{scan}
2. L'authentification T_{auth}
3. L'association T_{ass}

Les valeurs publiées du délai T_{L2} sont entre 50 ms et 400 ms [71, 72, 73, 74].

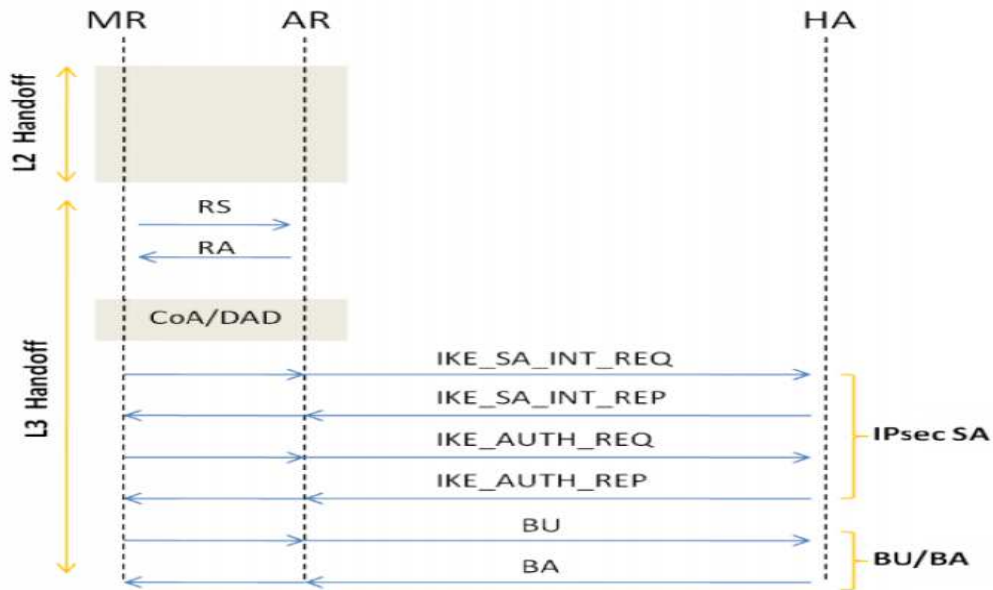


Figure IV.4 : Procédures du Handover NEMO BS

Il s'en suit :

$$T_{L2} = T_{scan} + T_{auth} + T_{ass}$$

Le Handover L2 est déclenché par l'évènement de lien Link_Down correspondant à la condition suivante:

$$P_{rx} < P_{th}$$

Où :

- P_{rx} : est la puissance du signal reçu correspondant à l'indication RSSI (Received Signal Strength Indication).
- P_{th} : est la puissance de seuil prédéfinie en-dessous de laquelle le statut de lien est considéré rompu (Link_Down).

IV.9.2. Délai du Handover L3

La procédure du Handover L3 est composée de quatre phases distinctes :

1. Détection de Mouvement (Movement Detection , MD) : Si le MR change l'AR et que ce nouvel AR appartient à un réseau différent, le changement d'AR entraîne un changement de réseau. Dans ce cas, le MR doit effectuer la procédure du Handover de

niveau 3 pour pouvoir maintenir sa connexion avec ses correspondants. Pour cela, le MR doit d'abord détecter le changement de réseau avant d'auto-configurer sa nouvelle adresse IP. Le MR détecte son mouvement grâce à l'information de préfixe contenue dans les messages reçus « Router Advertisement (RA) » [75] annoncés périodiquement par le nouvel AR (new AR, NAR). Le MR peut agir d'une façon proactive en envoyant des messages « Router Solicitation (RS) » [75] pour obtenir les messages RA des routeurs voisins. Le MR détecte son mouvement si le routeur oAR est inaccessible, (i-e : aucun message RA provenant du oAR n'est reçu).

2. Assignation d'adresse CoA et test DAD : Après la réception de l'information de préfixe du NAR (Next Access Router), le MR procède à la configuration automatique stateless [75] (dont le délai est négligeable); le MR s'auto-configure avec une nouvelle adresse CoA (construite à partir du nouveau préfixe) et doit vérifier son unicité avec le processus DAD (Duplicate Address Detection) [75]. Le processus DAD consiste à diffuser sur le lien une requête de recherche de nœuds possédant la même adresse IP choisie. Si au bout d'une seconde (valeur par défaut) aucune réponse n'est reçue alors l'adresse IP choisie est considérée unique ; si non, elle est considérée dupliquée et une reconfiguration est obligatoire.
3. Association de sécurité IPsec (IPsec Security Association, SA) : Une fois que le MR a obtenu une adresse CoA unique, il doit s'enregistrer au près de son HA. Toutefois, comme indiqué par, tous les messages de signalisation entre le MR et le HA doivent être authentifiés par IPsec [68, 69] ; le MR doit donc établir préalablement un tunnel IPsec avec son HA ; pour ce faire, le MR crée une association de sécurité (SA) avec son HA en utilisant le protocole IKE (Internet Key Exchange) [76].
4. Enregistrement BU/BACK : Dès que le MR s'est auto-configuré avec une nouvelle et unique adresse CoA et qu'une association de sécurité est créée entre le MR et son HA, le MR envoie immédiatement un binding update (BU) à son HA. A la réception de ce message, le HA enregistre la CoA dans son binding cache et renvoie un binding ACK (BACK) au MR.

Ainsi, le délai du Handover L3 peut être calculé analytiquement par :

$$T_{L3} = T_{MD} + T_{DAD} + T_{Reg}$$

Où:

- T_{MD} : est le délai de la procédure de détection de mouvement.

- T_{DAD} : est le délai du test DAD.

- T_{Reg} : est le délai de l'enregistrement d'une adresse CoA, y compris le délai de l'association desécurité IPsec.

Sous la forme explicite, nous avons :

$$T_{MD} = T_{RS} + T_{RA}$$

$$T_{Reg} = T_{SA} + T_{BU} + T_{BA}$$

Où:

- T_{RS} : est le délai du 'Router Solicitation'

- T_{RA} : est le délai du 'Router Advertisement'

- T_{SA} : est le délai de la création d'une association de sécurité IPsec (SA)

- T_{BU} : est le délai du Binding Update

- T_{BA} : est le délai du Binding Ack

En référant à la figure IV.4, nous pouvons exprimer T_{L3} en fonction de RTT_{MR-AR} et RTT_{AR-HA} , (RTT est le délai aller-retour : Round Trip Time) :

$$T_{L3} = 4 RTT_{MR-AR} + T_{DAD} + 3RTT_{AR-HA}$$

IV.10. Paramétrage et configuration du réseau

Dans cette partie, nous implémentons les mécanismes de handover qui se comporte comme l'opération effectuée par un terminal qui change destination de base de service vers une station de base cible. 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.

Nous avons choisi le logiciel NS (Network simulator) qui est un outil de simulation de réseaux car il se comporte comme un bon outil dans le domaine de la recherche, et du développement de nouveaux protocoles pour différents types de réseaux. Ce simulateur a la caractéristique d'être en accord avec le réel pour la plupart des points suivants : délai, bande passante, durée de vie ; et pour faire de la qualité de service.

Avant de pouvoir utiliser le simulateur, la topologie du réseau et le besoin de chaque nœud doivent être décrits dans un fichier TCL qui sera ensuite lu par le simulateur.

Les paramètres et les configurations définis au niveau de ce fichier sont les suivants :

IV.10.1. Paramètres de simulation

Paramètres	Signification
Temps de départ	0 départ de simulation
Trafic _ start	5 le début de trafic
Temps de mouvement	9 le début de mouvement
Trafic _ stop	70 la fin de trafic
simulation _ stop	70 la fin de simulation

Tableau IV.4 : Paramètres de simulation

IV.10.2. Paramètres du réseau Wifi

Paramètres	Signification
Channel/wirelessChannel	Type de canal :sans fils
Propagation/TwoRayGround	Modèle de propagation radio
Phy/wirelessPhy	Type d'interface du réseau
Mac/802_11	Type de couche MAC
Queue/DropTail/PriQueue	Type d'interface de la file d'attente
LL	Link layer type
Antanna/OmniAntenna	Modèle d'antenne
50	Taille maximale des files d'attente
Adhocrouting	Le protocole de routage utilisé . dans ce cas DSDV
50	La fréquence pour max paquets
5000	Dimension de x dans la topographie
5000	Dimension de y dans la topographie

Tableau IV.5 : Paramètres du réseau WiFi

IV.10.3. Configuration du point d'accès

Paramètres	Signification
WiFi Coverage	portée de la station de base fixée à 20 m de rayon
Pt_	=0.025w : puissance du signal transmis de la station de base
freq_	=2412e+6 : fréquence de 2.4GHz
RXThresh_	=1.12277e-10w: seuil de réception de puissance
CSThresh_	= [expr 0.9*[Phy/WirelessPhy set RXThresh_]] w:seuil de détection de porteuse

Tableau IV.6 : Paramètres du point d'accès WiFi

IV.10.4. Paramètres du réseau WiMAX

Paramètres	Signification
Channel/WirelessChannel	type de canal : sans fils
Propagation/TwoRayGround	modèle de propagation radio : 802.16
Phy/WirelessPhy /OFDM	type d'interface du réseau : 802.16
Mac/802_16	type de couche MAC 802.16
Queue/DropTail/PriQueue	type d'interface de la file d'attente
LL	Link layer type 802.16
Antenna/OmniAntenna	modèle d'antenne
50	taille maximale des files d'attente
Adhocrouting	le protocole de routage utilisé. Dans ce cas DSDV

Tableau IV.7 : Paramètres du réseau WiMAX

IV.10.5. Configuration de la station de base_16 (WiMAX1)

Paramètres	Signification
Pt_	=0.025w : puissance du signal transmis de la station de base
RXThresh_	=1.26562e-13w : seuil de réception de puissance
CSThresh_	= [expr 0.8*[Phy/WirelessPhy set RXThresh_]] w : seuil de détection de porteuse

Tableau IV.8 : Paramètres de la station de base WiMAX (bs_16)

IV.10.6. Configuration de la station de base_161 (WiMAX2)

Paramètres	Signification
Pt_	=0.25w : puissance du signal transmis de la station de base
RXThresh_	=1.26562e-13w : seuil de réception de puissance
CSThresh_	= [expr 0.9*[Phy/WirelessPhy set RXThresh_]] w : seuil de détection de porteuse

Tableau IV.9 : Paramètres de la station de base WiMAX.(bs_161)

IV.11. Simulations et Résultats

Les simulations sont conduites sous NS2 pour évaluer les performances et valider le support de mobilité proposé.

La topologie du réseau simulé sous NS2 est présentée à la figure IV.5, où un adressage hiérarchique est adopté :

- Le nœud 0 : Un nœud (0.0.0) présentant CN d'interface filaire.
- Le nœud 1 : Un routeur (1.0.0) présentant trois interfaces filaires.
- Le nœud 2 : Le nœud mobile (2.1.0) présentant Une Multi-interface.
- Le nœud 3 : Une station de base IEEE 802.11 (routeur d'accès AR1 (2.0.0)).
- Le nœud 4 : Le routeur mobile (2.0.1) qui change leur point d'attachement avec les différentes technologies.
- Le nœud 5 : Le nœud MN1 (2.0.2) présentant un nœud mobile attaché au routeur mobile.
- Le nœud 6 : Le nœud MN2 (2.0.3) présentant un nœud mobile attaché au routeur mobile.
- Le nœud 7 : Une station de base IEEE 802.161 (routeur d'accès AR3 (4.0.0)).
- Le nœud 8 : Le nœud mobile (4.0.1) une interface externe de station de base (802.161)
- Le nœud 9 : Une station de base IEEE 802.16 (routeur d'accès AR2 (3.0.0)).
- Le router 10: Le nœud mobile (3.0.1) une interface externe de station de base (802.16).

La figure IV.5 représente la topologie de réseau NEMO à simuler sous NS2.

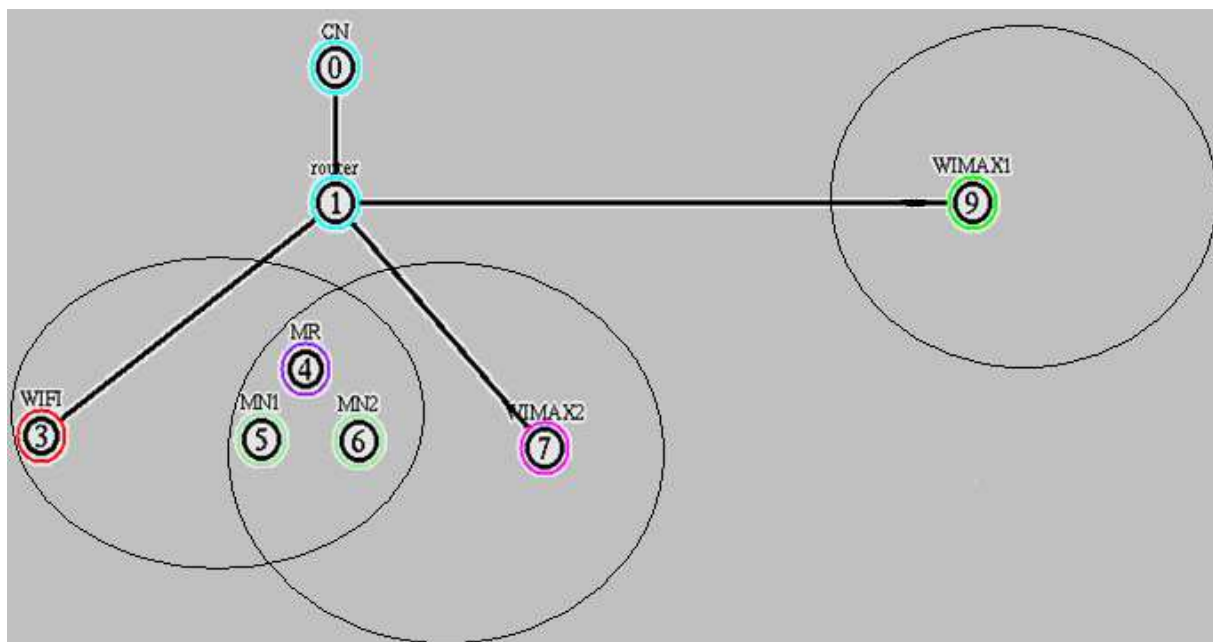


Figure IV.5 : Topologie de réseau NEMO

Le scénario simulé consiste à véhiculer le trafic relatif à l'application entre le nœud CN (*Correspondant Node*) et le Routeur mobile (MR) avec lequel ils s'attachent les nœuds MN1 et MN2. Le MR se déplace linéairement du réseau WiMAX1 vers la région commune entre les réseaux WiMAX2 et WiFi avec une vitesse donnée (en Km/h) où il va choisir le meilleur réseau des deux à base de leurs qualités de service (voir figure IV.5).

Nous allons présenter l'évolution du débit, le taux des paquets perdus et le délai de transmission des paquets en fonction du temps de la simulation pour différentes vitesses du routeur mobile. Ainsi, nous pouvons interpréter les résultats obtenus.

IV.11.1. Débit

La figure (IV.6) illustre l'évolution du débit en fonction du temps de la simulation pour des différentes vitesses.

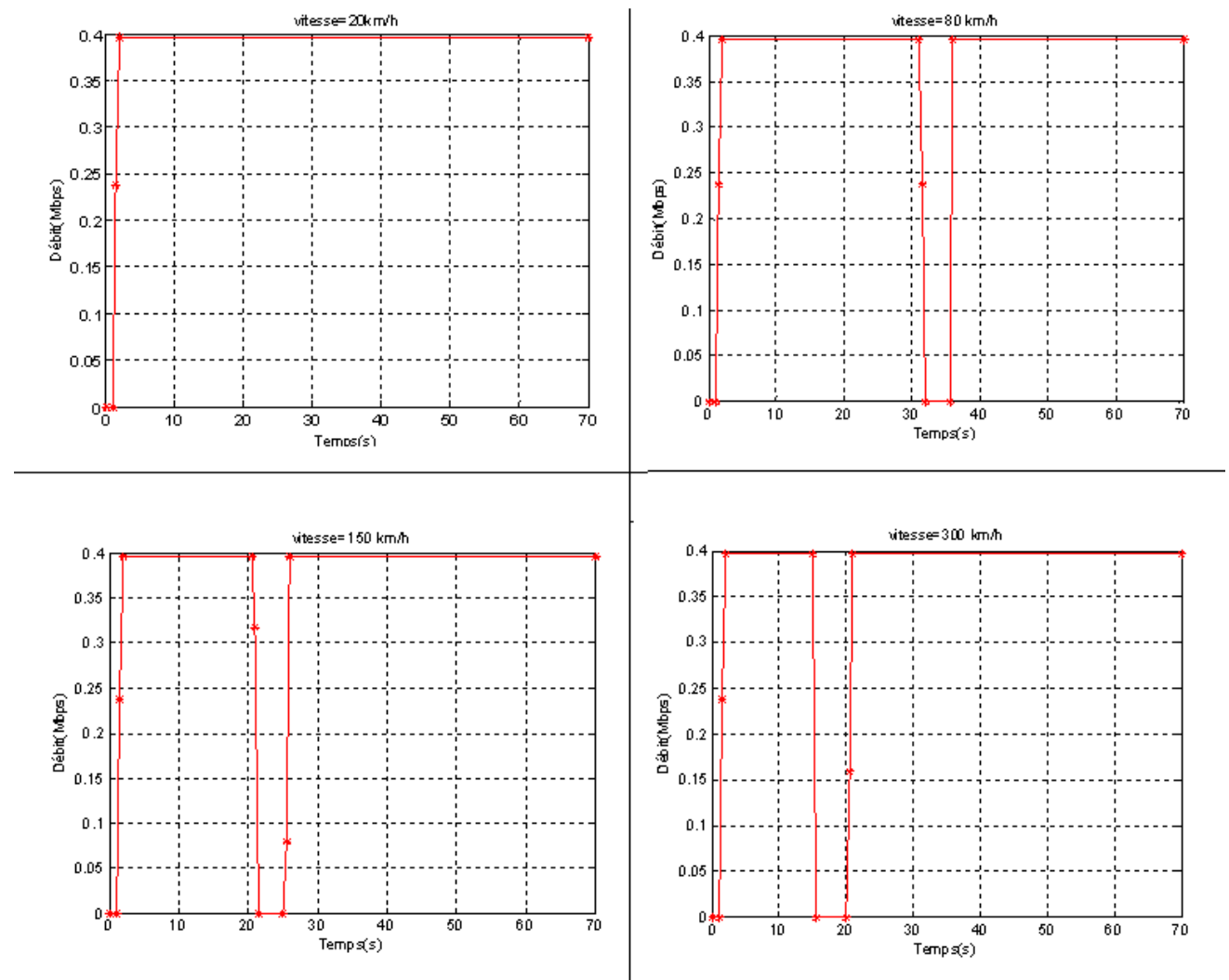


Figure IV.6 : Evolution du débit en fonction du temps

D'après cette figure, on déduit qu'avec une vitesse faible, le débit reste important (élevé).

Au moment du handover, on remarque que le débit chute considérablement car à ce moment, le mobile ne peut ni recevoir, ni émettre un trafic IP.

La figure IV.7 illustre le débit moyen en fonction de la vitesse du routeur mobile.

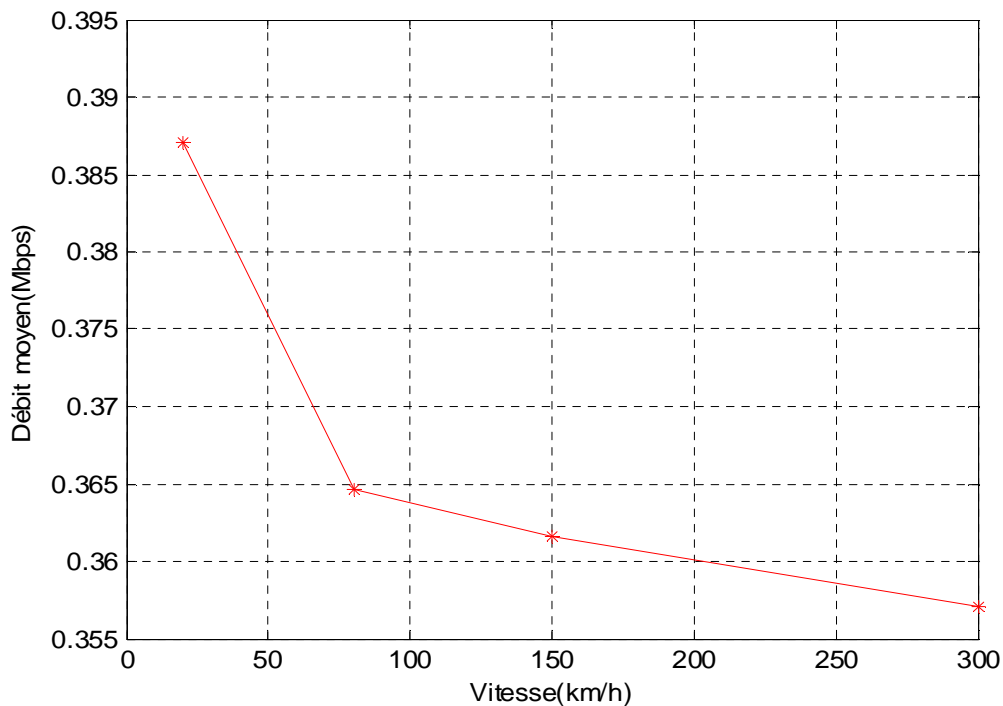


Figure IV.7 : Evolution du débit moyen en fonction de la vitesse

A partir de cette figure, on peut déduire que le débit moyen diminue avec la vitesse ce qui correspond au taux des paquets perdus important.

IV.11.2. Taux des paquets perdus

La figure IV.8 montre l'évolution du taux des paquets perdus en fonction du temps de la simulation pour des différentes vitesses.

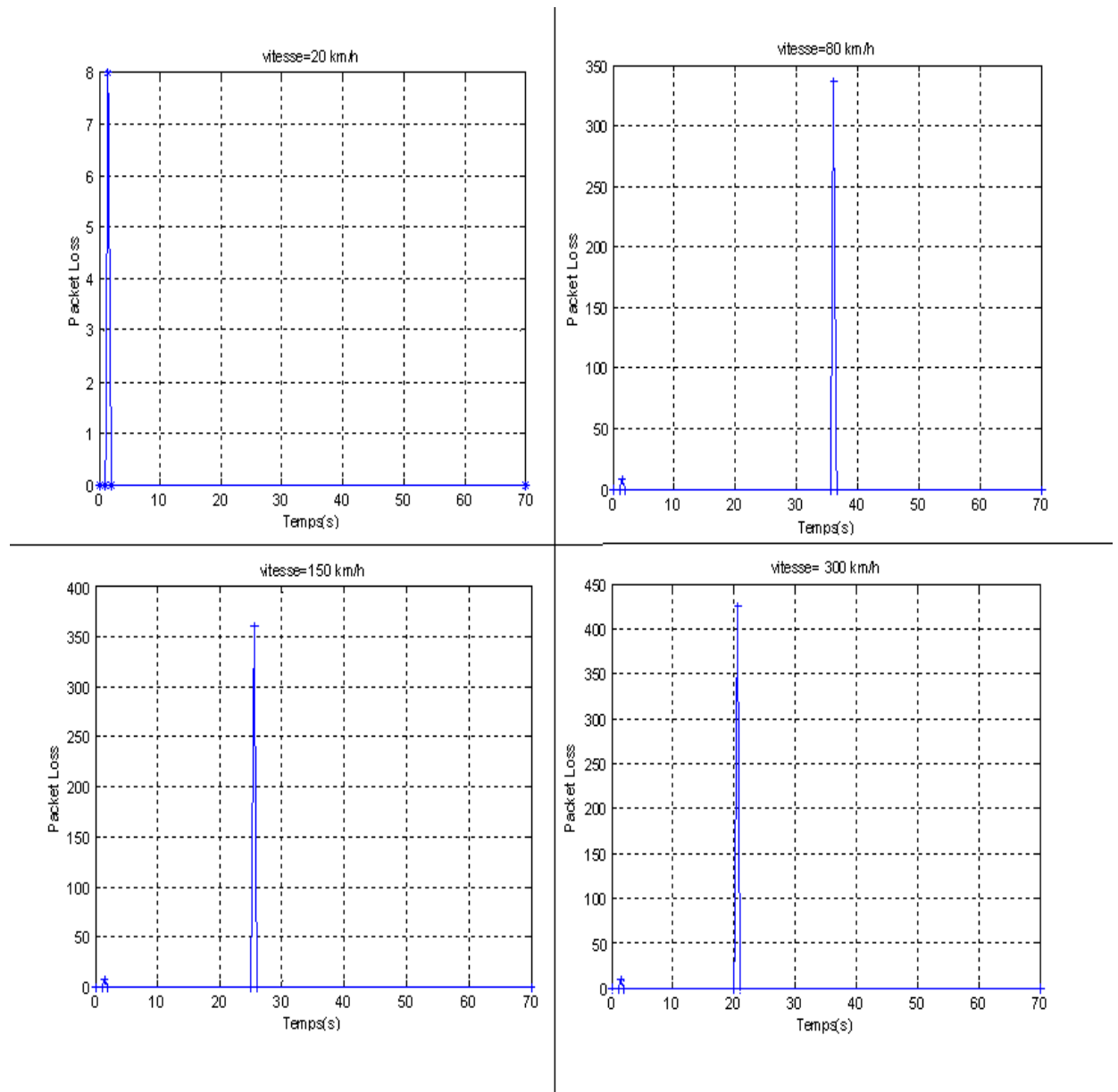


Figure IV.8 : Evolution du nombre de paquets perdus en fonction du temps

D'après cette figure, nous déduisons que :

- Pour une faible mobilité, les performances du handover sont satisfaisantes. En effet, pour une vitesse de 20 Km/h, le nombre de paquets perdus est inférieur à 8. Par contre, pour une vitesse de 300 Km/h, il atteint une valeur de 425 paquets perdus, ce qui prouve que pour des vitesses élevées les performances du handover chutent considérablement.
- La variation du nombre de paquets perdus se comporte d'une façon similaire avant et après l'exécution du handover pour les deux réseaux.

La figure IV.9 représente la variation du taux des paquets perdus moyen en fonction de la vitesse du routeur mobile.

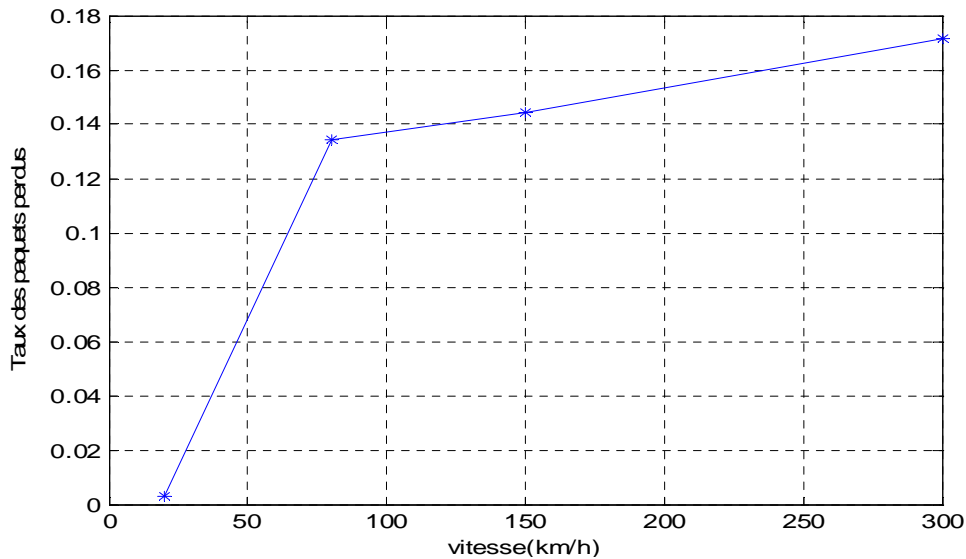


Figure IV.9 : Taux de paquets perdus en fonction de la vitesse

D'après cette figure, on remarque que le taux des paquets perdus augmente avec la vitesse. Donc, on peut dire qu'avec une forte mobilité, ce paramètre de performance est devenu important.

IV.11.3. Délai de transmission : La figure (IV.10) illustre l'évolution du délai de transmission en fonction du temps de la simulation pour des différentes vitesses.

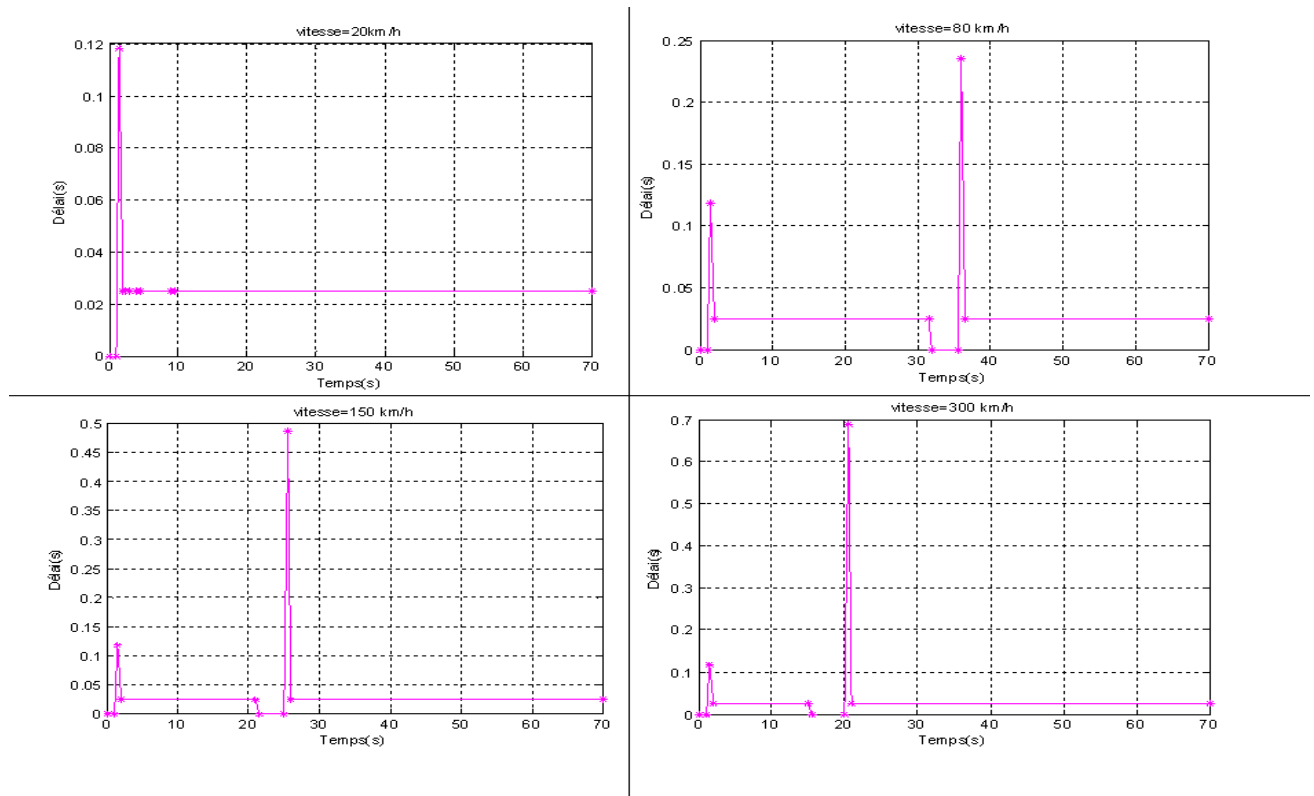


Figure IV.10 : Evolution du délai de transmission en fonction du temps

Cette figure montre :

- L'augmentation du délai implique que le lien radio se comporte mal, ainsi certains paquets vont être retransmis, d'où la nécessité du HO.
- Le délai moyen de transmission des paquets augmente avec l'exécution du handover et légèrement avec la vitesse.

La figure ci-dessous illustre le délai moyen en fonction de la vitesse du routeur mobile.

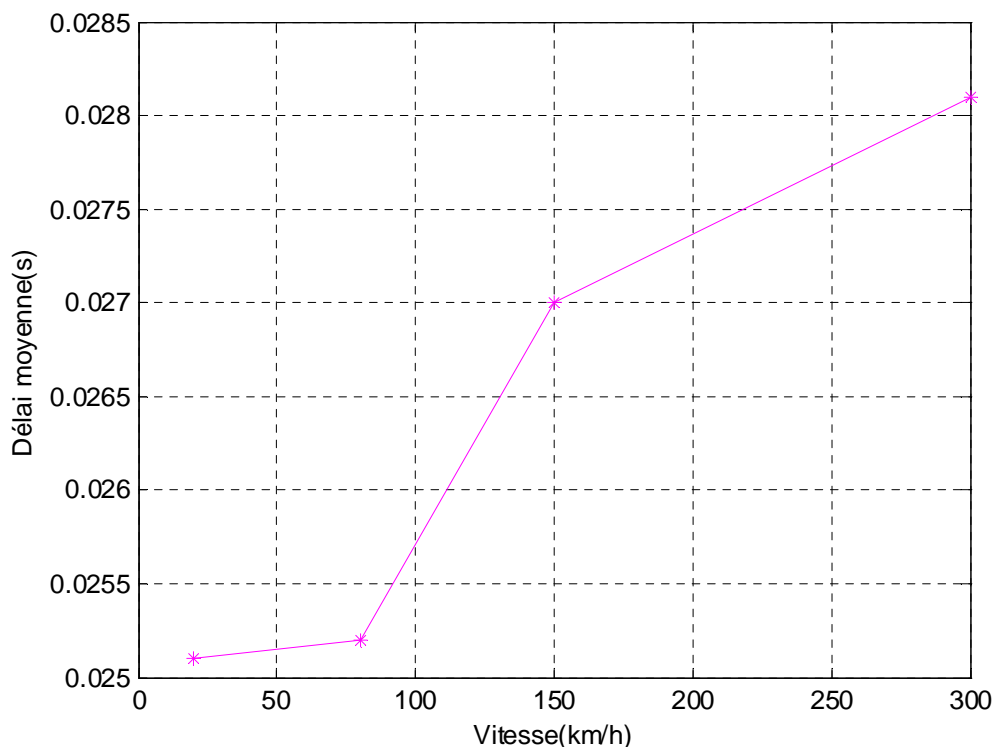


Figure IV.11 : Délai en fonction de la vitesse

D'après cette figure, on remarque que le délai de transmission augmente avec la vitesse. Ce qui signifie qu'avec une forte mobilité, le lien radio se comporte mal, d'où la nécessité de retransmission de certains paquets.

IV.12. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons focalisé sur la gestion de mobilité et nous sommes intéressés aux spécificités du Handover dans le cadre du réseau NEMO. Ensuite, nous avons décrit également les modifications rajoutées au simulateur pour le support des mécanismes de handover entre des réseaux hétérogènes en présentant notre modèle de simulation avec la prise en considération le paramétrage et la configuration nécessaire des nœuds du réseau.

Enfin, nous avons illustré le cadre de notre travail de simulation pour passer finalement à l'évaluation des performances du handover dans le réseau NEMO.

Le cinquième chapitre de cette thèse se concentre sur l'optimisation du Handover basé sur la théorie des jeux. Un point d'équilibre de Nash, qui maximise l'utilité de l'utilisateur (client) et les revenus du fournisseur de services (réseau), doit être trouvé et utilisé pour la satisfaction des joueurs réseau et client.

Chapitre V :
Optimisation du Handover
par la théorie des jeux

V.1. Introduction

Deux individus arrêtés ensemble en possession d'armes à feu sont soupçonnés d'un délit fait en commun. Les policiers les mettent dans des cellules différentes et proposent à chacun d'entre eux le marché suivant : « Si l'un de vous deux avoue et que l'autre n'avoue rien, le premier est libéré, et le second sera emprisonné pendant 5 années. Si chacun de vous deux avoue, vous irez tous les deux en prison pour une durée de 3 ans. Cependant, si aucun de vous n'avoue, vous serez tous les deux libérés assez vite après une année de prison ». La question que chacun de nous peut se poser est : « Si je suis un des deux prisonniers, qu'elle sera la décision que je vais prendre ? ». Cette situation est largement connue sous le nom de « dilemme du prisonnier » [77] qui définit toute situation de conflit où deux individus rationnels, dans le sens où ils cherchent à maximiser leur gain personnel, doivent prendre une décision simultanément et séparément, sachant que la décision de chacun des deux individus a un impact sur l'autre individu.

Supposons maintenant qu'un prisonnier soit enfermé dans une cellule, le policier n'a aucune preuve pour le condamner mais hésite à le libérer et pense qu'il est coupable. Dans ce cas le policier propose au prisonnier le marché suivant : « Vous avez le choix entre deux clés différentes dont une seule qui vous permet d'ouvrir la porte. Je place une des deux clés dans ma main droite et l'autre dans ma main gauche et vous avez le droit de choisir une seule clé. Si c'est la bonne vous êtes libéré, sinon vous serez emprisonné pendant une année ». C'est une autre situation de conflit où l'individu n'arrive pas à prendre facilement une décision, dans ce cas, le hasard jouera un grand rôle. Une telle situation est connue sous le nom du « jeu de pile ou face ».

Des situations similaires sont souvent présentes dans notre vie réelle, sociale, économique ou tout autre domaine où les gens interagissent entre eux et se trouvent dans des situations de conflit. Le but principal pour chaque individu consiste à savoir comment réagir et quelle sera la décision à prendre pour satisfaire son intérêt personnel. Pour répondre à ces besoins, plusieurs études ont été entamées pour pouvoir analyser et, dans certain cas, résoudre ces conflits. Cette étude des conflits d'intérêts est appelée « **Théorie des jeux** ».

La théorie des jeux est la discipline mathématique qui étudie les situations où le sort de chaque participant dépend non seulement des décisions qu'il prend mais également des décisions prises par d'autres participants. En conséquence, le choix "optimal" pour un participant dépend généralement de ce que font les autres. Parce que chacun n'est pas totalement maître de son sort, on dit que les participants se trouvent en situation d'interaction

stratégique. Le mot stratégie vient du grec ancien où il désignait les actions prises par un chef militaire en campagne. Il a gardé ce sens. Toutefois son acceptation s'est élargie pour couvrir des situations moins belliqueuses, mais dans lesquelles persiste l'idée de conflit. Si les ressources sont rares, il y a obligatoirement conflit sur la manière de les répartir. Dès lors, on peut voir les marchés comme des jeux où les participants sont des producteurs et des consommateurs. Plus généralement, une partie d'échecs, la formation d'une coalition gouvernementale ou une négociation au sein de l'OMC sont autant de jeux différents obéissant à des règles spécifiques. Les jeux peuvent donc décrire des situations sociales très différentes [78].

Dans la théorie des jeux, il ya certaines hypothèses de base qui sont souvent utilisées pour faciliter la construction de modèles maniable pour des situations réelles. Premièrement, on suppose que chaque individu dans le jeu a un ordre défini de préférences sur tous les résultats d'une situation donnée. Ces préférences prennent la forme d'une fonction d'utilité ou de paiement. Deuxièmement, les participants dans les jeux sont parfois considérés comme rationnels. Cela signifie qu'ils agissent toujours de façon à maximiser leurs gains, ils seront toujours capables de penser par tous les résultats possibles et en choisissant l'action qui se traduira par la out come mieux possible [79], et cette théorie est généralement utilisée dans des applications militaires, elle intervient aussi dans les questions économiques (problèmes de concurrence, gestion des entreprises) et politiques (élections). Cependant, nous ne pouvons pas trouver une définition précise de cette théorie, certains auteurs prétendant qu'elle cherche à expliquer les phénomènes observés, ou à faire des prédictions, d'autres qu'elle est la prescriptive (normative), d'autres encore qu'elle est l'une et l'autre [80].

La théorie des jeux fut fondée par Von Neumann et Morgenstern en 1944 lors de la parution de leur ouvrage *Theory of Games and Economic Behavior* Bien sûr, il y a eu des précurseurs; parmi les principaux, il faut citer Cournot et Edgeworth. Toutefois, c'est depuis la publication du livre de Von Neumann et Morgenstern que la théorie des jeux est véritablement considérée comme une nouvelle discipline. Ces deux auteurs ont proposé une solution dans le cas particulier d'un jeu où le gain d'un joueur correspond exactement à la perte subie par l'autre (jeu à somme nulle ou duel). Le jeu d'échecs est un exemple de jeu où l'antagonisme entre joueurs est ainsi poussé à l'extrême.

Les cas d'application en économie sont rares. En 1951, Nash a montré comment les idées développées par Cournot dès 1838 pouvaient servir de base pour construire une théorie de l'équilibre non coopératif pour des jeux à somme variable, qui généralise la solution proposée par Von Neumann et Morgenstern. Les applications de ce concept à l'économie se sont multipliées à partir des années 70 et 80. C'est en économie industrielle que l'intérêt de ce concept est apparu avec le plus de force parce qu'il permet d'étudier des situations de concurrence imparfaite où les entreprises adoptent des comportements stratégiques. Le concept de cœur, anticipé par Edgeworth en 1881, a été systématisé par Gillies en 1953 et appliqué à la théorie de l'équilibre général dans les années 60 et 70.

V.2. Jeux non coopératifs et coopératifs

En théorie des jeux, l'interaction qui relie les joueurs est beaucoup plus complexe. Tout d'abord, les joueurs se connaissent (ils savent combien il y a de participants et qui ils sont). Ensuite, ils ne peuvent pas se contenter de choisir leurs propres plans d'actions, en négligeant ce que font les autres. Ils doivent au contraire se faire une idée aussi précise que possible des plans choisis par les autres. Pour cela, la théorie admet : que chaque joueur s'efforce de prendre les meilleures décisions pour lui-même et sait que les autres joueurs font de même, et que chacun sait qu'il en va de même pour tous les autres et ainsi de suite.

On convient de distinguer entre deux grandes familles de jeux : les jeux coopératifs et les jeux non coopératifs. La mise en **jeu non-coopératif** est celui dans lequel chaque joueur agit individuellement pour optimiser son rendement, sans égard à la performance des autres joueurs. Par exemple on pourrait imaginer qu'un fournisseur de services propose plusieurs classes de services qui se distinguent par la qualité de chaque service (le débit offert, les délais etc.) mais aussi par le coût du service.

On peut alors identifier une situation de **jeux non-coopératifs** entre les abonnés. En effet, la qualité de service perçue par un abonné peut dépendre des choix de chaque autre abonné. En revanche, dans le cadre des **jeux coopératifs**, les joueurs sont autorisés à communiquer avant de choisir leurs stratégies et de jouer le jeu (par exemple sous la forme d'un contrat qui prévoit une sanction légale dans le cas du non respect de l'accord). On dit alors qu'ils forment une coalition dont les membres agissent de concert [81].

V.3. Quelques champs d'application

L'application de la théorie des jeux aux sciences politiques porte sur des questions de partage équitable, d'économie publique, de bien-être social moyen, etc. Des modèles théoriques ont été développés dans lesquels les joueurs sont des électeurs des pays, des politiciens ou des lobbies [82].

En économie, elle sert à anticiper des stratégies financières d'entreprises qui veulent maximiser leurs profits en minimisant les risques à travers l'étude des comportements des firmes concurrentes, du marché, des consommateurs, etc.

En biologie, l'intérêt est porté sur la notion de fitness (bien-être) et d'équilibres pouvant se maintenir dans le temps. Maynard-Smith et Price développent le concept d'Evolutionarily Stable Strategy (ESS) [83]. Ainsi sous l'influence de la sélection naturelle, il existerait un certain phénotype comportemental (stratégie) qui, s'il est adopté par la majorité de la population, peut protéger celle-ci de l'invasion d'une population de mutants (individus de phénotypes différents). Des biologistes ont étudié des phénomènes d'organisations spontanées et l'émergence de la communication animale au moyen de jeux de signaux [84].

La théorie des jeux joue un rôle de plus en plus important en informatique théorique et logique pour formaliser des sémantiques de jeux ou des systèmes multi-agents. La théorie des jeux algorithmiques implique la construction d'algorithmes, une vision informatique de la complexité et l'emploi de la théorie des jeux classique. Pour une application originale à la frontière entre la biologie et la théorie des jeux évolutionnaires, le lecteur peut se reporter aux travaux de Karl Sims sur les Evolved Virtual Creatures par exemple [85].

En sciences sociales, la théorie des jeux sert à analyser le comportement des populations humaines. L'idée qu'il est possible de prédire le comportement humain à grande échelle a été critiquée [83] car les humains dans les jeux " se comportent de façon à maximiser leur « bien-être », c'est le modèle de l'homo économique [86]. Dans la réalité, trop de facteurs individuels font dévier le modèle théorique comme l'irrationalité, le remord, l'altruisme, etc. Si certaines notions d'équilibre justifient le comportement d'une population équilibrée, la question de savoir comment elle peut y parvenir reste ouverte.

V.4. Présentation générale

Un **jeu** est, au sens de la théorie des jeux, un modèle, dont les principaux ingrédients sont des individus « joueurs » qui prennent des décisions simultanément, en choisissant un élément d'un ensemble dont les caractéristiques font partie des hypothèses du modèle, et des règles, qui précisent notamment l'issue résultant des diverses décisions (simultanées) possibles, une issue étant généralement caractérisée par les gains qu'elles procurent aux joueurs et l'information dont dispose chacun. Les éléments de l'ensemble dans lequel les individus font leurs choix sont appelés « **stratégies** ».

Pour spécifier un jeu, il est important de savoir de quelles informations disposent les joueurs pour faire leurs choix. Dans le cas le plus simple, les joueurs ont une information complète sur le jeu (les Echecs ou le jeu de Go par exemple), ce qui signifie qu'ils connaissent tous les règles du jeu et que lorsqu'ils doivent faire un choix, ils connaissent le déroulement complet du jeu jusqu'à ce stade. Dans tous les autres cas, nous parlons de jeux à information incomplète, les connaissances des joueurs sont bien définies et limitées.

Le niveau d'information des joueurs sur le jeu est lié à la façon de le représenter. Un jeu peut être séquentiel ou simultané. Si un jeu implique des choix successifs de la part des participants, il est crucial de savoir à quel moment tel joueur dispose de telle information.

L'intérêt de la théorie des jeux est de proposer un outil permettant d'analyser l'aspect stratégique des interactions. On ne s'occupe pas uniquement du résultat, mais de la façon de l'atteindre. L'aspect stratégique signifie que chaque joueur sait que son choix aura une influence sur son résultat mais aussi sur celui des autres et inversement, il sait que son résultat va dépendre de ce que feront les autres [87].

V.5. Classification des jeux

De manière générale, les jeux matriciels sont classés suivant la nature de la fonction de récompense. De ce fait, nous pouvons citer les classes suivantes :

1. **Les jeux à somme nulle** : il n'y a que deux joueurs et les gains de l'un représentent les pertes de l'autre ($R_1 = -R_2$), voir le tableau V.1. Ce jeu comporte deux joueurs, chacun possède une pièce et doit choisir secrètement l'un des deux côtés. Le joueur 1 gagne si les deux pièces sont sur le même côté, sinon c'est le joueur 2 qui gagne.

		Joueur B	
		F	P
Joueur A	F	(1.-1)	(-1 .1)
	P	(-1.1)	(1.-1)

Tableau V.1 : Jeu de pile ou face

2. **Les jeux à somme non nulle** (générale) : les gains peuvent être de nature quelconque. Ces jeux permettent de modéliser toutes les situations, où par exemple certaines issues sont profitables pour tous. A ces deux classifications principales, se rajoutent d'autres distinctions :
3. **Les jeux à information complètes/incomplètes** : La notion d'information incomplète signifie que certains joueurs ne sont pas tout connaître la structure de la partie [5]. Dans le cas contraire, il est à information complète. Par exemple, le joueur i ne connaît pas la fonction de gain du joueur k mais dispose d'une distribution de probabilité sur les fonctions possibles [87].
4. **Les jeux à information parfaites/imparfaites** : On dit que l'information est parfaite si chaque joueur est parfaitement informé des actions passées des autres joueurs. L'information est imparfaite quand un joueur ignore certains des choix qui ont été effectués avant le sien.
5. **Les jeux statiques/dynamiques** : un jeu statique est un jeu se jouant en un seul tour, où tous les joueurs choisissent leur unique coup simultanément. Contrairement aux jeux en forme statique, qui sont joués une fois, les jeux dynamiques décrivent des processus dépendant du temps. Ainsi, les joueurs peuvent adapter leur comportement présent sur les décisions observées des autres joueurs dans le passé [87].
6. **Les jeux simultanés et jeux séquentiels** : Un jeu simultané (ou en forme normale ou stratégique) : représente la situation où chaque joueur choisit son plan d'action complet une fois pour toutes au début du jeu. Un jeu séquentiel (ou en forme extensive) : donne la spécification complète du déroulement exact du jeu. Chaque joueur à la possibilité de considérer son plan d'action non seulement au début du jeu.

Finalement, nous introduisons un dernier type de jeu, considéré à la fois comme dynamique et à information complète :

7. **Les jeux répétés** : Un jeu répété en fait tout simplement un jeu ordinaire réitéré plusieurs fois de suite. Un jeu ordinaire étant un jeu unique dans lequel les joueurs décident simultanément d'effectuer une certaine action.

V.6. Formalisme

La théorie des jeux concerne l'étude de situations dans lesquelles les individus interagissent dans un environnement d'interdépendance stratégique : leurs profits dépendront aussi des actions choisies par les autres agents.

Il existe deux modèles de représentation des jeux, la représentation **extensive** et la représentation **stratégique** (ou matricielle).

1. **Forme extensive** : Elle utilise un arbre qui décrit comment le jeu est joué.

Plus précisément, chaque sommet de l'arbre spécifie le (ou les) joueur(s) qui doit (doivent) choisir une action à ce moment du jeu ainsi que l'information dont chaque joueur dispose lors de la prise de décision, les gains que chaque joueur peut réaliser après avoir suivi un des chemins possibles au sein de l'arbre sont donnés aux sommets terminaux. En outre, les événements possibles et leurs probabilités peuvent aussi être associés à certains sommets de l'arbre; la "**nature**" n'est pas un joueur, mais elle choisit aléatoirement certaines actions à des moments particuliers du jeu. Dans un jeu en forme extensive, une stratégie est une collection de règles décrivant les choix de chaque joueur en fonction de son information.

On peut associer un jeu en forme stratégique à tout jeu en forme extensive en combinant toutes les stratégies possibles et en évaluant les gains correspondants (on utilise les gains espérés lorsque la nature intervient dans le déroulement du jeu) [78].

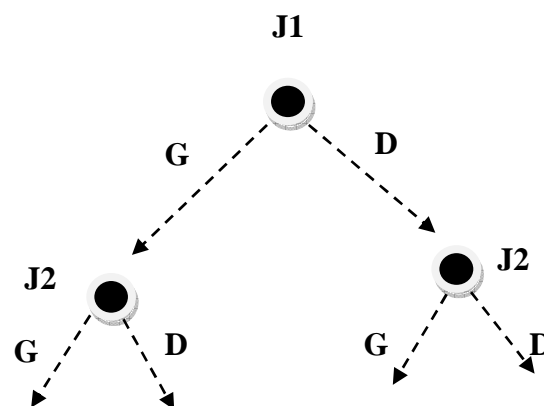


Figure V.1 : Représentation d'un jeu sous forme d'arbre

La figure V.1 représente un jeu à deux joueurs (J1 et J2) dans lequel ceux-ci devraient choisir G (gauche) ou D (droite) l'un après l'autre. Les quatre flèches indiquent quatre issues possibles pour le jeu. Cette représentation est commode pour étudier un jeu séquentiel par « induction à rebours » (backward induction en Anglais), c'est-à-dire en partant de la fin d'une issue particulière - et en remontant l'arbre afin d'identifier différentes situations plus ou moins favorables.

2. **Forme stratégique** : En revanche, dans le cadre des jeux en **forme stratégique**, les joueurs peuvent choisir leurs actions de manière simultanée sans connaître le choix des autres et le jeu est décrit sous la forme d'une matrice. De ce fait, nous nous intéressons uniquement à cette dernière forme de représentation [87].

Plus précisément, les éléments constitutifs d'un jeu en forme stratégique sont les suivants :

(1) $N = \{1 \dots n\}$ est l'ensemble des joueurs.

On suppose que les joueurs sont en nombre fini. Un joueur quelconque est désigné par l'indice i . L'extension au cas d'une infinité de joueurs ne pose pas de problèmes conceptuels particuliers.

(2) s_i désigne une stratégie du joueur $i \in N$.

Une stratégie décrit de manière précise tout ce qu'un joueur fait. Remarquons que s_i n'est pas nécessairement un nombre; ce peut être aussi un vecteur ou une fonction.

(3) S_i est l'ensemble des stratégies du joueur $i \in N$.

Cet ensemble décrit toutes les stratégies disponibles pour le joueur i .

(4) $s = (s_1, \dots, s_i, \dots, s_n) \in S_1 \times \dots \times S_i \times \dots \times S_n \equiv S$ est une issue du jeu, c'est-à-dire une combinaison de stratégies à raison d'une stratégie par joueur. On désigne par $s_{-i} \in S_{-i}$ toutes les stratégies choisies sauf celle du joueur i .

(5) $u_i(s) \in \mathbb{R}$ est la fonction de gain du joueur $i \in N$.

Autrement dit, la "fonction d'objectif" du joueur i dépend non seulement de sa stratégie s_i , mais aussi de celles des autres joueurs résumées dans s_{-i} . Le joueur i préfère strictement l'issue s à l'issue s' si $u_i(s) > u_i(s')$. Si $u_i(s) = u_i(s')$, le joueur est indifférent entre les deux issues.

(6) Chaque joueur connaît les ensembles de stratégies et les fonctions de gains de tous les joueurs, y compris donc les siens.

Du fait de cette dernière hypothèse, on dit que le jeu est en information complète.

Dans de tels jeux, l'ensemble des gains possibles qui peuvent être obtenus par les joueurs, est représenté par une matrice. Pour un jeu à deux joueurs, le principe est relativement simple : le premier joueur choisit ses actions à partir des lignes et le second joueur choisit ses actions à partir des colonnes. Le choix conjointement effectué, détermine les gains de chaque joueur en fonction de la matrice jouée.

Le tableau V.2 représente sous forme matricielle un exemple de jeu, avec deux joueurs (Joueur1 et Joueur2), chacun ayant deux actions a et b. Par convention les gains sont représentés sous la forme (x, y), où x est le gain de joueur ligne (joueur 1) et y est le gain de joueur colonne (joueur 2). Si le premier joueur choisit la première ligne et que le second choisit la deuxième colonne, alors ils auront respectivement les paiements x_{12} et y_{12} .

		Joueur 2	
		a	b
Joueur 1	a	$(x_{11} \cdot y_{11})$	$(x_{12} \cdot y_{12})$
	b	$(x_{21} \cdot y_{21})$	$(x_{22} \cdot y_{22})$

Tableau V.2 : Exemple de jeu en forme stratégique

La relation entre les deux formes stratégique et extensive se présente en :

- A chaque jeu sous forme extensive correspond un jeu stratégique dans lequel les joueurs choisissent simultanément les stratégies qu'ils mettront en œuvre. En revanche, un jeu sous forme stratégique peut correspondre à plusieurs jeux sous forme extensive différents.
- Une stratégie est la spécification complète du comportement d'un joueur dans n'importe quelle situation (dans un jeu sous forme extensive cela signifie donc pour chaque ensemble d'information où c'est à ce joueur de jouer).

V.7. Notion de stratégie et d'équilibre d'un jeu

V.7.1. Notion de stratégie

Une stratégie est un plan d'actions complet pour chaque joueur spécifiant ce que fera ce dernier à chaque étape du jeu et face à chaque situation pouvant survenir au cours du jeu. La stratégie décrit totalement le comportement d'un joueur. Il existe plusieurs types de stratégies. Une stratégie **pure** est une action, ou un plan d'actions, qui est choisie par chaque joueur avec certitude. Cette notion a été étendue à celle de stratégie **mixte** définie comme une

distribution de probabilité sur l'ensemble des stratégies pures. D'un point de vue formel, une stratégie mixte peut être vue comme une simple généralisation mathématique où l'on déconcentre la masse-unité entre plusieurs stratégies pures [78].

Le concept de rivalité est au centre de la théorie des jeux. Pour cette raison, cette théorie est capable d'étudier des phénomènes très différents. Toutefois, il est important de préciser d'emblée que la théorie des jeux ne fournit pas de solutions toutes faites. Elle constitue plutôt une façon de penser qui permet de mieux comprendre la nature des conflits possibles et de concevoir ce que pourrait être une solution acceptable et raisonnable [78].

La théorie des jeux non coopératifs s'est avérée extrêmement riche pour l'analyse des comportements oligopolistiques des entreprises, des luttes d'influence entre groupes au sein d'une institution (par exemple une entreprise), des négociations internationales entre gouvernements ou encore de la concurrence électorale entre partis politiques. C'est cette théorie qui nous retiendra dans la suite de ce cours, parce qu'elle permet une description détaillée des mécanismes incitatifs qui guident le comportement des joueurs sur la base de leurs seuls objectifs personnels.

V.7.2. Concept d'équilibre d'un jeu

L'analyse d'un jeu permet de prédire l'équilibre qui émergera si les joueurs sont rationnels. Un équilibre est un état ou une situation dans lequel aucun joueur ne souhaite modifier son comportement une fois connu le comportement des autres joueurs. De façon plus précise, un équilibre est une combinaison de stratégies telle qu'aucun des joueurs n'a d'incitation à changer sa stratégie une fois connues les stratégies des autres joueurs. Une fois que l'équilibre est atteint dans un jeu (peu importe la manière dont il a été obtenu), il n'y a aucune raison de le quitter. Il est différent de celui de solution. En effet, un jeu peut avoir plusieurs équilibres et une seule solution. A l'inverse, un équilibre peut ne pas exister, et il faudra utiliser des hypothèses sur la rationalité des agents pour déterminer la solution du jeu. La solution correspond souvent à l'équilibre le plus avantageux pour les deux joueurs. Cependant, parfois, un équilibre unique dans un jeu ne correspondra pas à la solution du jeu (cas de dilemme du prisonnier : l'équilibre du jeu n'offre pas les meilleurs paiements).

Dans ce cas, l'équilibre est dit sous – optimal. Ce dernier correspondra à la solution du jeu tant que les règles n'auront pas été édictées pour empêcher les risques de tricherie. En présence de règles, la solution du jeu ne correspondra pas à l'équilibre unique mais à une autre combinaison favorable aux deux joueurs (dite paréto – optimal). Il faut donc déterminer

les critères qui vont permettre de juger si le choix d'une stratégie est plus donc raisonnable que le choix d'une autre.

Dans beaucoup de jeux, la nature de l'interaction stratégique suggère que les joueurs souhaitent choisir une stratégie qui n'est pas prévisible à l'avance par l'autre joueur. Chaque joueur va donc essayer de maximiser son propre gain tout en sachant que c'est aussi le but de l'autre joueur. En conséquence, il faut que chaque joueur se demande ce que l'autre pense qu'il va faire.

V.7.2.1. Résolution des jeux par élimination des stratégies dominées

Les notions de stratégies dominantes et de stratégies dominées sont des concepts importants en théorie des jeux.

Stratégie dominante (Définition) : Supposons qu'un joueur dispose de plusieurs stratégies dont s_1 et s_2 , nous disons que la stratégie s_1 domine la stratégie s_2 si le fait jouer s_1 donne toujours des résultats équivalents ou meilleurs à ceux obtenus en jouant s_2 . Nous pouvons caractériser de façon symétrique une stratégie dominée.

Un joueur rationnel ne doit jamais utiliser une stratégie dominée dans le sens où elle est dominée en termes de gain par au moins une autre de ses stratégies face à toutes les stratégies possibles de ses adversaires. Lorsque nous sommes opposés à un joueur rationnel, nous pouvons supposer que ce dernier n'utilisera jamais une telle stratégie, nous pouvons donc l'éliminer de son ensemble de stratégies possibles. Une manière de déterminer les équilibres d'un jeu consiste à éliminer en premier toutes les stratégies dominées puis de rechercher dans le jeu réduit les équilibres.

- **Définition 1 :** Une stratégie s_n est (strictement) dominée pour le joueur i s'il existe une stratégie s_n' telle que pour tous les profils s_{-n}

$$u_n (s_n', s_{-n}) > u_n (s_n, s_{-n})$$

Pour illustrer cette méthode, considérons le jeu représenté par sa forme stratégique du tableau suivant :

		Joueur 2		
		L	M	R
Joueur 1	T	(1,0)	(1 ,2)	(0,1)
	B	(0,3)	(0 ,1)	(2,0)

Tableau V.3 : Forme stratégique d'un jeu

Comparons les stratégies M et R pour le joueur colonne. On observe que:

- Si le joueur ligne joue T, la stratégie M donne au joueur colonne 2 alors que R donne seulement 1.
- Si le joueur ligne joue B alors, la stratégie M donne au joueur colonne 1 alors que la stratégie R donne seulement 0.

Et donc, indépendamment de ce que fait le joueur ligne, la stratégie M donne strictement plus au joueur colonne que la stratégie R.

Ainsi, dans notre exemple, la stratégie R peut être éliminée. Les joueurs considèrent donc qu'ils jouent le jeu suivant:

		Joueur 2	
		L	M
Joueur 1	T	(1,0)	(1 ,2)
	B	(0,3)	(0 ,1)

Tableau V.4 : Elimination de la stratégie R

Mais, dans ce nouveau jeu, la stratégie B est strictement dominée par T. Ainsi, la stratégie B peut être éliminée. On obtient donc le nouveau jeu réduit suivant :

		L	M
		T	(1,0) (1 ,2)

Tableau V.5 : Elimination de la stratégie B

Dans ce jeu, L peut être éliminée. Ceci nous amène à un jeu où chaque joueur possède une unique stratégie pour le joueur ligne **T** et pour le joueur colonne **M avec (1,2)** comme paiement. Ce procédé est appelé procédé d'élimination des stratégies strictement dominées.

Quand ce procédé converge vers un unique résultat, on qualifie ce résultat comme étant la solution du jeu et on dit que le jeu est résoluble par dominance.

Une classe particulière de jeux résoluble par dominance est la classe de jeu où chaque joueur possède une stratégie qui domine strictement toutes les autres stratégies. Dans ce cas, on dit que le jeu possède une solution en stratégie strictement dominante [78].

Une méthode commune pour identifier ces situations facilement est de trouver ce que l'on appelle les valeurs Minimax et Maximin.

Le théorème du minimax prouvé par Von Neumann en 1928 dit que tout jeu défini à deux joueurs et à somme constante a une solution en stratégies pures ou mixtes. En d'autres termes, dans un tel jeu où A et B sont les deux joueurs, il y a une valeur v et une stratégie pour chacun des deux joueurs telles que, si A joue sa stratégie maximin, son gain sera au moins égal à v et que si B adopte sa stratégie minimax, le gain de A sera au plus de v . Ainsi, A et B ont tous deux intérêts à orienter leur stratégie de façon à ce que leur gain soit de v .

Nous définissons une notion supplémentaire qui va nous servir par la suite que nous appelons la non-dominance.

- **Définition 2 :** (La non-dominance) Supposons qu'un joueur dispose de plusieurs stratégies dont s_1 , si le fait de jouer la stratégie s_1 ne constituent jamais une meilleure réponse pour le joueur, alors nous disons que la stratégie s_1 est non dominante (ou jamais dominante).
- **Définition 3 :** Une stratégie s_n est faiblement dominée pour le joueur i s'il existe une stratégie s_n' telle que pour tous les profils s_{-n} :

$$u_n (s_n', s_{-n}) \geq u_n (s_n, s_{-n})$$

V.7.2.2. Equilibre de Nash

Dans un jeu à deux joueurs, un équilibre de Nash est une situation dans laquelle chaque joueur choisit sa meilleure réponse compte tenu de la réponse de l'autre, et les stratégies retenues de chaque joueur sont mutuellement cohérentes : si 1 a intérêt à jouer A quand 2 joue B, et que 2 a intérêt à jouer B lorsque 1 joue A, alors la situation où A et B sont jouées est un équilibre de Nash. Une autre façon de définir un équilibre de Nash est une situation dont personne n'a intérêt à dévier individuellement, sachant la stratégie de l'autre. Ne pas dévier individuellement veut dire que les individus font un choix optimal qui maximise leur utilité

compte tenu de la stratégie de l'autre. L'autre fait le même raisonnement compte tenu de la stratégie du premier joueur [88].

Ce concept d'équilibre de Nash est assez naturel et à trois propriétés qu'il convient de discuter:

- **la rationalité** : il repose sur l'optimisation et la poursuite de l'intérêt individuel, pour ne pas dire l'égoïsme, des joueurs;
- **la spontanéité** : la convergence vers l'équilibre se fait en général sans besoin d'intervention extérieure;
- **la stabilité** : l'équilibre de Nash est généralement stable [77].

Ces trois propriétés n'ont pas été ici soulignées par hasard ; ce sont en réalité trois similitudes très fortes avec « la main invisible » d'Adam Smith. L'équilibre de marché en situation de concurrence pure et parfaite est également le fruit de la rationalité et de la poursuite de l'intérêt individuel ; il est spontané ; il est en général stable.

➤ **Définition (Equilibre de Nash)**

On dit qu'une combinaison de stratégies s^* est un équilibre de Nash (ou un équilibre non coopératif) si l'inégalité suivante est satisfaite pour chaque joueur $n = 1, 2, \dots, n$

$$u_n(s_n^*, s_{-n}^*) \geq u_n(s_n, s_{-n}^*)$$

Pour chaque $s_n \in S_n$, il est clair que l'Equilibre de Nash représente tout simplement un particulier, "steady" état pour un système, en ce sens que, une fois atteinte, aucun joueur n'a aucune motivation pour unilatéralement déroger. Dans de nombreux cas, l'Equilibre de Nash représente le résultat de l'apprentissage et l'évolution des acteurs dans un système. Il est donc important de prévoir et caractériser ces points dans la perspective de la conception du système.

Exemple : On considère le jeu décrit par la matrice suivante :

1 \ 2	G	D
H	(0, 0)	(2, 2)
B	(10, 11)	(1, 0)

Tableau V.6 : Exemple de matrice d'un jeu

Si 1 joue H, alors il est optimal pour 2 de jouer D; si 1 joue B, il est optimal pour 2 de jouer G. De la même manière, si 2 joue G, il est optimal pour 1 de jouer B tandis que la meilleure réponse de 1 est H si 2 joue H. Toutefois, la paire (B,G) semble une solution raisonnable en ce qu'aucun joueur ne semble pouvoir faire mieux pour lui-même. Plus précisément, cette paire constitue ce que l'on appelle un équilibre de Nash : chaque joueur maximise ses gains compte tenu de l'action supposée de l'autre.

V.7.2.3. Equilibre de Nash en stratégie mixte

Un équilibre de Nash en stratégie mixte est une combinaison de distributions de probabilités sur les actions des joueurs (stratégies mixtes) qui sont chacune la meilleure réponse du joueur aux stratégies mixtes des autres.

- **Définition** : On dit qu'une combinaison de stratégies mixtes σ^* est un équilibre de Nash (en stratégies mixtes) si on a l'inégalité suivante pour chaque joueur i :

$$u_n(\sigma_n^*, \sigma_{-n}^*) \geq u_n(\sigma_n, \sigma_{-n}^*)$$

- **Théorème [Nash, 1950]** : Tout jeu sous forme stratégique a un équilibre de Nash en stratégies mixtes.

Exemple :

Soit la matrice prenant en compte les probabilités des stratégies.

		Joueur 2		
		f	c	
Joueur 1	f	(2,1)	(0,0)	p
	c	(0,0)	(1,2)	
		q	1-q	

Tableau V.7 : Matrice avec les probabilités des stratégies

Soit q la probabilité avec laquelle le joueur 2 joue f , quelle est la meilleure réponse du joueur 1 ?

$$EG(f) = 2 \cdot (q) + 0 \cdot (1 - q) = 2q$$

$$EG(c) = 0 \cdot (q) + 1 \cdot (1 - q) = 1 - q$$

Donc:

- Si $2q > 1 - q$, ($q > 1/3$), la meilleure réponse du joueur 1 est de jouer f
- Si $2q < 1 - q$, ($q < 1/3$), la meilleure réponse du joueur 1 est de jouer c
- Si $2q = 1 - q$, ($q = 1/3$), le joueur 1 est indifférent entre f et c, il peut donc jouer l'une ou l'autre, ou n'importe quelle combinaison des deux.

Soit p la probabilité avec laquelle le joueur 1 joue f, quelle est la meilleure réponse du joueur 2 ?

$$EG(f) = 1 \cdot (p) + 0 \cdot (1 - p) = p$$

$$EG(c) = 0 \cdot (p) + 2 \cdot (1 - p) = 2 \cdot (1 - p)$$

Donc:

- Si $p > 2 \cdot (1 - p)$, ($p > 2/3$), la meilleure réponse du joueur 2 est de jouer f
- Si $p < 2 \cdot (1 - p)$, ($p < 2/3$), la meilleure réponse du joueur 2 est de jouer c
- Si $p = 2 \cdot (1 - p)$, ($p = 2/3$), le joueur 2 est indifférent entre f et c, il peut donc jouer l'une ou l'autre, ou n'importe quelle combinaison des deux.

V.8. Scénario

Dans cette partie, nous allons présenter les paramètres des deux joueurs (réseau et client) participants, ainsi la modélisation du jeu par la théorie des jeux dans le but de trouver le point optimum qui satisfait les 2 joueurs.

Pour cela, nous allons appliquer pour notre scénario, le jeu non-coopératif qui est un type adéquat pour notre étude.

Avant de jouer, il faut définir les actions (stratégies) attribuées à chaque joueur et calculer les gains en fonction des paramètres mentionnés ci-dessus.

Pour notre travail, on prend un ensemble de BTS qui constituent un réseau d'opérateur GSM et un certain nombre de clients comme deux joueurs. On applique la théorie de jeux afin d'obtenir le point optimum (meilleure solution) pour que les deux joueurs soient gagnants. Pour atteindre ce but, on joue sur les paramètres présentés dans les équations des gains qu'on a pu imaginer et conçu. Dans l'application, chaque joueur prend deux actions différentes.

- 1^{er} joueur : **Joueur A** (Clients)
 - 1^{ère} action (C) : représente le cas où tous les utilisateurs sont en communication
 - 2^{ème} action (\bar{C}) : représente le cas où, on a 3 situations :
 - γ : nombre de clients en état '**communication**',
 - β : nombre de clients en état '**standby**' (le terminal est allumé mais pas de communication),
 - α : nombre de clients en état '**extinction**' (le terminal n'est pas allumé).

Avec : $\alpha + \beta + \gamma = 1$

- 2^{ème} joueur : **Joueur B** (Réseau : Cellules-BTS)
 - 1^{ère} action (A) : représente le cas où tous les BTS sont en service (tous les BTS sont actifs).
 - 2^{ème} action (\bar{A}) : représente le cas où un certain nombre de BTS est en hors service (des BTS qui ne sont pas actifs). b : représente les BTS qui sont actifs.

Pour illustrer ce qui a été décrit, considérons le jeu représenté par sa forme stratégique (en tenant compte des probabilités des stratégies) du tableau suivant.

		Joueur B		
		A	\bar{A}	
Joueur A	C	$(x_{11} \cdot y_{11})$	$(x_{12} \cdot y_{12})$	q
	α, β, γ	$(x_{21} \cdot y_{21})$	$(x_{22} \cdot y_{22})$	$1 - q$
		p	$1 - p$	

Tableau V.8 : Matrice du jeu avec les probabilités des stratégies

V.9. Formalisme mathématique des gains

Les expressions des gains de chaque joueur sont données par les relations suivantes :

1) Pour le joueur 1 (Clients (utilisateurs de service)) :

- $x_{11} = (a * n * m) - (((c * t)/u) * n * m)$
- $x_{12} = (a * n * b * m) - ((c * t)/u) * b * n * m)$
- $x_{21} = (a * (\beta + \gamma) * n * m) - (\gamma * (c * t)/u) * n * m)$
- $x_{22} = (a * (\beta + \gamma) * n * b * m) - ((c * t)/u) * \gamma * n * b * m)$

2) Pour le joueur 2 (Réseau : Cellules-BTS) :

- $y_{11} = -(a * n * m) + (((c * t)/u) * n * m)$
- $y_{12} = -(a * n * b * m) + ((c * t/u) * b * n * m)$
- $y_{21} = -(a * (\beta + \gamma) * n * m) + (\gamma * (c * t/u) * n * m)$
- $y_{22} = -(a * (\beta + \gamma) * n * b * m) + ((c * t/u) * \gamma * n * b * m)$

Avec :

$u = 30$ s (Unité d'appel pour le réseau GSM de l'Algérie)

a : représente le débit.

n : représente le nombre de clients.

m : représente le nombre de BTS.

t : représente le temps d'appel.

c : représente le coût.

➤ **Explication :**

On choisit n tel que n ne dépasse pas $m * 29$. (pour le cas de GSM).

En supposant que le serveur (réseau) choisit ses stratégies avec les probabilités suivantes :

- A avec la probabilité p
- \bar{A} avec la probabilité $(1 - p)$

Quelle est la situation de serveur ?

- Si le client choisit C , alors :

$$\text{Espérance de son utilité} = x_{11} * p + x_{12} * (1 - p) \quad \dots\dots\dots (1)$$

- Si Le client choisit \bar{C} , alors :

$$\text{Espérance de son utilité} = x_{21} * p + x_{22} * (1 - p) \quad \dots\dots\dots (2)$$

Même raisonnement que précédemment pour le client :

En supposant que le client choisit ses stratégies avec les probabilités suivantes :

- C avec la probabilité q
- \bar{C} avec la probabilité $(1 - q)$

Quelle est la situation de client ?

Si le serveur choisit A , alors :

$$\text{Espérance de son utilité} = y_{11} * q + y_{21} * (1 - q) \quad \dots\dots\dots (3)$$

Si Le serveur choisit \bar{A} , alors :

$$\text{Espérance de son utilité} = y_{12} * q + y_{22} * (1 - q) \quad \dots\dots\dots (4)$$

Si (1) est supérieure à (2) , on aura :

$$\begin{aligned} x_{11} * p + x_{12} * (1 - p) &> x_{21} * p + x_{22} * (1 - p) \\ x_{11} * p + x_{12} - x_{12} * p &> x_{21} * p + x_{22} - x_{22} * p \\ (x_{11} + x_{22} - x_{12} - x_{21}) * p &> x_{22} - x_{12} \end{aligned}$$

Donc : $p > x_{22} - x_{12} / x_{11} + x_{22} - x_{12} - x_{21} = p^*$

Même chose pour les y :

$$\begin{aligned} y_{11} * q + y_{21} * (1 - q) &> y_{12} * q + y_{22} * (1 - q) \\ y_{11} * q + y_{21} - y_{21} * q &> y_{12} * q + y_{22} - y_{22} * q \\ (y_{11} - y_{21} - y_{12} + y_{22}) * q &> y_{22} - y_{21} \end{aligned}$$

Donc : $q > y_{22} - y_{21} / y_{11} - y_{21} - y_{12} + y_{22} = q^*$

La paire (p^*, q^*) semble une solution raisonnable en ce qu'aucun joueur ne semble pouvoir faire mieux pour lui-même. Plus précisément, cette paire constitue ce que l'on appelle un équilibre de Nash : chaque joueur maximise ses gains compte tenu de l'action supposée de l'autre.

L'Equilibre de Nash : représente la meilleure solution (point optimum) pour les 2 joueurs.

V.10. Applications et résultats (sur Matlab)

Pour :

- $b = 0.3000$
- $\alpha = 0$
- $\beta = 0.6000$
- $\gamma = 0.4000$

les gains du joueur1	les gains du joueur 2
$x_{11} = -7504$	$y_{11} = 7504$
$x_{12} = -2.2512e+003$	$y_{12} = 2.2512e+003$
$x_{21} = -2.1280e+003$	$y_{21} = 2.1280e+003$
$x_{22} = -638.4000$	$y_{22} = 638.4000$

$p^* = 0.4286$

$q^* = 0.3958$

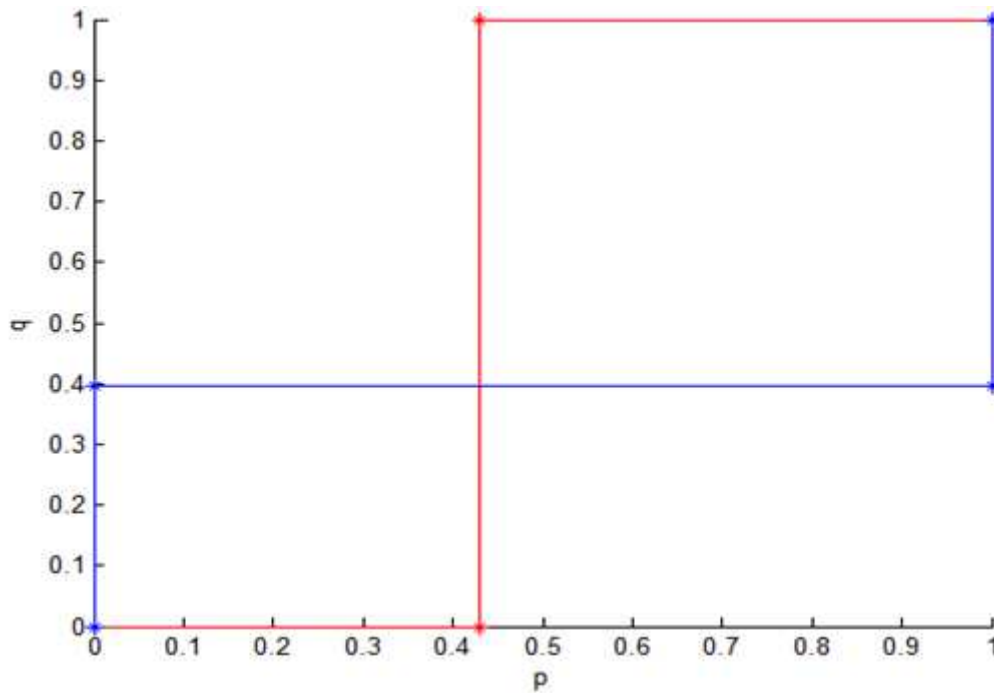


Figure V.2 : Représentation graphique du jeu

À la figure V.2, on a tracé les correspondances de meilleure réponse du joueur 1 et du joueur 2. Les équilibres de Nash, définis comme points fixes des correspondances de meilleure réponse sont les points d'intersection des deux courbes, à savoir (0, 1), (1, 0) et (0.4286, 0.3958).

D'après les probabilités on peut dire que la solution est meilleure pour les deux joueurs car la probabilité est proche de 0.5.

- **b = 0.3000**
- $\alpha = 0.6000$
- $\beta = 0$
- $\gamma = 0.4000$

les gains de joueur1	les gains de joueur2
$x_{11} = -7504$	$y_{11} = 7504$
$x_{12} = -2.2512e+003$	$y_{12} = 2.2512e+003$
$x_{21} = -3.0016e+003$	$y_{21} = 3.0016e+003$
$x_{22} = -900.4800$	$y_{22} = 900.4800$

p * = 0.4286

q * = 0.6667

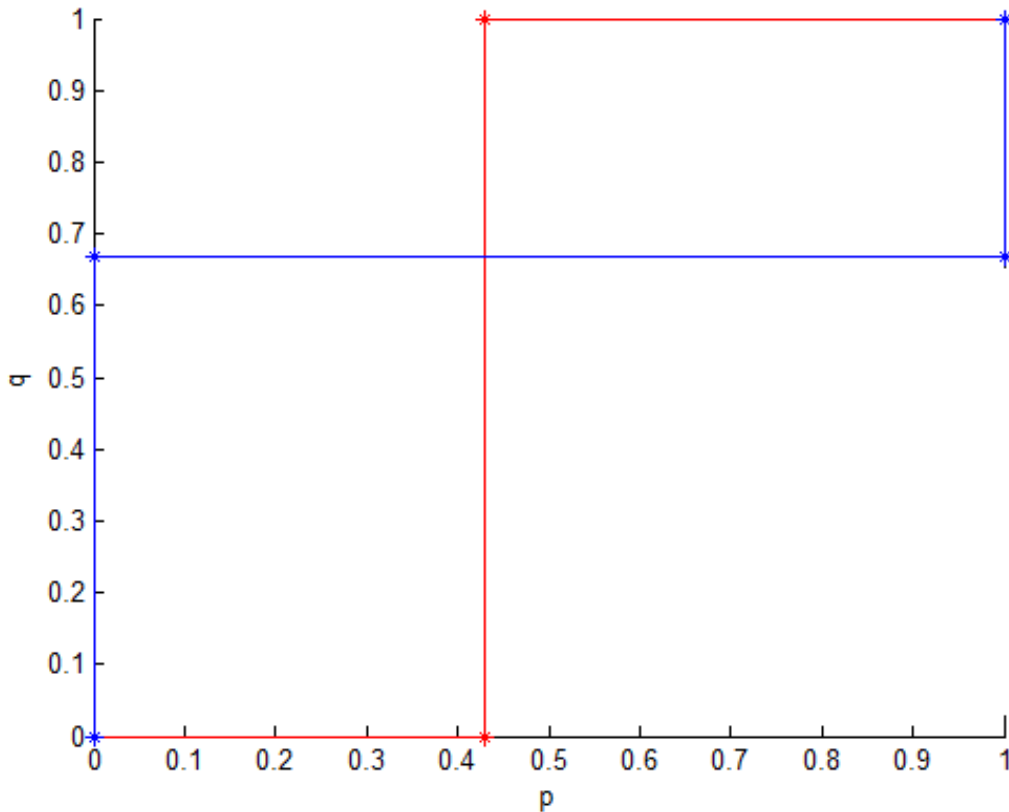


Figure V.3 : Intersection de p et q avec $b = 0.3000$

$$\alpha = 0.6000, \beta = 0, \gamma = 0.4000$$

À la figure V.3, on a tracé les correspondances de meilleure réponse du joueur 1 et du joueur 2. Les équilibres de Nash, définis comme points fixes des correspondances de meilleure réponse sont les points d'intersection des deux courbes, à savoir $(0, 1)$, $(1, 0)$ et $(0.4286, 0.6667)$.

D'après les probabilités, on peut dire que la solution est meilleure pour le deuxième joueur.

- $b = 0.3000$

$$\alpha = 0.9000$$

$$\beta = 0$$

$$\gamma = 0.1000$$

les gains de joueur1	les gains de joueur2
$x_{11} = -7504$	$y_{11} = 7504$
$x_{12} = -2.2512e+003$	$y_{12} = 2.2512e+003$
$x_{21} = -750.4000$	$y_{21} = 750.4000$
$x_{22} = -225.1200$	$y_{22} = 225.1200$

$$p^* = 0.4286$$

$$q^* = 0.1111$$

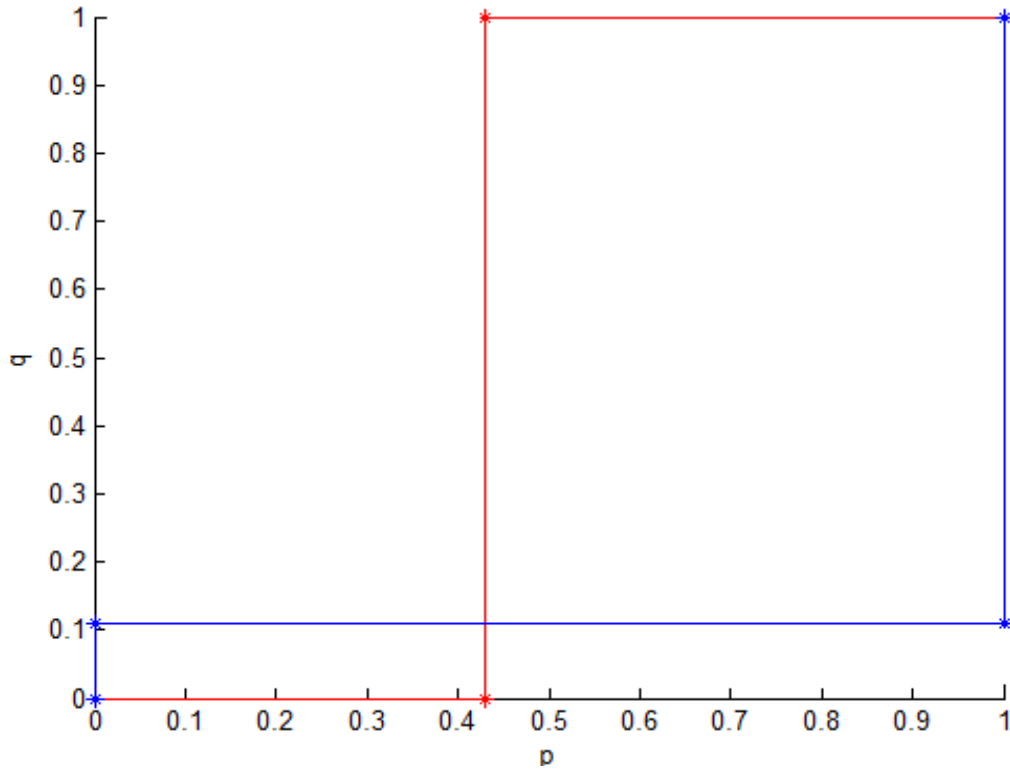


Figure V.4 : Intersection de p et q avec $b = 0.3000$

$$\alpha = 0.9000, \beta = 0, \gamma = 0.1000$$

À la figure V.4, on a tracé les correspondances de meilleure réponse du joueur 1 et du joueur 2. Les équilibres de Nash, définis comme points fixes des correspondances de meilleure réponse sont les points d'intersection des deux courbes, à savoir $(0, 1)$, $(1, 0)$ et $(0.4286, 0.1111)$.

D'après les probabilités on peut dire que la solution est meilleure pour le 1^{er} joueur.

• $b = 0.3000$

$\alpha = 0.3000$

$\beta = 0.6000$

$\gamma = 0.1000$

les gains de joueur1	les gains de joueur2
$x_{11} = -7504$	$y_{11} = 7504$
$x_{12} = -2.2512e+003$	$y_{12} = 2.2512e+003$
$x_{21} = 123.200$	$y_{21} = -123.2000$
$x_{22} = 36.9600$	$y_{22} = -36.9600$

$p^* = 0.4286$

$q^* = 0.0162$

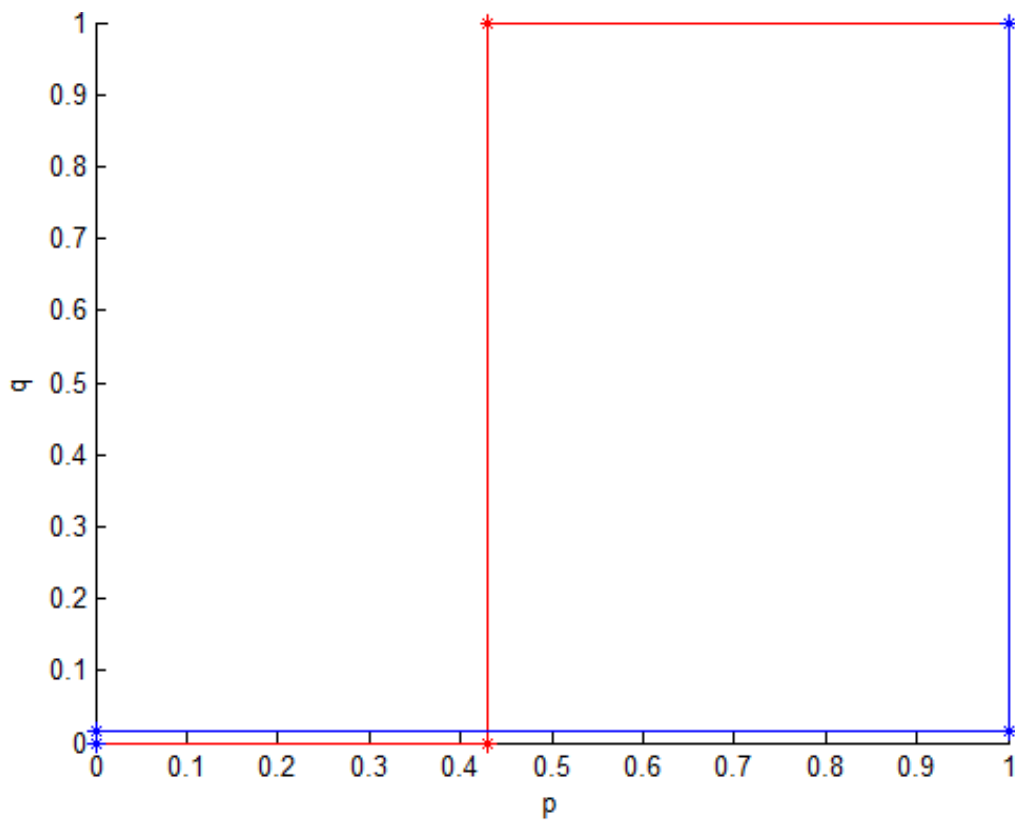


Figure V.5 : Intersection de p et q avec $b = 0.3000$

$$\alpha = 0.3000, \beta = 0.6000, \gamma = 0.1000$$

À la figure V.5, on a tracé les correspondances de meilleure réponse du joueur 1 et du joueur 2. Les équilibres de Nash, définis comme points fixes des correspondances de meilleure réponse sont les points d'intersection des deux courbes, à savoir $(0, 1)$, $(1, 0)$ et $(0.4286, 0.0162)$.

D'après les probabilités, on peut dire que la solution est meilleure pour le 1^{er} joueur.

• $b = 0.3000$

$\alpha = 0.3000$

$\beta = 0.3000$

$\gamma = 0.4000$

les gains de joueur1	les gains de joueur2
$x_{11} = -7504$	$y_{11} = 7504$
$x_{12} = -2.2512e+003$	$y_{12} = 2.2512e+003$
$x_{21} = -2.5648e+003$	$y_{21} = 2.5648e+003$
$x_{22} = -769.4400$	$y_{22} = 769.4400$

$p^* = 0.4286$

$q^* = 0.5193$

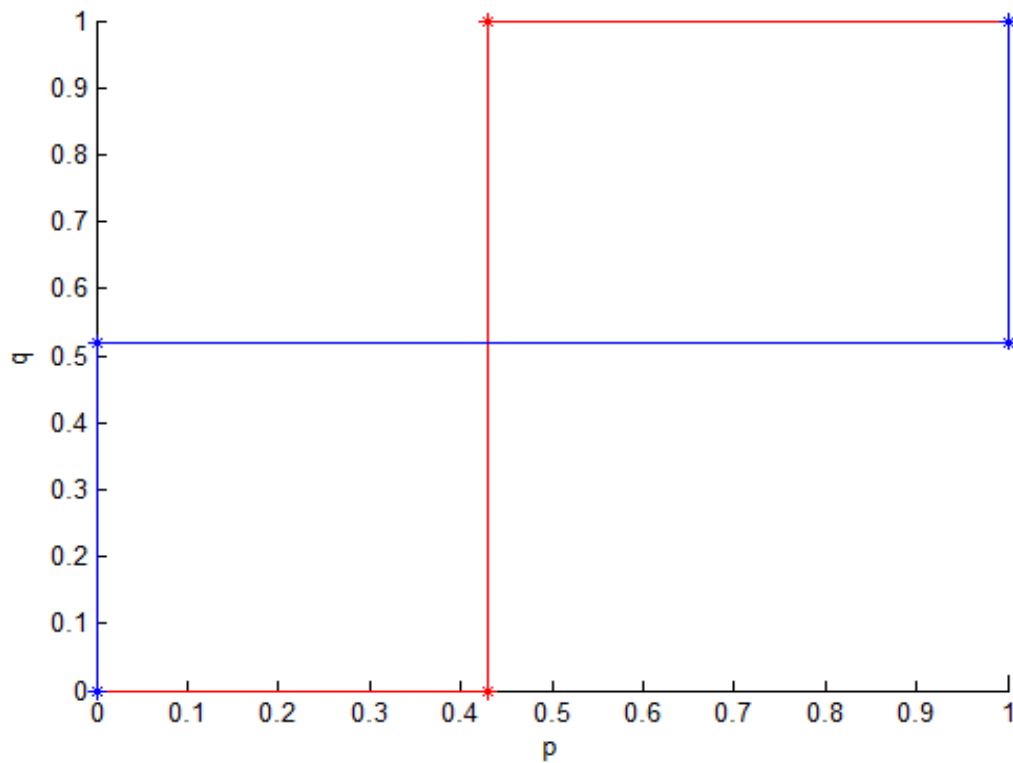


Figure V.6 : Intersection de p et q avec $b = 0.3000$

$$\alpha = 0.3000, \beta = 0.3000, \gamma = 0.4000$$

À la figure V.6, on a tracé les correspondances de meilleure réponse du joueur 1 et du joueur 2. Les équilibres de Nash, définis comme points fixes des correspondances de meilleure réponse sont les points d'intersection des deux courbes, à savoir (0, 1), (1, 0) et (0.4286, 0.5193).

D'après les probabilités on peut dire que la solution est meilleure pour les deux joueurs.

Pour :

- $b = 0.4000$
- $\alpha = 0$
- $\beta = 0.6000$
- $\gamma = 0.4000$

les gains de joueur1	les gains de joueur2
$x_{11} = -7504$	$y_{11} = 7504$
$x_{12} = -3.0016e+003$	$y_{12} = 3.0016e+003$
$x_{21} = -2128$	$y_{21} = 2128$
$x_{22} = -851.2000$	$y_{22} = 851.2000$

$$P^* = 0.6667$$

$$q^* = 0.3958$$

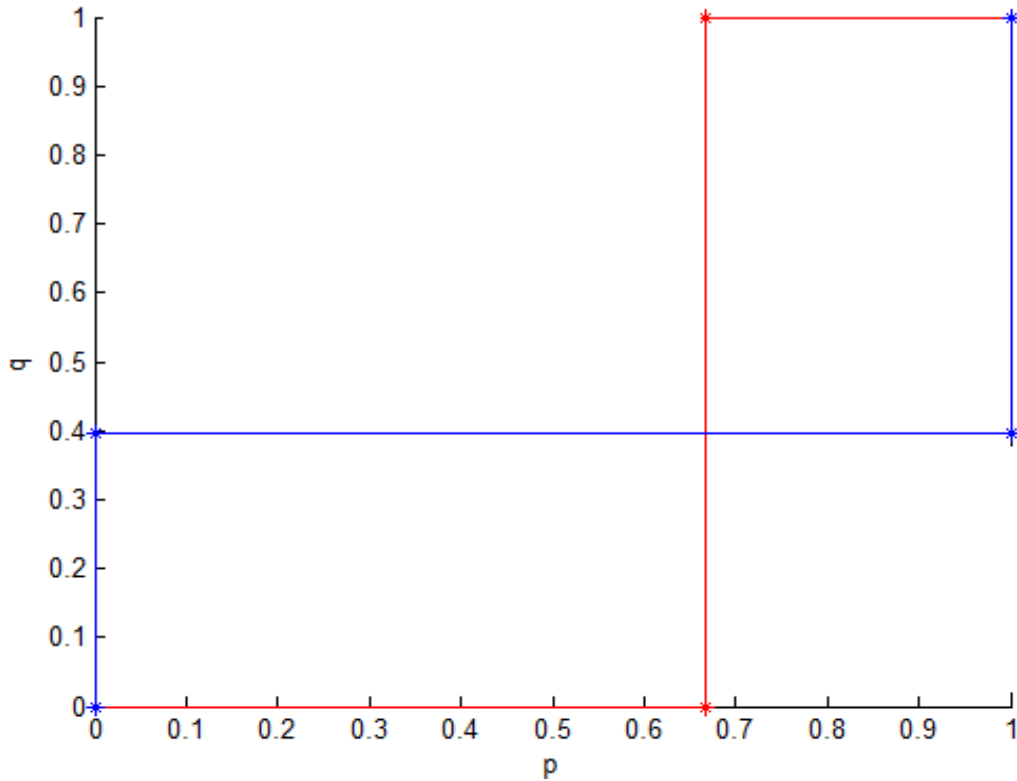


Figure V.7 : Intersection de p et q avec $b = 0.4000$

$$\alpha = 0 \quad \beta = 0.6000 \quad \gamma = 0.4000$$

À la figure V.7, on a tracé les correspondances de meilleure réponse du joueur 1 et du joueur 2. Les équilibres de Nash, définis comme points fixes des correspondances de meilleure réponse sont les points d'intersection des deux courbes, à savoir $(0, 1)$, $(1, 0)$ et $(0.6667, 0.3958)$.

D'après les probabilités on peut dire que la solution est meilleure pour le joueur 1.

- $b = 0.4000$
 $\alpha = 0.3000$
 $\beta = 0.3000$
 $\gamma = 0.4000$

les gains de joueur1	les gains de joueur2
$x_{11} = -7504$	$y_{11} = 7504$
$x_{12} = -3.0016e+003$	$y_{12} = 3.0016e+003$
$x_{21} = -2.5648e+003$	$y_{21} = 2.5648e+003$
$x_{22} = -1.0259e+003$	$y_{22} = 1.0259e+003$

$$p^* = 0.6667$$

$$q^* = 0.5193$$

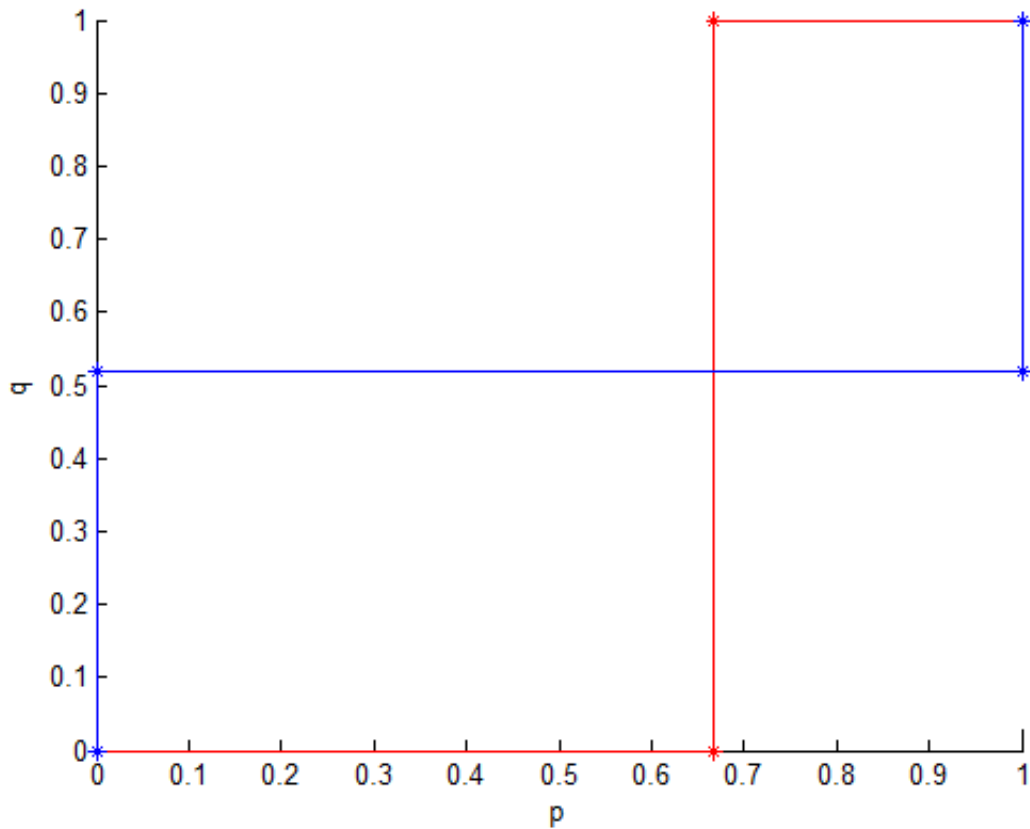


Figure V.8 : Intersection de p et q avec $b = 0.4000$

$$\alpha = 0.3000, \beta = 0.3000, \gamma = 0.4000$$

À la figure V.8, on a tracé les correspondances de meilleure réponse du joueur 1 et du joueur 2. Les équilibres de Nash, définis comme points fixes des correspondances de meilleure réponse sont les points d'intersection des deux courbes, à savoir $(0, 1)$, $(1, 0)$ et $(0.6667, 0.666)$.

D'après les probabilités on peut dire que la solution est meilleure pour les deux joueurs.

• $b = 0.4000$

$$\alpha = 0.6000$$

$$\beta = 0$$

$$\gamma = 0.4000$$

les gains de joueur1	les gains de joueur2
$x_{11} = -45225$	$y_{11} = 45225$
$x_{12} = -18090$	$y_{12} = 18090$
$x_{21} = -1.8090e+004$	$y_{21} = 1.8090e+004$
$x_{22} = -7.2360e+003$	$y_{22} = 7.2360e+003$

$$p^* = 0.6667$$

$$q^* = 0.6666$$

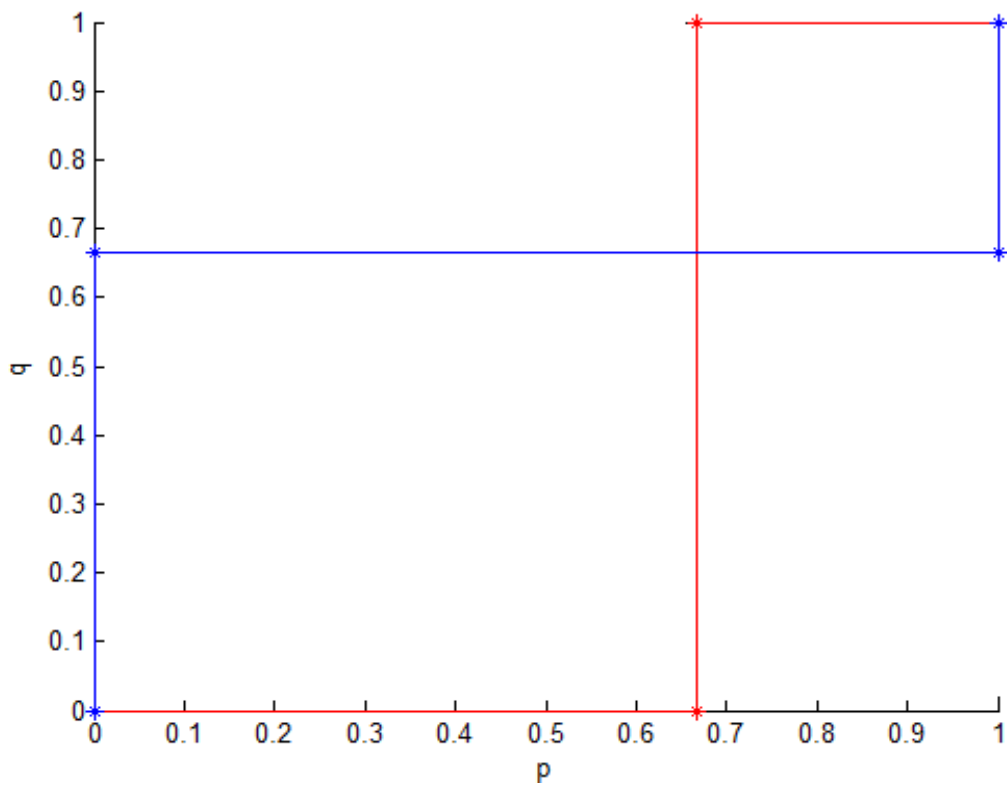


Figure V.9 : Intersection de p et q avec $b = 0.4000$

$$\alpha = 0.6000, \beta = 0, \gamma = 0.4000$$

À la figure V.9, on a tracé les correspondances de meilleure réponse du joueur 1 et du joueur 2. Les équilibres de Nash, définis comme points fixes des correspondances de meilleure réponse sont les points d'intersection des deux courbes, à savoir $(0, 1)$, $(1, 0)$ et $(0.6667, 0.5193)$.

D'après les probabilités on peut dire que la solution est meilleure pour les deux joueurs.

Pour :

- $b = 0.5000$

$$\alpha = 0$$

$$\beta = 0.6000$$

$$\gamma = 0.4000$$

les gains de joueur1	les gains de joueur2
$x_{11} = -7504$	$y_{11} = 7504$
$x_{12} = -3752$	$y_{12} = 3752$
$x_{21} = -2128$	$y_{21} = 2128$
$x_{22} = -1064$	$y_{22} = 1064$

$$p^* = 0.9$$

$$q^* = 0.3958$$

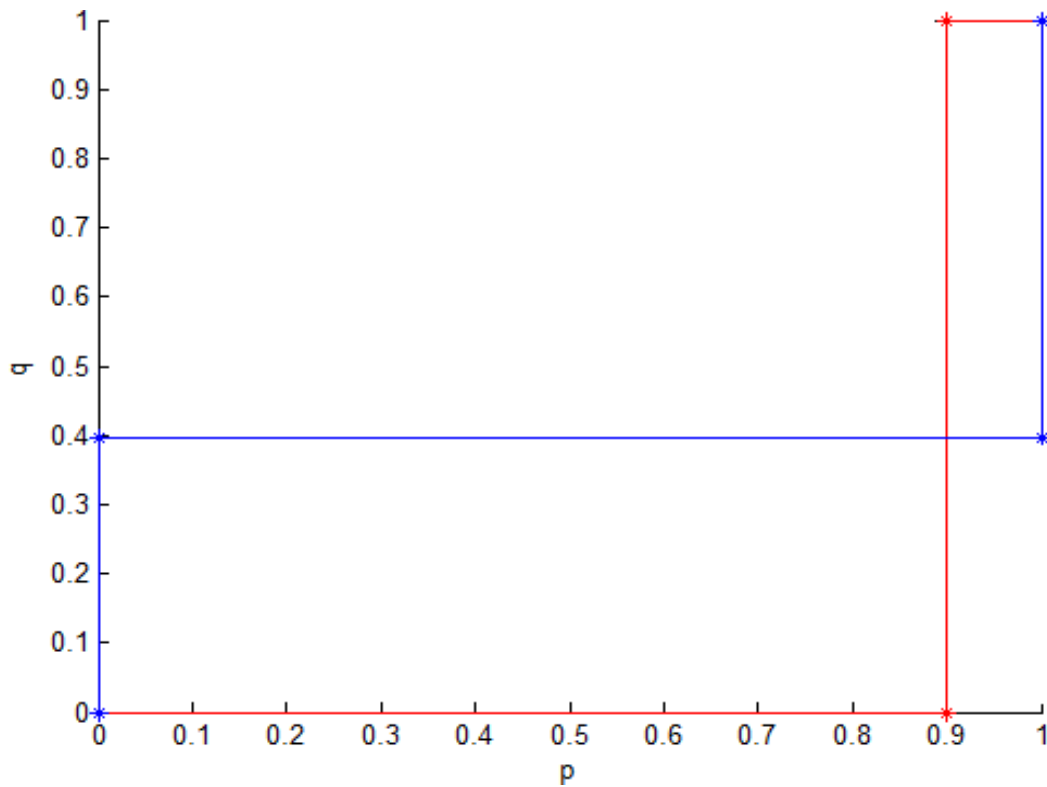


Figure V.10 : Intersection de p et q avec $b = 0.5000$

$$\alpha = 0 \quad \beta = 0.6000 \quad \gamma = 0.4000$$

À la figure V.10, on a tracé les correspondances de meilleure réponse du joueur 1 et du joueur 2. Les équilibres de Nash, définis comme points fixes des correspondances de meilleure réponse sont les points d'intersection des deux courbes, à savoir $(0, 1)$, $(1, 0)$ et $(0.9, 0.3958)$.

D'après les probabilités en peut dire que la solution est meilleure pour le 1^{er} joueur.

- $b = 0.5000$
- $\alpha = 0.3000$
- $\beta = 0.3000$
- $\gamma = 0.4000$

les gains de joueur1	les gains de joueur2
$x_{11} = -7504$	$y_{11} = 7504$
$x_{12} = -3752$	$y_{12} = 3752$
$x_{21} = -2.5648e+003$	$y_{21} = 2.5648e+003$
$x_{22} = -1.2824e+003$	$y_{22} = 1.2824e+003$

$$p^* = 0.9$$

$$q^* = 0.5193$$

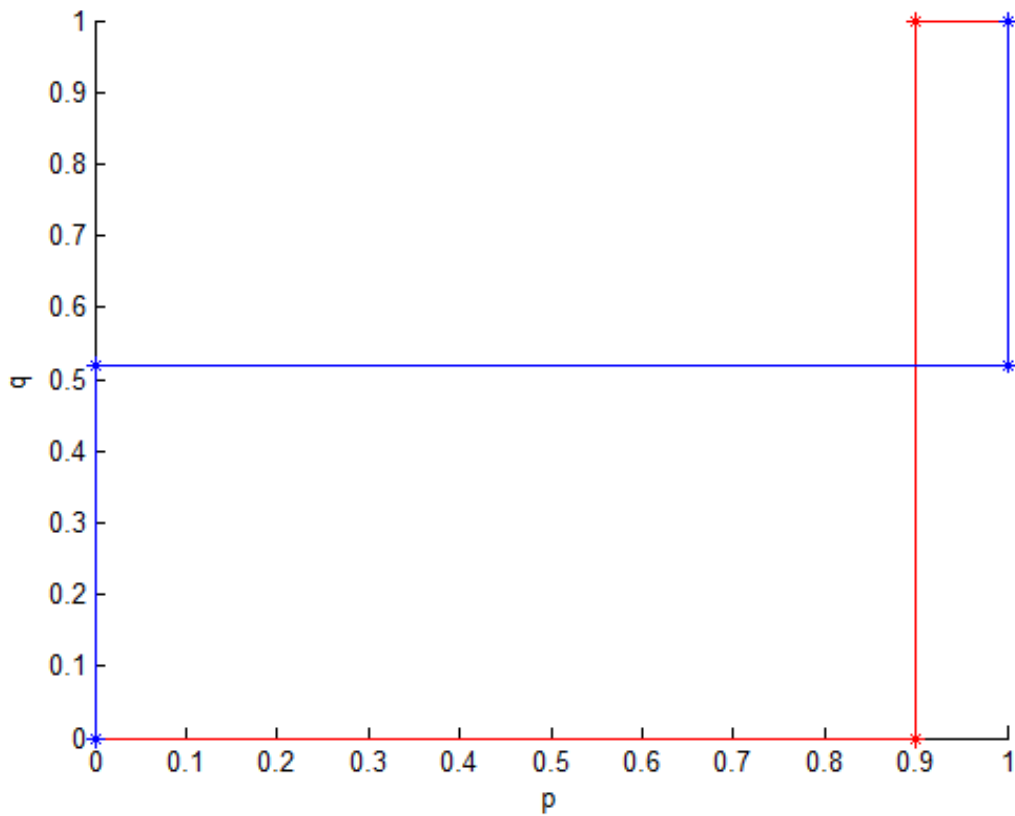


Figure V.11: Intersection de p et q avec $b = 0.5000$

$$\alpha = 0.3000, \beta = 0.3000, \gamma = 0.4000$$

À la figure V.11, on a tracé les correspondances de meilleure réponse du joueur 1 et du joueur 2. Les équilibres de Nash, définis comme points fixes des correspondances de meilleure réponse sont les points d'intersection des deux courbes, à savoir $(0, 1)$, $(1, 0)$ et $(0.9, 0.5193)$.

D'après les probabilités on peut dire que la solution est meilleure pour le 1^{er} joueur.

V.11. Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre quelques champs d'applications importants de la théorie des jeux qui l'ont influencée ainsi l'intérêt principal de cette théorie et nous avons mentionné plusieurs notions de base comme les jeux coopératifs, qui sont en général représentés à l'aide d'une fonction caractéristique et les jeux non-coopératifs en forme normale. Enfin nous avons introduit ce qu'est un équilibre au sens de Nash.

Dans la suite, nous avons envisagé de présenter notre application dans le domaine de télécommunications pour savoir qu'est ce qui se passe entre le réseau et le client.

Pour cela, nous avons essayé de présenter les différents résultats obtenus par l'application de la théorie des jeux non coopératifs sur le modèle proposé du jeu représenté par sa forme stratégique entre le réseau et le client afin de déterminer le point optimum.

On constate que la meilleure solution (point optimum) qui satisfait les deux joueurs réseau et client est la solution qui prend des paires (p^*, q^*) proche de $(0,5, 0,5)$.

En effet, nous tenons à souligner que pour avoir la meilleure solution qui représente l'équilibre de Nash, il faut que :

$$b = 0.3, \alpha = 0.3 \text{ ou } 0.6, \beta = 0 \text{ ou } 0.3, \gamma = 0.4.$$

Conclusion générale

La problématique de nos travaux a concerné la mise en œuvre d'architectures permettant l'intégration et l'adaptation de la mobilité avec les mécanismes de handover adéquats au cours du processus de déplacement entre réseaux hétérogènes afin de garantir la continuité de communication en offrant une bonne qualité de service.

Nous avons commencé cette thèse par une étude de différentes technologies de réseaux sans fil et mobiles afin de générer une classification selon l'étendue géographique et la topologie. Ensuite, nous avons focalisé sur la gestion de mobilité et nous sommes intéressés aux spécificités du Handover en détaillant ses phases et ses types sans négliger d'étudier le handover dans le cadre du réseau NEMO.

Le travail développé en deuxième partie a consisté à définir une architecture logicielle capable de supporter le handover vertical entre les réseaux UMTS, WiFi et WiMAX.

Nous avons donc identifié les challenges technologiques entre les trois réseaux et fourni une solution au problème, déjà évoqué, de la mobilité entre les réseaux WiFi, UMTS et WiMAX. En plus des challenges technologiques, se sont ajoutés des challenges pratiques liés au simulateur (logiciel NS-2) tant pour la modélisation du scénario de handover entre les réseaux que pour l'implémentation du module MIH développé par IEEE 802.21 pour le support de la mobilité hétérogène. Consécutivement à l'analyse de ces challenges pratiques, une architecture de développement a été proposée pour pouvoir simuler un scénario supportant différents types d'applications. D'une part, le scénario de handover vertical inter-systèmes entre les réseaux WiFi, UMTS et WiMAX modélisé met en avant les exigences de QoS plus au moins acceptables en terme de perte de paquets et délai de transmission pour des applications temps réel telles que, la voix et le streaming vidéo ainsi qu'au trafic UDP et TCP. D'autre part, on retire le problème de perte de paquets et de délai de transmission à la charge de signalisation due au protocole de mobilité Mobile IPv6. Ce problème est susceptible d'engendrer une consommation de bande passante tant pour l'opérateur réseau que pour l'utilisateur du terminal mobile.

Comme perspectives à cette partie du travail, il serait d'envisager d'autres scénarios de simulation, on pourrait illustrer l'effet de la charge des nœuds mobiles sur les performances

du handover vertical entre WiFi, UMTS et WiMAX, on pourrait également simuler d'autres types d'applications tel que ; FTP, TELNET...

Dans la troisième partie, nous avons focalisé sur les réseaux maillés qui sont des réseaux sans fil dont les hôtes sont connectés de proche en proche sans hiérarchie centrale. Les travaux que nous avons réalisés dans le cadre de ce sujet se sont intéressés aux réseaux locaux maillés proposés par le groupe IEEE802.11s. Suite à une analyse effectuée dans ce contexte, une plateforme de développement a été proposée pour pouvoir simuler un scénario supportant la mobilité du terminal dans les réseaux Mesh avec continuité de service en assurant la bonne qualité.

Comme perspectives à cette partie du travail, il serait d'envisager d'autres scénarios de simulation, on pourrait illustrer l'effet du type de routage et aussi la charge des nœuds mobiles sur les performances du handover dans les réseaux Mesh.

Dans la quatrième partie, la problématique de notre travail se rapporte à la définition d'une architecture logicielle capable de faciliter la mobilité d'un réseau entier et de supporter le changement de leur point d'attachement entre les réseaux hétérogènes (handover vertical).

L'étude que nous venons de mener se caractérise essentiellement par l'utilisation d'un simulateur (logiciel NS-2) pour évaluer et analyser les performances du handover et la gestion de la mobilité d'un réseau entier en implémentant le module MIH (module développé par IEEE 802.21) et MIPv6 (module de la gestion de mobilité) au lieu d'utiliser le package Mobivan réservé spécialement au réseau NEMO.

Dans ce contexte et comme perspective, nous conseillons d'interconnecter plusieurs réseaux hétérogènes et utiliser plusieurs routeurs mobiles (avec lesquels s'attachent d'autres terminaux) supportant ces différentes technologies afin d'étudier la gestion de la mobilité. On pourrait aussi illustrer l'effet de la charge des routeurs mobiles sur les performances du handover vertical entre ces différents réseaux.

Le travail développé en cinquième partie a consisté à modéliser le jeu de compétition dans le monde des télécommunications entre le fournisseur de service (le réseau d'opérateur) et l'utilisateur de ce service (le client) représenté par sa forme stratégique et définir un formalisme mathématique afin d'appliquer la théorie des jeux dans le but de trouver le point

optimum (Equilibre de Nash) autrement dit chaque joueur maximise ses gains compte tenu de l'action supposée de l'autre.

C'est dans ce cadre que nous avons jugé utile de faire un prospect bien détaillé sur la théorie des jeux expliquant les types afin de choisir le jeu adéquat qui marche avec notre problématique.

En perspective, nous conseillons d'appliquer la théorie des jeux à l'optimisation du routage dans les réseaux tel que le routage multicast non-coopératif qui est lié à un routage entre arbres plutôt qu'au routage entre chemins ou entre liens.

Finalement, les approches proposées dans ce travail pour l'impact de la mobilité et du handover sur la qualité de service dans les réseaux mobiles hauts débits sont validées par comparaison avec des résultats obtenus des travaux antérieurs tels que [89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96]. Il s'agit alors d'estimer la pertinence de nos algorithmes implémentés sous NS2 par rapport à d'autres. Cette évaluation de la pertinence des algorithmes de simulation proposés nous permettra en particulier de savoir la démarche de simulation dans le respect de la complexité du handover et des objectifs du contexte de la qualité de service offerte.

Annexe A1

```
#vérifier les paramètres d'entrée
if {$argc != 0} {
    puts ""
    puts "Wrong Number of Arguments! No arguments in this
topology"
    puts ""
    exit (1)
}

global ns

#corriger les attributs
Agent/ND set debug_ 1
Agent/MIH set debug_ 1
Agent/MIHUser/IFMNGMT/MIPV6 set debug_ 1
Agent/MIHUser/IFMNGMT/MIPV6/Handover/Handover1 set debug_ 1
#Mac/802_16 set debug_ 1

#définit la fonction pour les dossiers de fermeture
proc finish {} {
    global ns f nf
    $ns flush-trace
    close $f
close $nf
    puts " Simulation ended."
exec nam out.nam &

    exit 0
}

# les variables globales
set output_dir .

#creation d'une instance de simulateur
set ns [new Simulator]
$ns use-newtrace

#ouvrir le fichier de trace
set f [open out.res w]
$ns trace-all $f

#ouvrir le fichier d'animation
```

```

set nf [open out.nam w]
$ns namtrace-all-wireless $nf 2000 2000

# set up for hierarchical routing (needed for routing over a
# basestation)
$ns node-config -addressType hierarchical
AddrParams set domain_num_ 6 ;# nombre des
domaines
AddrParams set cluster_num_ {1 1 1 1 1 1} ;# nombre des
cluster pour chaque domaine
AddrParams set nodes_num_ {3 1 3 2 2 1} ;# nombre des
nœuds pour chaque cluster

# configuration de l'UMTS
$ns set hsdSchEnabled_ 1addr
$ns set hsdSchRlcSet_ 0
$ns set hsdSchRlcNif_ 0

# configuration de noeud RNC
$ns node-config -UmtsNodeType rnc
set rnc [$ns create-Umtsnode 0.0.0]
puts "rnc: tcl=$rnc; id=[$rnc id]; addr=[$rnc node-addr]"

# configuration de la station de base UMTS
$ns node-config -UmtsNodeType bs \
    -downlinkBW 384kbs \
    -downlinkTTI 10ms \
    -uplinkBW 384kbs \
    -uplinkTTI 10ms \
    -hs_downlinkTTI 2ms \
    -hs_downlinkBW 384kbs

set bsUMTS [$ns create-Umtsnode 0.0.1]
puts "bsUMTS: tcl=$bsUMTS; id=[$bsUMTS id]; addr=[$bsUMTS node-
addr]"

# la connexion entre RNC et la station base
$ns setup-Iub $bsUMTS $rnc 622Mbit 622Mbit 15ms 15ms
DummyDropTail 2000

$ns node-config -UmtsNodeType ue \
    -baseStation $bsUMTS \
    -radioNetworkController $rnc

set iface0 [$ns create-Umtsnode 0.0.2]

```

```

puts "iface0(UMTS): tcl=$iface0; id=[$iface0 id]; addr=[$iface0
node-addr]"

#les adresse de router0 et router1
set router0 [$ns node 1.0.0]
puts "router0: tcl=$router0; id=[$router0 id]; addr=[$router0
node-addr]"
set router1 [$ns node 2.0.0]
puts "router1: tcl=$router1; id=[$router1 id]; addr=[$router1
node-addr]"

# connecter les liens
$ns duplex-link $rnc $router1 622Mbit 0.4ms DropTail 1000
$ns duplex-link $router1 $router0 100MBit 5ms DropTail 1000
$rnc add-gateway $router1

# creation de MutiFaceNodes
$ns node-config -multiIf ON ;#pou
créer le nœud MultiFaceNode
set multiFaceNode [$ns node 5.0.0]
$ns node-config -multiIf OFF
puts "multiFaceNode: tcl=$multiFaceNode; id=[$multiFaceNode id];
addr=[$multiFaceNode node-addr]"

# configuration des noeuds mobiles
set opt(chan) Channel/WirelessChannel ;# canal de
type 802.11
set opt(prop) Propagation/TwoRayGround ;# modèle de
propagation radio 802.11
set opt(netif) Phy/WirelessPhy ;# interface
de type 802.11
set opt(mac) Mac/802_11 ;# MAC de type
802.11
set opt(ifq) Queue/DropTail/PriQueue ;# interface
de fil d'attente de type 802.11
set opt(ll) LL ;# couche
liaison de type 802.11
set opt(ant) Antenna/OmniAntenna ;# antenne de
modèle 802.11
set opt(ifqlen) 50 ;# max de packet
dans ifq 802.11
set opt(adhocRouting) DSDV ;# protocol de
routage802.11
set opt(umtsRouting) "" ;# routage
pou r'UMTS (

```

```

set opt(x)          2000
set opt(y)          2000
# configuration de débits pour 802.11
Mac/802_11 set basicRate_ 1Mb
Mac/802_11 set dataRate_ 11Mb
Mac/802_11 set bandwidth_ 11Mb

#création de la topography
set topo [new Topography]
$topo load_flatgrid $opt(x) $opt(y)
#puts "Topology created"
set chan [new $opt(chan)]

# create God
create-god 11 ;#le nombre des
noeuds

#configuration pour 20m de couverture
Phy/WirelessPhy set Pt_ 0.025
Phy/WirelessPhy set freq_ 2412e+6
Phy/WirelessPhy set RXThresh_ 6.12277e-09
Phy/WirelessPhy set CStresh_ [expr 0.9*[Phy/WirelessPhy set
RXThresh_]]

# configuration des Points d'accés
$ns node-config -adhocRouting $opt(adhocRouting) \
               -llType $opt(ll) \
               -macType $opt(mac) \
               -channel $chan \
               -ifqType $opt(ifq) \
               -ifqLen $opt(ifqlen) \
               -antType $opt(ant) \
               -propType $opt(prop) \
               -phyType $opt(netif) \
               -topoInstance $topo \
               -wiredRouting ON \
               -agentTrace ON \
               -routerTrace OFF \
               -macTrace ON \
               -movementTrace OFF

# configuration des stations de base 802.11
set bstation802 [$ns node 3.0.0] ;

```

```

$bstation802 set X_ 1300.0
$bstation802 set Y_ 1000.0
$bstation802 set Z_ 0.0
puts "bstation802: tcl=$bstation802; id=[$bstation802 id];
addr=[$bstation802 node-addr]"
# we need to set the BSS for the base station
set bstationMac [$bstation802 getMac 0]
set AP_ADDR_0 [$bstationMac id]
puts "bss_id for bstation 1=$AP_ADDR_0"
$bstationMac bss_id $AP_ADDR_0
$bstationMac enable-beacon
$bstationMac set-channel 1

# création de l'interface sans fil 802.11
$ns node-config -wiredRouting OFF \
                -macTrace ON
set ifacel [$ns node 3.0.1]
$ifacel random-motion 0
$ifacel base-station [AddrParams addr2id [$bstation802 node-
addr]] ;#attacher le mn au station de base
$ifacel set X_ 1200.0
$ifacel set Y_ 1000.0
$ifacel set Z_ 0.0
[$ifacel set mac_(0)] set-channel 1

#le mouvement de noeud.
$ns at 0 "$ifacel setdest 1600.0 1000.0 10.0"
puts "ifacel: tcl=$ifacel; id=[$ifacel id]; addr=[$ifacel node-
addr]"

#le lien entre router1 et la station de base 802.11
$ns duplex-link $bstation802 $router1 100MBit 15ms DropTail 1000

#Les noeuds Wimax
set opt(netif)          Phy/WirelessPhy/OFDM
set opt(mac)            Mac/802_16                ;# MAC de type
802.16

Phy/WirelessPhy set Pt_ 0.025
Phy/WirelessPhy set RXThresh_ 2.025e-12
Phy/WirelessPhy set CStresh_ [expr 0.9*[Phy/WirelessPhy set
RXThresh_]]

# configuration de station de base
$ns node-config -adhocRouting $opt(adhocRouting) \
                -llType $opt(ll) \
                -macType $opt(mac) \

```

```

-channel $chan \
-ifqType $opt(ifq) \
-ifqLen $opt(ifqlen) \
-antType $opt(ant) \
-propType $opt(prop) \
-phyType $opt(netif) \
-topoInstance $topo \
-wiredRouting ON \
-agentTrace ON \
-routerTrace OFF \
-macTrace ON \
-movementTrace OFF

```

```

# configuration de station de Base 802.16
set bstation802_16 [$ns node 4.0.0] ;
$bstation802_16 set X_ 1000
$bstation802_16 set Y_ 1000
$bstation802_16 set Z_ 0.0
puts "bstation802_16: tcl=$bstation802_16; id=[$bstation802_16
id]; addr=[$bstation802_16 node-addr]"
set clas [new SDUClassifier/Dest]
[$bstation802_16 set mac_(0)] add-classifier $clas
#set the scheduler for the node. Must be changed to -shed [new
$opt(sched)]
set bs_sched [new WimaxScheduler/BS]
[$bstation802_16 set mac_(0)] set-scheduler $bs_sched
[$bstation802_16 set mac_(0)] set-channel 1

# création de l'interface sans fil 802.16
$ns node-config -wiredRouting OFF \
                -macTrace ON
set iface3 [$ns node 4.0.1]
$iface3 random-motion 0
$iface3 base-station [AddrParams addr2id [$bstation802_16 node-
addr]] ;#attach mn to basestation
$iface3 set X_ 1200.0
$iface3 set Y_ 1000.0
$iface3 set Z_ 0.0
set clas [new SDUClassifier/Dest]
[$iface3 set mac_(0)] add-classifier $clas
#set the scheduler for the node. Must be changed to -shed [new
$opt(sched)]
set ss_sched [new WimaxScheduler/SS]
[$iface3 set mac_(0)] set-scheduler $ss_sched
[$iface3 set mac_(0)] set-channel 1

```

```
# le mouvement de noeud
$ns at 0 "$iface3 setdest 1600.0 1000.0 10.0"
puts "iface3: tcl=$iface3; id=[$iface3 id]; addr=[$iface3 node-
addr]"

# le lien entre router1 et la station de base 802.16
$ns duplex-link $bstation802_16 $router1 100MBit 15ms DropTail
1000

# Ajouter les interfaces au nœud MultiFaceNode
$multiFaceNode add-interface-node $iface1
$multiFaceNode add-interface-node $iface0
$multiFaceNode add-interface-node $iface3

# L'installation de module ND
#le module ND est ajouté dans le noeud rnc pas dans la station de
base
set nd_rncUMTS [$rnc install-nd]
$nd_rncUMTS set-router TRUE
$nd_rncUMTS router-lifetime 1800
$nd_rncUMTS enable-broadcast FALSE
$nd_rncUMTS add-ra-target 0.0.2
set nd_ue [$iface0 install-nd]

# WLAN
set nd_bs [$bstation802 install-nd]
$nd_bs set-router TRUE
$nd_bs router-lifetime 1800

set nd_mn [$iface1 install-nd]

# WIMAX
set nd_bs2 [$bstation802_16 install-nd]
$nd_bs2 set-router TRUE
$nd_bs2 router-lifetime 1800

set nd_mn2 [$iface3 install-nd]

# installer l'interface manager dans le nœud multi-interface et
router0
Agent/MIHUser/IFMNGMT/MIPV6/Handover/Handover1 set case_ 2
set handover [new Agent/MIHUser/IFMNGMT/MIPV6/Handover/Handover1]
```

```

$multiFaceNode install-ifmanager $handover
$nd_mn set-ifmanager $handover
$handover nd_mac $nd_mn [$iface1 set mac_(0)] ;#to know how to
send RS
$nd_mn2 set-ifmanager $handover
$handover nd_mac $nd_mn2 [$iface3 set mac_(0)] ;#to know how to
send RS
$nd_ue set-ifmanager $handover

set ifmgmt_cn [$router0 install-default-ifmanager]

# l'installation de module MIH dans le noeud multi-interface
set mih [$multiFaceNode install-mih]

$handover connect-mih $mih ;#create connection between MIH and
iface management

# l'installation MIH dans AP/BS
set mih_bs [$bstation802 install-mih]
set tmp_bs [$bstation802 set mac_(0)]
$tmp_bs mih $mih_bs
$mih_bs add-mac $tmp_bs

set mih_bs [$bstation802_16 install-mih]
set tmp_bs [$bstation802_16 set mac_(0)]
$tmp_bs mih $mih_bs
$mih_bs add-mac $tmp_bs

#
#création de trafic entre router0 and Multi interface node
#

# création de l'agent TCP et attacher au nœud multi-interface
set tcp_(0) [new Agent/TCP/FullTcp]
$multiFaceNode attach-agent $tcp_(0) $iface0 ;# new
command: the interface is used for sending
set app_(0) [new Agent/Null] ;#we can use this or the next line

# création de l'agent TCP et attacher au router0
set tcp_(1) [new Agent/TCP/FullTcp]
$ns attach-agent $router0 $tcp_(1)
# Create a CBR traffic source and attach it to tcp_(1)
set cbr_(0) [new Application/Traffic/CBR]
$cbr_(0) set packetSize_ 1000
$cbr_(0) set interval_ 0.5
$cbr_(0) attach-agent $tcp_(1)

```

```

# connecter les deux agents TCP
$handover add-flow $tcp_(0) $tcp_(1) $iface0 1
$tcp_(0) listen
puts "tcp stream made from [$router0 node-addr] and [$iface0
node-addr]"
# do registration in UMTS. This will create the MACs in UE and
base stations
$ns node-config -llType UMTS/RLC/AM \
    -downlinkBW 384kbs \
    -uplinkBW 384kbs \
    -downlinkTTI 20ms \
    -uplinkTTI 20ms \
    -hs_downlinkTTI 2ms \
    -hs_downlinkBW 384kbs

# la création de hs-dch
set dch0 [$ns create-dch $iface0 $tcp_(0)]
$ns attach-dch $iface0 $handover $dch0
$ns attach-dch $iface0 $nd_ue $dch0

# Maintenant nous pouvons enregistrer le module de MIH avec tout
les MACs
set tmp2 [$iface0 set mac_(2)] ;#in UMTS and using DCH the MAC to
use is 2 (0 and 1 are for RACH and FACH)
$tmp2 mih $mih
$mih add-mac $tmp2 ;#inform the MIH about the local
MAC
set tmp2 [$iface1 set mac_(0)] ;#in 802.11 one interface is
created
$tmp2 mih $mih
$mih add-mac $tmp2 ;#inform the MIH about the local
MAC
$mih add-mac $tmp2 ;#inform the MIH about the local
MAC
set tmp2 [$iface3 set mac_(0)] ;#in 802.16 one interface is
created
$tmp2 mih $mih
$mih add-mac $tmp2 ;#inform the MIH about the local
MAC

$ns at 10 "$cbr_(0) start" ;#we should make sure we have UMTS
link up before starting to send.

$ns at 0 "[eval $iface0 set mac_(2)] disconnect-link" ;#UMTS UE

$ns at 3 "$nd_bs start-ra"

```

```
$ns at 3 "$nd_bs2 start-ra"
```

```
$ns at 9 "[eval $iface0 set mac_(2)] connect-link"      ;#umts  
link
```

```
$ns at 60 "finish"
```

```
puts " Simulation is running ... please wait ..."  
$ns run
```

Annexe A2

Calcul du taux des paquets perdus :

```

BEGIN {nb_paquet=0;nb_perd=0;}

/^s/ && /-lt tcp/ && /-Pn cbr/ {nb_paquet++;}

/^d/ && /-lt tcp/ {nb_perd++;}

END {

taux=nb_perd/nb_paquet
print ("nombre total des paquets ="nb_paquet)
print ("nombre des paquets perdus="nb_perd )
print ("taux des paquets perdus="taux )
}

```

Calcul du délai moyen de transmission des paquets :

```

BEGIN {highest_packet_id = 0;}

{

time = $3;

packet_id =$41;

if (packet_id > highest_packet_id)

highest_packet_id = packet_id;

}

/^s/ && /-lt tcp/ { send_time[packet_id] = time;

}

/^r/ && /-lt tcp/ { rcv_time[packet_id] = time;

}

END {

total_delay = 0;

packet_no=1;

for (packet_id = 0; packet_id <=highest_packet_id; packet_id++){

if ((send_time[packet_id]!=0) && (rcv_time[packet_id]!=0)){

```

```
    start = send_time[packet_id];
    end = rcv_time[packet_id];
    packet_duration = end-start;}
else
    packet_duration = -1;
if (packet_duration > 0){
    packet_no++;
    total_delay = total_delay+packet_duration;
}
}
DM=total_delay/packet_no;
print ("-----" )
print ("total delay = " DM )
print ("-----" )
```

Publications

- ❖ Abderrezak Djemai, Mourad Hadjila, Mohammed Feham. Performances Evaluation of Inter-System Handover between IEEE802.16e and IEEE802.11 Networks. International Journal of Computer Science and Information Security (**IJCSIS**), Vol. 9, No. 6, 2011.
- ❖ Djemai, M. Hadjila, M. Feham. Performance Analysis of the Interconnection between WiMAX and UMTS Using MIH Services in MIPv6. International Journal of Computer Science and Network Security (**IJCSNS**), VOL.11 No.8, August 2011.
- ❖ Abderrezak Djemai, Mourad Hadjila, Mohammed Feham. PERFORMANCES EVALUATION OF INTEROPERABILITY BETWEEN HETEROGENEOUS WIRELESS NETWORKS. **IJNMT** Vol. 3, No. 2, (July-December 2012) pp. 85-94

Performances Evaluation of Inter-System Handover between IEEE802.16e and IEEE802.11 Networks

Abderrezak Djemai¹, Mourad Hadjila², Mohammed Feham³

STIC laboratory, University of Tlemcen, Algeria

¹djemai_tlm@yahoo.fr, ²mhadjila_2002@yahoo.fr, ³m_feham@mail.univ-tlemcen.dz

Abstract— This article presents the mechanisms to be implemented for analyzing the performances of the inter-system handover between WiFi and WiMAX networks. The presence of an entity of handover is significant so that the mobile terminal supports both technologies enabling it to make heterogeneous transfers. In this paper, we propose the development of a software platform able to manage the interoperability between WiMAX and WiFi with uninterrupted communication.

Keywords- Networks, Wireless, WiFi, WiMAX, Handover, Packets.

I. INTRODUCTION

The wireless data networks knew a true explosion since the end of the Nineties to make connection to Internet. Wireless environment presents many differences with the world of the wired networks in particular at the level of the low layers in communications which are the physical and data links layers.

The routing of the data towards and since wireless mobile equipment is a crucial problem especially between two different networks. Times of interruption of the communications can make these last unusable or not easily understanding (i.e. such as for example in the case of a videoconference). Thus, this operation consists in defining new protocols and network mechanisms for a minimization or a suppression of times of interruption.

The last decade was marked by the emergence of many wireless technologies such as Bluetooth 802.15 or the WiFi (Wireless Fidelity) 802.11.

The most recent technology which makes today great development in the field of the wireless transmission is WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) [1]. Appeared in June 2001, WiMAX is now the network of access to large band more requested thanks to its new performances of the data rate and the range.

The remainder of this paper is organized as follows: section I presents a brief description of WiFi and WiMAX technologies. Section II is devoted to the concepts of handover WiFi-WiMAX and handover WiMAX-WiFi. Section III is reserved for the results of simulation and finally we conclude this paper.

II. WiFi AND WiMAX TECHNOLOGIES DESCRIPTION

A. WiFi Overview

WiFi is a high rate wireless transmission used to connect laptops or any type of peripheral in a range of several tens of meters in indoor applications to several hundreds of meters in open space.

WiFi networks present a multitude of functionalities which come from fixed and mobile communications world. These functionalities allow them to be more reliable, providing the several services to the users.

The principal functionalities of a WiFi network are:

- The fragmentation and the re-assembly which allow avoiding the problem of transmission of important volumes of data thus decreasing the error rate.
- The mobility management.
- Variation of the transmission rate according to the radio environment.
- The insurance of a good quality of service.

Figure 1 illustrates the WiFi network topology.

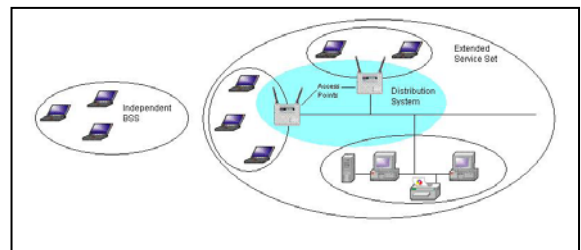


Figure 1. WiFi network topology

B. WiMAX Overview

WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) is a hertzian solution for WMAN networks. It is based on the standard IEEE 802.16, validated in 2001 by the international agency of IEEE standardization.

The initial version of the standard works in the band (10-66) GHz and requires a line of sight (LOS) between the transmitter and the receiver. However, the extension 802.16a, works in the band (2-11) GHz, adapted better to the

regulations, and allows a transmission in no line of sight (NLOS) space.

WiMAX would be an alternative to wired broadband technologies. It would reinforce the connection in terms of capacity, rate and coverage. Its transmission capacities are theoretically of 70 Mbps for a range of 50 km. In practice, it allows a transmission rate of 10 Mbps for a range of 20 Km.

Figure 2 shows the WiMAX network architecture.

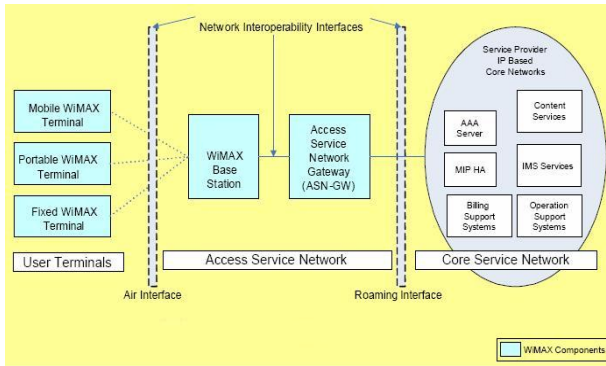


Figure 2. WiFi network architecture

C. Comparison between WiMAX and WiFi

The table I recapitulates the difference between WiFi and WiMAX technologies.

TABLE I. TECHNICAL SPECIFITIES OF WiFi AND WiMAX TECHNOLOGIES

Parameter	Wifi 802.11	WiMAX 802.16	Difference
Range	About 300 meters maximum	Up to 45 Km-cells of 5 to 10 Km	The physical layer of 802.16 tolerates timeouts (reflections) through the implementation of 256 FFT (Fast Fourier Transform) as against 64 for 802.11
Coverage	Optimized for short range inside	Long-range optimized for outdoor use	802.16 has better penetration through obstacles to longer distances
Adaptability	Designed for LANs, is for a dozen users, band sizes of fixed frequencies (20 MHz)	Designed to support up to 100 users, sizes of bands varying from 15 to 20 MHz	802.11 MAC protocol uses a CSMA/CA while 802.16 uses TDMA. 802.16 can use all the available frequencies whereas 802.11 is limited
Bit rate	2.7 bps/Hz or up to 54 Mbps in 20 MHz	5 bps/Hz or up to 100 Mbps in 20 MHz	Higher frequency coupled with error correction providing better use of spectrum
Quality of Service (QoS)	quality of service support (802.11e)	Integrated in MAC at different layers	802.11 avoids collisions of messages via CSMA/CA. 802.16: same frequency but spread overtime (TDMA)

III. HANDOVER

The handover [2] is the mechanism which ensures the continuity of the connection of one MSS (Mobile Subscriber

Station) during its displacement of the coverage area of a Base Station (BS) to another.

The standard 802.16e supports three types of Handover which are:

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

The Hard handover is obligatory, as for the two others they are optional.

A. Hard Handover

During the Hard Handover, the MSS communicates with several BS at the same time. The link with the old BS is cancelled before the establishment of the new one. The handover is carried out as from the moment that the signal of the close cell is more important than that of the current BS.

Figure 3 shows the Hard Handover execution.

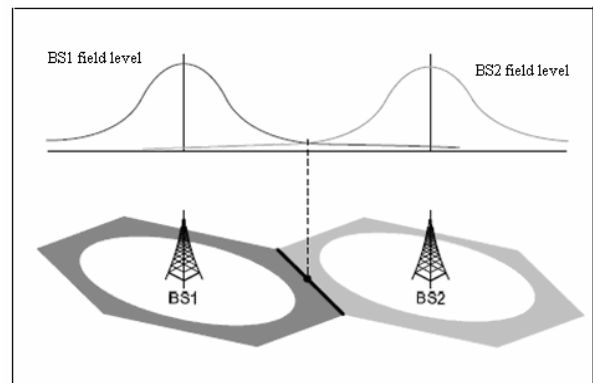


Figure 3. Hard Handover Execution

B. Macro Diversity Handover(MDHO)

While Macro Diversity Handover [3] is supported by the MSS and the BS, the whole of diversity is updated at the MSS and the BS. It should be noted that the whole of diversity is the list of the base stations participating to the procedure of Handover, whose field level is higher than a certain value.

Moreover, this list is defined for each MSS associated with the network. During Macro Diversity Handover, the MSS who takes part in the procedure of Handover communicates with all the base stations belonging to the whole of diversity. During the procedure of MDHO, in the downlink direction, two base stations or more transmit data to the MSS so this creates diversity in reception. In the uplink direction, the transmissions from the MSS are received by several base stations.

The following figure illustrates the architecture of Macro Diversity Handover.

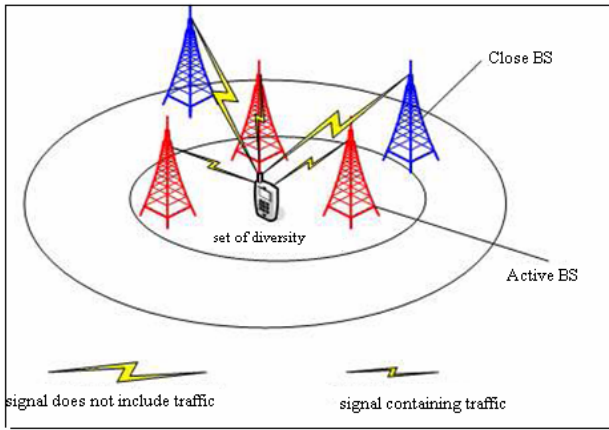


Figure 4. Macro Diversity Handover

C. Fast Base Station Switching (FBSS)

The principle is more or less similar to that of the MDHO in the sense that there is always the overall concept of diversity. With the difference here, that the mobile subscriber station chooses a base station from the whole of diversity to become its principal base station. The principal base station is the only base station with which the mobile subscriber station exchanges traffic at the same time in the uplink and downlink, by including the messages of management. It is also with this BS that the MSS is recorded, synchronized or is made its control in the downlink. However, with each transmitted frame, the MSS can change the principal base station as shown on figure 5.

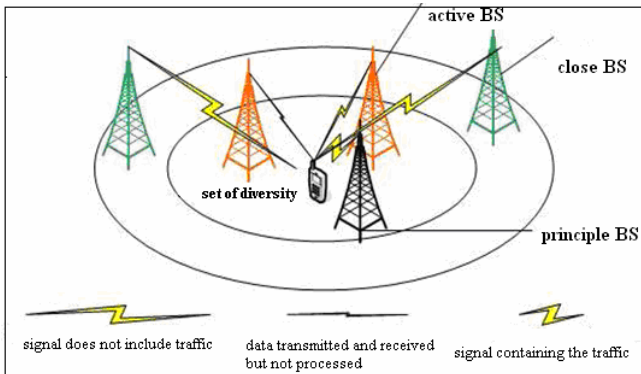


Figure 5. Fast Base Station Switching

IV. NECESSARY SIMULATION MODULES

Neighbor Discovery (ND), the module Media Independent Handover (MIH) and the mobility management module (MIPv6) are the key elements used in the code of simulation.

A. Neighbor Discovery (ND)

The module ND is used to provide the detection of movement of layer 3. In the network, the BS sends periodically messages RAs (Router Advertisement) to inform the Mobile Nodes (MNs) about the prefix of network. The ND agent located in MN receives these RAs and determines if the

message contains a new prefix and informs the director of interface. A timer is associated with the prefix. When the prefix is expired, an opinion is sent to the director of interface. The implementation also supports RS (Router Solicitation) to make it possible a MN to discover a new BS after Handover.

B. Media Independent Handover (MIH IEEE 802.21)

The realization of handover between heterogeneous networks of access in a transparent way from the point of view of the mobile user (without interruption nor deterioration) requires the taking into account of certain concepts such as continuity of service, quality of service, the discovery and the selection of the network [4], [5].

Thus the work group IEEE 802.21 created a basic architecture which defines a function MIHF "Media Independent Handover Function" which will help the mobile systems to carry out a handover without service interruption between heterogeneous networks such as IEEE 802.3 (wire LAN), IEEE 802.11x (wireless LAN), IEEE 802.16e (mobile WiMAX network), GPRS and UMTS (mobile network 3G).

The IEEE 802.21 standard [4] is the development of an architecture that enables service continuity in a transparent manner when the mobile terminal (MN) moves between two heterogeneous networks in data link level.

A set of functions to optimize the handover is defined in the protocol stack of mobility management MME (Mobility Management Entity) of network elements and there is a creation of a new entity called MIHF (Media Independent Handover Function). It works on layer 3 and can communicate between local and remote interfaces which can be in contact via another MIHF.

This is illustrated on the figure 6.

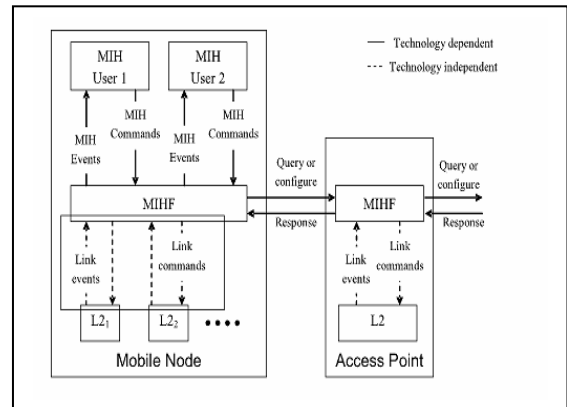


Figure 6. Overall picture of design of MIH [6], [7]

C. MobilityManagement Module (MIPv6)

MIPv6 describes the mobility management of IPv6 terminals. This mobility allows that an IPv6 terminal is always reachable whatever its localization in the Internet and its connection remain active in spite of its displacement.

The figure 7 contains several actors:

- The mobile node (MN): is the IPv6 terminal which can move.
- The agent mother (Home Agent, HA): is equipment of network which manages mobility with the manner of a HLR in cellular networks.
- Correspondent Terminal (Correspond Node, CN): is an IPv6 terminal with which the MN has or will have an active connection.

One distinguishes two types of networks on which MN can come to be connected:

- **Network mother** is the network of MN origin, or it is addressable by its address mother (HA: Home Address).
- **Visited network** is the network where MN moves. At the time of its arrival in this type of network, MN recovers thanks to the self-configuration mechanism of IPv6 [8], [9] a topologically correct IPv6 address called temporary address (Care-of Address).

The basic principle of IPv6 Mobile is that MN is always addressable by its address mother, whether it is in its network mother or in a visited network.

If MN is in its network mother, the routing of the packets is carried out in a standard way, while being based on the tables of the routers. MN is neither more nor less than one “fixed” IPv6 terminal.

If MN carries out a movement to go on a visited network, this one recovers a temporary address on this network; i.e. pertaining to the prefix used on this bond of the network. It records its new position near the agent mother, thanks to a message called Binding Update (BU) comprising at the same time its address mother and its temporary address, and awaits a confirmation of its share in the form of a message called Binding Acknowledgment (BA). The agent mother plays the part of proxy and intercepts all the packets intended for the address mother to direct them towards the new MN position – i.e its temporary address “primary”.

MN announces its new position to the correspondent with which it was in communication, always thanks to the BU and BA messages, in order to optimize the communications (the communications will not be sent any more to the address mother then directed by the agent mother towards the temporary address “primary”, but directly sent from the correspondent terminal to the mobile node).

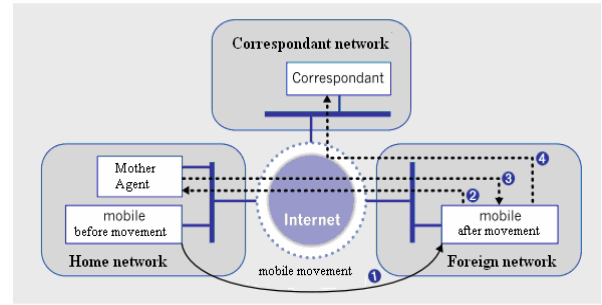


Figure 7. Basic mechanism of IPv6 mobility

Figure 8 shows Optimization of the routing between the correspondent and the mobile. If another correspondent CN wants to communicate with MN, it sends its first packet to the address mother of MN, where the HA plays its part of proxy and transfers the packet towards the MN. After the arrival of a transferred packet, this last can choose to announce to the correspondent his current location, thus allowing a direct communication between CN and MN.

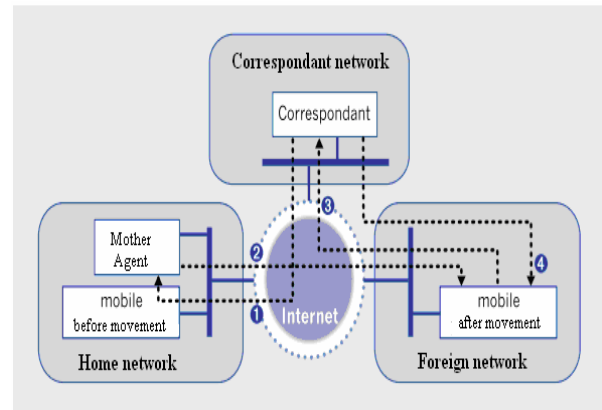


Figure 8. Optimization of the routing between the Correspondent and the Mobile

V. SIMULATION AND RESULTS

The results shown in this part are obtained by NS2 simulator. NS2 is a software tool for simulation of data-processing networks. It becomes today a standard of reference in this field. The software is runnable as well under Unix as under Windows. The Simulator is composed of an application program interface in TCL and a core written in C++ in which the majority of the protocols networks were implemented.

A. Scenario of Simulation

In this part we consider a simple topology including a multi-interface node supporting two technologies WiFi and WiMAX. The mobile node (MN) establishes a connection with CN (Correspondent Node).

Let us suppose that the MN employs at the beginning the WiMAX interface, one commutes the traffic with the WiFi interface when it becomes available.

The figure 9 describes the four essential components of our scenario:

- Router 0 (CN)
- Router1 (Gateway)
- WiMAX Base station (BS 802.16)
- Access point WiFi (AP 802.11)
- Mobile node (MN)

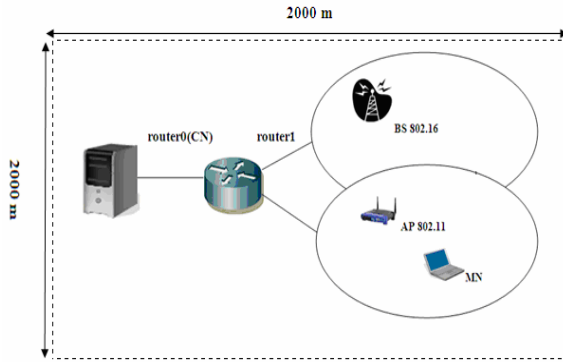


Figure 9. Topology of the scenario (2000m X 2000m)

B. Parameter Setting and Configuration of the Networks

Before being able to use the simulator, the topology of the network and the need for each node must be described in a TCL file which will be then read by the simulator. The parameters and the configurations defined in this file are the following:

1) Simulation parameters:

Table II represents the configuration of the simulation parameters.

TABLE II. SIMULATION PARAMETERS

Parameters	Signification
Traffic_start	= 05s : traffic start
Traffic_stop	= 70 s: traffic end
Simulation_stop	= 70s : simulation end
Seed	RNG (Random Number Generator) fixed at 1 for all simulated scenarios

2) WiMAX Network parameters:

Table III describes the configuration of the WiMAX network parameters.

TABLE III. WiMAX NETWORK PARAMETERS

Parameters	Signification
Channel/WirelessChannel	Channel type : Wireless
Propagation/TwoRayGround	Radio propagation model : 802.16
Phy/WirelessPhy /OFDM	Network interface type : 802.16
Mac/802_16	MAC layer type 802.16
Queue/DropTail/PriQueue	Queue interface type
LL	Link layer type 802.16
Antenna/OmniAntenna	Antenna model
50	Maximum queue size
adhocrouting	Used routing protocol. In this case DSDV

Table IV gives the WiMAX base station parameters.

TABLE IV. PARAMETERS OF WiMAX BASE STATION

Parameters	Signification
WiMAX cell coverage	1000 m
Pt	0.025w
RXThresh	1.26562×10^{-13} w
CSThresh	$0.8 \times [1.26562 \times 10^{-13}]$ w

3) WiFi Network parameters:

Table V describes the configuration of the WiFi network parameters.

TABLE V. WiFi NETWORK PARAMETERS

Parameters	Signification
Channel/WirelessChannel	Channel type : Wireless
Propagation/TwoRayGround	Radio propagation model : 802.11
Phy/WirelessPhy	Network interface type : 802.11
Mac/802_11	MAC layer type 802.11

Table VI represents the configuration of the Access point WiFi.

TABLE VI. PARAMETERS OF THE ACCESS POINT WiFi

Parameters	Signification
WiFi coverage	20 m
Pt	0.025 w
freq	2.412 GHz
RXThresh	6.12277×10^{-9} w
CSThresh	$0.9 \times [6.1227 \times 10^{-9}]$ w

C. Performance evaluation of the Handover

This part contains the results of the simulated scenarios and the analysis of the influence of metric used in the execution of vertical handover WiFi-WiMAX in two directions: WFWXHO (handover WiFi towards WiMAX) and WXWFHO (handover WiMAX towards WiFi).

This metric concern the lost packets rate and it is given by:

$$Loss\ Packets\ Rate = \frac{\text{number of lost packets}}{\text{total number of generated packets}} \quad (1)$$

1) *Handover WiFi-WiMAX (WFWXHO)*: The simulated scenario consists to transfer the traffic between the router 0 (CN) and the MN which linearly moves from WiFi network to WiMAX network.

Figure 10 shows the simulation model of WiFi-WiMAX Handover.

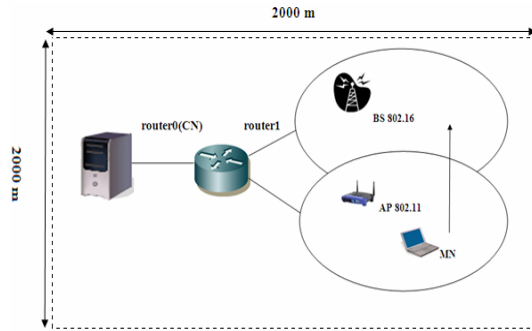


Figure 10. Simulation model (WFWXHO)

Figure 11 depicts the evolution of the lost packets rate according to the simulation time.

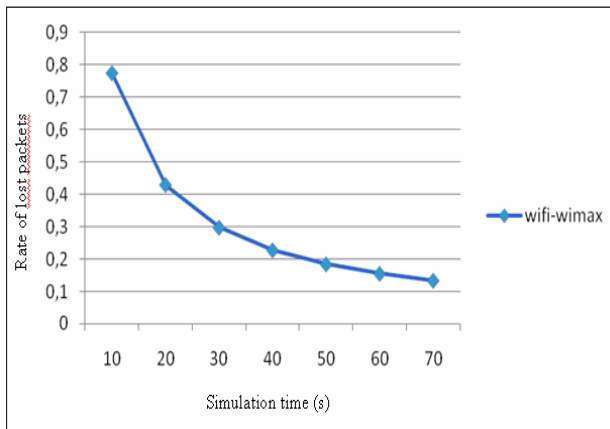


Figure 11. Evolution of lost packets rate (WFWXHO)

According to this figure we deduce that:

- For a weak time of simulation the number of the lost packets is very high.
- When the time of simulation is increased the number of the lost packets falls; that means that when the MN moves from a network mother (WiFi) towards a visited network (WiMAX), it communicates initially with its agent mother (with messages BA and BU) to assign her new position to him and thus to ensure the redirection of the packets to him.
- If we examine the files traces generated, we find that the destruction of the packets is due to the time of establishment of a new localization where the mobile

does not receive any more of the packets of the old base station.

2) *Handover WiMAX-WiFi (WXWFHO)*: In this part, we suppose that the mobile was initially connected to the WiMAX network, when it leaves the coverage area, it commutates the traffic on the WiFi interface.

Figure 12 illustrates the simulation model of WiMAX-WiFi Handover.

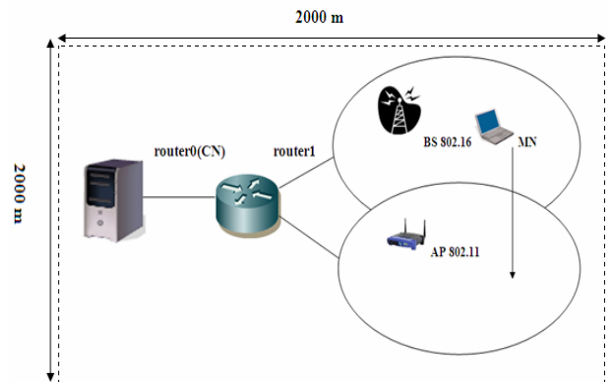


Figure 12. Simulation model (WXWFHO)

Figure 13 shows the evolution of the loss packets rate according to the simulation time.

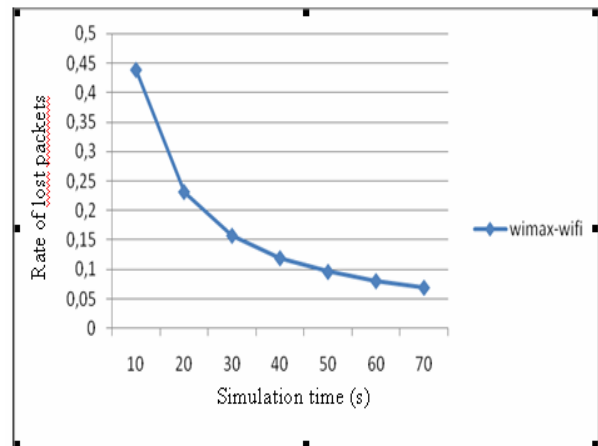


Figure 13. Evolution of lost packets rate (WXWFHO)

3) *Comparative Study*: In This part, we will make the comparison between the two types of handover WFWXHO and WXWFHO according to time of simulation and the transmission speed of MN.

Figure 14 presents the evolution of the lost packets rate according to simulation time.

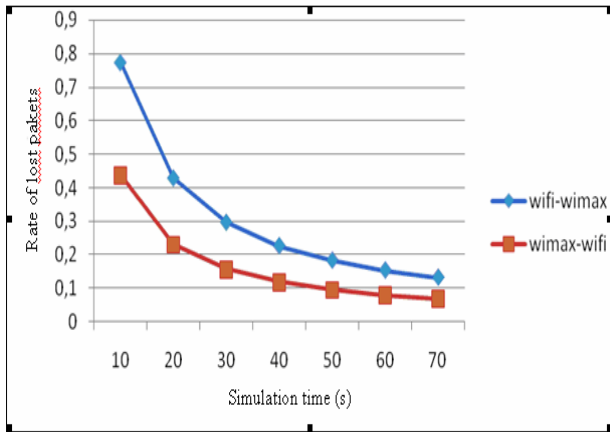


Figure 14. Comparison between WFWXHO and WXWFHO according to time.

For various simulation times, the number of the lost packets during the execution of WFWX handover is more important compared to that of WXWF Handover.

The figure 15 shows evolution of the lost packets rate according to the speed of the mobile.

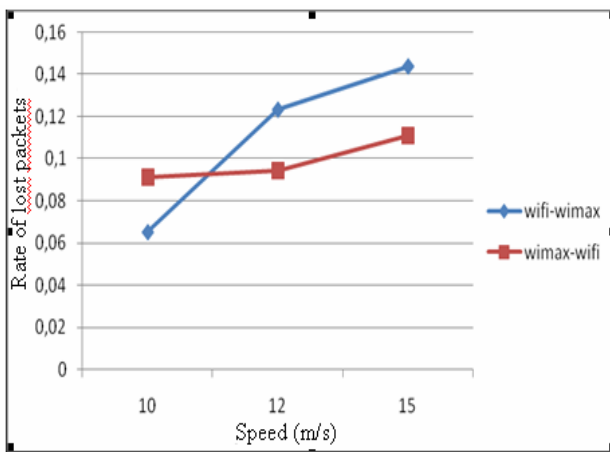


Figure 15. Comparison between WFWXHO and WXWFHO according to speed.

When mobility is small (10-11m/s), the number of the lost packets of scenario (WiFi-WiMAX) is lower than that of (WiMAX-WiFi), but this is opposite when speed is increased.

VI. CONCLUSION

In this paper, we considered the calculation of the lost packets rate to evaluate the performances of the inter-system handover between the two wireless networks WiFi and WiMAX in the two directions WFWXHO and WXWFHO.

The implementation of the modules such as MIH (module developed by IEEE 802.21) and MIPv6 (module of the management of mobility) is necessary to support the Vertical Handover.

The standard IEEE 802.21 is a standard under development to offer a handover and ensures interoperability between heterogeneous networks.

Handover for Mobile IPv6 (MIPv6) was accepted as a more or less effective solution of handover for applications of the types UDP such as the voice to solve the problems of lost packets.

Following the analysis carried out of these practical challenges, an architecture of development was proposed to be able to simulate a scenario supporting various types of applications between an access point WiFi and an access point 802.16 e.

As a perspective for this work, it would be interesting to consider other scenarios of simulation, which could illustrate the effect of the load of the mobile nodes on the performances of the vertical handover between WiFi and WiMAX or other types of applications such as FTP, TELNET...

REFERENCES

- [1] J. G. Andrews, A. Ghosh, R. Muhamed, "Fundamentals of WiMAX: Understanding Broadband Wireless Networking," Prentice Hall PTR, Feb, 2007.
- [2] Sik Choi, Gyung-Ho Hwang, Taesoo Kwon, Ae-Ri Lim, and Dong-Ho Cho, "Fast Handover Scheme for Real Time Downlink Services in IEEE 802.16^e BWA System", May.2005.
- [3] Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE standard for local and metropolitan area networks- Part 21: Media Independent Handover, in: IEEE std 802.21-2008, vol. 21, 2009 pp.C1-C301.
- [4] 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, Sep.2006.
- [5] IEEE 802.21, DCN 2105-0240-01-0000-Joint_Harmonized_MIH_Proposal_Draft_Text.doc, May, 2005.
- [6] NIST, The Network Simulator NS-2 NIST add-on-IEEE802.21 model (based on IEEE P802.21/D03.00)-Draft 1.0, <http://w3.antd.nist.gov/seamlessandsecure/files/mobility/doc/MIH-module.pdf> (January, 2007)
- [7] Yoon Young An, Byung Ho Yae1, Kang Won Lee, You Ze Cho, and Woo Young Jung, "Reduction of Handover Latency Using MIH Services in MIPv6", IEEE Proceedings of the 20th International Conference on AINA'06, june.2006.
- [8] G. Cizault, "IPv6 Théorie et pratique", paris, O'reilly, 1998.
- [9] R. Koodli(Ed.), "Fast Handover for Mobile IPv6," IETF RFC 4068, Jul. 2005.

Performance Analysis of the Interconnection between WiMAX and UMTS Using MIH Services in MIPv6

A. DJEMAI, M. HADJILA, M. FEHAM

STIC Laboratory, Department of Electronics, University of Tlemcen, Tlemcen, Algeria

Summary

This article analyzes the performance of vertical handover between UMTS and WiMAX networks by defining development architecture for supporting mobility between these two technologies. First, architectures and principles of operation of networks UMTS and WiMAX are detailed and compared. Then the main protocols of mobility are considered as support of handover between UMTS and WiMAX (802.16). Finally, simulation architecture is presented followed by performance analysis modelled by the simulator NS2 in the context of connection-oriented communication.

Key words: Networks, Wireless, UMTS, WiMAX, Handover.

1. INTRODUCTION

In the early 21st century, mobile telecommunications systems are evolving very rapidly. The development of relevant technologies and the radical change of applications and customer requirements have led to diversification and undeniable growth in wireless communication services. Because of the simplicity and convenience of these technologies, the last decade was marked by the emergence of many wireless technologies such as Bluetooth 802.15 or WiFi (Wireless Fidelity) 802.11.

The new technical ways of radio access (UMTS, WiFi and WiMAX) are in competition with GSM. The next generation of mobile networks will allow users to use mobile broadband services capable of transmitting voice, images, data and video anywhere and anytime.

WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) is now the network of broadband access as requested by its new performance in throughput and range. WiMAX is also known as IEEE 802.16, this standard does not cease, since its birth, knowing successive evolutions and to mark undeniable successes on the level of the services offered and the progress made in its field.

Indeed, this standard has only failed to reduce and solve the problems of remote areas deprived of ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) networks and channels, but also it comes to open new opportunities by providing a highly anticipated and portability demanded by customers at the market.

The UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) or mobile network of third generation is a wireless mobile communication system capable of being medium, in particular innovative multimedia services, and combine the use of terrestrial and satellite devices.

With the integrated convergence between these technologies, we can provide a mobile terminal (smart phone, touch pad...) as well as WiMAX terminal (receiver) or communications transmitter via UMTS.

This dual-mode operation (UMTS-WiMAX) will move from one network to another without closing the connection.

The remainder of this paper is organized as follows: Section II is devoted to the presentation of general concepts of UMTS and WiMAX networks. In the third section, there will be detailed handover mechanisms for each system with the mobility management of both networks. The fourth part presents the modeling of horizontal handover networks of WiMAX network and vertical handover between UMTS and WiMAX. Finally, a conclusion closes this paper.

2. UMTS and WiMAX Networks

2.1 UMTS network

Universal Mobile Telecommunication System (UMTS) is also more generally the new standard of mobile telephony, called telephony of third generation or 3G. The purists prefer to use the term W-CDMA (Wideband Code Division Multiple Access) which takes again the name of the technology deployed in Europe and by certain Asian operators. This technology makes it possible to make forward more data and will allow the appearance of multimedia contents on the mobile phones such video-telephony. We will speak then rather about terminals multimedia. Thus, in addition to these technological changes, the third generation must answer the concept of quality, variety, capacity and coverage [1]. The organization ITU (International Telecommunications union) which regulates the various standards of telecommunications on a world level aimed to define a single and international standard for the third generation:

the IMT-2000. But this has failed since no less than fifteen radio access technologies have been proposed. In the end, only 6 terrestrial radio access technologies have been kept: UTRA-FDD, UTRA / TDD, TD-SCDMA, CDMA2000, UWC-136, DECT. UMTS in turn includes the first two technologies.

2.1.1 Structure of UMTS network

A UMTS network is based on a modular and flexible architecture. Thus, these two characteristics, which make it compatible with other mobile networks of second and third generation, guarantee its evolution. The general architecture of a network UMTS is made up of three fields (figure 1):

- The equipment user: EU (To use Equipment).
- The network of universal access: UTRAN (Universal Terrestrial Radio operator Network Access).
- The core network: CN (Core Network).

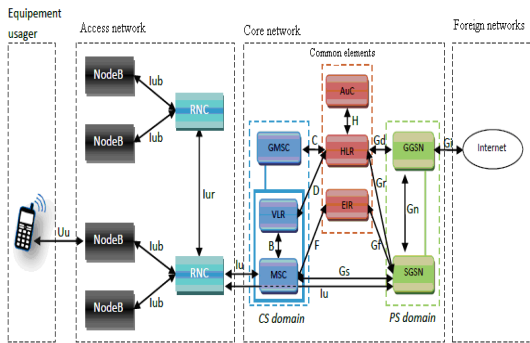


Fig. 1: Global architecture of UMTS network

- a- **User Equipment:** The domain of the User Equipment (UE) includes the set of the terminal equipment.

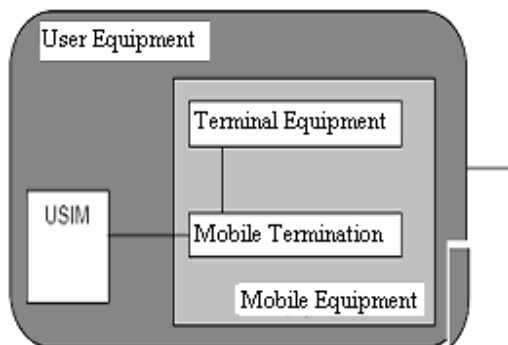


Fig. 2: User Equipment

It includes at the same time the mobile equipment and the USIM. This domain allows the user to reach the infrastructure via the Uu interface.

The mobile equipment is subdivided in two parts as depicted in figure 2:

- The Terminal Equipment (TE) is the part where information data are generated in transmission or reception processing.
 - The Mobile Termination (MT) which ensures the transmission of information towards network UMTS or others and applies the functions of errors correction.
- The USIM (Universal Subscriber Identity Module) is an application that manages the authentication procedures and encryption as well as services to which the subscriber has subscribed. The USIM is a card called UICC (UMTS Integrated Circuit Card). It can be used on a UMTS terminal regardless of the manufacturer usually the network operator: map combines a subscriber to one or more service providers and not necessarily the operator of the current network [2].

- b- **Access Network:** The domain of the access network (as shown in figure 3) (UTRAN) provides to the Equipment User the radio resources and the mechanisms necessary to reach the core network. The UTRAN calls upon technology UTRA, with its two alternatives FDD and TDD, founded on the access method broad band CDMA.

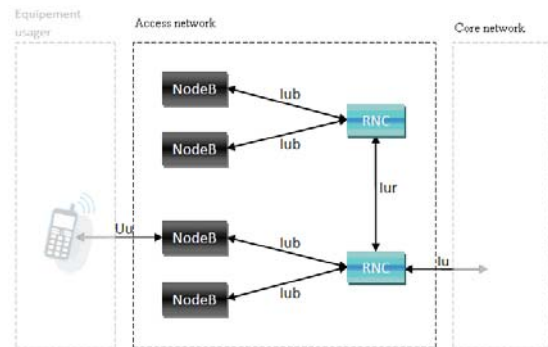


Fig. 3: Structure of Access network

- c- **Core Network:** The Core Network includes all the equipment performing the functions of safety control and management of the interface with external networks (figure 4).

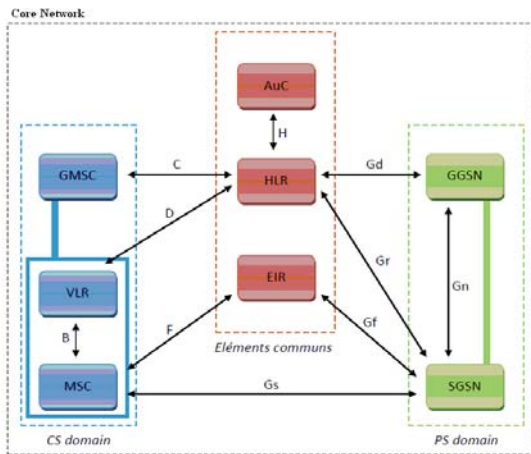


Fig. 4: Structure of UMTS core network

It is on this level that we can perceive the modularity of the UMTS network architecture. Indeed, in theory, it is possible to connect to the common core network other radio access networks (GERAN, DECT, CDMA2000, etc).

2.2 WiMAX network

Today, the wireless is increasingly present in our daily life and tends to replace the excessive use of cables. Since a few years, WiFi has revolutionized the networks but we speak already about a new technology: WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access).

Although broadband connections such as ADSL are increasing in the world, they do not allow the flexibility afforded by such a WiFi wireless network. However, WiFi allows only flow and reach very low at the same time making its use limited.

WiMAX aims to provide wireless broadband Internet in a radius of several kilometers and is intended primarily for metropolitan networks.

Figure 5 shows an example of the WiMAX network.

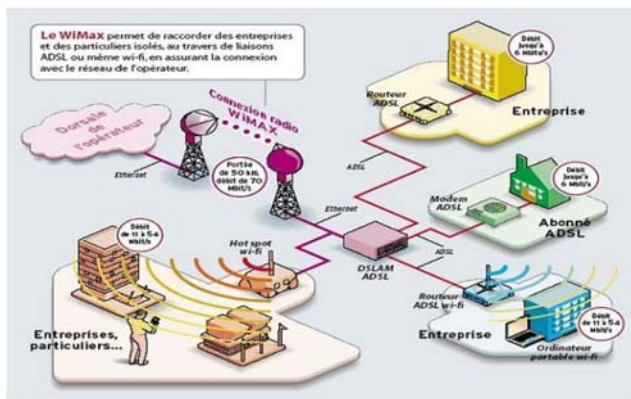


Fig. 5: Example of WIMAX network [3]

The first deployments in WiMAX are expected to allow remote areas, underserved by DSL or cable or wishing to take advantage of a wireless connection, to have a broadband Internet access. WiMAX development could therefore play an important role in the regional digital development.

With version 802.16e, WiMAX will be available for deployment in laptops with nomadic and mobile usage. Some manufacturers consider thus that the 802.16e standard constitutes an important issue for the launch of 4G mobile [4].

Mobile WiMAX opens the way for mobile telephony over IP, or more broadly to mobile broadband. The theoretical maximum throughput is 30 Mbps for a range of 2 to 4 Kilometers without obstacles.

The table below summarizes the technical characteristics of the most important standards namely IEEE 802.16, IEEE 802.16d and IEEE 802.16e.

Table 1: Technical specificities of the IEEE 802.16x various standards [4]

Parameters	802.16	802.16d	802.16e
Spectrum	10-66 GHz	< 11 GHz	< 6, 11 GHz
Channel conditions	Only LOS	NLOS	NLOS
Flow	32 to 134 Mbps at 128 MHz	Up to 75 Mbps at 20 MHz	Up to 15 Mbps at 5 MHz
Modulation	QPSK, 16-QAM, 64-QAM	256-OFDM, QPSK, 16-QAM, 64-QAM	256-OFDM, QPSK, 16-QAM, 64-QAM
Mobility	Fixed	Fixed	Nomandism
Bandwidths	20, 25 and 28 MHz	The choice between 20 and 125 MHz	As 802.16a with uplink channel to keep power
Typical cell radius	1.61 – 4.83 Kms	4.83 – 8.05 Kms	1.61 – 4.83 Kms

2.2.1 Elements of the network IEEE 802.16e

As mentioned the goal of extending "e" is to provide access nomadic / mobile.

In the IEEE 802.16e [4], there is no detailed model of reference as those presented in the section of the UMTS technology. However, the network elements are presented in a model system for mobile communications.

The model of reference is composed in groups of basic station BSs (Base Station) serving a mobile station MSS (Mobile Subscriber Station) in a given geographical sector. The BS is connected to the backbone via a cable or radio link in a manner representing the administrative affiliate network provider.

Different providers can cohabit their networks in the same areas. To ensure the procedures of Authorization Authentication and Accounting (AAA), management, the provisioning and other functions and objectives, the provider's networks can use specific servers. They are indicated under the name ASA-servers (Authentication and Service Authorization Servers) they are also responsible for these functionalities. The providers can put in application simple or several ASA-servers in a centralized or distributed way.

The following table describes the different mobile entities defined in IEEE 802.16 e.

Table 2: Relative mobility Entities in IEEE 802.16e [5]

Entities	Description
MSS	Mobile Subscriber Station contains physic and MAC layers
BS	Base Station
ASA Server(s)	Authorization Authentication and Accounting Server

The control of handover can be either localized or distributed in BSs in SAA server. Figure 6 illustrates a simple example where a user is approaching its target BS and creates a relationship with the server authentication and authorization service (ASA) [5].

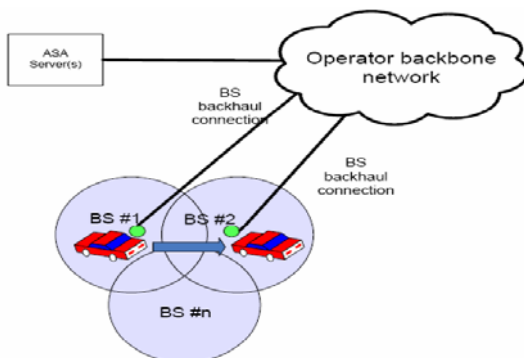


Fig. 6: IEEE 802.16e network Model [5].

2.3 Comparison between UMTS and WiMAX

Table 3 summarizes the different characteristics of both technologies.

Table 3: Comparison of UMTS and WiMAX

Parameters	UMTS	Mobile Wimax
Range	Typically 1.5 - 7 Km Pico-Cells: 50 m Micro-Cells: 500 m Macro-Cells: 7 Km	Typically 1.5 - 5 Km Pico-Cells: 100 m Micro-Cells: 10 Km Macro-Cells: 15 Km
Usage	Wireless extended network	Mobile extended network
Theoretical debit	Up to 2 Mbps (Up to 10 Mbps with HSDPA)	Up to 70 Mbps
Frequency	1800, 1900, 2100 MHz	2000 – 6000 MHz
Mobility Support	Importante Mobility: - Handover in real time (Node B/ Node B). - Support for Mobile vehicular access.	- Portable Use (Nomadic services, Limitation of layer 3 for mobile access and latency to the Handoff). - Mobility (Best effort QoS for Handoff (BS to BS)).
Modulation	WCDMA	OFDMA, FDD and TDD
Quality of Service	- Two different services real-time high. - Two different services with minimum error rate and not necessarily in real time. - Best effort service: no time constraint transmission.	- Designed to withstand constant bit rate and guaranteed. - It is intended for real-time services. - A class of service can possibly be allocated to each user connection.

3. Mechanisms of handover between UMTS & WiMAX

In this section we will detail the handover mechanisms for each system, and the mobility management of both networks, we also discuss the needs and requirements of the mobile network to support inter-system handover of UMTS and WiMAX.

3.1 Handover process

In mobile systems, the handover is a crucial process because mobile users cannot gain access to the same base station BS while moving.

The freedom to make and receive calls anywhere, at any time, creating a new dimension in human communication has often been heralded as the main advantage of new wireless systems. Handovers are the key concepts to provide mobility. It allows a user to move from one cell to another while maintaining a perfect connection and above all without interruption. In general, a handover is performed when the connection between the base station BS and the mobile terminal is more satisfying or level of traffic to a base station. The term "handover" means the entire process of deleting the existing connection and replacing it with one that will have a better connection (to the target cell). From the radio link quality obtained by

reports of measuring, the network controller is able to decide whether a handover to another cell is needed. Knowledge on the allocation of radio resources in the target cell and release of channels after the termination of the transfer are vital for a successful handover. The incapacity to establish a new connection in the target cell is regarded as a failure handover.

The delivery failure occurs in the absence of new resources in the target cell or when the radio link has dropped below acceptable levels before the call is delivered to the target cell [6].

3.2 Handover Types

The mechanism whose purpose is to allow the passage of a connection to an access point to another without interruption of service is called handover. There are two types of handover: horizontal handover and vertical handover.

3.2.1 Horizontal Handover

Horizontal handover occurs in the case of homogeneous networks (e.g. handover between NodeB of a UMTS network or between a WiMAX BS). It allows transferring traffic from one access point from one network to another access point of a network of similar technology when it comes to connection limit.

3.2.2 Vertical Handover

Vertical handover occurs in the case of heterogeneous networks. It allows transferring traffic from one access point from one network to another access point of a network of different technologies.

3.3 UMTS – WiMAX inter-system Handover

In the following, we will first describe the protocol required to support mobility between both systems UMTS and WiMAX, and we will detail the requirements for intersystem handover process. Then we will detail the handover procedure.

3.3.1 Mobile IPv6

Mobile IPv6 was initially defined as an addition to IPv4. For IPv6, the mobility support (Mobile IPv6) has been envisaged at the outset. Therefore, some problems of Mobile IPv4 have been resolved in Mobile IPv6. The major problems of the Mobile IPv4 are deployment, the triangular routing, the overhead of tunnelling and security [7], [8].

The deployment of Mobile IPv4 requires the implementation of foreign agents in each foreign network potential. This implementation suggests a reconfiguration of network coverage. The mobile IPv6 addresses this problem by eliminating all the foreign agents. It retains the ideas of home network, home agent and the use of encapsulation to route packets from the network service to the customer.

Figure 7 shows mobility management with mobile IPv6.

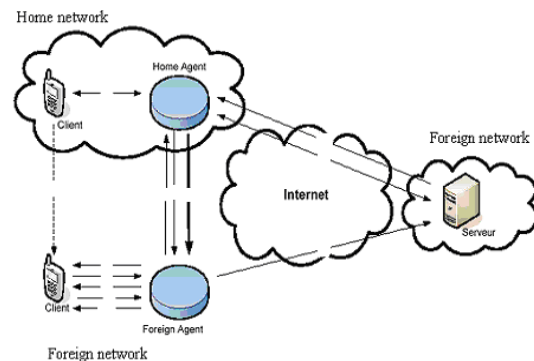


Fig. 7: Mobility management with Mobile IPv6 [7], [8]

The scenario for Mobile IPv6 is similar to Mobile IPv4 scenario. The client is initially located in its home network to a position 'A' where he established communication with a server in a foreign network through the Internet using standard IP routing mechanisms [1]. The client then changes position 'A' in the home network to 'B' in a foreign network [2].

3.3.2 Requirements of the handover

To perform inter-system handovers UMTS-WiMAX, certain requirements of the mobile terminal and network must be filled.

1) Mobile Requirements

The mobile terminal must be a dual-mode terminal that is to say equipped with a USIM for the UMTS access network and a wireless access card for access to 802.16e WiMAX network, this which allows it to operate on both networks and support handover from one network to another.

2) Network Requirements

Network interaction implies connection between UMTS and WiMAX. The UMTS network operator can provide the basis for connecting a WiMAX network. Thus we define three types of interconnection possible: the configuration tight coupling, loose coupling setup and configuration console coupling [9].

3.3.3 Inter-system Handover Procedure

The handover procedure of a mobile terminal is divided into three steps. First, some measures [10] should be conducted and compiled in a report measures. Then, a decision to handover [10], [11], [12] is taken according to the report. Finally, the handover is executed [13] if the handover decision is positive.

4. Simulation and Results

In this section, we present the simulation parameters. Then, we evaluate the performance of our achievements during the simulation.

The following figure shows the different steps of our simulation work.

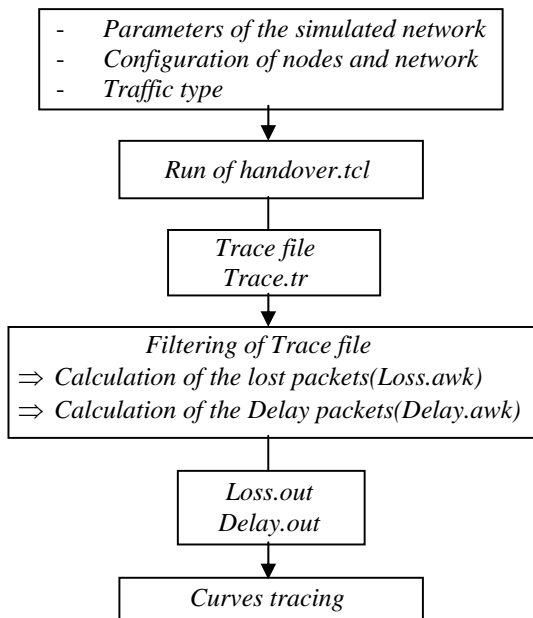


Fig. 8: Different simulation phases

4.1 Simulation parameters

4.1.1 Initial Parameters

The parameters mentioned in the table 4 are necessary for simulation.

Table 4: Initial parameters of the simulation

Parameters	Significations
Simulation time	Simulation time in second fixed at 200 sec for all simulated scenarios
Scenario size	1100 m x 1100 m
Seed	RNG (<i>Random Number</i>)

	<i>Generator</i>) fixed at 1 for all simulated scenarios
Speed	Mobile node speed (m/sec)

4.1.2 Parameters of the vertical handover(UMTS – WiMAX)

We present the parameters of inter-system handover between UMTS and WiMAX. This scenario is similar to the previous scenario except that here the handover is between two BS which belong to two different technologies. In this scenario, the node multi-interface occurs so that the mobile user supports two technologies (UMTS & WiMAX) which allow it to make a handover inter-system.

a) UMTS network parameters

Table 5 illustrates UMTS parameters.

Table 5: UMTS network parameters

Parameters	significations
UmtsNodeType (rnc)	node type (is a node type rnc)
UmtsNodeType (ue)	node type (is a node type ue)
UmtsNodeType (bs)	node type (is a node type bs)
uplinkBW	=384kbps ; flow bandwidth UL
uplinkTTI	=10ms ; transmission time interval in UP
downlinkBW	=384kbps ; flow bandwidth DL
downlinkTTI	=10ms ; transmission time interval in DL

b) WiMAX network parameters:

Table 6 shows WiMAX parameters.

Table 6: WiMAX network parameters

Parameters	significations
Channel/WirelessChannel	channel type : wireless
Propagation/TwoRayGround	radio propagation model
Phy/WirelessPhy/OFDM	interface network type
Mac/802_16	MAC layer type
Queue/DropTail/PriQueue	Queue interface type
LL	link layer type
Antenna/OmniAntenna	Antenna model
Max_queue_size	maximum queue size
hierarchical_routing_protocol	Used routing protocol (NOAH)

4.2 Lost packets rate in function of speed

To determine the packet loss during handover, any node of the Internet transmits a stream of packets periodically to the mobile node. Before a handover is carried out, the packets are conveyed along the old road. In simulation, we suppose that Correspondent Node (CN) knows in advance the last packet which will be transmitted to reach the mobile node with its old localization. It is supposed that Correspondent Node records this packet. By receiving the recorded packet, the mobile node carries out a handover and immediately transmits a packet of updated through the new base station.

The packets sent by Correspondent Node after the recorded packet are regarded as packets lost before the arrival of the updated packet, because they are sent through the old base station.

In our scenarios, we will evaluate the average rate of the lost packets which presents the ratio of the number of the packets lost on the full number of the generated packets:

$$PLR = \frac{\text{Number of packet discarded}}{\text{Total number of packet generated}} \quad (1)$$

PLR indicates the rate of the lost packets.

The figure 9 represents the rate of the lost packets according to speed for our scenario.

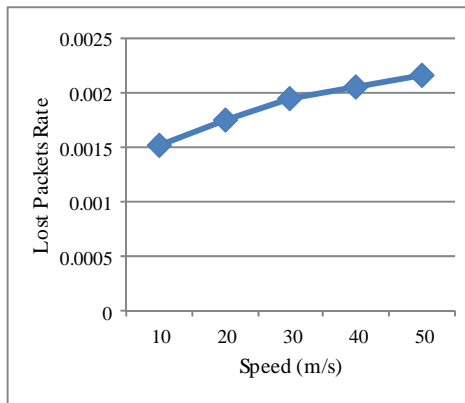


Fig. 9: Lost packets rate in function of speed

From this figure, we deduce that:

For a low mobility, the performances of the handover are satisfactory i.e. the rate of the lost packets is directly proportional with speed.

Indeed, for high speeds, the performances of the handover fall considerably.

Moreover, if we examine the files traces generated, we find that the destruction of the packets is due to the time of establishment of a new connection with the new base

station where the mobile does not receive any more of the packets of the old base station.

4.3 Performance Analysis Handover WiMAX- UMTS (WUHO)

We will evaluate the performance of the WUHO handover (WiMAX to UMTS handover).

The simulated scenario is to carry traffic on the application between the node CN (Correspondent Node) and the mobile node (MN), which moves linearly in the WiMAX network to the UMTS network with a variable speed V (m/s) (see Figure 10).

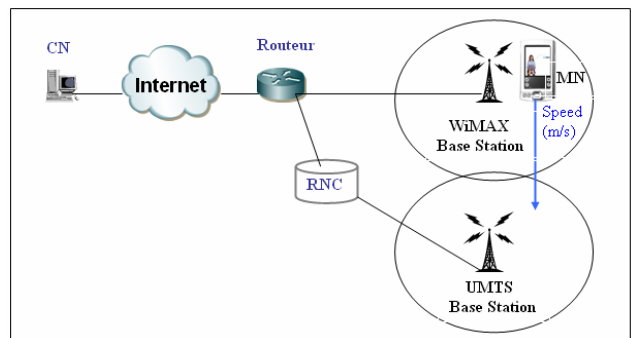


Fig. 10: Simulation Model (WUHO)

We will present the evolution of the packet transmission delay and packet loss rate versus time of the simulation for different speeds of the mobile node to implement UDP.

Table 7 presents the simulation parameters of UDP traffic.

Type	udp
Packet size (bytes)	500
Packet interarrival time (s)	0.02

4.3.1 Rate of lost packets

Figure 11 shows changes in the rate of packet loss over time of the simulation for different speeds.

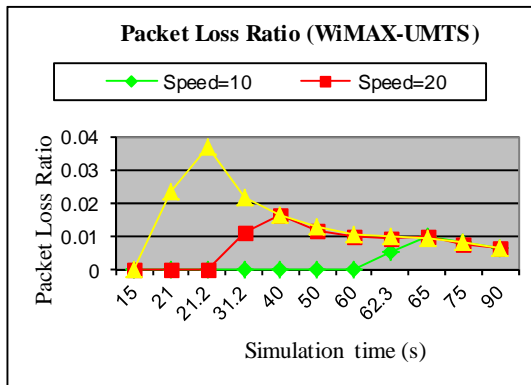


Fig. 11: Evolution of the rate of lost packets (WUHO)

From this figure we deduce that:

- ◆ For low mobility, handover performance is satisfactory. Indeed, for a speed of 10 m/s the rate of packet loss is less than 1%.
- ◆ The rate of lost packets behaves in a similar way before and after the execution of handover for both networks.
- ◆ For high speed, performance of the handover drop considerably.
- ◆ The presence of peaks during the execution of handover, which increases with speed, reaching 3,7% for a speed of 30m / s.
- ◆ The number of packets destroyed increases with speed and with the performance of the handover; in addition, if we examine the trace file generated, we find that the destruction of packets is due at time of establishment of a new location where the mobile no longer receives packets from the old base station.

4.3.2 Transmission delay of packets

The figure below shows the evolution of useful packet transmission time.

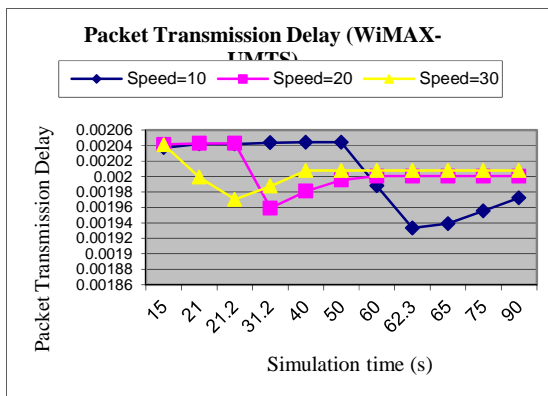


Fig. 12: Evolution of the packet transmission delay (WUHO)

This figure shows:

- ◆ After the execution of the handover, the average time of transmission is high (2 ms) for medium and high mobility.
- ◆ Decreasing the delay means that the radio link is behaving badly and some packets will be retransmitted, resulting in the need of HO.
- ◆ The average time of packet transmission decreases with the execution of the handover and slightly with speed.

4.4 Performance Analysis Handover UMTS-WiMAX (UWHO)

In this section, we assume that the mobile was originally connected to the UMTS network, as soon as it leaves the coverage area, it switches the traffic on the interface corresponding to the WiMAX (802.16 e). We will simulate the same type of application UDP with the same simulation parameters to compare and interpret the performance of the vertical handover between UMTS and WiMAX.

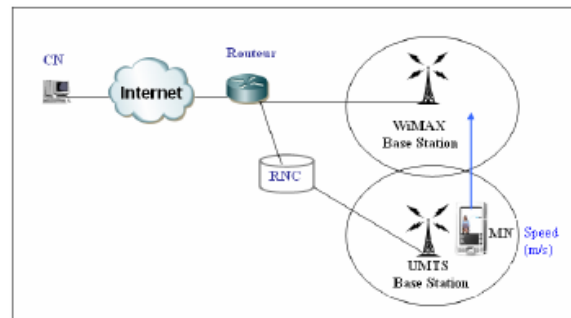


Fig. 13: Simulation Model (UWHO)

4.4.1 Rate of lost packets

Figure 14 shows changes in the rate of packet loss over time of the simulation for different speeds.

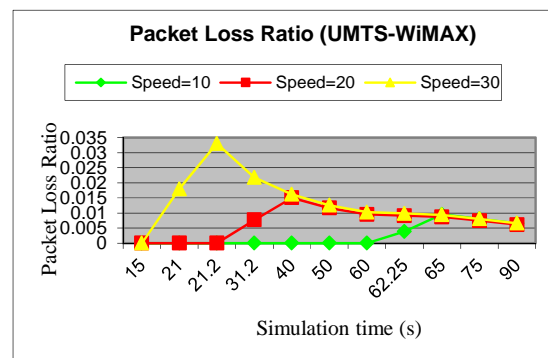


Fig. 14: Evolution of the rate of lost packets (UWHO)

From this figure, we can see that:

- ◆ In this sense, changes in the rate of packet loss are slightly lower than shown in the other direction.
- ◆ A packet loss rate is only 3,2% for high mobility.

4.4.2 Transmission delay of packets

Figure 15 shows the evolution of packet transmission time useful.

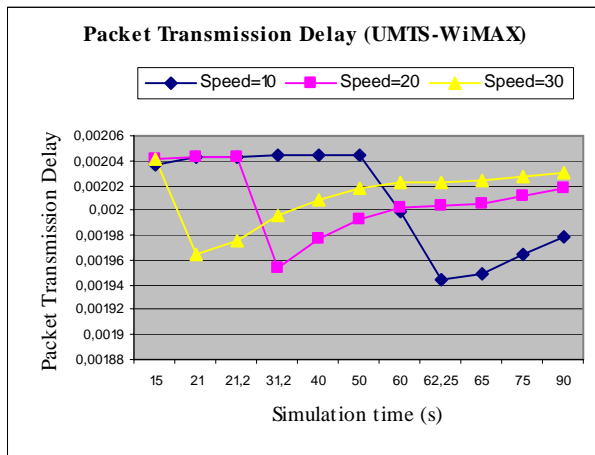


Fig. 15: Evolution of the packet transmission delay (UWHO)

The evolution of the packets transmission delay is more important to the UMTS network. It shows a latency of handovers for different speeds which is slightly higher than the results obtained in the first simulation.

5. Conclusion

In this paper, we propose a handover mechanism for moving mobiles by using MIPv6 protocol with assistance of MIH services. We considered the calculation of the lost packets rate to evaluate the performances of the inter-system handover between the two wireless networks UMTS and WiMAX.

In the study of vertical handover scenario simulation, the accent was related to the problems relating to the rate of lost packets at the time of the handover.

On the one hand, the scenario of vertical handover between UMTS and WiMAX networks modeled highlights acceptable QoS requirements during the movement of dual-mode terminal. A handover is integrated for applications of the type UDP such as the voice. On the other hand, it removes the problem of signaling load due to the mobility protocol (Mobile IPv6). This problem is likely to generate a consumption of bandwidth both for the operator network and the user of the mobile terminal. The user of the mobile terminal must expect a saturation of the band-width due to the frequent

advertisements of routers; the network operator undergoes an important penalty by considering a high number of the base stations of UMTS and WiMAX supporting the IPv6 Mobile.

The presence of an entity handover (MIH) is important to limit the penalty. It causes delay measurement, handover decision and execution of additional failover time but significantly reduces the ads routers that act as major consumers of bandwidth.

In prospect, we advise to inter-connect several networks of heterogeneous technologies in order to obtain a terminal supporting these various technologies. We could also simulate other types of applications such as; FTP, TELNET...

References

- [1] P.Lescuyer- "Réseaux 3G. principes, architectures et services de l'UMTS - Réseaux et télécoms". Edition - Dunod 2006.
- [2] J. Sanchez & M. Thioune, « Universal Mobile Telecommunications System UMTS », Hermes Science, 2004.
- [3] IEEE Std, « Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems », Local and Metropolitan Area Networks, Part 16, 2004.
- [4] IEEE Std, « Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems,» IEEE 802.16e, Part 16, 2006.
- [5] IEEE, "Draft IEEE Standard for Local and metropolitan area networks: Amendment for Physical and Medium Access Control Layers for Combined Fixed and Mobile Operation in Licensed Bands" (IEEE P802.16e/D6) 2005-02-18.
- [6] B.Walke, P. Seidenberg, M.P.Althoff. "UMTS the Fundamentals" ISBN 0-470-8455-7 - 2003.
- [7] Perkins, C.E.:" Mobile Networking Through Mobile IP", IEEE Internet Computing, 1998, vol. 2, issue 1, p. 58-69.
- [8] Nokia: "Introducing Mobile IPv6 in 2G and 3G mobile networks", Nokia, 2001, p.1-16.
- [9] Gh Jong Min Lee, Han Gyoil Kim, Younghun Yoo etc., A New Handover Scheme for Seamless Mobility in Heterogeneous Networks, Advanced Communication Technology, 2008. ICACT 2008. 10th International Conference on Volume 1, 17-20 Feb. 2008 Page(s):332 – 335.
- [10] Pahlavan, K. et al.: "Handoff in Hybrid Mobile Data Networks", IEEE Personal Communications, 2000, vol. 7, issue 2, p. 34-47.
- [11] Alsenmyr, G. et al.: "Handover between WCDMA and GSM", Ericsson Review, 2003, vol. 80, issue 1, p. 6-11.
- [12] Kapoor, S.: "Mobile-Controlled Handoff for MBWA", IEEE 802.20 Working Group on Mobile Broadband Wireless Access, 2003.
- [13] Freedman, A. and Hadad, Z." Handoff Schemes Overview and Guidelines for Handoff Procedures in 802.16", IEEE 802.16 Broadband Wireless Access Working Group, 2002.



DJEMAI Abderrezak received his engineer degrees from the University of Tlemcen, Algeria department of Electronics in 1997, and his M.S. degrees in signals and systems from the University of Tlemcen, Algeria in 2000 from the department of Electronics. Since 2004 he has been assistant professor of microwave and communication Engineering. Member of STIC laboratory in the University of

Tlemcen. His research interest is in telecommunication systems and mobile networks.



HADJILA Mourad received his engineer degrees from the University of Tlemcen, Algeria department of Electronics in 1994, and his M.S. degrees in signals and systems from the University of Tlemcen, Algeria in 1999 from the department of Electronics. Since 2002 he has been assistant professor of microwave and communication Engineering. Member of STIC

laboratory in the University of Tlemcen. His research interest is in telecommunication systems and mobile networks.



FEHAM Mohammed received his PhD in Engineering in optical and microwave communications from the University of Limoges, France in 1987, and his PhD in science from the University of Tlemcen, Algeria in 1996. Since 1987 he has been assistant professor and professor of microwave and communication engineering his research interest is in

telecommunication systems and mobile networks.

PERFORMANCES EVALUATION OF INTEROPERABILITY BETWEEN HETEROGENEOUS WIRELESS NETWORKS

Abderrezak Djemai¹, Mourad Hadjila² and Mohammed Feham³

Abstract: This article presents the mechanisms to be implemented for analyzing the performances of the inter-system handover between WiFi, WiMAX and UMTS networks. The presence of an entity of handover is significant so that the mobile terminal supports three technologies enabling it to make heterogeneous transfers. In this paper, we propose the development of a software platform able to manage the interoperability between UMTS, WiMAX and WiFi with uninterrupted communication.

Keywords: Networks, Wireless, WiFi, WiMAX, Umts, Handover, Packets, Interoperability.

1. INTRODUCTION

Recent technological advances in the field of mobile computers and wireless networks have led to a sharp evolution of mobile environments.

Mobile environments are characterized by the presence of one or more mobile terminals, each with one or more types of wireless communication. These interfaces enable wireless communication terminals, while moving, to communicate among themselves or with fixed stations. These environments differ greatly from traditional or fixed environments. For reasons of size and weight, portable terminals have fewer resources compared to those offered by fixed stations. In addition, the use of these resources is limited in time as it depends on a limited energy source, the battery. As for the wireless communication networks, they offer a bandwidth much lower and variable than wired networks. Indeed, these communications are subject to large variations resulting from signal interference with the physical surroundings. These variations lead, in extreme cases, to disconnect when the signal is no longer able to portable terminal.

The purpose of this paper is to model development architecture to implement this principle and analyze the performance of inter-system handover between UMTS, WiFi and WiMAX.

The rest of this paper is organized as follows: Section II presents a brief description of WiFi, WiMAX and UMTS technologies. Section III is devoted to HANDOVER and Necessary Simulation Modules. Section IV is reserved for the results of simulation and finally we conclude this paper.

2. TECHNOLOGIES DESCRIPTION

2.1 WiFi Overview

WiFi [1] is a high rate wireless transmission used to connect laptops or any type of peripheral in a range of several tens of meters in indoor applications to several hundreds of meters in open space.

WiFi networks present a multitude of functionalities which come from fixed and mobile communications world. These functionalities allow them to be more reliable, providing the several services to the users.

The principal functionalities of a WiFi network are:

- The fragmentation and the re-assembly which allow avoiding the problem of transmission of important volumes of data thus decreasing the error rate.
- The mobility management.
- Variation of the transmission rate according to the radio environment.
- The insurance of a good quality of service.

Figure 1 illustrates the WiFi network topology.

^{1,2,3} STIC Laboratory, University of Tlemcen, Algeria

¹ djemai_tlm@yahoo.fr

² mhadjila_2002@yahoo.fr

³ m_feham@mail.univ-tlemcen.dz

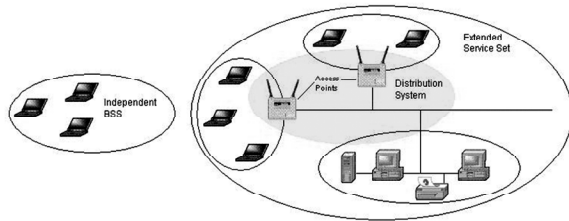


Figure 1: WiFi Network Topology

2.2 WiMAX Overview

WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) [2] is a hertzian solution for WMAN networks. It is based on the standard IEEE 802.16, validated in 2001 by the international agency of IEEE standardization.

The initial version of the standard works in the band (10-66) GHz and requires a line of sight (LOS) between the transmitter and the receiver. However, the extension 802.16a, works in the band (2-11) GHz, adapted better to the regulations, and allows a transmission in no line of sight (NLOS) space.

WiMAX would be an alternative to wired broadband technologies. It would reinforce the connection in terms of capacity, rate and coverage. Its transmission capacities are theoretically of 70 Mbps for a range of 50 km. In practice, it allows a transmission rate of 10 Mbps for a range of 20 Km.

Figure 2 shows the WiMAX network architecture.

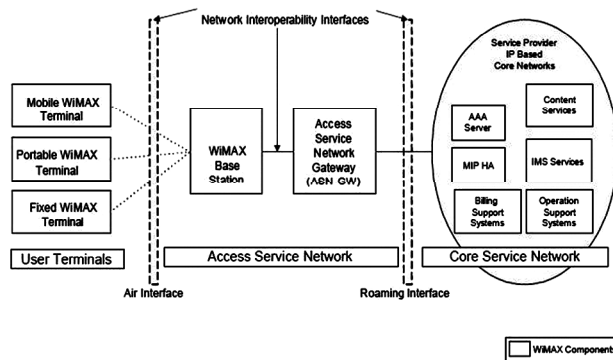


Figure 2: WiMAX Network Architecture

2.3 UMTS Overview

Universal Mobile Telecommunication System (UMTS) is also more generally the new standard of mobile telephony, called telephony of third generation or 3G. The purists prefer to use the term W-CDMA (Wideband Code Division Multiple Access) which takes again the name of the

technology deployed in Europe and by certain Asian operators. This technology makes it possible to make forward more data and will allow the appearance of multimedia contents on the mobile phones such video-telephony. We will speak then rather about terminals multimedia. Thus, in addition to these technological changes, the third generation must answer the concept of quality, variety, capacity and coverage [3]. The organization ITU (International Telecommunications union) which regulates the various standards of telecommunications on a world level aimed to define a single and international standard for the third generation: the IMT-2000. But this has failed since no less than fifteen radio access technologies have been proposed.

In the end, only 6 terrestrial radio access technologies have been kept: UTRA-FDD, UTRA / TDD, TD-SCDMA, CDMA2000, UWC-136, DECT. UMTS in turn includes the first two technologies.

A UMTS network is based on a modular and flexible architecture. Thus, these two characteristics, which make it compatible with other mobile networks of second and third generation, guarantee its evolution.

The general architecture of a network UMTS is made up of three fields (figure 3):

- The equipment user: EU (To use Equipment).
- The network of universal access: UTRAN (Universal Terrestrial Radio operator Network Access).
- The core network: CN (Core Network).

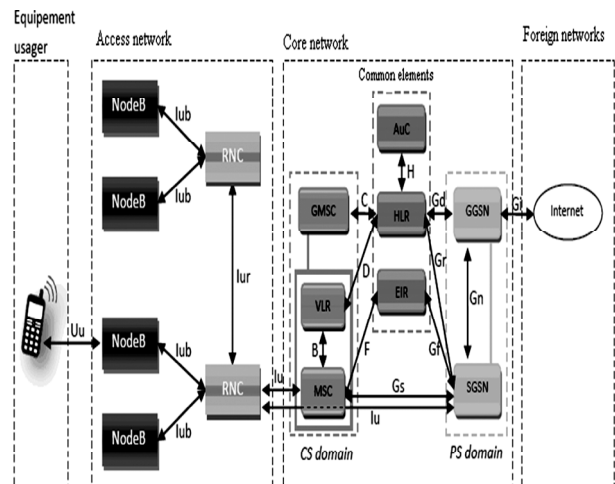


Figure 3: Global Architecture of UMTS Network

3. HANDOVER AND NECESSARY SIMULATION MODULES

The handover [4] is the mechanism which ensures the continuity of the connection of one MSS (Mobile Subscriber Station) during its displacement of the coverage area of a Base Station (BS) to another.

Neighbor Discovery (ND), the module Media Independent Handover (MIH) and the mobility management module (MIPv6) are the key elements used in the code of simulation.

3.1 Neighbor Discovery (ND)

The module ND is used to provide the detection of movement of layer 3. In the network, the BS sends periodically messages RAs (Router Advertisement) to inform the Mobile Nodes (MNs) about the prefix of network. The ND agent located in MN receives these RAs and determines if the message contains a new prefix and informs the director of interface. A timer is associated with the prefix. When the prefix is expired, an opinion is sent to the director of interface. The implementation also supports RS (Router Solicitation) to make it possible a MN to discover a new BS after Handover.

3.2 Media Independent Handover (MIH IEEE 802.21)

The realization of handover between heterogeneous networks of access in a transparent way from the point of view of the mobile user (without interruption nor deterioration) requires the taking into account of certain concepts such as continuity of service, quality of service, the discovery and the selection of the network [5], [6].

Thus the work group IEEE 802.21 created a basic architecture which defines a function MIHF “Media Independent Handover Function” which will help the mobile systems to carry out a handover without service interruption between heterogeneous networks such as IEEE 802.3 (wire LAN), IEEE 802.11x (wireless LAN), IEEE 802.16e (mobile WiMAX network), GPRS and UMTS (mobile network 3G).

The IEEE 802.21 standard [5] is the development of an architecture that enables service continuity in a transparent manner when the mobile terminal (MN) moves between two heterogeneous networks in data link level.

A set of functions to optimize the handover is defined in the protocol stack of mobility manage-

ment MME (Mobility Management Entity) of network elements and there is a creation of a new entity called MIHF (Media Independent Handover Function). It works on layer 3 and can communicate between local and remote interfaces which can be in contact via another MIHF.

This is illustrated on the figure 6.

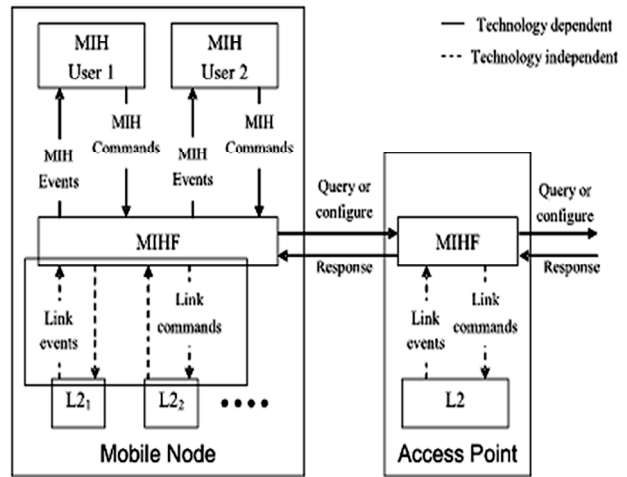


Figure 4: Overall Picture of Design of MIH [7], [8]

3.3 Mobility Management Module (MIPv6)

MIPv6 [9], [10] describes the mobility management of IPv6 terminals. This mobility allows that an IPv6 terminal is always reachable whatever its localization in the Internet and its connection remain active in spite of its displacement.

The Basic mechanism of IPv6 mobility contains several actors:

- The mobile node (MN): is the IPv6 terminal which can move.
- The agent mother (Home Agent, HA): is equipment of network which manages mobility with the manner of a HLR in cellular networks.
- Correspondent Terminal (Correspond Node, CN): is an IPv6 terminal with which the MN has or will have an active connection.

4. SIMULATION AND RESULTS

The results shown in this part are obtained by NS2 simulator. NS2 is a software tool for simulation of data-processing networks. It becomes today a standard of reference in this field. The software is runnable as well under Unix as under Windows. The

Simulator is composed of an application program interface in TCL and a core written in C++ in which the majority of the protocols networks were implemented.

4.1 Scenario of Simulation

In this part we consider a simple topology including a multi-interface node supporting three technologies WiFi, WiMAX and UMTS. The mobile node (MN) establishes a connection with CN (Correspondent Node).

Assume that the MN uses the WiFi interface at the beginning, and then we switched traffic to other interfaces.

The figure 5 describes the four essential components of our scenario:

- Router 0 (CN)
- Router1 (Gateway)
- WiMAX Base station (BS 802.16)
- Access point WiFi (AP 802.11)
- UMTS Base station
- RNC
- Mobile Node (MN)

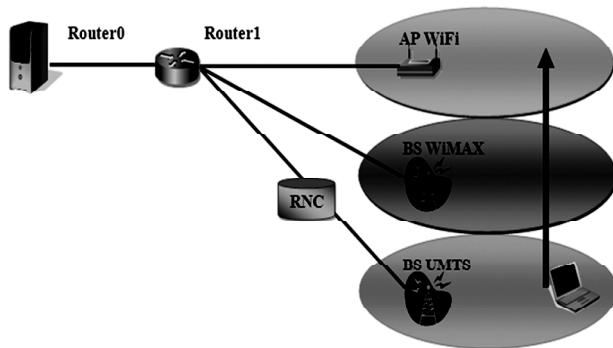


Figure 5: Topology of the Scenario

4.2 Parameter Setting and Configuration of the Networks

Before being able to use the simulator, the topology of the network and the need for each node must be described in a TCL file which will be then read by the simulator. The parameters and the configurations defined in this file are the following:

- Simulation parameters

Table 1 represents the configuration of the simulation parameters.

Table 1
Simulation Parameters

Parameters	Signification
Traffic_start	= 05s : traffic start
Traffic_stop	= 70 s: traffic end
Simulation_stop	= 70s : simulation end
Seed	RNG (Random Number Generator) fixed at 1 for all simulated scenarios

- WiMAX Network parameters:

Table 2 describes the configuration of the WiMAX network parameters.

Table 2
WiMAX Network Parameters

Parameters	Signification
Channel/WirelessChannel	Channel type : Wireless
Propagation/TwoRayGround	Radio propagation model : 802.16
Phy/WirelessPhy /OFDM	Network interface type : 802.16
Mac/802_16	MAC layer type 802.16
Queue/DropTail/PriQueue	Queue interface type
LL	Link layer type 802.16
Antenna/OmniAntenna	Antenna model
50	Maximum queue size
adhocrouting	Used routing protocol. In this case DSDV

Table 3 gives the WiMAX base station parameters.

TABLE 3
Parameters of WiMAX Base Station

Parameters	Signification
WiMAX cell coverage	1000 m
Pt	0.025w
RXThresh	1.26562×10^{-13} w
CSThresh	$0.8 \times [1.26562 \times 10^{-13}]$ w

- Wi Fi Network Parameters

Table 4 describes the configuration of the WiFi network parameters.

Table 4
WiFi Network Parameters

Parameters	Signification
Channel/WirelessChannel	Channel type : Wireless
Propagation/TwoRayGround	Radio propagation model : 802.11
Phy/WirelessPhy	Network interface type : 802.11
Mac/802_11	MAC layer type 802.11

Table 5 represents the configuration of the Access point WiFi.

Table 5
Parameters of the Access Point WiFi

Parameters	Signification
WiFi coverage	20 m
Pt	0.025 w
freq	2.412 GHz
RXThresh	6.12277×10^{-9} w
CSThresh	$0.9 \times [6.1227 \times 10^{-9}]$ w

- UMTS Network parameters

Table 6 illustrates UMTS network parameters.

Table 6
Umts Network Parameters

Parameters	Significations
Umts NodeType (rnc)	node type (is a node type rnc)
Umts NodeType (ue)	node type (is a node type ue)
Umts NodeType (bs)	node type (is a node type bs)
uplinkBW	= 384kbps; flow bandwidth UL
uplinkTTI	= 10ms; transmission time interval in UP
downlinkBW	= 384kbps; flow bandwidth DL
downlinkTTI	= 10ms; transmission time interval in DL

4.3 Performance Evaluation of the Handover

To evaluate the performance of vertical handover, two criteria were selected:

- Average time of packet transmission:

This metric is the amount of time elapsed between the moment a data packet leaves the sender and the moment it is received by the sender on the total number of packets sent.

- Loss packets Rate:

In addition to the handoff latency, quality of service at the application level is also affected by packet loss during handoff. To determine the packet loss during a handoff, any Internet node sends a periodic stream of packets to the mobile node. Before a handoff is initiated, packets are routed along the old road.

In the simulation, we assume that the router0 knows in advance which of the packets of the flow will be the last to reach the mobile node to its former location. We assume that the router0 brand this packet. Upon receiving the packet marked, the mobile node performs a handoff and immediately transmits an updated packet through the new base station.

Packets sent by the router0 after marked packet, but before the arrival of the updated packet, are sent to the old base station and are therefore lost.

This time interval is equal to the amount of time taken by the tagged packet to reach the mobile node and the time taken for the updated packet to reach the router0. Packet loss due to handoff is related to the time of round-trip between the old and new locations and router0.

In our case, we estimate the rate of packet loss which presents the ratio of lost packets on the total number of generated packets:

This metric is given by:

$$\text{Loss Packets Rate} = \frac{\text{number of lost packets}}{\text{total number of general packets}} \quad (1)$$

4.4 Results

This part contains the results of simulation scenario and the influence of the metrics used in the performance of vertical handover between UMTS, WiMAX and WiFi with different applications:

- Application TCP (data);
- UDP Application (data);
- The video;
- Voice.
- Performance analysis of vertical handover:
 - TCP traffic

The following table shows the simulation parameters of TCP traffic.

Table 7
TCP Traffic for Mobile Node

Type	TCP
Packet Size (bytes)	500
Packet interarrival time (s)	0.02

(a) Loss packet Rate

The figure below shows the change in the rate of lost packets based on simulation time for different speeds.

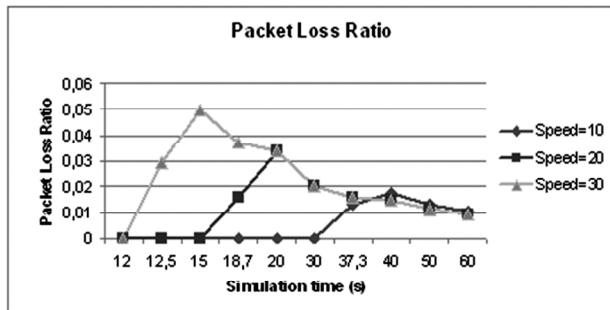


Figure 6: Evolution of Lost Packets Rate (TCP Traffic)

From this figure we see that at the time of handover the rate of lost packet increases.

Based on log files obtained, the majority of packet loss is due to WiFi-WiMAX handover but for others handovers there are no lost packets.

(b) packet transmission delay

The figure below shows the evolution of packet transmission delay for TCP traffic.

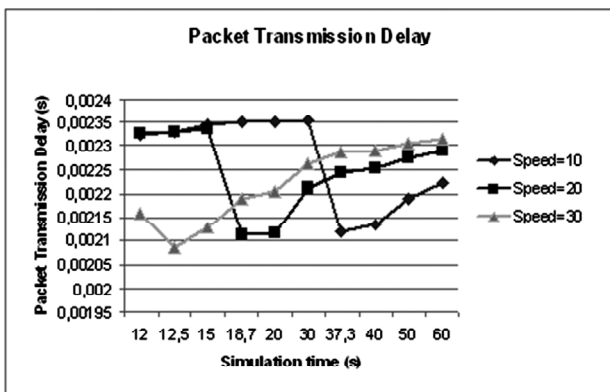


Figure 7: Evolution of Packet Transmission Delay (TCP Traffic)

The presence of peaks means that at the time of handover packets sent were destroyed.

The average time of packet transmission decreases with the speed and the ruin of the handover.

- UDP traffic

The following table shows the simulation parameters of UDP traffic.

Table 8
UDP Traffic for Mobile Node

Type	UDP
Packet Size (bytes)	500
Packet interarrival time (s)	0.02

(a) Loss packet Rate

Figure 8 depicts the evolution of the lost packets rate according to the simulation time for different speeds.

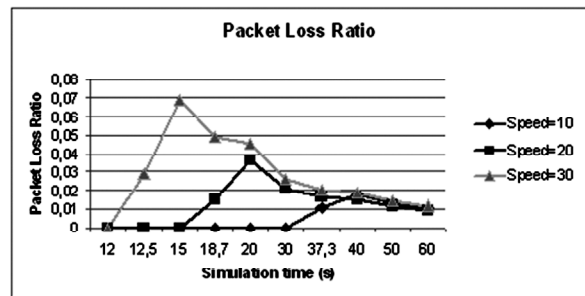


Figure 8: Evolution of Lost Packets Rate (UDP Traffic)

From this figure we deduce that:

For low mobility, handover performance is satisfactory. Indeed, for a speed of 10 m/s the rate of packet loss is less than 2%.

For high speeds the performance of the handover drop considerably.

The presence of peaks in the execution of the handover, which increases with speed and reaches 6.9% for a speed of 30 m/s.

The number of packets destroyed increases with speed and with the execution of the handover; in addition, if we examine the trace file generated, we find that the majority of the destruction of the packets is due to the passage time of a local network to a WAN.

- (b) packet transmission delay

Figure 9 shows the evolution of the transmission delay of useful packets in function of mobile simulation time for application of UDP traffic.

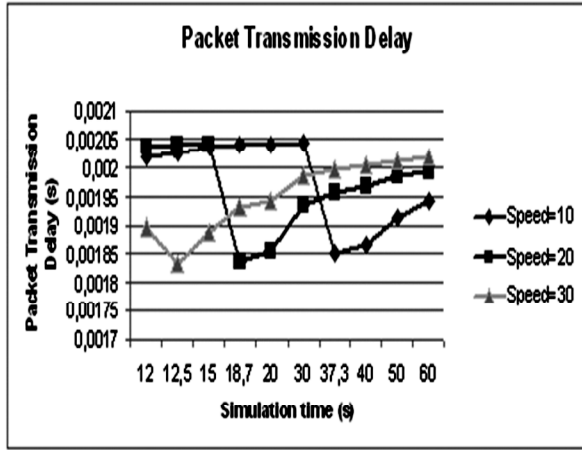


Figure 9: Evolution of Packet Transmission Delay (UDP Traffic)

This figure shows:

Before and after the execution of handover, the average time of transmission is high (between 1.9 ms and 2.05 ms) for medium and high mobility.

The reduction of the time when handover is due to the destruction of the packets at this time.

- Video traffic

To better explain the performance of the handover, we will illustrate the case of an application of video traffic.

The following table presents the simulation parameters of video traffic.

Table 9
Video Traffic for Mobile Node

Type	Video
Packet Size (bytes)	800
Packet interarrival time (s)	0.02

The packet size for a video traffic is much greater than that of an application of UDP traffic and voice. In what follows, we will interpret this effect on the performance of the handover.

(a) Loss packet Rate

The figure below shows the change in the rate of lost packets versus time and speed.

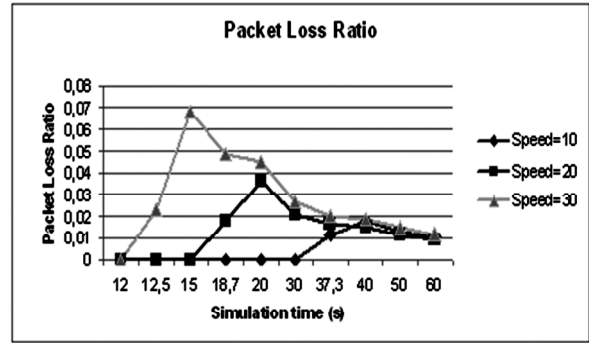


Figure 10: Evolution of Lost Packets Rate (Video Traffic)

From this figure we deduce that:

The change rate of lost packets for a video application is almost identical to that of a UDP application.

The rate of lost packets increases with the execution of handover (transition from WiFi to WiMAX) and slightly with speed.

(b) packet transmission delay

Figure 11 shows the evolution of the transmission delay of packets useful depending on the speed of an application for mobile video traffic.

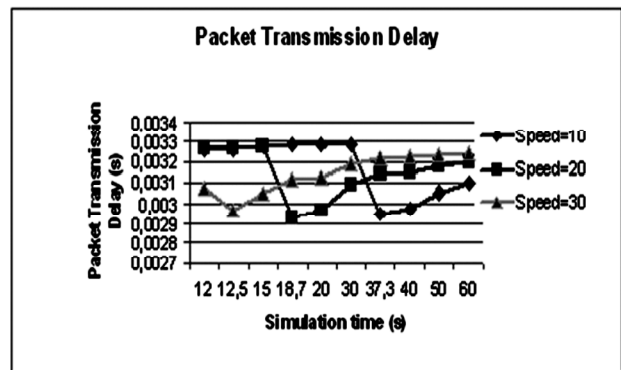


Figure 11: Evolution of Packet Transmission Delay (Video Traffic)

From this figure we deduce that:

The average time of packet transmission is varied between 2.9 ms and 3.3 ms, this variation is large compared to other applications and always returns a packet size which is between 500 (ms) and 1,21 (s) for real time applications.

- Voice traffic

Table X shows the simulation parameters of voice traffic.

Table 10
Voice Traffic for Mobile Node

Type	Voice
Packet Size (bytes)	160
Packet interarrival time (s)	0.02

(a) Loss packet Rate

The figure below shows the change in the rate of lost packets based on simulation time for different speeds.

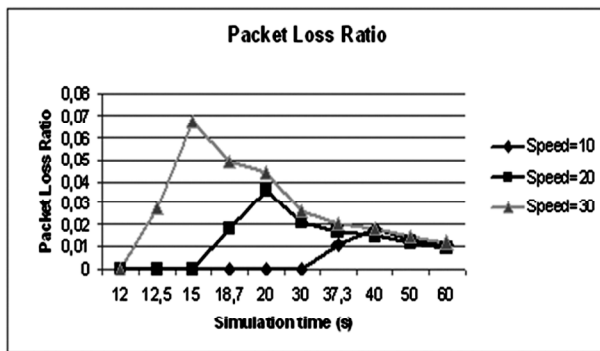


Figure 12: Evolution of Lost Packets Rate (Voice Traffic)

This figure shows that the evolution rate of lost packets on the voice traffic is slightly lower than an application of UDP traffic, because it shows a maximum rate of 6.7% during the execution of a handover to speed of 30m / s. This is also due to the protocols introduced for real-time applications, which require necessarily a large packet loss rate.

(b) packet transmission delay

Figure 13 shows the evolution of the transmission delay of packets useful in function of the speed of a mobile application for voice traffic.

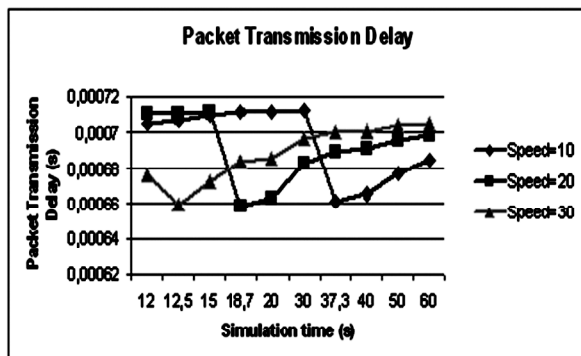


Figure 13: Evolution of Packet Transmission Delay (Voice Traffic)

It is found that the evolution of the transmission delay of packets presents a handover time significantly less than that of a UDP application, this is due to the slight difference in packet size, and the protocols introduced for these types application.

- Comparative Study:
 - Comparison between TCP and UDP

We chose the same packet size and the same interval between packets for both TCP and UDP applications.

(a) Loss packet Rate

The figure below shows the evolution of packet loss rate for both TCP and UDP applications.

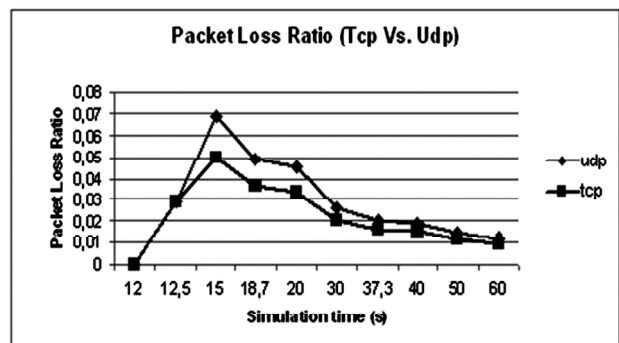


Figure 14: Comparison of Lost Packets Rate Between TCP and UDP

From this figure we see that the rate of packet loss for UDP application is large compared to that of a TCP application. Because the latter has an acknowledgment of packets sent, which does not exist in a UDP application.

(b) packet transmission delay

Figure 15 shows the evolution of packet transmission delay for both TCP and UDP applications.

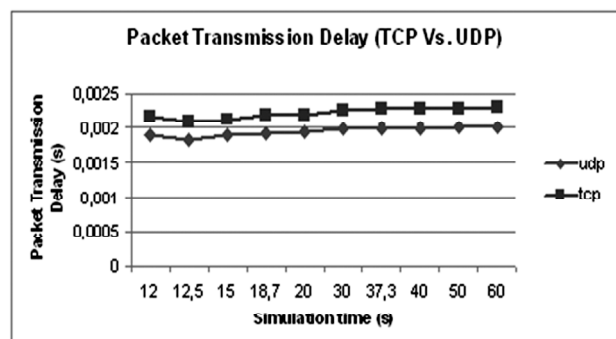


Figure 15: Comparison of Packets Transmission Delay Between TCP and UDP (Speed = 30 m/s)

Since in a TCP application, packets sent requires an acknowledgment in the form of packets to send other. Thus the delay transmission means for a TCP is greater than that of a UDP application.

- Comparison between UDP, Voice and Video

(a) Loss packet Rate

Figure 16 shows the evolution of packet loss rate for the three applications.

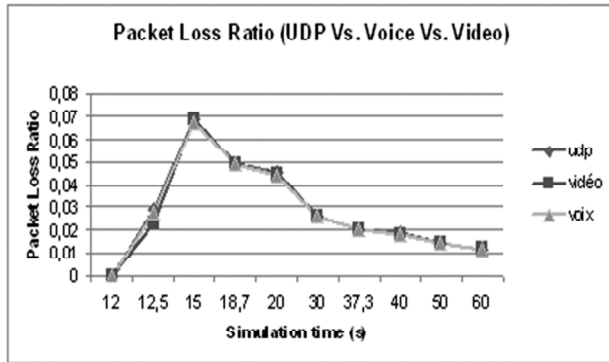


Figure 16: Comparison of Lost Packets Rate between UDP, Voice and Video (Speed = 30 m/s)

From this figure, we can see that the slight variation in rates of packet loss between the three UDP applications, voice and video is due to the variation of packet size.

(b) packet transmission delay

Figure 17 shows the evolution of packet transmission delay for the three applications.

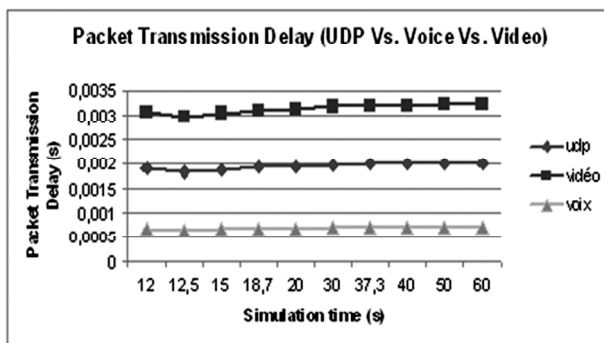


Figure 17: Comparison of Packets Transmission Delay Between UDP, Voice and Video (Speed = 30 m/s)

We note here that the average time of transmission in a video application is higher than that of a UDP application and also to that of the voice. This variation of these three applications is due to the difference in packet size.

The performance of vertical handover drops considerably in the execution of handover for both the rate of lost packets and the transmission delay of packets. These results also depend on application types.

5. CONCLUSION

The work developed here was to define a software architecture that can support the vertical handover between UMTS, WiFi and WiMAX.

We identified the technological challenges between the three network technologies and provided a solution to the problem, already mentioned, mobility between WiFi networks, UMTS and WiMAX.

In addition to technological challenges, were supplemented by practical challenges associated with software simulator NS-2 as for scenario modeling of the handover between networks for the implementation of the module developed by IEEE 802.21 MIH to support heterogeneous mobility, ND module for the discovered neighbor. Subsequent to the analysis of these challenges practices, architecture development was proposed in order to simulate a scenario supporting different types of applications.

On the one hand, the scenario of vertical handover Inter-system between WiFi, WiMAX and UMTS modeled highlights the quality of service (QoS) requirements at least more acceptable in terms of packet loss and delay for real time applications such as voice and streaming video as well as UDP and TCP.

On the other hand, removing the problem of packet loss and delay to the signaling load due to the mobility protocol Mobile IPv6. This problem is likely to generate bandwidth consumption for both the network operator to the mobile terminal user.

The mobile terminal user should expect a penalty of bandwidth due to frequent router advertisements, the network operator undergoes when it has a significant penalty by considering a large number of base stations WiFi, UMTS and WiMAX supporting Mobile IPv6. The presence of an entity handover in the mobile terminal is important to limit the penalty. It causes delay measurement, handover decision and execution of additional failover time but significantly reduces router advertisements, the main consumers of bandwidth.

Finally, as prospects for this work, it would be to consider alternative scenarios, one might illustrate the effect of the load of mobile nodes on the performance of vertical handover between WiFi, WiMAX and UMTS, it could also simulate d other types of applications such as, FTP, TELNET...

REFERENCES

- [1] M.S.Gast, "802.11 Wireless Networks - The Definitive Guide", 1st Edition, O'Reilly, 2002.
- [2] J.G. Andrews, A. Ghosh, R. Muhamed, "Fundamentals of WiMAX: Understanding Broadband Wireless Networking", Prentice Hall PTR, Feb, 2007.
- [3] P. Lescuyer, "Réseaux 3G. Principes, Architectures et Services de l'UMTS - Réseaux et Télécoms". Edition - Dunod 2006.
- [4] Sik Choi, Gyung-Ho Hwang, Taesoo Kwon, Ae-Ri Lim, and Dong-Ho Cho, "Fast Handover Scheme for Real Time Downlink Services in IEEE 802.16e BWA System", May. 2005.
- [5] 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, Sep. 2006.
- [6] IEEE 802.21, DCN 2105-0240-01-0000- Joint_Harmonized_MIH_Proposal_Draft_Text.doc, May, 2005.
- [7] NIST, The Network Simulator NS-2 NIST Add-on-IEEE802.21 Model (based on IEEE P802.21/D03.00)-Draft 1.0, <http://w3.antd.nist.gov/seamlessandsecure/files/mobility/doc/MIH-module.pdf> (January, 2007).
- [8] Yoon Young An, Byung Ho Yae1, Kang Won Lee, You Ze Cho, and Woo Young Jung, "Reduction of Handover Latency Using MIH Services in MIPv6", IEEE Proceedings of the 20th International Conference on AINA'06, June.2006.
- [9] Perkins, C.E., "Mobile Networking Through Mobile IP", IEEE Internet Computing, 1998, 2(1), pp. 58-69.
- [10] Nokia: "Introducing Mobile IPv6 in 2G and 3G Mobile Networks", Nokia, 2001, pp. 1-16.

This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.
This page will not be added after purchasing Win2PDF.

- [1] J. Sanchez & M. Thioune, Universal Mobile Telecommunications System UMTS, Hermes Science, 2004.
- [2] ETSI, Universal Mobile Telecommunications System UMTS, 1999.
- [3] UMTS et le haut débit mobile :
http://www-igm.univ-mlv.fr/~dr/XPOSE2006/eric_meurisse/umts.php.
- [4] IEEE Std, « Wireless LAN Medium Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications », IEEE 802.11, Part 11, 2007.
- [5] IEEE 802.11 Standard, 1999.
- [6] J. G. Andrews, A. Ghosh, R. Muhamed, “Fundamentals of WiMAX: Understanding Broadband Wireless Networking, Prentice Hall PTR, Feb, 2007.
- [7] IEEE Std, « Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems », Local and Metropolitan Area Networks, Part 16, 2004.
- [8] E. Borcoci, « WiMAX technologies: Architectures, Protocols, Resource management And Applications », IARIA, BIOTECHNO 2008, Tutorial, Bucharest, Roumanie, Juin 2008.
- [9] D. Pareek, « WiMAX Taking Wireless in the Max », Publié par Auerbach Publications Taylor & Francis Group, 2006.
- [10] G. Radha, S. Krishna, V. Rao & G. Radhamani, « WiMAX a Wireless Technology revolution », Publié par Auerbach Publications Taylor & Francis Group, 2008.
- [11] 572304RanaRAHIM :
http://www.doneo.org/2_result.php?id_assoc=0&service=web&q=572304RanaRAHIM
- [12] A-S. Z., contribution à la modélisation des réseaux Nemo, Thèse Doctorat, 2012.
- [13] Tarek BCHINI, Gestion de la Mobilité, de la Qualité de Service et Interconnexion de réseaux Mobiles de Nouvelle Génération, Thèse de Doctorat, 2010.
- [14] K-H. Li, PhD, « IEEE 802.16e-2005 Air Interface Overview », WiMAX Solutions Division, Intel Mobility Group, Technical Report, 05 June, 2006.
- [15] B. Liu, P. Martins, A.E. Samhat, P. Bertin A Cross-Layer Scheme for Inter-RAT Handover from WiMAX to UMTS in Global Telecommunications Conference, 2008. GLOBECOM 2008. IEEE.
- [16] Md. Shohrab Hossain, Mohammed Atiquzzaman, Performance Comparison between Multihomed Network Mobility Protocols, PDF, 2012.

- [17] Farouk Belghoul, Yan Moret, and Christian Bonnet, "Mécánismes de handover pour les réseaux IP sans-fil", PDF, 2002.
- [18] Babak Ayani, "Smooth Handoff in Mobile IP", PDF, 14/05/2002.
- [19] Khalid Eltayb Aldalaty, "Mobile IP Handover Delay Reduction Using Seamless Handover Architecture", PDF, 2009.
- [20] Robert Hsieh, Zhe Guang Zhou, and Aruna Seneviratne, "S-MIP: A Seamless Handoff Architecture for Mobile IP", PDF, 2003.
- [21] badr benmammar, "la gestion dynamique de la qualité de service dans les réseaux IP mobiles", PDF, 12/05/2006.
- [22] The Information Science Institute, « The network Simulator-NS2 », <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>
- [23] 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.
- [24] IEEE802.21,DCN2105-0240-01-000 joint_Harmonized_MIH_Proposal_Draft_Text.doc, May, 2005.
- [25] NIST, The Network Simulator NS-2 NIST add-on- IEEE802.21 model (based on IEEE P802.21/D03.00)-Draft 1.0, <http://w3.antd.nist.gov/seamlessandsecure/files/mobility/doc/MIH-module.pdf> (January, 2007).
- [26] K.k leung, "spinger wireless Mesh Networks, Architecture and Protocols", Livre: Springer, 2008.
- [27] IEEE TGs, Status of Project IEEE 802.11s, 2011. http://www.ieee802.org/11/Reports/tgs_update.htm
- [28] George AGGELLO "Wireless Mesh Networking with 802.16, 802.11 and zigbee". Livre McGRAW-HILL communication, 2009.
- [29] G. R. Hiertz, S. Max, E. WeiB, L. Berlemann, D. Denteneer, and S. Mangold, "Mesh Technology enabling Ubiquitous Wireless Networks," in Proceedings of the 2nd Annual International Wireless Internet Conference (WICON), Boston, USA, Aug. 2006.
- [30] I F. AKYILDIZ, X. WANG, W. WANG. 'Wireless mesh networks'. Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA 30332, USA. 2005.

-
- [31] Ian F. Akyildiz, Dr. Xudong Wang, "Wireless Mesh Networks", livre, WILEY, 2009.
- [32] I F. AKLYILDIZ and X. WANG. 'wireless Mesh Networks'. John Wiley et sons Ltd 2009.
- [33] Joel Conover, Anatomy of IEEE 802.11b Wireless;
<http://www.networkcomputing.com/1115/1115ws2.html>, Aout 2000.
- [34] Daniel Brieu et Julien Rubat, <http://rubb.free.fr/802-11/physique.php>, mai 2005.
- [35] IEEE Standards for Information Technology. Telecommunications and Information Exchange between Systems – Local and Metropolitan Area Network – Specific Requirements – Part 2: Logical Link Control (LLC). ISO/IEC 8802-2:1998, IEEE Std. 802.2-1998.
- [36] M. Bahr, "Update on the Hybrid Wireless Mesh Protocol of IEEE 802.11s," IEEE Conference on Mobile Adhoc and Sensor Systems, Pisa, 2007, pp. 1-6.
- [37] Malte Cornils, Michael Bahr, Thomas Gamer, Simulative Analysis of the Hybrid Wireless Mesh Protocol (HWMP), European Wireless Conference, 2010.
- [38] Das S., Perkins C., Royer E., Ad hoc on demand distance vector (AODV) routing, RFC 3561, July 2003.
- [39] C. E. Perkins, E. M. Royer, and S. R. Das, "Ad Hoc on Demand Distance Vector (AODV) Routing". URL : <http://www.ietf.org/internet-drafts/draft-ietf-manet-aodv-11.txt>, IETF Internet Draft, June 2002. (work in progress).
- [40] C.E. Perkins and P. Bhagwat. Highly dynamic destination-sequenced distance-vector routing (DSDV) for mobile computers. *SIGCOMM Comput. Commun. Rev.*, 24(4):234–244, October 1994.
- [41] N. Badache, D. Djenourf, A. Derhab, and T. Lemlouma. Les protocoles de routage dans les réseaux mobiles ad hoc. *RIST : Revue d'Informatique Scientifique et Technique*, 12(02):77–112, 2002.
- [42] D. B. Johnson, D. A. Maltz, and Y.-C. Hu, "The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks (DSR) draft-ietf-manet-dsr-10," INTERNET-DRAFT2004.
- [43] D.B. Johnson and D.A. Maltz. Dynamic Source Routing in Ad Hoc Wireless Networks. *Mobile Computing*, pages 153–181, 1996.

- [44] D.B. Johnson, D.A. Maltz, and Y.C. Hu. The dynamic source routing protocol for Mobile ad hoc networks (DSR). 2003.
- [45] Mesut Gunes, Udo Sorges, Imed Bouazizi, 'ARA-THE Ant-Colony Based Routing Algorithm for MANET', International Workshop on Ad hoc Networking (IWAHN2002), Van-Couver, British Columbia, Canada, August 18-21, 2002.
- [46] T. Clausen and P. Jacquet. Optimized link state routing protocol (OLSR), RFC3626, Oct, 2003. URL <http://www.ietf.org/rfc/rfc3626.txt>.
- [47] E.A. Panaousis, G. Drew, G.P. Millar, T.A. Ramrekha, and C. Politis. A Testbed Implementation for Securing OLSR in Mobile Ad hoc Networks. International Journal of Network Security Its Applications, 2(4), October 2010.
- [48] Group, I. W. IEEE 802.11-2007: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications. IEEE 802.11 LAN Standards 2007 (2007).
- [49] G. Held, Wireless Mesh Network, Taylor & Francis Group, 2005.
- [50] Ferdawss Douma and Rafik Braham, "Vertical Handover in Wireless Mesh Networks and its Impact on Routing", MESH 2013 : The Sixth International Conference on Advances in Mesh Networks.
- [51] Peter Dely, Andreas Kessler, and Nico Bayer, OpenFlow for Wireless Mesh Networks," IEEE Conference on Computer Communications and Networks, 2011. <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?tp=&arnumber=6006100>.
- [52] P.Reynolds. Mobility management for the support of handover within a heterogeneous Mobile environment. First International Conference on 3G Mobile Communication Technologies, 2000.
- [53] ISO/TC204 Transport Information and Control Systems (TICS) WG16Wide Area Communications/Protocols and Interfaces : <http://www.sae.org/technicalcommittees>.
- [54] Kellerer W., Bettstetter C., Schwingenshlög C., Sties P., (Auto) Mobile Communication in a Heterogeneous and Converged Wordl », IEEE Personal Communications, vol.8, n_6, p. 41-47, December, 2001.
- [55] C. Perkins, Ed. Nokia Research Center, IP Mobility Support for IPv4, August 2002.
- [56] V. Devarapalli, R. Wakikawa, A. Petrescu, and P. Thubert, "Network Mobility (NEMO) Basic Support Protocol," IETF, RFC 3963, January 2005.

- [57] T. Ernst, Le support des réseaux mobiles dans IPv6, RSTI - TSI. Volume 25 – no 5, pages 573 à 597, 2006.
- [58] Florent Kaisser, Communications dans les réseaux fortement dynamiques, Réseaux et télécommunications [cs.NI]. Université Paris Sud - Paris XI, 2010.
- [59] S. Kent, K. Seo, “Security Architecture for the Internet Protocol”, IETF RFC 4301, 2005.
- [60] W. Simpson, “IP in IP Tunneling”, IETF RFC 1853, October 1995.
- [61] D. Johnson, C. Perkins & J. Arkko, “Mobility Support in IPv6”, RFC 3775, IETF, 2004.
- [62] C. Vogt and J. Arkko, "A Taxonomy and Analysis of Enhancements to Mobile IPv6 Route Optimization", IETF RFC 4651, February 2007.
- [63] Q.B Mussabbir, W. Yao. Optimized FMIPv6 using IEEE 802.21 MIH Services in Vehicular Networks. IEEE Transactions on Vehicular Technology. Special Issue on Vehicular Communications Networks, 2007.
- [64] R. Koodli. Mobile IPv6 Fast Handovers. RFC 5268 (Proposed Standard), June 2008. Obsoleted by RFC 5568.
- [65] E. Perera, V. Sivaraman, A. Seneviratne, “Survey on Network Mobility Support”, Mobile Computing and Communications Review, Volume 8, Number 2, 2004.
- [66] C. Ng, E. Paik, T. Ernst, M. Bagnulo, “Analysis of Multihoming in Network Mobility Support,” IETF, RFC 4980, October 2007.
- [67] A. Petrescu, A. Olivereau, C. Jeanneteau, H.-Y. Lech, “Threats for basic network mobility support (NEMO threats)”, IETF Internet Draft: draft-petrescu-nemo-threats-01.txt, 2004.
- [68] S. Kent, K. Seo, “Security Architecture for the Internet Protocol”, IETF RFC 4301, 2005.
- [69] V. Devarapalli, R. Wakikawa, A. Petrescu, and P. Thubert, "Network Mobility (NEMO) Basic Support Protocol," IETF, RFC 3963, January 2005.
- [70] S. Jung, F. Zhao, S. Felix Wu, H. Kim, “Threat analysis on network mobility (NEMO)”, Information and Communications Security, 6th International Conference, 2004.

- [71] P. Vidales, L. Patanapongpibul and R. Chakravorty .Ubiquitous Networking in Heterogeneous Environments.. In Proceedings of the 8th IEEE Mobile Multimedia Communications (IEEE MoMuC'2003), October 2003.
- [72] J. Rosenberg, H. Schulzrinne, G. Camarillo, A. Johnston, J. Peterson, R. Sparks, M. Handley and E. Schooler “SIP: Session Initiation Protocol”, IETF RFC 3261, June 2002.
- [73] P. K. Chowdhury, M. Atiquzzaman, and W. Ivancic. SINEMO: An IP-diversity based approach for network mobility in space, Second International Conference on Space Mission Challenges for Information Technology (NASA SMC-IT), Pasadena, 2006.
- [74] C-W Lee, Y-S. Sun and M-C Chen, HiMIP-NEMO: Combining Cross-layer Network Management and Resource Allocation for Fast QoS-Handovers. Proceedings of the 67th IEEE Vehicular Technology Conference, Singapore, 2008.
- [75] N. Montavont and T. Noel. Handover Management for Mobile Nodes in IPv6 Networks. IEEE Communications Magazine, August 2002.
- [76] C. Kaufman, Ed., “Internet Key Exchange (IKEv2) Protocol”, IETF RFC 4306, 2005.
- [77] Merrill M. Flood. Some experimental games. Research Memorandum RM-789-1. The RAND Corporation, Santa-Monica, CA, USA, 1952, Edition 2009.
- [78] Théorie des jeux : Une Introduction. Jacques-François Thisse.
<http://docplayer.fr/9786911-Theorie-des-jeux-une-introduction-jacques-francois>.
- [79] He Gaoning. A Game-Theoretical Approach to Resource Allocation in Wireless Networks. Domain-other. Télécom ParisTech, 2010.
- [80] Ouassila Labbani, Comparaison des théories des jeux pour l'étude du comportement d'agents. Université des sciences et technologies de Lille, juillet 2003.
- [81] Théorie des jeux : une introduction, Université catholique de Louvain, Département des Sciences économiques, 2004.
- [82] Downs, An economic theory of democracy, Harper, August 2007.
- [83] J. Maynard Smith. Evolution and the theory of games. Cambridge University Press, 1982.
- [84] John. Maynard Smith. Animal Signals. Oxford University Press, 2003.
- [85] Karl Sims. Evolving virtual creatures. SigGraph 94, pages 15,22, 1994.
- [86] Joseph Persky. Retrospectives : The ethology of homo economicus. The journal of Economic perspectives, 1995.

- [87] Planification multi-agents dans un cadre markovien : les jeux stochastiques à somme générale, 2012.
- [88] Théorie des jeux : concepts fondamentaux. Pearson Education France – Principes de microéconomie – Etienne Wasmer, 2010.
- [89] Meriem Kassar, Brigitte Kervella, Guy Pujolle, “An overview of vertical handover decision strategies in heterogeneous wireless networks”, *Computer Communications* vol 31, 2607–2620, 2008.
- [90] J. McNair, F. Zhu, “Vertical handoffs in fourth-generation multi network environments”, *IEEE Wireless Communications* vol 11, page 8– 15, 2004.
- [91] Enrique Stevens-Navarro, “Vertical Handoff in Heterogeneous Wireless Networks”, Department of Electrical and Computer Engineering, University of British Columbia, October 6, 2006.
- [92] Ferdawss Douma and Rafik Braham, “Vertical Handover in Wireless Mesh Networks and its Impact on Routing”, *MESH 2013 : The Sixth International Conference on Advances in Mesh Networks*, page 14– 19, 2013.
- [93] Chen, Y., K. Kowalik, and M. Davis, “MeshScan: Fast and Efficient Handoff in IEEE802.11 Mesh Networks”, *The 7th ACM International Symposium on Mobility Management and Wireless Access (MobiWAC 2009)*, Tenerife, Canary Islands, Spain, October 2009, pp. 105-108.
- [94] Paik E., “Performance Enhancement for IPv6 Network Mobility”, PhD thesis, Seoul National University, School of Electrical Engineering and Computer Science, August, 2004.
- [95] Lionel Bertaux, “Architecture réseau pour véhicule de transport en commun communiquant”, thesis, Toulouse University, September, 2013.
- [96] He Gaoning., “Game-Theoretical Approach to Resource Allocation in Wireless Networks”, Telecom ParisTech, 2010. English.
- [97] Abderrezak Djemai, Mourad Hadjila, Mohammed Feham. Performances Evaluation of Inter-System Handover between IEEE802.16e and IEEE802.11 Networks. *International Journal of Computer Science and Information Security*, Vol. 9, No. 6, 2011.
- [98] A. Djemai, M. Hadjila, M. Feham. Performance Analysis of the Interconnection between WiMAX and UMTS Using MIH Services in MIPv6. *International Journal of Computer Science and Network Security*, VOL.11 No.8, August 2011.
- [99] Abderrezak Djemai, Mourad Hadjila, Mohammed Feham. Performances Evaluation Of Interoperability Between Heterogeneous Wireless Networks. *IJNMT* Vol. 3, No. 2, (July-December 2012) pp. 85-94