



HAL
open science

Gestion du Handover dans les réseaux hétérogènes mobiles et sans fil

Ahmad Rahil

► **To cite this version:**

Ahmad Rahil. Gestion du Handover dans les réseaux hétérogènes mobiles et sans fil. Réseaux et télécommunications [cs.NI]. Université de Bourgogne, 2015. Français. NNT : 2015DIJOS006 . tel-01203104

HAL Id: tel-01203104

<https://theses.hal.science/tel-01203104>

Submitted on 22 Sep 2015

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

SPIM

Thèse de Doctorat



école doctorale **sciences pour l'ingénieur et microtechniques**

U N I V E R S I T É D E B O U R G O G N E

Gestion du Handover dans les Réseaux Hétérogènes Mobiles et sans Fil

v Ahmad RAHIL

SPIM

Thèse de Doctorat



école doctorale sciences pour l'ingénieur et microtechniques
UNIVERSITÉ DE BOURGOGNE

Thèse présentée par
Ahmad RAHIL

Pour obtenir
Le grade de docteur de
l'Université de Bourgogne

Spécialité : Informatique

Gestion du Handover dans les Réseaux Hétérogènes Mobiles et sans Fil

Unité de recherche : Laboratoire *Électronique, Informatique et Image (LE2I)*

Soutenue publiquement le 12 Mars 2015 devant le jury composé de :

Olivier Togni	Directeur de thèse	Professeur, Université de Bourgogne
Mirna Atieh	Co-encadrante	Professeur assistante, Université Libanaise
Selma Boumerdassi	Rapporteure	Maître de conférences, HDR, CNAM Paris
Hamamache Kheddouci	Rapporteur	Professeur, Université Lyon 1
Nader Mbarek	Examinateur	Maître de conférences, Université de Bourgogne
Djamal Benslimane	Examinateur	Professeur, Université Lyon

DÉDICACE

À mes parents, pour leur patience et leurs sacrifices.

À ma femme, pour son encouragement et son soutien.

À mes enfants Hadi, Malak et Nour pour avoir toujours cru en moi.

À tous ceux qui m'aiment et que j'aime.

REMERCIEMENTS

Cette thèse n'aurait pu aboutir sans le soutien et les encouragements continus des tous ceux qui m'ont accompagnée pendant ces années de recherche. Je tiens à remercier, en premier lieu, mon directeur de thèse, M. *Olivier Togni*, pour m'avoir assuré toutes les conditions nécessaires et suffisantes et tous les encouragements sans fin. Je le remercie de m'avoir donné toute liberté pour mener mes travaux de recherche. Je lui suis reconnaissant pour la confiance, l'écoute et le soutien qu'il m'a accordé tout au long de la démarche de cette thèse. Je souhaite également remercier M. *Nader Mbarek*, pour les échanges très enrichissants que j'ai pu avoir avec lui. Sa grande expérience, ses points de vue originaux et son sens critique m'ont permis d'élargir ma vision du domaine des réseaux mobile et sans fil, d'améliorer et de perfectionner toutes les contributions de cette thèse. Je remercie Selma Boumerdassi et *Hamamache Kheddouci* d'avoir accepté la lourde charge d'être rapporteurs de cette thèse et de juger ce travail. Je remercie également le professeur *Djamal Benslimane* d'avoir accepté de faire partie de ce jury en tant qu'examineur. Mes reconnaissances au professeur assistant *Mirna Atieh*, co-directrice de ma thèse au Liban qui a témoigné un soutien infini et qui n'a pas ménagé ses efforts pour l'aboutissement de mes travaux de recherche. Finalement, je n'oublierai pas de remercier Adnan Harb, Professeur agrégé à l'Université Internationale Libanaise à Beyrouth, qui m'a apporté un grand support tout au long de ma thèse.

J'adresse toute ma gratitude et reconnaissance à ceux qui ont contribué à la réalisation, la correction, l'amélioration ainsi que la relecture du manuscrit.

RÉSUMÉ

Depuis les années 90, la technologie réseau et radio mobile a fait l'objet de progrès phénoménaux. Cette avancée technologique s'est faite en parallèle du côté réseau, du côté application et du côté besoin de l'utilisateur. L'évolution rapide de la technologie a eu pour conséquence l'existence d'un environnement hétérogène où la couverture est assurée par la coexistence de plusieurs types de réseaux. Le défi soulevé par cette architecture est de pouvoir naviguer entre plusieurs réseaux d'une façon transparente. La navigation entre réseaux de types différents est connue sous le nom de *Handover vertical*. Le standard IEEE 802.21 offre une composante appelée *Media Independent Handover* (MIH) qui contient une fonction capable de transmettre l'état des liens du nœud mobile depuis les couches inférieures vers les couches supérieures. MIH s'intercale entre le niveau 2 et le niveau 3 dans la pile protocolaire. Le rôle principal de MIH est d'aider le nœud mobile à faire un transfert sans coupure entre des réseaux de types différents, mais la logique de sélection est laissée sans implémentation.

Dans ce contexte nous avons travaillé sur l'amélioration de la gestion du *Handover* en proposant une nouvelle architecture appelée VHMC et basée sur MIH offrant des nouvelles méthodes de sélection du réseau destination. La première proposition est un nouvel algorithme nommé *Multiple Criteria Selection Algorithm* (MCSA) basé sur plusieurs paramètres de qualité du service. Nous avons utilisé le simulateur Network Simulator (NS2) pour évaluer nos propositions en étudiant le nombre de paquets perdus et le temps de latence du *Handover* durant la période du transfert. La deuxième contribution est un nouveau modèle de sélection du réseau destination basé sur la technique de la logique floue. La base d'inférence, qui est l'élément central de la décision de ce modèle, est déduit grâce à une étude basée sur un nombre élevé de cas de *Handover* réels collectés des serveurs de la compagnie de télécommunication libanaise "Alfa". Une troisième solution est proposée à travers un nouveau modèle de sélection du réseau destination basé sur la théorie de la régression linéaire multiple.

Mots-Clés: réseau sans fil - réseau mobile - environnement hétérogène - Handover - Media Independent Handover (MIH) - logique floue - régression linéaire - protocoles mobiles

ABSTRACT

Since 1990, networking and mobile technologies have made a phenomenal unprecedented progress. This progress has been experienced on multiple fronts in parallel; especially on the application level and the user's needs one. This rapid evolution of the technology imposed a need for the existence of heterogeneous environments where the coverage is ensured throughout the different available networks. The challenge with such architecture would be to provide the user with the ability to navigate through the different available networks in a transparent and seamless fashion. However, the navigation among different types of networks is commonly referred to as *vertical Handover*. The IEEE 802.21 standard offers a component that is called *Media Independent Handover* (MIH) which has a function that provides the capability of transmitting the state of the connection of the mobile nodes from the lower to upper layers. This layer would exist between layer 2 and layer 3 within the protocol architecture. The main role of MIH is to help the mobile node transfer without interrupt among different types of networks, but the logic of selection is left without implementation.

In this context, we worked on the improvement of the *Handover* management by proposing a new architecture, called VHMC and based on MIH by offering new methods for selecting the destination network. The first solution is a new algorithm called *Multiple Criteria Selection Algorithm* (MCSA) based on multiple parameters of the quality of service. We used Network Simulator (NS2) for testing our approach and study the number of lost packets and lost time during *Handover*. The second solution is a new model for selecting the destination network based on fuzzy logic techniques. The distinctive characteristic of this model lies in the study of genuine *Handover* records taken from a Lebanese mobile operator called "*Alfa*". A third proposed solution for network selection is based on multiple linear regression theory.

Keywords: Mobile networks, wireless communication, heterogeneous environments, Handover, Media Independent Handover (MIH), fuzzy logic, linear regression, mobile protocols.

TABLE DES MATIÈRES

Dédicace	ii
Remerciements	iv
Résumé	vi
Abstract	vii
Table des matières	viii
Liste des figures	xiv
Liste des tableaux	xvi
Liste des symboles et abréviations	xvii
Chapitre 1. Introduction et contexte	1
1.1. Introduction	1
1.2. Évolution des applications multimédias	1
1.2.1. Données texte – non temps réel	2
1.2.2. Données audio et vidéo – temps réel	2
1.3. Nécessité d'évolution du réseau mobile	3
1.4. Environnement des réseaux hétérogènes et handover	5
1.5. Problématique	7
1.6. Contribution.....	8
1.7. Organisation de la thèse.....	9
Chapitre 2. Caractéristiques des réseaux mobiles et sans fil	11
2.1. Introduction	11
2.2. Débit et portée des réseaux mobiles et sans fil.....	11
2.2.1. Les réseaux individuels sans fil (<i>Wireless Personal Area Network</i> , WPAN) ..	11
2.2.2. Les réseaux locaux sans fil (<i>Wireless Local Area Network</i> , WLAN)	12

2.2.3. Les réseaux métropolitains sans fil (Wireless Metropolitan Area Network, WMAN).....	12
2.2.4. Les réseaux mobiles.....	12
2.3. Handover	12
2.3.1. Nécessité du Handover	12
2.3.2. Différents types de Handover	13
2.3.3. Niveau du Handover	14
2.3.4. Processus du Handover.....	14
2.4. Le Standard IEEE 802.11 : Wi-Fi	17
2.4.1. Mode de fonctionnement du Wi-Fi	18
2.4.2. Handover avec Wi-Fi.....	18
2.5. Le Standard IEEE 802.16 : WiMax fixe et mobile.....	19
2.5.1. Architecture du WiMAX	19
2.5.2. La qualité de service	21
2.5.3. Handover avec WiMAX	21
2.6. Global system for mobile communication: GSM.....	23
2.6.1. Architecture du GSM.....	23
2.6.2. Handover avec la norme GSM	25
2.7. Universal Mobile Telecommunication System, UMTS	25
2.7.1. Architecture de l'UMTS	25
2.7.2. Handover avec UMTS	27
2.8. Media Independent Handover (MIH)	27
2.8.1. Modèle de référence de MIH.....	27
2.9. Conclusion	28

Chapitre 3. Modélisation mathématique par logique floue et régression linéaire.....31

3.1. Introduction31

3.2. Conception d'un modèle de logique flou32

 3.2.1. Introduction32

 3.2.2. Historique32

 3.2.3. Éléments de la logique floue33

 3.2.4. Les systèmes à commandes floues36

3.3. Conception d'un modèle de régression linéaire multiple40

 3.3.1. Historique sur la régression40

 3.3.2. Utilité de la régression linéaire multiple.....40

 3.3.3. Modèle linéaire de régression.....41

 3.3.4. Hypothèses du modèle.....42

 3.3.5. Processus d'estimation et méthode des moindres carrés ordinaires43

 3.3.6. Jugement de la qualité du modèle.....44

3.4. Conclusion45

Chapitre 4. Proposition d'une architecture de gestion du handover47

4.1. Introduction47

4.2. État de l'art de la gestion du Handover avec MIH48

4.3. Vers une extension de MIH49

 4.3.1. Modèle de communication du MIH.....50

 4.3.2. Les services de la fonction MIHF (Media Independent Handover Function) ..51

4.4. Prise de décision par intégration de nouvelles entités57

 4.4.1. Nouvelle architecture d'intégration pour la gestion du Handover57

 4.4.2. Interaction entre VHMC et les trois services du MIHF.....58

4.4.3. Nécessité d'ajouter une nouvelle structure	59
4.4.4. Récupération des valeurs du VHMC_LINK_DATA	60
4.4.5. Avantages et limitation de l'architecture proposée	62
4.5. Conclusion	63
Chapitre 5. Méthode de sélection basée sur plusieurs paramètres	66
5.1. Introduction	66
5.2. Limitation de la méthode de sélection basée sur la puissance du signal	67
5.3. État de l'art des améliorations de l'implémentation du NIST	67
5.4. Besoin de prise en compte de nouveaux paramètres	68
5.5. Environnement et paramètres de simulation	69
5.6. Première simulation : Impact du type du réseau sur la qualité de service	70
5.6.1. Scénario de simulation.....	70
5.6.2. Analyse des résultats	71
5.7. Deuxième simulation: Impact de la vitesse du mobile	72
5.7.1. Scénario de simulation.....	72
5.7.2. Analyse des résultats	73
5.8. Troisième simulation : nouvel algorithme (MCSA).....	74
5.8.1. Scénario de simulation.....	74
5.8.2. Stratégie de l'algorithme du NIST	75
5.8.3. Nouvelle stratégie de sélection : l'algorithme MCSA.....	75
5.8.4. Analyse des résultats	75
5.9. Conclusion	82
Chapitre 6. Sélection basée sur la logique floue et la régression lineaire	84
6.1. Introduction	84

6.2. Données réelles de handover et étalonnage	84
6.3. Sélection basée sur un modèle de logique floue	85
6.3.1. Travaux portant sur l'utilisation de la logique floue lors du Handover.....	85
6.3.2. Définition du modèle à partir des données	86
6.3.3. Mécanisme de l'algorithme proposé.....	90
6.3.4. Intégration du modèle de sélection flou dans MIH	92
6.4. Sélection basée sur un modèle de regression linéaire.....	95
6.4.1. Handover et Régression dans la littérature	95
6.4.2. Définition de notre modèle de régression à partir de données réelles	96
6.4.3. Intégration de notre modèle de régression linéaire multiple à MIH.....	97
6.4.4. Application du modèle proposé pour la sélection d'un réseau destination	99
6.5. Conclusion	100
Conclusion générale et perspectives.....	102
Références.....	104

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Environnement hétérogène	5
Figure 2 : Media Independent Handover – MIH	7
Figure 3 : Processus du Handover	16
Figure 4 : Mode infrastructure Wi-Fi	18
Figure 5 : Architecture du WiMAX	20
Figure 6 : Mécanisme du hard Handover	22
Figure 7 : Réseau cellulaire GSM.....	23
Figure 8 : Architecture UMTS.....	26
Figure 9 : Fonction d'appartenance caractérisant le sous-ensemble "Moyenne"	34
Figure 10 : Comparaison entre (a) fonction caractéristique d'un ensemble classique et (b) fonction d'appartenance d'un ensemble flou pour la variable X	35
Figure 11: Droite de régression	42
Figure 12 : Architecture d'intégration du VHMC pour la gestion du Handover	51
Figure 13 : Intégration des modèles dans notre architecture de gestion du Handover	53
Figure 14 : Media Independent Handover - MIH.....	54
Figure 15 : Flux des évènements des services MIES et MICS.....	55
Figure 16 : Flux d'information entre entité locale et distante	56
Figure 17 : Flux d'information entre MIH et notre entité VHMC	59
Figure 18 : Récupération des valeurs des paramètres du VHMC_LINK_DATA.....	60
Figure 19 : Importance de la vitesse versus le rayon de couverture du réseau.....	69
Figure 20 : (a) Handover Wi-Fi - WiMAX, (b) Handover WiMAX- Wi-Fi.....	71
Figure 21 : Courbe du temps de latence du Handover	72

Figure 22 : Effet de la vitesse sur la qualité de service	72
Figure 23 : Nombre de paquets perdus en fonction de la vitesse du mobile	73
Figure 24 : Topologie du troisième scénario	74
Figure 25 : Organigramme de l'algorithme MSCA	77
Figure 26 : Nombre de paquets perdus par NIST et MCSA.....	78
Figure 27 : Flux des messages selon l'algorithme de NIST et de MCSA.....	81
Figure 28 : Unités de notre système de logique floue	87
Figure 29 : Fonction d'appartenance pour le paramètre Ec/Io.....	87
Figure 30 : Fonction d'appartenance pour le paramètre RSCP.....	87
Figure 31 : Fonction d'appartenance pour le paramètre ABW	88
Figure 32 : Scénario étudié.....	90
Figure 33: Organigramme de l'algorithme de sélection basé sur la logique floue	93
Figure 34 : Intégration du modèle de logique floue à MIH.....	95
Figure 35 : Intégration du modèle MLRM à MIH.....	98
Figure 36 : Scénario de Handover	99
Figure 37 : Représentation matricielle du modèle MLRM.....	99

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Évolution et caractéristique de la téléphonie cellulaire.	4
Tableau 2 : Niveau du Handover.....	15
Tableau 3 : Évolution des différentes versions Wi-Fi.....	17
Tableau 4 : WiMAX fixe et mobile.....	19
Tableau 5 : Les opérateurs (NON), (ET) , (OU) les plus couramment utilisés.....	35
Tableau 6 : Définitions des implications floues de Mamdani et Larsen.....	36
Tableau 7 : Les messages des différents services MIH.....	55
Tableau 8 : Paramètres de simulation.....	70
Tableau 9 : Comparaison en nombre de Handover (HO) et de Paquets Perdus.....	78
Tableau 10 : Univers du discours.....	88
Tableau 11 : Règle de la base d'inférence.....	89
Tableau 12 : Valeurs des paramètres d'entrée pour chaque réseau disponible.....	90
Tableau 13 : Fonction et degré d'appartenance des valeurs des réseaux candidats.....	91
Tableau 14 : Force de déclenchement des règles et scores affectés aux réseaux candidats...	92
Tableau 15 : Coefficient de corrélation de Pearson.....	97
Tableau 16 : Coefficient de la régression.....	97
Tableau 17 : Poids des variables.....	97
Tableau 18 : Valeur des KPIs pour chaque réseau.....	99
Tableau A.1: Les Primitives du MIH _SAP.....	110
Tableau A.2: Les Primitives du MIH_LINK_SAP.....	111
Tableau B.1: Les évènements du service MIES.....	112
Tableau B.2: Les évènements du service MICS.....	114
Tableau B.3: Éléments d'information du service MIIS.....	115

LISTE DES SYMBOLES ET ABBRÉVIATIONS

Access Network Discovery and Selection Function	ANDSF
Access Point	AP
Advanced Mobile Phone System	AMPS
Always Best Connected	ABC
Conférence des administrations Européennes des Postes et Télécommunication	CEPT
European Telecommunications Standard Institute	ETSI
Extended Total Access Communication System	ETACS
Fast Base Station Switching	FBSS
General Packet Radio System	GPRS
Global System for Mobile communication	GSM
Internet Engineering Task Force	IETF
Macro Diversity Handover	MDHO
Media Independent Command Services	MICS
Media Independent Event Services	MIES
Media Independent Handover	MIH
Media Independent Handover Function	MIHF
Media Independent Information Service	MIIS
Multi Criteria Selection Algorithm	MCSA
Multi Media Messages	MMS
National Institute of Standard and Technology	NIST
Open Systems Interconnection model	OSI
Quality of Service	QoS
Radio Signal Strength Indicator	RSSI
Short Messages Services	SMS
Simple Mail Transfer Protocol	SMTP
Third Generation Partnership Project	3GPP
Total Access Communication System	TACS
Union International des Communications	UIT

Universal Mobile Telecommunication System	UMTS
User Data Protocol	UDP
Vertical Handover Management Center	VHMC
Wireless Fidelity	Wi-Fi
Wireless Local Area Network	WLAN
Wireless Metropolitan Area Network	WMAN
Wireless Personal Area Network	WPAN
Wireless Wide Area Network	WWAN
Worldwide Interoperability for Microwave Access	WiMAX

CHAPITRE 1. INTRODUCTION ET CONTEXTE

1.1. INTRODUCTION

Ce premier chapitre vise à montrer l'évolution de la technologie sous deux volets : le premier volet concerne les réseaux de données qui étaient au départ des réseaux câblés mais avec l'utilisation de l'onde radio sont devenus des réseaux capables de communiquer avec des appareils sans fil. Le deuxième volet est celui des réseaux cellulaires et leur évolution depuis la première génération jusqu'à nos jours. Ainsi nous décrivons la formation d'un environnement hétérogène comme résultat de l'évolution technologique pour montrer les défis qui apparaissent dans ce contexte. Au cœur d'un tel environnement, la gestion de la qualité de service pour un utilisateur mobile est un élément clé, notamment lorsque celui-ci change son point d'attachement d'un réseau à un autre.

1.2. ÉVOLUTION DES APPLICATIONS MULTIMÉDIAS

Dans le but de répondre aux dangers nucléaires, le département de la défense américain a développé en 1964 une architecture de communication basée sur le protocole IP qui permet de faire communiquer plusieurs ordinateurs. Cette architecture, connue plus tard sous le nom de l'*Internet*, permet la communication à distance entre plusieurs participants sous différentes formes telles que le transfert de fichiers, le partage des données textuelles, le courrier électronique, la navigation à travers des liens hypertextes, etc. Le transfert des données multimédia (image et vidéo), via un réseau était à l'époque encore difficile. Ceci est dû au défaut de la capacité du matériel informatique de traiter facilement ce genre de données exigeantes en matière de ressources.

La nature des données multimédia (voix, image et vidéo), leur clarté et leur proximité du sens humain a participé à leur donner une place prépondérante dans le trafic du réseau. Ce type de données est exigeant en matière de ressources informatiques et ressources réseaux. En effet, le délai d'acheminement de la "voix" doit rester inférieur à 150 ms [1] pour être perceptible par l'oreille humaine; sinon on assiste à une dégradation de la qualité de service lors du transfert des données. Les données "voix" et "vidéo" sont classifiées comme étant des données temps réel et obéissent à l'exigence d'un délai d'acheminement de bout en bout limité et/ou une variation de délai (Gigue) réduite. Cependant, les données de type "texte" sont classifiées comme données non temps réel et sont moins exigeantes au niveau du délai d'acheminement de bout en bout et de la gigue. Par contre ces données de type "texte" sont sensibles au taux de perte.

1.2.1. Données texte – non temps réel

Les données textuelles représentent tout type de données texte tels que : le Short Messages Services (SMS), le courrier électronique et les fichiers texte. Pour ce type de données, le facteur temps de transfert de bout en bout entre la source et la destination ne joue pas un rôle décisif. Par exemple, cela ne changera pas grand-chose si un courrier électronique met 1 ou 5 minutes pour être acheminé du moment que tous les paquets arrivent à destination et dans l'ordre. Pour ce type de données, le protocole de transport utilisé est généralement TCP qui est connu pour sa fiabilité grâce à son processus de retransmission des segments perdus. D'autres protocoles de transmission tels Simple Mail Transfer Protocol (SMTP) sont aussi considérés comme convenables pour le transfert des données de type " texte ". D'autre part, ces données sont par nature compressibles, ce qui favorise leur transmission sans grande exigence de bande passante.

1.2.2. Données audio et vidéo – temps réel

Il s'agit de toute sorte de données issues d'applications multimédias. Ces applications, dites temps réel, qui manipulent et transmettent la voix et la vidéo sont caractérisées par le fait qu'elles ne tolèrent pas une variation de délai d'acheminement qui sépare deux paquets (gigue) supérieure à 50 ms [1]. Une gigue élevée peut entraîner une augmentation de la perte de paquets. Elles sont appelées des applications temps réel interactives.

De nos jours, avec le développement et l'apparition des réseaux à haut débit, ces applications deviennent de plus en plus présentes et continuent à prendre de l'ampleur sur Internet tel est le cas des applications de téléphonie, jeux en ligne, vidéo à la demande, visioconférence, enseignement à distance, la radio diffusée, la télévision, etc. La qualité de service de tous ces genres d'applications sera grandement affectée par un retard ou une perte importante des paquets lors du transfert de ces données. D'autre part, pour assurer une bonne qualité de service de bout en bout sur Internet, il est indispensable d'améliorer l'infrastructure de diffusion de telles applications vu que la livraison des paquets sur Internet se fait selon le principe du Best Effort qui ne donne aucune garantie de qualité de service lors de la livraison des paquets.

La communication réseau n'est pas limitée au seul réseau Internet. En effet, il y a aussi le réseau de la téléphonie cellulaire qui était séparé du réseau Internet jusqu'au début des années 90. Ces deux types de réseaux offrent des services différents et s'adressent chacun à une clientèle différente. Par ailleurs, l'apparition de la voix sur IP a trouvé un service commun entre ces deux réseaux et a suscité une convergence de telle sorte qu'on trouve, de nos jours, les applications et les services de l'Internet sur notre téléphone mobile (Skype, Viber, MSN, connexion sur Internet via le téléphone mobile, etc.). Ceci a donné une opportunité à développer un grand marché pour le réseau mobile et à favoriser son évolution.

1.3. NÉCESSITÉ D'ÉVOLUTION DU RÉSEAU MOBILE

Avec sa première apparition, le réseau mobile était une version analogique connue sous le nom de première génération (1G). Il utilisait différents standards comme l'*Advanced Mobile Phone System* (AMPS) développé par le laboratoire Bell et qui a vu le jour en 1976 [2], le *Total Access Communication System* (TACS) utilisé au début de son apparition en 1985 aux Royaume-Unis suivi par une version améliorée appelée l'*Extended Total Access Communication System* (ETACS) [3]. La version analogique de cette génération était limitée du point de vue technologique ce qui a évoqué une évolution de la technologie utilisée par le cellulaire mobile permettant de passer de l'analogique au numérique. Deux grands organismes ont travaillé sur l'évolution de la première génération : la *Conférence des Administrations Européennes des Postes et Télécommunications* (CEPT) et l'European Telecommunications Standard Institute (ETSI). La nouvelle génération est numérique et sera nommée (2G) opérant sur la bande de fréquence de 900MHZ et permettant un débit de 9.6 Kbit/s, offrant aux utilisateurs la téléphonie vocale, le fax et la transmission (modérée) de données. Les principaux standards de la deuxième génération sont :

- **Global System for Mobile communications (GSM)**

Idéal pour la communication de type voix où les ressources ne seront allouées que pour la durée de la conversation. Il a été commercialisé pour la première fois en France en 1991. Le GSM transmet facilement des données numériques de faible volume tel que le Short Message Service (SMS) et les Multi Média Messages (MMS).

- **General Packet Radio System (GPRS)**

Pour améliorer les débits, un nouveau standard est apparu, celui du General Packet Radio System (GPRS) nommé génération 2.5 (2.5G), permettant un débit théorique de 114Kbit/s. Le GPRS a connu deux grandes phases d'évolution en 1997 et 1999. Il a fait son apparition pour la première fois sur le marché français en 2002 [4].

- **Enhanced Data Rates for Global Evolution (EDGE)**

Lancé pour la première fois en Juillet 2003, EDGE est un autre standard baptisé 2.75G et qui permet un débit théorique de 384Kbit/s. La deuxième génération était limitée pour les transmissions de type vidéo et visio-conférence. L'Union Internationale des Télécommunications (UIT) définit les normes de la troisième génération à travers l'International Mobile Telecommunication IMT-2000. Ces spécifications permettront la transmission des données multimédia telles que la vidéo, la visio-conférence et l'accès à Internet haut débit. D'où les caractéristiques de la troisième

génération (3G) comme étant un réseau mondialement compatible avec les services de son antécédent comme la deuxième génération (2G) et dont le débit peut atteindre les 384 Kbit/s permettant ainsi l'usage des applications multimédia telles que la visio-conférence et la vidéo.

- **Universal Mobile Telecommunication System (UMTS)**

L'UMTS est l'une des technologies de troisième génération lancée en France en 2004. Les différents standards téléphoniques ont évolué avec le temps (cf. Tableau 1). Pour faire face à ces évolutions technologiques, il était nécessaire de se préparer pour une transmission à très haut débit. L'organisme de standardisation 3GPP a défini la norme *Long Term Evolution* (LTE) commercialisée en octobre 2010, considérée comme une norme de troisième génération (3.9G) basé entièrement sur les protocoles IP. Cette norme opère sur une fréquence à large bande de 1,4 MHz à 20 MHz et un débit de 300 Mbit/s. Le temps de latence du *Handover* durant la période du transfert sera réduit à 10 ms et cette norme gère mieux la mobilité à grande vitesse comparativement à la 3G. L'architecture du LTE permet de réduire le délai d'accès au réseau, de mieux gérer les utilisateurs en mobilité, d'offrir une meilleure qualité de service et une meilleure gestion de la sécurité. En 2011, la LTE Advanced (LTE-A) a été développée au sein des groupes ETSI et 3GPP (normes 3GPP release 10 - version 10), qui est une évolution de la norme LTE qui lui permet d'atteindre le statut de " véritable norme 4G " avec un débit qui peut atteindre le 1Gb/s.

Le Tableau 1 retrace les principales caractéristiques des standards de la téléphonie cellulaire.

Tableau 1 : Évolution et caractéristique de la téléphonie cellulaire.

Standard	Génération	Caractéristiques	Débit réel
GSM	2G	Permet le transfert de la voix ou des données numériques de faible volume	9,6 Kbit/s
GPRS	2.5G	Permet le transfert de la voix ou des données numériques de volume modéré	48 Kbit/s
EDGE	2.75G	Permet le transfert simultané de la voix et des données numériques	171 Kbit/s
UMTS	3G	Permet le transfert simultané de la voix et des données numériques à haut débit	384 Kbit/s
LTE	3.9G	Réduit le délai d'accès au réseau et améliore la qualité de service	300Mbit/s
LTE Advanced	4G	Débit plus élevé et meilleure performance radio par rapport à ses prédécesseurs	1 Gb/s

1.4. ENVIRONNEMENT DES RÉSEAUX HÉTÉROGÈNES ET HANDOVER

Les réseaux sans fil ont pris une grande ampleur dans différents domaines de façon qu'on ne puisse presque plus imaginer un monde sans moyen de communication sans fil. Avec une communication sans fil, le transfert des données à travers différents types de réseaux (réseau de données ou bien le réseau téléphonique) se fait par l'intermédiaire de l'onde radio. Ce progrès phénoménal exige, d'un côté, une compatibilité entre les différentes technologies existantes et, d'un autre côté, il donne une richesse et permet la continuité de l'évolution de la technologie. Ainsi, l'apparition d'une nouvelle génération de réseau cellulaire n'élimine pas nécessairement la précédente. Il n'existe pas un réseau cellulaire capable de satisfaire tous les participants : utilisateur et opérateur. De ce fait, l'environnement qui entoure un utilisateur mobile sera formé par un ensemble de réseaux mobiles et sans fil de types différents (Wi-Fi, WiMAX, GSM, UMTS, etc.) qui coexistent les uns avec les autres. Ce nouvel environnement est considéré comme étant un environnement hétérogène (cf. Figure 1). Dans un tel environnement, un nœud mobile doit rester toujours bien servi et ceci n'importe quand et de n'importe quel endroit imposant ainsi une nouvelle exigence appelée *Always Best Connected (ABC)*.

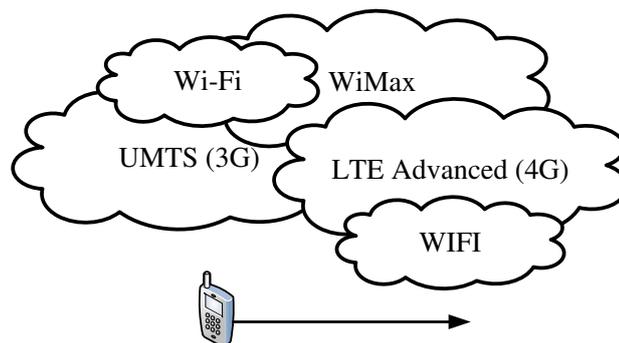


Figure 1 : Environnement hétérogène

Pour assurer une meilleure qualité de service et satisfaire les besoins de l'utilisateur, un nœud mobile aura besoin de migrer entre ces différents accès radio. Ceci invoque plusieurs défis techniques à surmonter. En effet, durant le temps de transfert entre un réseau et un autre appelé temps de *Handover* (ou temps de latence du *Handover*), le nœud mobile est incapable de recevoir des paquets du réseau qu'il est en train de quitter et ne peut pas encore recevoir des paquets du réseau sur lequel il va. Pour nos simulations du Chapitre 5, nous avons pris, pour estimation du temps de *Handover*, la différence entre l'heure du dernier paquet reçu sur l'ancien réseau et du premier paquet reçu sur le nouveau. Ces deux temps peuvent être légèrement différents mais cela reste une bonne estimation. Plusieurs problèmes techniques se posent alors, comme le transfert d'un utilisateur mobile sans coupure de session (*Seamless Handover*), l'assurance d'une bonne qualité de service (QoS), la gestion de la mobilité, la gestion des ressources réseaux, la garantie d'un point d'équilibre pour

satisfaire aussi bien les besoins de l'utilisateur que les préférences de l'opérateur. Il existe aussi d'autres facteurs à prendre en compte (la sécurité, l'authentification, etc.) qui jouent un rôle important lors du transfert d'un utilisateur mobile entre les réseaux. Toutes ces hypothèses ouvrent la porte grande ouverte à la recherche et à la conception de solutions de prise de décisions basées sur plusieurs paramètres qui gèrent un transfert transparent du nœud mobile entre les réseaux (d'une façon imperceptible par l'utilisateur).

Le fait de quitter le réseau mobile courant et de se connecter sur un nouveau réseau s'appelle le processus de *Handover*. Il existe plusieurs techniques de *Handover*. Parmi celles-ci, citons : le *Make-Before-Break* dans lequel le mobile se connecte sur le nouveau réseau avant qu'il ne coupe ses liens avec le réseau mobile courant et le *Break-Before-Make* dans lequel un mobile coupe ses liens avec le réseau courant pour ensuite se connecter sur le nouveau réseau. Quelle que soit la méthode utilisée, il reste primordial que le processus de *Handover* se fasse d'une façon transparente pour l'utilisateur et de la façon la plus rapide possible pour éviter une grande perte de paquets et, par conséquent, une détérioration de la qualité du service. Il est utile de mentionner que la décision du *Handover* se fait soit complètement au niveau de l'opérateur réseau (c'est le cas réel de toutes les compagnies de télécommunication), soit au niveau du mobile (c'est souvent le cas des études théoriques) ou bien encore cette décision peut être un partage entre les deux côtés (utilisateur mobile et opérateur réseau).

Pour répondre à ces défis et aider l'utilisateur mobile à faire un *Handover* transparent, plusieurs standards ont été proposés. *Media Independent Handover* (MIH) est un standard défini par l'organisme IEEE sous le nom IEEE 802.21 dont le rôle est d'aider à accomplir une transition transparente à l'utilisateur entre différents réseaux. La composante MIH s'intercale au niveau 2.5 de la couche protocolaire entre la couche liaison (L2) et la couche réseau (L3) (cf. Figure 2). Ce standard comporte une composante appelée *Media Independent Handover Function* (MIHF) qui offre trois services: *Media Independent Event Services* (MIES) dont le rôle est de détecter l'état des liens aux niveaux L2 et physique, *Media Independent Command Services* (MICS) dont le rôle est de contrôler l'état des liens à partir des couches supérieures et *Media Independent Information Services* (MIIS) qui représente une base de données contenant un grand nombre d'informations sur les réseaux disponibles dans l'entourage du nœud mobile. Un nœud mobile peut utiliser ce standard pour faire un *Handover* transparent lorsqu'il change son point de connexion d'un réseau à un autre.

Le *3rd Generation Partnership Project* (3GPP) est un projet de collaboration entre différents organismes et groupes de recherche en télécommunication. Son rôle est de normaliser la communication de la téléphonie mobile entre différents standards et ceci à l'échelle mondiale. Ce projet a été étendu pour couvrir les spécifications des réseaux considérés comme non-3GPP tels que Wi-Fi et WiMAX. Il propose une entité appelée *Access Network Discovery and Selection Function* (ANDSF) pour gérer le *Handover* entre le réseau 3GPP et le réseau non-3GPP. Dans le cadre de cette thèse

nous proposons une nouvelle architecture basée sur MIH pour gérer le *Handover* dans un environnement hétérogène.

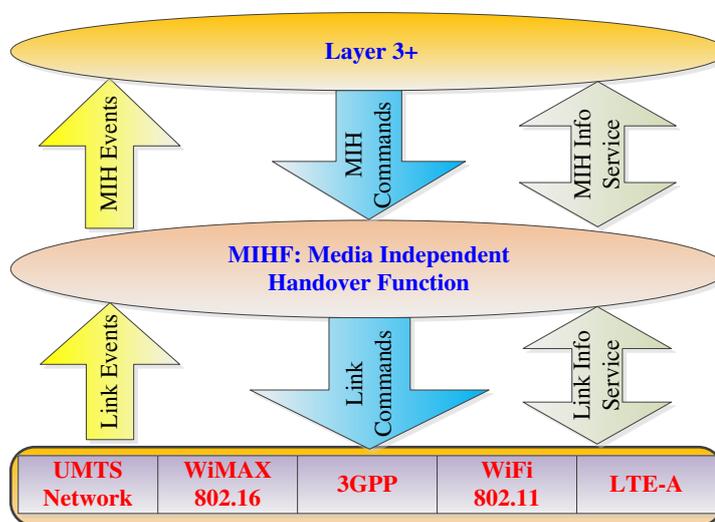


Figure 2 : Media Independent Handover – MIH

1.5. PROBLÉMATIQUE

Chaque type d'application a ses propres exigences en matière de ressources réseau et de qualité de service. Par exemple, lors de l'exécution du transfert des données durant la période du *Handover*, un délai d'acheminement supérieur à 150 ms gêne énormément les applications de temps réel généralement transportée par le protocole UDP; une variation de délai des paquets consécutifs (gigue) supérieure à 50 ms perturbe la communication et détériore la qualité de service. D'autant plus, lors du transfert entre deux réseaux en milieu hétérogène, le nœud mobile perd tous les paquets qui lui sont adressés par le nœud correspondant. En effet, un taux de perte supérieur à 1%, pour une application de type voix, sera considéré comme inacceptable [5]. Par contre, la communication texte (SMS, courriel, etc.) est plus tolérante vis-à-vis du délai d'acheminement de bout en bout vu qu'elle utilise les propriétés de réémission du protocole TCP.

Le développement de nouvelles applications multimédia nécessitant d'importantes ressources a exigé une évolution technologique des réseaux de données et des réseaux téléphoniques ; d'où l'apparition des appareils téléphoniques intelligents. Un autre point à prendre en considération est le besoin d'une bonne qualité de service. Il n'existe pas une seule technologie réseau dominante capable de satisfaire les besoins des différents utilisateurs. Les paramètres qui entrent en jeu, pour assurer un bon service, diffèrent selon la nature de l'application (Voix, Donnée, Vidéo, etc.) et le type du réseau (Wi-Fi, GSM, UMTS, WiMAX, etc. ...). Dans un tel environnement caractérisé par la présence de différentes technologies, le défi reste de servir le client avec la meilleure qualité de service possible. Ceci peut demander la

migration de l'utilisateur mobile entre ces différentes technologies omniprésentes dans son environnement. Dans ce contexte, le problème posé est de naviguer entre ces différents réseaux d'une manière transparente et imperceptible par l'utilisateur et de trouver un compromis entre la mobilité, la transparence et le respect de la qualité de service. Des utilisateurs mobiles, ayant différents profils et préférences, voudraient être toujours connectés au meilleur réseau à tout moment, sans avoir à se soucier des différentes transitions entre les réseaux hétérogènes. L'utilisation optimale des ressources radios et les aspects économiques doivent également être considérés, y compris la minimisation des coûts pour les utilisateurs et la maximisation des revenus pour les fournisseurs de services ou les opérateurs.

1.6. CONTRIBUTION

La contribution principale de cette thèse est la proposition d'une architecture de gestion du *Handover* basée sur une extension de MIH. Cette architecture est ouverte dans le sens où elle peut accueillir l'implantation de différents algorithmes de sélection du réseau. Trois algorithmes sont proposés et étudiés dans cette thèse. Le premier est un nouvel algorithme appelé *Multi Criteria Selection Algorithm* (MCSA) dont le rôle est de faire une sélection basée sur plusieurs paramètres (la bande passante disponible et la puissance du signal du réseau destination). En comparaison, le standard IEEE 802.21 implémenté dans Network Simulator (NS2) par le NIST utilise un algorithme qui sélectionne le réseau de destination en se basant sur un seul paramètre qui est la puissance du signal (*Radio Signal Strength Indicator*, RSSI). L'algorithme MCSA est implémenté dans NS2 et ses résultats sont comparés à l'algorithme du NIST pour montrer l'efficacité de notre algorithme MCSA en mesurant le nombre de paquets perdus et le temps de latence du *Handover*.

Le deuxième algorithme que nous avons mis au point propose un modèle de sélection du réseau destination basé sur la théorie de la logique floue. En fait, la partie la plus importante d'un modèle basé sur la logique floue est la base d'inférence avec les règles de décision (moteur d'inférence). Dans notre cas, nous avons collecté des données réelles de la compagnie de télécommunication mobile libanaise "*Alfa*". Les données collectées contiennent 9600 enregistrements et montrent les valeurs d'un nombre important de paramètres de qualité de service avant, durant et après le *Handover* entre les réseaux 2G et 3G. Ces données ont subi un processus de "*Data Mining*" qui a mené à identifier, parmi l'ensemble des paramètres collectés, ceux qui sont les plus pertinents pour le choix d'un réseau lors du processus de *Handover*. D'autre part, parmi l'ensemble des enregistrements recueillis, nous avons 100 cas de *Handover Vertical* à partir desquels nous avons identifié 12 règles qui ont constitué le moteur d'inférence de notre modèle. Une fois que le moteur d'inférence est bien identifié, un algorithme basé sur la logique floue utilise les règles d'inférence pour sélectionner le meilleur réseau parmi plusieurs réseaux disponibles dans l'entourage du mobile.

La troisième méthode de *Handover* proposée est un nouveau modèle de prise de décision basé sur plusieurs paramètres. Ce modèle est déduit à partir de la théorie de la régression linéaire multiple. Dans notre modèle, nous identifions le poids de trois paramètres de qualité de service (*Key Performance Indicator*, KPIs) comme étant des paramètres décisifs pour la prise de décision lors du *Handover*. Le modèle offert permet de sélectionner le réseau qui garantit la meilleure qualité de service parmi l'ensemble des réseaux disponibles dans l'entourage du nœud mobile.

Pour l'ensemble des trois solutions trouvées, la composante *Media Independent Handover* (MIH) est utilisée pour collecter l'état des liens au niveau de la couche L2. Le rôle de MIH est ici d'annoncer le besoin de *Handover* et de transmettre les évènements de *Link_Going_Down* (LGD) qui correspondent à la phase d'initiation du *Handover*. La phase de sélection du réseau de destination est assurée par l'utilisation de l'une des solutions proposées dans cette thèse. Une fois le réseau de destination sélectionné, l'exécution du *Handover* se fait au niveau de la couche 3 par les protocoles de gestion de la mobilité.

Plusieurs protocoles IP au niveau de la couche réseau, tels que: *Mobile IPv4* (MIPv4), *Mobile IPv6* (MIPv6), *Proxy Mobile IPv6* (PMIPv6), *Hierarchical Mobile IPv6* (HMIPv6), sont capables d'exécuter le *Handover* selon différentes stratégies. Chacune de ces stratégies introduit un temps de latence du *Handover* différent et, par conséquent, un taux de perte de paquets différent. En réalité, plus le temps de latence du *Handover* (temps nécessaire pour accomplir le processus de *Handover*) est grand, plus le taux de perte de paquets est élevé et plus la qualité de service est dégradée.

1.7. ORGANISATION DE LA THÈSE

La thèse comprend six chapitres. Les trois premiers (dont le présent chapitre d'introduction) présentent le contexte technologique et théorique et les trois derniers présentent nos contributions.

Le Chapitre 1 introduit le contexte et l'environnement dans lequel nous avons mené notre recherche. Il décrit la chronologie de l'évolution des applications utilisées sur Internet, la nature des données transmises (temps réel ou non temps réel) et le débit nécessaire pour assurer le transfert de ces données. Ceci montre la nécessité de l'évolution des technologies réseaux pour assurer aux nouvelles applications une bonne qualité de service. L'évolution des technologies réseaux donne naissance à un environnement hétérogène qui soulève de nouveaux défis tels que la migration d'un utilisateur mobile entre des réseaux de différents types, sans aucune coupure.

Le Chapitre 2 décrit les technologies des réseaux sans fil et des réseaux mobiles les plus répandus (Wi-Fi, WiMAX, GPRS et UMTS). Il montre la différence architecturale entre ces technologies et discute les moyens offerts par chacune d'elle pour gérer le processus de *Handover*. Ensuite, il présente les différentes phases de ce processus, ses différents types et les différents niveaux de la couche protocolaire où le *Handover* peut prendre place. Enfin, ce chapitre introduit la composante *Media*

Independent Handover (MIH) en montrant son rôle, ses avantages et ses limitations pour la phase de sélection d'un réseau de destination durant la période du *Handover*.

Le Chapitre 3 introduit les notions théoriques des deux modèles proposés par notre thèse pour le *Handover*. En effet, le MIH ne définit aucune stratégie de sélection du réseau destination. Nous proposons, dans ce chapitre, deux nouveaux modèles de sélection du réseau destination qui seront intégrés dans MIH. Le premier modèle est basé sur la théorie de la logique floue et le deuxième modèle est inspiré de la théorie de la régression linéaire multiple basée sur plusieurs paramètres de qualité de service. Ce chapitre explique la théorie nécessaire pour la construction de chacun de ces deux modèles dont le rôle est de prédire le meilleur réseau parmi plusieurs disponibles dans l'entourage du nœud mobile.

Dans le Chapitre 4, nous décrivons notre proposition d'une architecture globale de gestion du *Handover* dans un environnement hétérogène de communications mobiles et sans fil. En effet, une nouvelle couche, appelée *Vertical Handover Management Center* (VHMC), est ajoutée à MIH la rendant robuste et plus intelligente pour la sélection du réseau destination en cas de *Handover*. VHMC est un centre de décision à architecture ouverte capable de contenir, non seulement l'ensemble de nos algorithmes proposés dans le cadre de notre thèse pour la sélection du meilleur réseau destination (modèle de logique flou, modèle de régression linéaire et MCSA), mais aussi toute nouvelle proposition de stratégie de sélection.

Dans le Chapitre 5, nous détaillons notre contribution MCSA qui est un nouvel algorithme de sélection du réseau destination. Le *National Institute of Standard and Technology* (NIST) implémente le standard IEEE 802.21 dans le *Network Simulator* (NS2) en utilisant un algorithme basé sur un seul paramètre qui est la puissance du signal (*Radio Signal Strength Indicator*, RSSI). Notre contribution propose une nouvelle stratégie de sélection du réseau destination basée sur plusieurs paramètres et porte le nom de *Multi Criteria Selection Algorithm* (MCSA). L'efficacité de notre algorithme sera évaluée dans un environnement hétérogène formé des réseaux Wi-Fi et WiMAX. Network Simulator (NS2) sera utilisé pour montrer la performance de notre algorithme par rapport à celui du NIST en comparant le taux de perte de paquets et le temps de latence du *Handover* mesurés en utilisant les deux algorithmes.

Dans le Chapitre 6, nous montrons comment construire les deux modèles de logique floue et régression linéaire décrits dans le Chapitre 3 à partir des données réelles collectées de la compagnie de télécommunication mobile libanaise "*Alfa*". Ainsi, nous détaillons toutes les étapes nécessaires pour déduire chacun des deux modèles et montrer leurs applications dans un cas de *Handover* dans un environnement hétérogène.

Enfin, nous terminons par une conclusion générale du manuscrit et nous proposons des perspectives à ce travail.

Les travaux issus de cette thèse ont fait l'objet de présentations et publications dans des conférences internationales [6][7], dans des journaux [8], ainsi que de soumissions.

CHAPITRE 2. CARACTÉRISTIQUES DES RÉSEAUX MOBILES ET SANS FIL

2.1. INTRODUCTION

L'unité de base de la communication sans fil est l'onde radio. C'est en 1864 que James Clerk Maxwell, un physicien britannique, met en évidence l'existence des ondes électromagnétique. En 1888, Heinrich Hertz, un physicien allemand, prouve que le champ magnétique se propage à la vitesse de la lumière. Ces ondes électromagnétiques sont appelées plus souvent onde radioélectriques ou ondes hertziennes.

L'onde radio révolutionne, plus tard, le monde de la communication sans fil et entre autre les réseaux de données et les réseaux cellulaires. Avant l'utilisation de l'onde radio comme moyen de transmission, les réseaux de communication étaient limités à une structure câblée qui est lourde et coûteuse. La mobilité et le coût minime de l'installation des réseaux de communications sans fil ont favorisé leur développement par rapport aux réseaux câblés. La communication sans fil présente, outre ses avantages, plusieurs inconvénients : (1) le respect des normes de diffusion radio électrique, (2) leur propagation dans l'air peut rencontrer des obstacles naturels, (3) le besoin du contrôle de la propagation du signal dans l'air et son rayon de couverture et finalement, (4) une onde radio peut subir des attaques de son environnement ce qui la rend non sécurisée et demande un effort pour protéger les données transmises dans l'air.

2.2. DÉBIT ET PORTÉE DES RÉSEAUX MOBILES ET SANS FIL

Les réseaux sans fil sont classés en différentes catégories selon les critères suivants : débit maximum, rayon de couverture, sécurité, bande de fréquence.

2.2.1. Les réseaux individuels sans fil (*Wireless Personal Area Network, WPAN*)

La portée d'un réseau WPAN ne dépasse pas quelque dizaines de mètres. Ce type de réseau sert généralement à relier des périphériques comme une imprimante, un téléphone portable, un assistant personnel (PDA), relier une télécommande à un poste télévisé, etc. La principale technologie utilisée avec cette catégorie de réseaux sans fil est le standard IEEE 802.15.1 (Bluetooth) lancé par Ericsson en 1994 avec un débit de 1 Mbp/s et ayant une couverture qui ne dépasse pas une trentaine de mètres. Il est connu pour sa grande consommation d'énergie. Le standard IEEE 802.15.4 (ZigBee) à faible consommation d'énergie et les liaisons infrarouges représentent

d'autres exemples de réseaux sans fil pouvant transmettre des données sur quelques dizaines de mètres.

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

La portée d'un réseau WLAN est de quelques centaines de mètres (300 mètres) et il est utilisé souvent dans les entreprises pour former un réseau local sans fil afin de connecter des ordinateurs et des imprimantes. Un exemple très connu de ce type de réseau est le fameux Wi-Fi (*Wireless Fidelity*) dont le débit peut atteindre 54 Mbp/s et la portée plusieurs centaines de mètres. Un autre exemple de WLAN est HiperLAN2 qui est une norme européenne proposant un débit équivalent au Wi-Fi (avec 54 Mb/s et une portée de 300 mètres).

2.2.3. Les réseaux métropolitains sans fil (*Wireless Metropolitan Area Network, WMAN*)

Ce type de réseau vise une couverture plus large que ses précédents tout en offrant un débit de 1 à 10 Mbp/s et une portée de 4 à 10 Km. Avec ce type de réseau, l'onde radio permet à plusieurs entreprises d'être interconnectées ou de relier différents bâtiment dans un même quartier, etc. Un exemple de ce réseau est la norme IEEE 802.16, WiMAX)

2.2.4. Les réseaux mobiles

Les réseaux cellulaires mobiles couvrent des zones étendues. Ce type de réseau est utilisé par les compagnies de la téléphonie cellulaire. Plusieurs systèmes très connus aujourd'hui utilisent ce type de réseaux, citons : le Global System for Mobile Communication (GSM) [9], le General Packet Radio Service (GPRS) [10], l'Universal Mobile Telecommunication System (UMTS) [11], le Long Term Evolution (LTE) [12] et le LTE Advanced (LTE-A) [13].

Dans notre thèse, les défis posés par la gestion du *Handover* ont été étudiés avec différents standards de réseaux mobiles et sans fil tels que le Wi-Fi, le WiMAX, le GPRS et l'UMTS. Pour cette raison, nous décrivons dans les sections suivantes les caractéristiques techniques de chacun de ces réseaux.

2.3. HANDOVER

2.3.1. Nécessité du Handover

Le *Handover* est le processus qui permet à un nœud mobile de changer son point d'attachement. Un nœud mobile connecté sur un réseau peut, pour améliorer la

qualité de service, avoir le besoin de le quitter pour aller se connecter à une autre cellule, soit du même réseau, soit d'un nouveau réseau. Parmi les causes qui sont à l'origine d'un besoin de *Handover* nous pouvons citer :

- Le nœud mobile quitte la zone de couverture de la cellule courante et communique à travers une nouvelle cellule.
- Le nœud mobile subit une grande interférence sur la cellule courante d'où le besoin de passer sur une autre cellule (du même réseau ou d'un réseau différent), où il y a moins d'interférence.
- Le nombre des nœuds mobiles dans une cellule est très important de façon que la bande passante soit insuffisante provoquant ainsi une détérioration de la qualité du service. Le mobile peut choisir d'aller dans les cellules voisines qui sont moins encombrées.

Le *Handover* peut avoir lieu entre deux cellules de même technologie et sera appelé *Handover Horizontal*, ou bien entre deux cellules utilisant des technologies différentes, c'est dans ce cas un *Handover Vertical*. Finalement, la combinaison de ces deux versions de *Handover* est appelée *Handover Diagonal* permettant de transférer le trafic d'un point d'accès dont on arrive en limite de connexion vers un réseau de technologie différente

2.3.2. Différents types de Handover

La prise de décision et l'exécution du *Handover* peut être complètement prise en charge par l'opérateur, ou peut être complètement du côté du mobile ou bien un partage entre les deux côtés. Dans ce qui suit nous détaillons les différents modes du *Handover*.

- **Mobile Controlled Handover Decision (MCHO)**

Le nœud mobile prend la décision du *Handover* en se basant sur des informations locales tels que : la puissance du signal (*Radio Signal Strength*, RSS), l'interférence sur le canal radio (*Signal to Noise Interference Ratio*, SINR), le *Blocking Error Rate* (BLER), les préférences de l'utilisateur, la vitesse du mobile, etc. Le contrôle du *Handover* par le mobile peut être assisté par le réseau dans le sens où le réseau peut fournir la valeur de certains paramètres de qualité de service comme la bande passante et le taux de perte des paquets. Ces paramètres peuvent aussi être pris en compte par le nœud mobile pour décider du réseau de destination.

- **Network Controlled Handover Decision (NCHO)**

Dans ce mode de *Handover*, c'est le réseau qui prend la décision. Ce type de *Handover* peut être initié par le nœud mobile (mobile initiated) ou bien assisté par le nœud mobile (mobile assisted). Selon le premier cas, (*Handover* initié par le mobile), le nœud mobile détecte la présence d'un nouveau point d'accès et estime qu'il y a un meilleur réseau dans son entourage (*Handover Initiation*), le nœud mobile informe

alors le réseau qui va accepter ou rejeter le *Handover*. Dans le cas où le mobile assiste le *Handover*, c'est le réseau qui initie le *Handover* (*Handover Initiation*), mais le nœud mobile assiste seulement ce processus (*Mobile Assisted Handover*, MAHO) en lui offrant des mesures sur des paramètres qui aideront le réseau à prendre la décision.

2.3.3. Niveau du Handover

Un élément clé de la gestion du processus de *Handover* est de maintenir la connexion entre le mobile et le réseau de façon à minimiser le délai de latence du *Handover*. Ce phénomène de *Handover* peut arriver à différents niveaux du modèle OSI (*Open Systems Interconnection model*). Selon que le *Handover* est exécuté au niveau d'une couche particulière, un standard différent peut intervenir. Le Tableau 2 montre différents protocoles, à différents niveaux du modèle en couches, qui permettent de gérer la mobilité des terminaux.

2.3.4. Processus du Handover

Quel que soit les raisons qui poussent un nœud mobile à quitter son réseau courant pour aller sur un nouveau réseau (*Handover*), ce processus doit être imperceptible pour l'utilisateur. Le temps de latence du *Handover* (temps entre déconnexion et reconnexion) ne devrait pas dépasser un certain seuil limite, sinon, on aboutit à une détérioration de la qualité du service surtout pour les applications temps réel. Pour atteindre cet objectif, le processus de *Handover* se fait à travers 3 phases (cf. Figure 3).

- **Phase I: Initiation du Handover et collecte d'informations**

Un processus de *Handover* doit commencer quand un nœud mobile a le besoin de quitter son point d'attachement au réseau courant pour aller se connecter sur un autre réseau où la qualité de service sera meilleure. Généralement, la raison peut être une faible puissance du signal ou bien une valeur d'un ou de plusieurs paramètres de qualité de service qui tombent en dessous d'un certain seuil. Durant cette phase, le nœud mobile scanne, d'une façon continue, les réseaux dans son entourage en collectant les informations nécessaires de chacun. Ces informations sont indispensables pour la phase de sélection du réseau. Parmi ces informations, nous trouvons celles qui sont reliées au réseau comme le rayon de couverture du réseau, le taux de perte des paquets, la bande passante, *Bit Error Ratio* (BER), *Signal to Interference Ratio* (SINR), etc. D'autres informations sont reliées plutôt au mobile, comme la puissance du signal, la durée de vie de la batterie, la vitesse du mobile (cf. Figure 3).

Tableau 2 : Niveau du Handover

Protocole Utilisé pour HO	Niveau de la couche	Paramètres Significatifs [21]
Session Initiation Protocol (SIP) [14]	Couche Application	<ul style="list-style-type: none"> - Préférence utilisateurs - Alerte de sécurité - Information sur le contexte - Paramètre de QoS
Media Independent Handover (MIH) [15][16]	Entre la couche Liaison et la couche Réseau	<ul style="list-style-type: none"> - Puissance du signal - Paramètre de la sous couche MAC - Autre paramètres qui peuvent être extraits des services MIH comme le MIES, MICS et MIIS.
Stream Control Transmission Protocol (SCTP) [17]	Couche Transport	<ul style="list-style-type: none"> - La charge réseau (Load) - Topologie du réseau et information sur le routage
Mobile IP et ses variantes (MIPv4, MIPv6, FMIPv6, HMIPv6) [18]	Couche Réseau	<ul style="list-style-type: none"> - Agent externe disponible - Configuration réseau et pré-authentification
Fast Base Station Switching (FBSS) [19]	Couche Liaison	<ul style="list-style-type: none"> - État des liens - Paramètres des liens - Condition d'accès radio
Cross-Layer[20][15]	Peut être à différents niveaux	<ul style="list-style-type: none"> - Paramètre de QoS - Authentification - Puissance du signal

• **Phase II: Sélection du réseau destination**

Durant cette phase, les informations qui ont été collectées de la phase précédente vont être compilées pour arriver à prendre une décision et choisir un réseau parmi plusieurs disponibles dans l'environnement du nœud mobile. Le mécanisme de sélection d'un nouveau réseau est laissé au libre choix de l'utilisateur. L'implémentation du MIH par NIST dans NS implémente un algorithme basé sur un seul paramètre (la puissance du signal). Dans la littérature, plusieurs sortes de solutions ont été proposées: certaines proposent une approche basée les algorithmes et d'autres s'appuient sur les principes de la logique floue.

• **Phase III: Exécution du Handover**

Dans la phase précédente, nous avons choisi le réseau auquel le nœud mobile doit se connecter. Durant cette phase, l'exécution de la coupure des liens avec l'ancien réseau et la connexion avec le nouveau réseau est réalisée. Cette exécution peut se faire selon l'un des 4 cas suivant : (1) Décision contrôlée par le réseau (*Network Controlled Handover Decision*, NCHO) habituellement utilisé par les opérateurs pour répartir les charges réseaux. (2) Décision contrôlée par le mobile (*Mobile Controlled Handover Decision*, MCHO). (3) *Handover* initié par le réseau et assisté par le mobile (*network initiated but Mobile Assisted Handover*, MAHO) et, (4) *Handover* initié par le mobile et assisté par le réseau (*mobile initiated but Network Assisted Handover* NAHO).

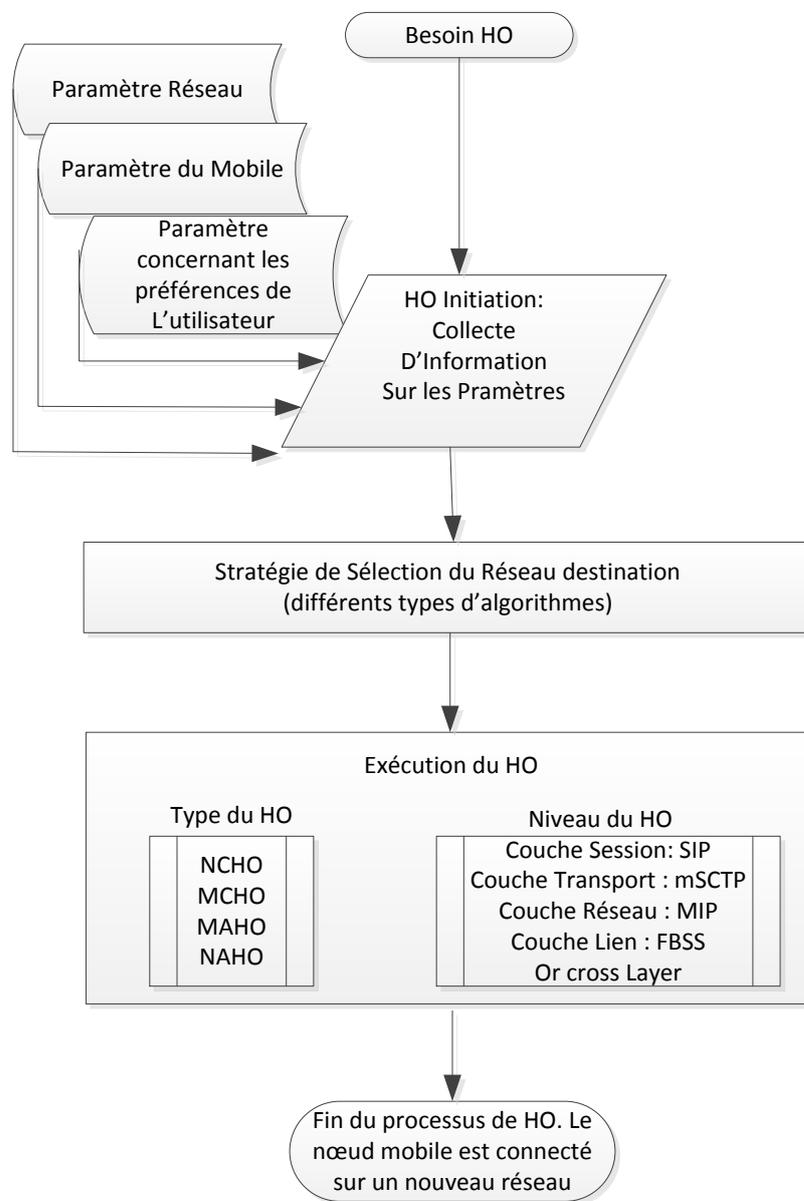


Figure 3 : Processus du Handover

2.4. LE STANDARD IEEE 802.11 : WI-FI

C'est un des standards qui permet de déployer un réseau sans fil en faisant communiquer plusieurs appareils (ordinateur, PDA, cellulaire, etc.) ensemble, à travers l'onde radioélectrique et à une liaison haut débit sur un rayon de couverture pratiquement égal à quelques dizaines de mètres [22]. Le Wi-Fi est utilisé dans les aéroports, les cafés, etc. La norme IEEE 802.11 offrait un débit entre 1 et 2 Mbp/s. Pour des raisons d'amélioration de la performance (portée, débit, etc.), cette norme a subi plusieurs évolutions à travers l'apparition de différentes versions. Les différences essentielles entre ces différentes versions sont récapitulées dans le Tableau 3.

Tableau 3 : Évolution des différentes versions Wi-Fi

Nom du standard	Nom	Description
802.11a	Wi-Fi	Cette norme offre un débit théorique de 54 Mbps (30 Mbps réels). La norme 802.11a spécifie 8 canaux radio dans la bande de fréquence des 5 GHz.
802.11b	Wi-Fi	802.11b est la norme Wi-Fi la plus répandue actuellement. Son débit théorique est de 11 Mbps (6 Mbps réels) avec une portée pouvant aller jusqu'à 300 mètres et spécifie 3 canaux radio dans la bande de fréquence des 2.4 GHz.
802.11d	Internationalisation	La norme 802.11d introduit les réglementations de chaque pays
802.11e	Amélioration de la qualité de service	La norme 802.11e améliore la qualité de service en fonction de la bande passante et du délai de transmission ce qui permet une meilleure transmission de la voix et de la vidéo.
802.11f	Itinérance (roaming)	La norme 802.11f permet une meilleure interopérabilité des produits, quelles que soient les marques des points d'accès présentes dans l'infrastructure réseau. Elle accélère les transitions entre points d'accès en redéfinissant le protocole de négociation de clés de sécurité
802.11g	intègre la modulation OFDM	La norme 802.11g offre un haut débit (54 Mbps théoriques, 30 Mbps réels) sur la bande de fréquence 2.4 GHz.
802.11h	service de gestion du spectre	La norme 802.11h est conforme avec la réglementation européenne en ce qui concerne la bande de fréquence.
802.11i	Authentification et chiffrement	La norme 802.11i s'appuie sur l'Advanced Encryption Standard (AES) pour améliorer la sécurité.

2.4.1. Mode de fonctionnement du Wi-Fi

Le Wi-Fi utilise deux modes différents pour connecter des appareils sur un réseau : le mode ad hoc et le mode infrastructure. Selon le premier mode, les machines communiquent entre elles directement de point en point, où chaque machine joue le rôle de point d'accès et de client. Les stations du réseau forment un ensemble de services de base indépendant (*Independent Basic Service Set, IBSS*). Selon le deuxième mode, nommé infrastructure (cf. Figure 4), un réseau est formé par des points d'accès (*Access Point, AP*) sur lesquels se connectent une ou plusieurs stations clientes qui se trouvent dans le rayon de couverture de l'AP formant ainsi ce qu'on appelle un *Basic Service Set (BSS)*. Pour faire la différence entre plusieurs BSS dans un même réseau, un BSSID est affectée à chaque BSS où ID représente l'identifiant du BSS. Nous appelons " système de distribution ", le système qui relie plusieurs BSS entre eux, formant ainsi un ensemble de services étendus (*Extended Service Set, ESS*). Chaque ESS est identifié par un ESSID servant comme nom du réseau.

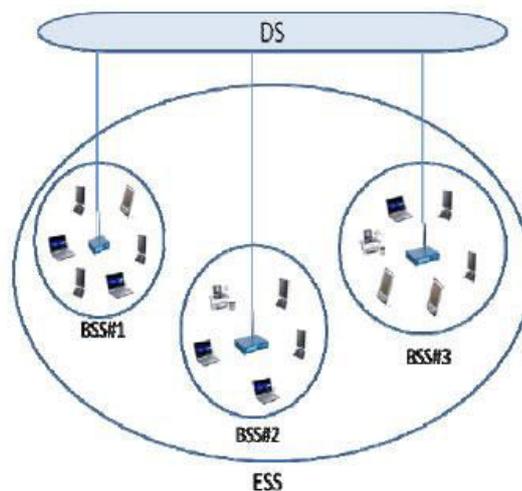


Figure 4 : Mode infrastructure Wi-Fi

2.4.2. Handover avec Wi-Fi

Au début de l'apparition du Wi-Fi, la notion de la mobilité était limitée aux réseaux cellulaires. Le standard IEEE 802.11 n'implémente aucun moyen pour sélectionner un réseau destination. Une nouvelle norme a été proposée par l'IEEE sous le nom de 802.11f pour traiter le *Handover*. Cette solution reste limitée et inacceptable pour les applications temps-réel [23]. De plus, deux autres normes supposées suivre le 802.11f pour offrir une amélioration du *Handover* ont été annoncées mais n'ont jamais vu le jour.

2.5. LE STANDARD IEEE 802.16 : WIMAX FIXE ET MOBILE

Le Wi-Fi offre des services limités en portée, en sécurité et en mobilité et sur une étendue locale, d'où la nécessité de l'évolution des systèmes de communications sans fil. Le *Worldwide Interoperability for Microwave Access* (WiMAX) est apparu pour répondre aux limitations du Wi-Fi. Il offre un service couvrant une envergure de 50 Km théoriques et un débit qui peut atteindre théoriquement 70 Mbit/s [24]. Il faut noter que le standard WiMAX introduit la mobilité et gère le *Handover* aussi bien qu'il introduit un nouveau mécanisme pour la gestion de la qualité de service. Par ailleurs, Wi-Fi opère dans des zones de fréquence non règlementées, alors que le WiMAX, quant à lui, utilise une bande de fréquence allant de 2 à 66 GHz, ce qui lui permet d'interagir avec plusieurs produits sur le marché, entre autre, avec le Wi-Fi.

Le WiMAX était d'abord conçu de telle façon que l'opérateur implante des antennes émettrices externes qui diffusent et transmettent des données sur une fréquence entre 10 et 66 GHz vers les antennes à domiciles. L'onde à haute fréquence n'étant pas, par nature, capable de pénétrer les obstacles, il faut alors que l'antenne émettrice et l'antenne réceptrice soient en ligne de vue, ce qui est connu sous le nom de diffusion en LOS (*Line Of Site*). Cette limitation a été résolue avec l'apparition d'une nouvelle version WiMAX connue par la norme IEEE 802.16a et qui opère sur une bande de fréquence basse de 2 à 11 GHz ce qui ne demande plus des antennes de transmission alignées face à face. Ce mode de transmission est appelé *Non Line Of Site* (NLOS). L'évolution du WiMAX a donné naissance à la norme IEEE 802.16d appelée aussi *WiMAX fixe*. Cette norme ne gère pas la mobilité, d'où la nécessité d'une nouvelle norme baptisée IEEE 802.16e également nommée *WiMAX mobile* qui sera capable d'offrir des services mobiles, notamment, la téléphonie sur IP opérant dans la bande de fréquence de 2 à 6 GHz. Les différences entre le débit, la portée et la bande de fréquence du *WiMAX fixe* et *WiMAX mobile* sont données dans le Tableau 4.

Tableau 4 : WiMAX fixe et mobile

Standard	Nom	Bande de fréquence	Débit	Portée
IEEE 802.16d	<i>WiMAX fixe</i>	2-11 GHz	75 Mbits/s	10 km
IEEE 802.16e	<i>WiMAX Mobile</i>	2-6 GHz	30 Mbits/s	3,5 km

2.5.1. Architecture du WiMAX

L'architecture du WiMAX (cf. Figure 5) est composée d'une station de base (*Base Station*, BS) et d'une station mobile (*Mobile Station*, MS) [25]. La communication entre ces deux composantes de base se fait à travers l'Interface Air. Ces éléments sont définis dans les sections suivantes.

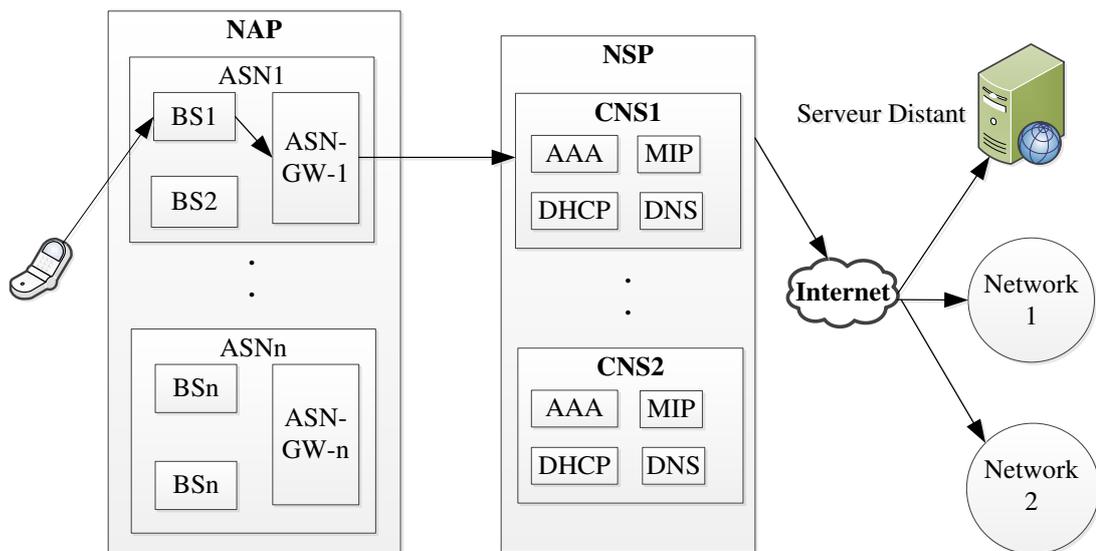


Figure 5 : Architecture du WiMAX

- **Station mobile ou station d'abonné**

La station mobile (Mobile Station, MS) appelé aussi (Subscriber Station, SS) est un équipement qui permet à l'utilisateur final d'accéder au réseau WiMAX. L'élément SS/MS peut être fixe ou mobile.

- **Station de base (Base Station, BS)**

Elle est responsable d'offrir l'Interface Air pour la station mobile. La BS assure les fonctions de gestion de la micro mobilité, la gestion des ressources radio, la gestion de la qualité de service et la classification du trafic, etc. Une ou plusieurs stations de base peuvent être groupées ensemble pour former le Réseau de Services d'Accès (Access Service Network, ASN). Plusieurs BS dans le même ASN peuvent communiquer avec les autres entités du réseau WiMAX et, notamment, avec le réseau IP à travers une passerelle ASN-GW.

- **Network Access Provider (NAP)**

C'est une entité qui contient plusieurs ASNs. Elle représente une infrastructure capable de fournir l'accès aux fournisseurs vers le cœur du réseau WiMAX.

- **Connectivity Service Network (CSN)**

Cette entité contient un ensemble de fonctionnalités tels que le service AAA, le service DNS, DHCP et le service de la mobilité IP (MIP) assurant ainsi la connectivité IP aux stations des abonnés WiMAX.

- **Network Service Provider (NSP)**

L'élément NSP contrôle un ou plusieurs services de connexion réseau (CSN) qui représente le cœur du réseau WiMAX. Ainsi le NSP est une entité qui fournit l'accès des abonnés aux réseaux IP.

2.5.2. La qualité de service

L'Internet ne garantit pas la qualité de service aux applications réseau car il fonctionne selon le mode du *Best Effort*. A contrario, la gestion de la qualité de service a été prise en compte dès le départ dans WiMAX en offrant cinq classes de services dédiées à différents types de trafics :

- **Unsolicited Grant Services (UGS) :**

Cette classe est dédiée à la diffusion des flux temps réels. Les paquets de données sont de taille fixe et constante et leur diffusion se fait selon des intervalles équidistants et réguliers.

- **Extended Real-Time Polling System (ertPS) :**

Cette classe de service gère les paquets de taille variable qui seront envoyés à des intervalles de temps fixes et équidistants.

- **Real-time Polling Services (rtPS) :**

Cette classe traite les paquets de taille variable. Ces paquets sont envoyés à des intervalles de temps variables. Cette classe de service est dédiée pour la diffusion vidéo (par exemple la vidéo MPEG).

- **Non-Real-time Polling Services (nrtPS) :**

Comme son nom l'indique, cette classe n'est pas faite pour le transfert des applications temps réel. Elle concerne le transfert des fichiers et toutes les applications qui sont tolérantes au paramètre "délai d'acheminement", comme File Transfer Protocol (FTP).

- **Best effort (BE)**

Cette classe est utilisée pour les flux qui n'exigent aucune garantie. C'est la classe la plus adaptée aux trafics sur Internet (premier arrivé, premier servi).

2.5.3. Handover avec WiMAX

Le standard IEEE 802.16e (*WiMAX mobile*) implémente deux types de *Handover* appelés : *Hard Handover* et *Soft Handover*. Selon le mode *Hard Handover*, le mobile qui aimerait changer de cellule réseau, commence par couper ses liens avec

la cellule courante avant de se connecter à la cellule destination. Ce type de *Handover* est aussi appelé *Break-Before-Make*. Le choix d'une nouvelle cellule destination fait intervenir un ensemble d'échanges de messages entre la station mobile et la station de base (cf. Figure 6).

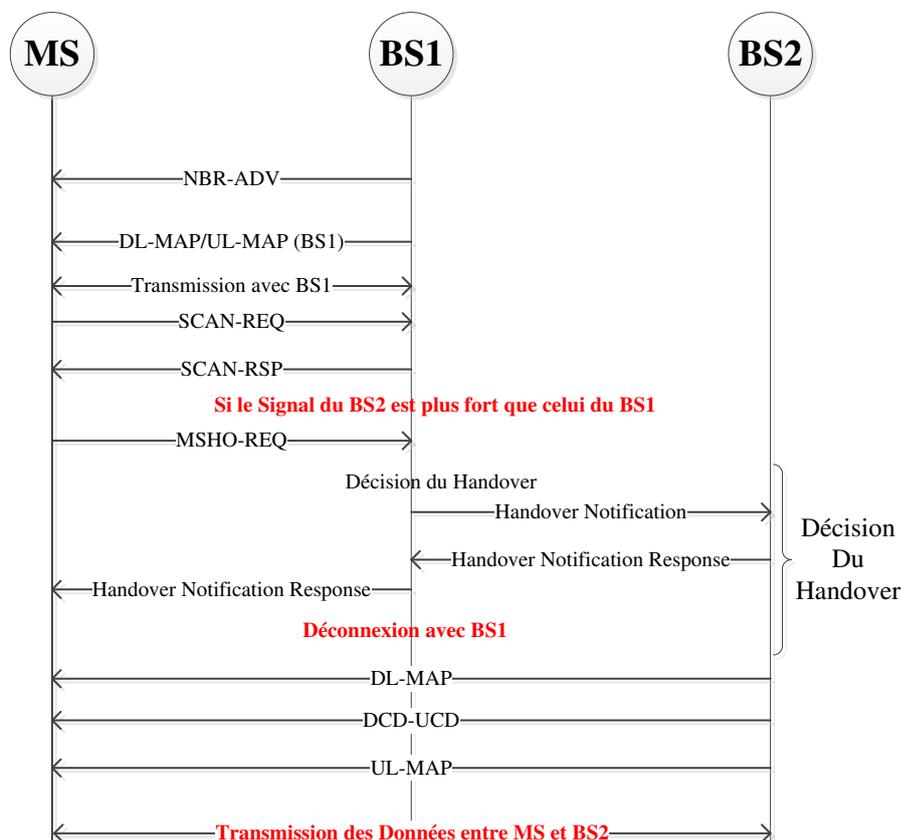


Figure 6 : Mécanisme du hard Handover

Selon le mode *Soft Handover*, le mobile qui aimerait changer de cellule réseau doit d'abord trouver une cellule de destination à laquelle il va se connecter avant de couper ses liens avec la cellule courante. Ce type de *Handover* est aussi appelé *Make-Before-Break*. Pendant la connexion/déconnexion, le mobile communique en même temps avec deux cellules réseaux, ce qui entraîne une consommation des ressources plus importante par rapport au *hard Handover*. L'avantage de ce type de *Handover* est que la perte de paquets est minimisée car il se connecte sur le réseau destination avant de couper la connexion avec le réseau courant. Cet avantage rend le *Handover* valable pour les cas des mobiles se déplaçant à haute vitesse. Le WiMAX implémente cette procédure de *Handover* selon deux techniques: *Macro Diversity Handover* (MDHO) et *Fast BS Switching* (FBSS).

2.6. GLOBAL SYSTEM FOR MOBILE COMMUNICATION: GSM

C'est au sein du groupe de travail de l'ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*) nommé *Groupe Spécial Mobiles*, établi en 1982 par la Conférence Européenne des administrations des Postes et Télécommunications (CEPT), que les premières spécifications d'un système de communication mobile en utilisant la bande de fréquence des 900 MHz ont vu le jour. Cette spécification vise à offrir un service complètement numérique pour la voix, la messagerie, etc., compatible avec tous ses prédécesseurs que ce soit analogique ou bien numérique. Ces spécifications s'intéressent au coût du service, au support du roaming (un seul système pour toute l'Europe), à la sécurité, à la bonne qualité du service, à la bonne utilisation du spectre, etc. Le GSM a rapidement pris de l'ampleur sur le marché et son architecture ouverte a encouragé son développement.

2.6.1. Architecture du GSM

L'architecture du GSM est composée essentiellement de trois entités: la première entité est la Station Mobile (MS), parfois désignée par *Subscriber Station* (SS), qui n'est rien d'autre que l'appareil téléphonique transporté par l'utilisateur. La deuxième entité est le système de stations de base (*Base Station*, BS), ensemble des stations de base responsables de contrôler les communications avec la station mobile à travers l'Interface Air. La troisième entité est le système réseau qui permet à un mobile de rejoindre un autre mobile ou bien de rejoindre le réseau fixe. Dans ce qui suit, nous donnons une description plus détaillée de ces trois entités [26] (cf. Figure 7).

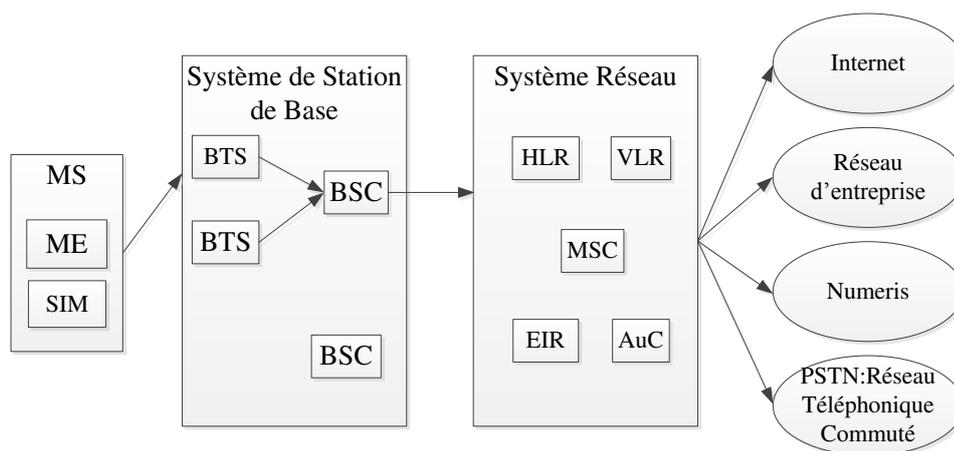


Figure 7 : Réseau cellulaire GSM

- **La station mobile (MS)**

La station mobile correspond au téléphone portable. À l'intérieur du MS, plusieurs entités fonctionnelles existent comme l'équipement mobile (*Mobile Equipment*, ME) qui est responsable de la transmission et de la réception radio. Chaque ME possède un code unique pour l'identifier. Il s'agit de l'*International Mobile Equipment Identity* (IMEI). À chaque utilisation du ME, le code IMEI doit être vérifié pour mettre hors service tout mobile volé ou grillé. La carte *Subscriber Identity Module* (SIM) est une entité indispensable pour l'accès au réseau. Elle contient toutes les informations concernant l'abonné : la liste des réseaux accessibles et/ou interdits, l'*International Mobile Subscriber Identity* (IMSI) est un numéro mondialement unique pour identifier l'abonné aussi bien que les services auxquels il a droit.

- **Système de station de base**

Ce système est responsable de la communication radio avec la station mobile (MS) à travers l'Interface Air. Il est composé de deux parties :

- Base Transceiver Station (BTS) qui est une boîte d'émission et de réception du signal radio. Elle définit le rayon de couverture d'une cellule à laquelle s'attachent un ou plusieurs nœuds mobiles et gère les transmissions radio entre ces nœuds mobiles et le réseau.
- Base Station Controller (BSC). Chaque BSC contrôle plusieurs BTS. Le trafic reçu par les BTS sera transmis vers le réseau à travers le BSC qui joue le rôle de passerelle. La communication entre le BSC et le système réseau se fait à travers l'Interface Air A (cf. Figure 7).

- **Le système réseau**

L'élément principal de cette entité est le *Mobile Switching Center* (MSC). Le système réseau joue deux rôles. Son premier rôle est de permettre la connexion entre le système radio avec toute sorte de réseau fixe ou mobile externe comme les Réseaux Téléphoniques Commutés Public (RTCP) ou les Réseaux Numériques à Intégration de Services (RNIS). Son deuxième rôle provient du fait qu'il contient quatre bases de données:

1. *Home Location Register* (HLR) qui contient toutes les informations concernant le profil de tous les utilisateurs du réseau GSM tel que leur localisation, leur numéro téléphonique, etc.
2. *Visitor Location Register* (VLR) qui gère l'ensemble des abonnés dans une région ou une zone donnée.
3. *Equipment Identity Register* (EIR) qui contient une liste de tous les *International Mobile Equipment Identity* (IMEI) valides se trouvant sur le réseau.

4. *Authentication Center* (AuC) : chaque portable porte dans sa carte SIM une clé secrète qui sera authentifié avec l'ensemble des clés stockées dans l'AuC. D'où le rôle de gestion de la sécurité.

2.6.2. Handover avec la norme GSM

La procédure de *Handover* dans un réseau GSM est appelée *Mobile Assisted Handover* (MAHO). Elle est de type *Hard Handover* car le nœud mobile coupe la connexion avec sa station BTS avant de se connecter à la prochaine station BTS (*Brake-Before-Make*). Il existe trois types de *Handover* en GSM [26]: *Intra-BTS Handover*, *Inter-BTS Handover* et *Inter-MSC Handover*. Dans le premier mode, il s'agit d'un cas de *Handover* à l'intérieur de la même cellule. Le nœud mobile ne change pas de BTS, il change juste le canal de fréquence sur lequel il est attaché. La cause peut être l'interférence ou le brouillage des canaux. Dans le deuxième mode, un nœud mobile sort du rayon de couverture de la cellule courante. Deux cas se présentent : soit le nœud mobile change de BTS tout en restant dans le même BSC et dans ce cas, c'est ce dernier qui gère le *Handover* ; soit le nœud mobile passe d'une BTS gérée par un premier BSC à une autre BTS gérée par un autre BSC et dans ce cas, le MSC gère le *Handover* et finalement, le troisième mode de *Handover* aura lieu quand un nœud mobile change de réseau. Les deux MSC qui sont concernés pour la gestion des cellules en questions (cellule courante et cellule destination) négocient ce cas de *Handover*.

2.7. UNIVERSAL MOBILE TELECOMMUNICATION SYSTEM, UMTS

L'UMTS est la version européenne du projet *International Mobile Télécommunication* (IMT-2000) dont le rôle est d'assurer une convergence entre différentes sortes de réseaux fixes et mobiles que ce soit publics ou privés et ceci à l'échelle mondiale.

2.7.1. Architecture de l'UMTS

L'architecture UMTS est formée, comme le GSM, de trois entités qui communiquent entre elles à travers des Interfaces Air. La première entité est la station mobile, qui doit être plus sophistiquée que celle du GSM dans le sens où elle doit être capable d'utiliser un réseau qui fonctionne selon les deux modes : circuit et commutation par paquets. La deuxième entité est le réseau d'accès (UMTS Terrestrial Radio Access Network, UTRAN) qui gère les données en provenance du nœud mobile. Et la troisième entité est le réseau cœur de toute installation UMTS qui est aussi formé de plusieurs sous parties. Dans ce qui suit, nous détaillons ces trois entités (cf. Figure 8) en mettant le point sur les fonctionnalités de chacune d'elles [27].

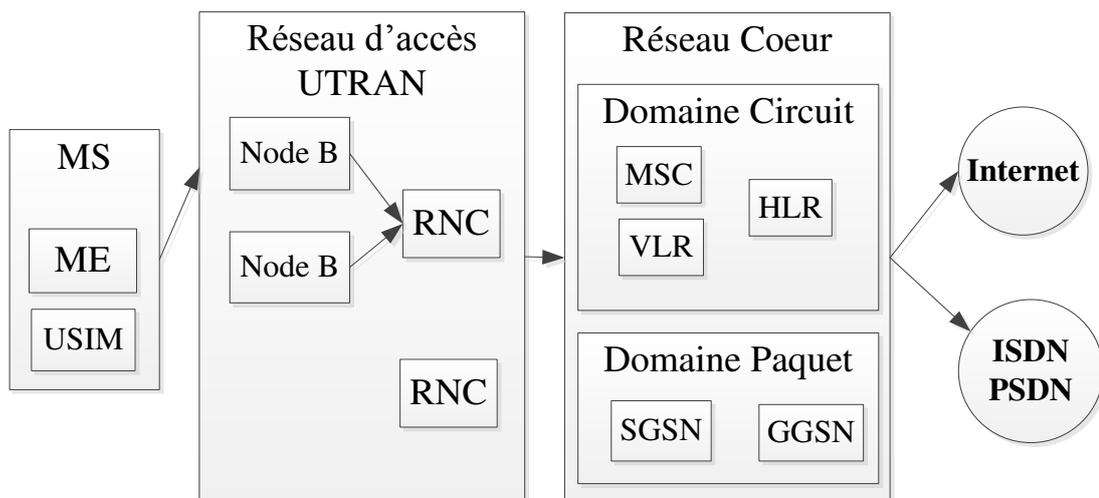


Figure 8 : Architecture UMTS

- **Équipement utilisateur**

Il est formé de deux composantes. La première est l'équipement mobile dont le rôle est de communiquer à travers l'Interface Air. La deuxième composante est la carte USIM (Universal Subscriber Identity Module) qui est l'équivalente de la carte SIM du GSM.

- **Le réseau d'accès**

Il joue le rôle de passerelle entre la station mobile et le cœur du réseau. Il est chargé des fonctions de sécurité, de mobilité et de gestion des ressources radio. Le réseau d'accès, lui aussi, contient plusieurs éléments. Le premier est le Node B qui est l'équivalent de la station BTS du réseau GSM dans le sens où il gère les fonctions de transmission et de réception radio. Le deuxième est le Radio Network Controller (RNC) qui est l'équivalent du BSC du GSM et dont le rôle est d'acheminer les informations entre le Node B et le réseau cœur de l'UMTS. L'ensemble des Nodes B et des RNC est nommé UTRAN (cf. Figure 8).

- **Le réseau cœur**

Il adopte la même structure de base des réseaux GSM et GPRS et il se compose de deux parties. La première partie est le domaine Circuit Switched (CS) dont le débit atteint 384 Kbit/s, utilisé pour la diffusion des services qui nécessite un temps de transfert réduit et limité tels que les services temps réel comme la visio-conférence et autres applications multimédia. La deuxième partie est le domaine Paquet Switched (PS) dont le débit atteint 2 Mbit/s, caractérisé par un mode de commutation des paquets et qui sera utilisé pour traiter les informations non temps réel qui ne sont pas sensibles au temps de transfert des paquets, comme l'envoi des courriers électroniques, la navigation sur Internet, les SMS, etc.

2.7.2. Handover avec UMTS

Il existe trois types de *Handover* avec UMTS : *Hard Handover*, *Soft Handover* et *Softer Handover* [28]. Selon le premier type (*Hard Handover*), le réseau décide d'un besoin de *Handover* en se basant sur la puissance du signal. Le *Handover* sera du type *Break-Before-Make*, le mobile coupe ses liens avec le Node B auquel il est attaché pour établir ensuite un nouveau lien avec un nouveau Node B. Dans le cas du *soft Handover*, le mobile se trouve dans une zone chevauchante entre deux stations de base. La communication avec le mobile se fait selon deux canaux, un pour chacune des deux stations de base. Et finalement, pour le *Softer Handover*, le mobile communique avec une seule station de base à travers deux secteurs différents (deux canaux radio).

2.8. MEDIA INDEPENDENT HANDOVER (MIH)

Les réseaux omniprésents dans l'environnement du nœud mobile sont hétérogènes. Le *Handover* est un processus clé pour garantir la qualité de service offerte dans un tel environnement. Il est donc nécessaire de savoir, continuellement, l'état de lien du nœud mobile avec son réseau courant et de connaître la liste des réseaux qui sont disponibles dans l'environnement du mobile. Le standard IEEE 802.21, *Media Independent Handover* (MIH) répond à ce besoin en développant des spécifications capables de transmettre des informations sur l'état des liens et d'autres informations utiles des couches inférieures (couche L2 et couche physique) vers les couches supérieures (couche L3 et plus). Ce standard est capable de communiquer avec toute sorte de réseau de la famille IEEE 802.x. D'autre part, MIH est capable de communiquer avec des réseaux mobiles tels que GPRS, GSM, UMTS et LTE [29].

2.8.1. Modèle de référence de MIH

Le standard IEEE 802.21, *Media Independent Handover*, définit une couche appelée *Media Independent Handover Function* (MIHF) qui contient trois sortes de services pour faciliter un *Handover* transparent entre les réseaux hétérogènes. MIH s'intercale au niveau 2.5 du modèle de référence OSI, entre la couche Liaison (L2) et la couche Réseau (L3). Ces services vont assurer la communication des informations nécessaires entre la couche L2 et la couche L3 et qui seront utilisées par l'algorithme de sélection du réseau de destination. Ces services sont:

2.8.1.1. *Media Independent Event Service* (MIES)

MIES définit deux sortes d'évènements: *Link Events* et *MIH Events*. Les *Link Events* seront transmis des couches inférieures vers le MIHF. La sous couche MAC, la couche physique des réseaux de la famille IEEE 802.x et les réseaux 3GPP représentent l'origine de ces événements. Ces derniers seront transmis vers les

couches supérieures par le MIHF sous forme de MIH Events. Les évènements les plus connus du MIES sont: *Link_Going_Down*, *L2_Handover_Imminent*, *Link_Parameters_Change*, *Link_Detected*, *Link_Up*, *Link_Down*, *Link_Parameters_Report*, etc.

2.8.1.2. Media Independent Command Service (MICS)

Il est important de commencer par définir le MIH User qui représente toute entité trouvant à partir de la couche 3 et désirant utiliser les services du MIH. MICS est l'ensemble des évènements envoyés par les couches supérieures (MIH User) vers les couches inférieures à travers le MIHF. Ces évènements sont aussi divisés en deux catégories (*Link Commands* et *MIH Commands*), et peuvent avoir divers rôles : (1) connaître l'état des liens avec les couches inférieures (*MIH_Link_Get_Parameters*), (2) configurer le seuil de certains paramètres (*MIH_Link_Configure_Thresholds*) ou (3) établir des évènements d'inscription à certains services (*MIH_Event_Subscribe*) ou MIH Scan.

2.8.1.3. Media Independent Information Service (MIIS)

Le rôle principal de ce service est de garder toute sorte d'information des réseaux qui se trouvent dans l'entourage du nœud mobile. C'est une base de données qui donne une vue globale de la carte des réseaux disponibles dans une zone géographique limitée. Ces informations seront consultées par le MIHF lors du besoin de *Handover*. Le MIIS est formé par des éléments d'informations (*Information Element*, IE) qui contiennent des informations utiles pour rendre le *Handover* transparent aux utilisateurs (cf. Tableau B.3 de l'Annexe B).

2.9. CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons décrit comment les réseaux mobiles et les réseaux sans fil ont évolué grâce à des progrès technologiques remarquables depuis 1990. L'apparition des réseaux sans fil a permis de limiter l'utilisation excessive des câbles et offre, aux utilisateurs, un service à haut débit capable de traiter les applications multimédia. La convergence entre les réseaux de données sans fil et les réseaux cellulaires permet à un utilisateur mobile, qui cherche à améliorer la qualité de service, de migrer d'un réseau à un autre. Un tel environnement est appelé environnement hétérogène car il est formé de plusieurs réseaux de types différents. Le fait de quitter un réseau pour un autre s'appelle le processus de *Handover*. Le processus de *Handover* devrait se faire d'une façon transparente pour l'utilisateur.

Le sujet proposé par notre thèse utilise la norme IEEE 802.11 (*Media Independent Handover*, MIH) pour gérer le *Handover* en milieu hétérogène. La composante MIH a été décrite dans la Section 2.8 de ce chapitre. MIH permet

simplement de fournir des informations qui aident à l'initiation du *Handover*, la sélection du réseau et l'exécution du *Handover* ne faisant pas partie de la norme.

Le travail réalisé dans le cadre de notre thèse ajoute à MIH une nouvelle couche, *Vertical Handover Management Center* (VHMC), la rendant capable de sélectionner un réseau de destination. La modélisation des algorithmes de sélection utilisée par VHMC sera détaillée dans le chapitre suivant.

CHAPITRE 3. MODÉLISATION

MATHÉMATIQUE PAR LOGIQUE FLOUE ET

RÉGRESSION LINÉAIRE

3.1. INTRODUCTION

La demande de mobilité et de QoS est en progression continue. Pour répondre aux besoins des utilisateurs, les technologies des réseaux de communication évoluent en parallèle assurant ainsi de meilleurs débits. Par conséquent, l'environnement mobile et sans fil sera hétérogène. Dans un tel environnement, il est primordial d'assurer une continuité du service et satisfaire le besoin de l'utilisateur en termes de QoS et celui des opérateurs en optimisant l'utilisation de ses ressources. Il est clair que, dans un tel contexte, le nombre de paramètres à prendre en compte n'est pas négligeable. Parmi ces paramètres, certains sont numériques et d'autres sont de nature linguistique et manquent de précision. Par exemple, pour savoir le degré de satisfaction d'un utilisateur quelconque, nous allons obtenir une réponse ayant une valeur linguistique imprécise comme : faible, moyen, bon, très bon etc.

D'autre part, les différents paramètres n'ont pas la même influence (poids) lors de la prise de décision pour changer de réseau. Un utilisateur, soucieux du prix de la communication, préfère rester sur un réseau Wi-Fi car il est gratuit. Par contre, un autre utilisateur qui cherche à manipuler des données multimédia, préfère être sur un réseau à haut débit avec une bande passante disponible importante.

La logique floue permet de traiter aussi bien des données numériques et précises que des données linguistiques. D'après Zadeh, " la logique floue est un puissant outil qui permet de créer de la précision à partir de l'imprécision " [30]. Pour traiter le problème de prise de décision basée sur plusieurs paramètres de type numérique et linguistique, nous proposons, dans la suite de ce chapitre, un modèle de prise de décision basé sur la logique floue.

La régression linéaire multiple est un système de prise de décision basé aussi sur plusieurs paramètres et dont chacun possède un poids différent. Ce modèle permet de prédire la valeur d'un paramètre en fonction du poids des différents paramètres d'entrée.

Ces deux méthodes (logique floue et régression linéaire) vont nous permettre de mettre en œuvre des solutions capables d'aider à choisir un réseau de destination durant la période du *Handover* dans un milieu hétérogène (cf.Chapitre 5).

3.2. CONCEPTION D'UN MODÈLE DE LOGIQUE FLOU

3.2.1. Introduction

La logique floue est un outil d'aide à la décision pour la représentation des connaissances. C'est une extension de la logique classique. Elle aide à modéliser les imperfections des données et se rapproche dans une certaine mesure de la flexibilité du raisonnement humain.

La logique floue est une extension de la logique booléenne créée par Lotfi Zadeh en 1965. Elle se base sur la théorie mathématique des ensembles flous qui est une généralisation de la théorie des ensembles classiques. Elle permet de représenter un ensemble de connaissances en introduisant la notion de degré dans la vérification d'une condition pour être dans un autre état que vrai ou faux et de conférer une flexibilité aux raisonnements déduits. D'où la notion d'incertitude et d'imprécision [30]. Un des intérêts de la logique floue pour formaliser le raisonnement humain est que les règles sont énoncées en langage naturel.

3.2.2. Historique

D'après Bart Kosko, le philosophe de la mécanique quantique Max Black, dessina les premiers diagrammes flous et prolongea le développement de Lukasiewicz d'une logique à plusieurs valeurs de vérité en 1920 [31]. Black a prolongé aussi les travaux de Russell, en nommant ces ensembles des ensembles vagues [32]. Les prémisses de la logique floue et les premières approches du concept d'incertitude sont apparues en 1940 par des chercheurs américains [33][34]. En 1965, Lotfi Zadeh, a construit un formalisme permettant d'effectuer des raisonnements " naturels " qualifiés de qualitatifs [32]. Il appliquait la logique de Lukasiewicz à chaque élément d'un ensemble, créant ainsi une algèbre complète pour les ensembles flous [32]. D'autres recherches en logique floue portent sur le traitement de diverses formes de connaissances imparfaites, imprécises ou incertaines [35]. En 1974, M. Mamdani expérimentait la théorie énoncée par Zadeh sur une chaudière à vapeur en introduisant la commande floue dans la régulation d'un processus industriel. Grâce au chercheur japonais Takagi Sugeno, la logique floue était introduite au Japon dès 1985. Sugeno a expliqué les avantages techniques et commerciaux de la logique floue [36]. En 1992, James Brule a écrit un tutorial lié à l'idée d'Héraclite et de Platon que certaines propositions pouvaient être à la fois vraies et non vraies. Cette idée contredit la première version du tiers exclu de Parménide affirmant qu'une proposition est soit vraie, soit fausse. Platon indiquait qu'il existait un domaine tiers (par-delà le vrai et le faux). Pour Brule, c'est dans cet esprit que Lotfi Zadeh aurait élaboré la logique floue comme une logique possédant une infinité de valeurs de vérité [37][38].

3.2.3. Éléments de la logique floue

3.2.3.1. Sous ensemble flou

Dans la théorie des ensembles classiques, il n'y a que deux situations acceptables pour un élément, appartenir ou ne pas appartenir à un sous-ensemble. Le mérite de Zadeh a été de tenter de sortir de cette logique booléenne en introduisant la notion d'appartenance pondérée : permettre des graduations dans l'appartenance d'un élément à un sous-ensemble, c'est-à-dire d'autoriser un élément à appartenir plus ou moins fortement à ce sous-ensemble [32].

La logique floue repose sur la théorie des ensembles flous qui est une généralisation de la théorie des ensembles classiques (ou ensembles nets) et de la logique classique (logique booléenne ou binaire). Selon Zadeh, c'est une association entre la précision des mathématiques classiques et l'imprécision du monde réel [35][39].

Soit X un ensemble. On appelle A un sous-ensemble flou de X caractérisé par une fonction d'appartenance $f_A : X \rightarrow [0,1]$. Celle-ci est l'équivalent de la fonction caractéristique d'un ensemble classique. Ainsi, à chaque point x de X on associe une valeur réelle entre 0 et 1 et $f_A(x)$ représente le degré d'appartenance de x à A .

3.2.3.2. Fonction d'appartenance

La forme de la fonction d'appartenance (formes sigmoïde, tangente hyperbolique, exponentielle, gaussienne, etc.) est choisie arbitrairement en suivant les conseils de l'expert ou des études statistiques. Cependant, une allure triangulaire combinée à la forme trapézoïdale a été utilisée, en raison de sa simplicité et de l'efficacité des calculs. Cette forme de fonction d'appartenance est largement utilisée dans les applications en temps réel [40].

Une fonction d'appartenance caractérise un ou plusieurs sous-ensembles d'une variable d'entrée. Elle est représentée en logique floue par la variable $\mu(x)$. Par exemple, la fonction d'appartenance du sous ensemble flou A de la variable X est représentée par $\mu_A(X)$ et illustré par la Figure 9.

La Figure 10 montre un exemple de la différence entre ensemble classique et ensemble flou pour la variable X qui représente la valeur de la vitesse en Km/h et la fonction d'appartenance A . La *hauteur* de A , notée $h(A)$, correspond à la borne supérieure de l'ensemble d'arrivée de sa fonction d'appartenance: $h(A) = \sup\{\mu_A(x) \mid x \in X\}$. Si $h(A) = 1$ alors A est normalisé. En pratique, il est rare de travailler sur des ensembles flous non normalisés. Le *support* de A est l'ensemble des éléments de X appartenant au moins avec un faible degré à A . Il s'agit de l'ensemble:

$$\text{supp}(A) = \{x \in X \mid \mu_A(x) > 0\}$$

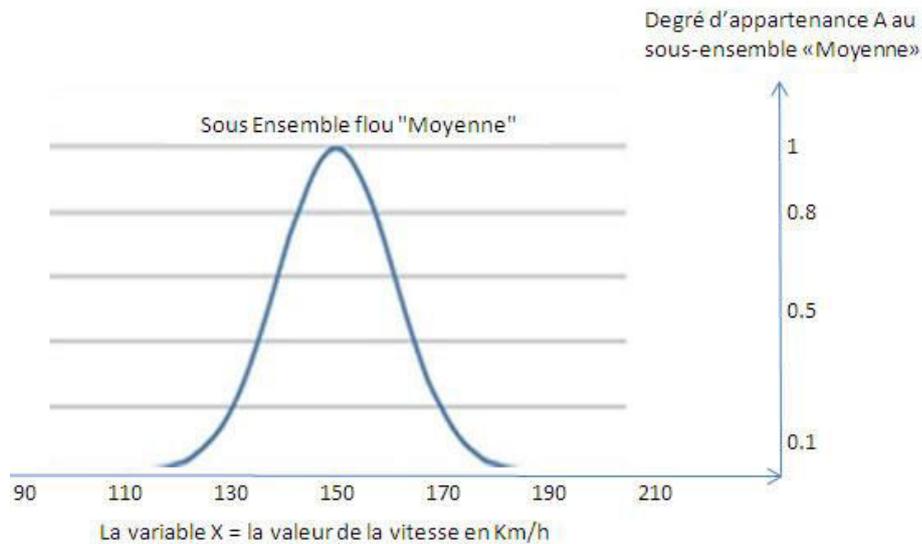


Figure 9 : Fonction d'appartenance caractérisant le sous-ensemble "Moyenne"

Le *noyau* de A est l'ensemble des éléments de X appartenant totalement à A . C'est l'ensemble $\text{noy}(A) = \{x \in X \mid \mu_A(x) = 1\}$. Une α -*coupe* de A est le sous-ensemble classique des éléments ayant un degré d'appartenance supérieur ou égal à α :

$$\alpha\text{-coupe}(A) = \{x \in X \mid \mu_A(x) \geq \alpha\} \quad [30].$$

3.2.3.3. Variable Linguistique

Soit V une variable, X la plage de valeurs de la variable et T_V est le vocabulaire choisi pour définir linguistiquement les valeurs de V . Une variable linguistique correspond au triplet (V, X, T_V)

L'ensemble $T_V = \{A_1, A_2, \dots\}$, fini ou infini, contient les sous-ensembles flous normalisés de X qui sont utilisables pour caractériser V . Chaque sous-ensemble flou, A_i , est défini par un degré d'appartenance $\mu_{A_i}(x)$. Chaque partie de cette décomposition est associée à un mot du langage naturel.

3.2.3.4. Opérateurs flous

Des opérateurs de la théorie des ensembles classiques sont réutilisés afin de les adapter aux fonctions d'appartenance propres à la logique floue et de pouvoir manipuler aisément les ensembles flous, permettant ainsi des valeurs strictement entre 0 et 1 [30] (cf. Tableau 5).

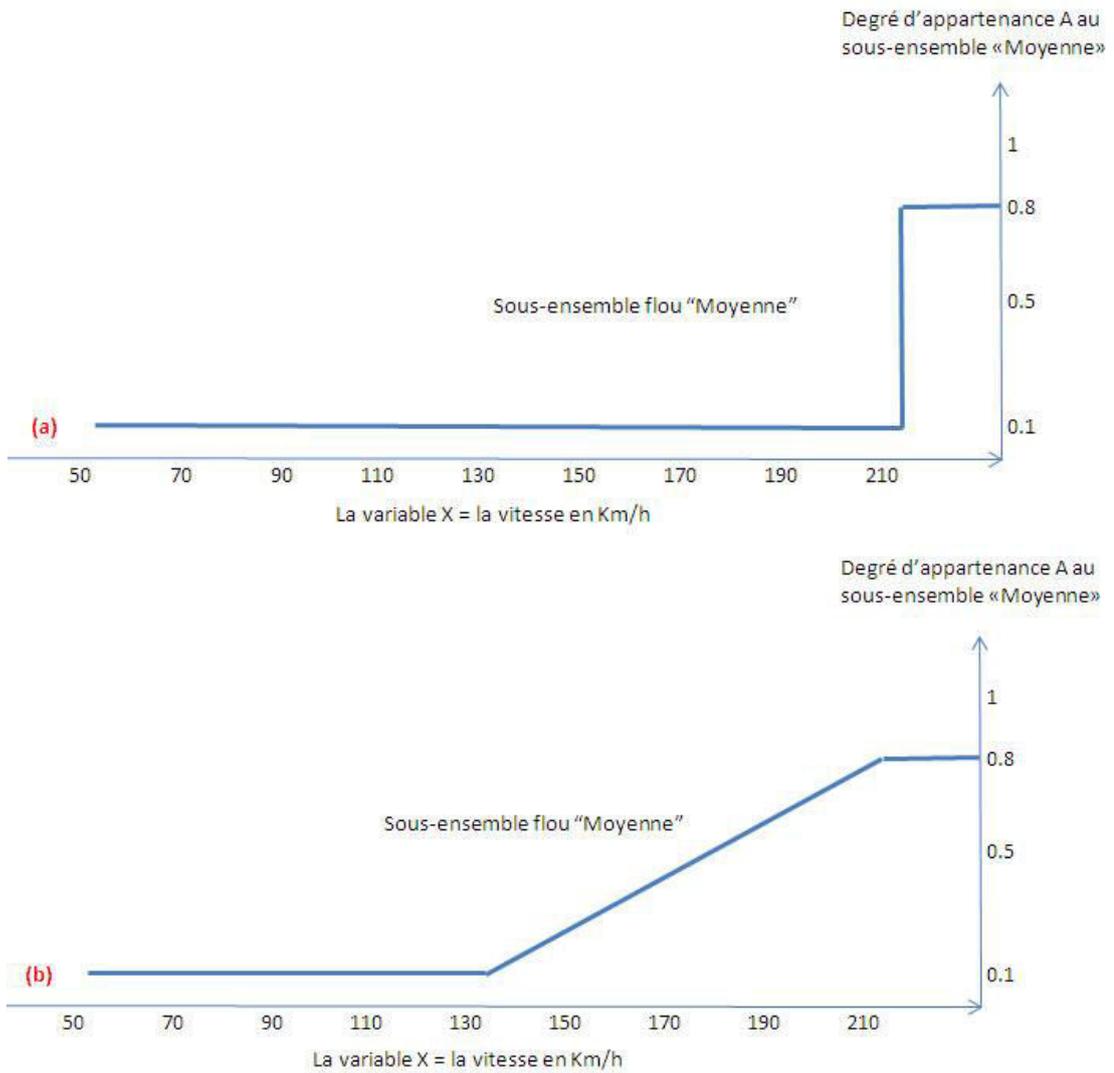


Figure 10 : Comparaison entre (a) fonction caractéristique d'un ensemble classique et (b) fonction d'appartenance d'un ensemble flou pour la variable X

Tableau 5 : Les opérateurs (NON), (ET) , (OU) les plus couramment utilisés

Dénomination	Intersection ET $\mu_{A \cap B}(X)$	Réunion OU $\mu_{A \cup B}(X)$	Complément NON $\mu_{\bar{A}}(X)$
Opérateurs de Zadeh MIN/MAX	$\min(\mu_A(X), \mu_B(X))$	$\max(\mu_A(X), \mu_B(X))$	$1 - \mu_A(X)$
Probabiliste PROD/PROBOR	$\mu_A(X) * \mu_B(X)$	$\mu_A(X) + \mu_B(X) - \mu_A(X) * \mu_B(X)$	$1 - \mu_A(X)$

Nous retrouvons aussi en logique floue les mêmes propriétés de commutativité, distributivité et associativité des opérateurs classiques. Cependant, nous relevons deux exceptions notables :

- Le principe du tiers exclu est contredit: $A \cup \bar{A} \neq X$, autrement dit $\mu_{A \cup \bar{A}}(x) \neq 1$.
- Un élément peut appartenir à A et non A en même temps: $A \cap \bar{A} \neq \emptyset$, autrement dit $\mu_{A \cap \bar{A}}(x) \neq 0$ [30].

3.2.3.5. Raisonnement flou

Les raisonnements de la logique classique sont de la forme : Si A alors B (A est vrai implique B est vrai). Cependant, le raisonnement de la logique floue, appelé raisonnement flou ou raisonnement approximatif, se base sur des règles floues qui sont exprimées en langage naturel en utilisant les variables linguistiques. La forme d'une règle floue est donnée par :

Si $x \in A$ et $y \in B$ ALORS $z \in C$. Avec A , B et C des ensembles flous.
Exemple: Si $A =$ "Temps est Ensoleillé" ET $B =$ "Vent est Faible" ALORS $C =$ "Sortir" = 1.

La variable de sortie 'Sortir' appartient à l'ensemble flou '1' à un degré qui dépend du degré de validité de la prémisse (la condition), c'est-à-dire du degré d'appartenance de la variable d'entrée 'Temps' à l'ensemble flou 'Ensoleillé' et de celui de la variable d'entrée 'Vent' à l'ensemble flou 'Faible'. Deux règles, celles de Mamdani et de Larsen, sont les plus couramment utilisées pour trouver la valeur de vérité d'une implication floue. (cf. Tableau 6).

Tableau 6 : Définitions des implications floues de Mamdani et Larsen

Nom	Valeur de vérité
Mamdani	$\min(F_a(X), F_b(X))$
Larsen	$F_a(X) * F_b(X)$

Où F est la fonction d'appartenance, a et b sont deux sous-ensembles flous, X est l'ensemble des valeurs.

3.2.4. Les systèmes à commandes floues

La construction d'un système flou nécessite le passage par quatre étapes :

- la fuzzification;
- la définition des règles d'inférence ;
- l'application de ces règles ;
- la défuzzification.

3.2.4.1. La fuzzification

Cette étape permet de passer d'une variable réelle à une variable floue en utilisant les fonctions d'appartenance permettant de déterminer le degré d'appartenance d'une valeur réelle à une variable linguistique qui est définie par le triplet (V = la variable, X = l'univers du discours, T_V = le vocabulaire).

Cette étape de fuzzification détermine le nombre de termes de la variable X à fournir aux prémisses des règles floues. Ces différents termes sont choisis en lien avec le vocabulaire de l'expert du domaine et sont généralement définis de façon empirique. Cependant, quand le nombre de termes augmente, le nombre de règles augmente également et donc la complexité du système. C'est pourquoi, pour pouvoir interpréter le système de règles obtenu, les termes doivent être adaptés aux données d'entrée [39].

3.2.4.2. La définition des règles d'inférences

Une règle floue est de la forme : Si ... Alors ... La définition des règles d'inférence est dédiée à l'expert. Il n'existe pas de directives bien précises pour l'établissement de ces règles, cependant, nous pouvons suivre une démarche aidant à la production des règles :

- Établir un minimum de règles au départ, mais si le comportement du système est en boucle fermée, il faut augmenter le nombre de règles et parfois le nombre de fonctions d'appartenance.
- Se méfier de l'évidence première lors de l'établissement des règles.
- Utiliser une matrice d'inférence.

3.2.4.3. L'application des règles d'inférences

Cette étape consiste à définir les opérateurs logiques (ET, OU, NON), puis définir une méthode ou un raisonnement qui prendra en compte toutes ses règles simultanément. Le résultat de l'application d'une règle floue dépend donc de trois facteurs [30]:

- la définition d'implication floue choisie ;
- la définition de la fonction d'appartenance de l'ensemble flou de la proposition située en conclusion de la règle floue ;
- le degré de validité des propositions situées en prémisse.

L'ensemble des règles d'un système flou résultant des implications floues est appelé la *matrice des décisions*.

3.2.4.4. Défuzzification

La défuzzification est la phase de la génération des commandes pour le système à contrôler[36]. Il s'agit d'ajuster le modèle utilisé. Cet ajustement est effectué à partir des résultats donnés par le jeu d'échantillons d'apprentissage. L'algorithme génère un premier modèle. Si le taux de classification est inférieur à un seuil défini par l'utilisateur, la partie itérative réajuste le modèle en modifiant un coefficient de confiance affecté à chaque règle [41].

- **Les méthodes de défuzzification**

Deux principales méthodes sont utilisées pour faire la défuzzification : la méthode moyenne des maxima (MM) et la méthode du centre de gravité (COG). La défuzzification MM définit la sortie (pour cette thèse : décision du *Handover*) comme étant la moyenne des abscisses des maxima de l'ensemble flou issu de l'agrégation des conclusions.

$$Décision = \frac{\int_S y dy}{\int_S dy} \quad (1)$$

Avec $S = \{y_m \in R, \mu(y_m) = SUP_{y \in R}(\mu(y))\}$ et R est l'ensemble flou issu de l'agrégation des conclusions.

La défuzzification COG est plus couramment utilisée. Elle définit la sortie comme correspondant à l'abscisse du centre de gravité de la surface de la fonction d'appartenance caractérisant l'ensemble flou issu de l'agrégation des conclusions [30].

$$Décision = \frac{\int_S y * \mu(x) * dy}{\int_S \mu(x) * dy} \quad (2)$$

La transition entre le numérique et le symbolique est donc réalisée par les fonctions d'appartenance définies sur le domaine de variation de chaque variable. Ces fonctions d'appartenance forment une partition floue du domaine [42][43].

3.2.4.5. Modèles flous

Un modèle flou d'un système est une représentation de son comportement par les concepts de la théorie des sous-ensembles flous. Cette représentation caractérise la relation entre les variables d'entrées et de sorties du système [43][44]. Les premiers travaux sur l'optimisation des Systèmes d'Inférence Flous SIFs étaient explicitement inspirés de l'algorithme de rétro propagation par réseaux de neurones [42]. Dans la littérature, deux approches primaires permettent de générer des

systèmes d'inférences flous : Mamdani (linguistiques) et Takagi-Sugeno-Kang (TSK) [42][45].

- **Description du modèle de Mamdani**

Les modèles de Mamdani permettent une description linguistique du système par une base des règles floues de la forme [46]:

Si x_1 est A_1 et x_2 est A_2 et ... et x_n est A_n
Alors y_1 est B_1 et y_2 est B_2 et ... et y_m est B_m

Où x_i et y_j sont respectivement les variables d'entrées et de sorties linguistiques et A_i et B_j sont des ensembles linguistiques flous. Ces modèles nécessitent un grand nombre de règles pour approcher le comportement global d'un système : ils possèdent une capacité de représentation limitée [47].

Les modèles linguistiques ne permettent pas d'intégrer directement des connaissances objectives sur le système qui ne sont pas exprimées par des sous-ensembles flous. Ainsi des connaissances exprimées sous forme analytiques décrivant la structure physique du système ne peuvent pas être prises en compte directement [48]. Sugeno et ses collaborateurs ont proposé une classe de modèles appelés modèles (TSK) qui permet de représenter ce type d'information.

- **Description du modèle de Takagi-Sugeno-Kang (TSK)**

Soit un système à r entrées et une sortie. Le modèle TSK est constitué d'une base de règles de la forme :

Si x_1 est A_1 et x_2 est A_2 et ... et x_r est A_r
Alors $y = f_i(x_1, x_2, \dots, x_r)$

où x_1, x_2, \dots, x_r sont les variables numériques d'entrée du modèle flou et f_i est une fonction numérique de l'univers d'entrée $X_1 * X_2 * \dots * X_r$ dans Y [47].

Chaque règle représente un modèle local sur une région floue d'entrée, ou sur un sous-espace d'entrée. Dans chaque région, le modèle flou est défini par la fonction f_i qui relie les entrées à la sortie numérique. Le modèle global est constitué par interpolation des modèles locaux [42][44].

Dans la littérature, les f_i sont souvent des fonctions linéaires, soit:

$$f_i(x_1, x_2, \dots, x_r) = b_{i0} + b_{i1}x_1 + b_{i2}x_2 + \dots + b_{ir}x_r \quad (3)$$

où $b_{i0}, b_{i1}, \dots, b_{ir}$ sont des coefficients constants. Chaque règle peut alors être vue comme un modèle local, linéaire selon les variables d'entrée x_1, x_2, \dots, x_r . Ces modèles permettent d'approcher le comportement d'un système complexe par une

collection de modèles locaux. Ils ont une capacité de représentation importante. En effet, le nombre de règles nécessaires pour approcher un système à un certain degré de précision est généralement réduit [48]. Cependant, pour appliquer l'agrégation, nous utilisons l'opérateur MAX. Cette étape finale, qui permet de passer de l'ensemble flou issu de l'agrégation des conclusions à une décision unique, s'appelle la défuzzification.

3.3. CONCEPTION D'UN MODÈLE DE RÉGRESSION LINÉAIRE MULTIPLE

3.3.1. Historique sur la régression

En 1755, Ruđer Josip Bošković, fut le premier scientifique à calculer les coefficients de régression linéaire, pour mesurer la longueur de cinq méridiens terrestres en minimisant la somme des valeurs absolues [49]. Cette méthode a été utilisée plus tard par Pierre-Simon de Laplace "Sur les degrés mesurés des méridiens et sur les longueurs observées sur pendule" en 1789. Les premières utilisations de la méthode des moindres carrés sont attribuées à Carl Friedrich Gauss en 1795 et Adrien-Marie Legendre en 1805 [50]. Carl Gauss démontre, en 1821, le théorème connu aujourd'hui sous le nom de théorème de Gauss-Markov qui exprime sous certaines conditions la qualité des estimateurs.

Le terme régression a été introduit en 1886 par Francis Galton, chercheur britannique du 19e siècle et cousin de Charles Darwin, pour décrire un phénomène biologique (le rapport entre la taille des enfants et celle de leurs parents) [51]. En 1970, Arthur Hoerl et Robert Kennard proposent la Régression pseudo-orthogonale, une méthode d'estimation de la présence de colinéarité des variables explicatives avec des contraintes sur les coefficients [52]. Plus tard, Robert Tibshirani a créé, en 1996, la méthode du lasso (*Lasso Regression*), ayant le même objectif en utilisant une technique analogue [53]. Dans les méthodes de régression sur composantes, les savants cherchent des variables explicatives indépendantes liées aux variables initiales, puis estiment les coefficients de régression sur les nouvelles variables [54].

3.3.2. Utilité de la régression linéaire multiple

Il arrive souvent que nous cherchons à expliquer, par des méthodes statistiques, le comportement d'une variable par l'intermédiaire d'autre(s) variable(s) et d'analyser la relation entre elles. La première variable sera nommée, par la suite, variable dépendante (endogène) ou expliquée alors que les autres variables seront nommées des variables indépendantes (exogènes) ou explicatives. Il faut noter que la régression linéaire suppose que les variables explicatives doivent être indépendantes entre elles et que la variation de chacune d'elle ait une influence, avec des proportions pas nécessairement égales, sur le comportement de la variable expliquée. Donc, la fonction qui relie la variable dépendante aux variables indépendantes est linéaire [55].

Le but de la régression est de construire un modèle capable de prévoir le comportement de la variable expliquée pour des valeurs définies des variables explicatives. Pour déduire le modèle prévu, il est nécessaire de posséder un nombre suffisant d'observations du comportement de la variable à expliquer en fonction des différentes valeurs des variables indépendantes. Le domaine d'application de la régression linéaire est varié : physique, mathématique, économétrique, etc. Dans le cadre de notre thèse, nous avons utilisé ce modèle pour prévoir le comportement du mobile dont la qualité de service sur le réseau courant diminue et qui cherche à choisir un autre réseau parmi plusieurs disponibles dans son environnement.

3.3.3. Modèle linéaire de régression

Il existe deux sortes de régression linéaire : simple et multiple. La régression linéaire simple essaie d'expliquer le comportement d'une variable en fonction d'une autre, alors que la régression linéaire multiple (RLM) possède un nombre de variables explicatives supérieur à 1. Sur le plan mathématique, la relation qui relie les variables indépendantes à la variable dépendante dans une RLM est donnée par la formule suivante :

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k + \varepsilon \quad (4)$$

Où k représente le nombre des variables explicatives, β_k représente le $k^{\text{ième}}$ coefficient de la régression qui reste à déterminer et qui représente le poids de la $k^{\text{ième}}$ variable indépendante, ε représente la marge d'erreur, X_i représente la $i^{\text{ième}}$ variable indépendante et Y est la variable que nous cherchons à déterminer et à prévoir sa valeur et son comportement. ε est un vecteur d'erreur qui représente l'effet des facteurs qui ne sont pas pris en considération par le modèle.

Graphiquement, nous représentons cette relation dans un repère orthogonal où l'axe des abscisses traduit les valeurs des variables indépendantes et l'axe des ordonnées représente la valeur de la variable dépendante. Chaque observation sera représentée par un point dans le repère. L'ensemble des variables indépendantes forme un nuage de points et le modèle prédictif sera représenté par la droite qui passe par le point moyen du nuage. Autrement dit, cette droite doit minimiser la distance qui la sépare de l'ensemble des points. Soient d_1, d_2, \dots, d_n les pieds de la perpendiculaire menée des points M_1, M_2, \dots, M_n à l'axe des abscisses, l'équation de la droite doit vérifier que la somme des carrés des écarts (SCE) des points M_i à la droite est minimale. (cf. Figure 11).

Donc, pour définir le modèle, il faut répondre à la problématique suivante :

- Trouver les valeurs des paramètres en exploitant les données observées.
- Évaluer la marge d'erreur estimée par le modèle trouvé.
- Évaluer le degré d'influence de chacune des variables dans le modèle.
- Évaluer le degré de satisfaction du modèle.

La régression linéaire multiple peut être aussi représentée sous forme matricielle qui relie les termes de l'équation selon la formule suivante :

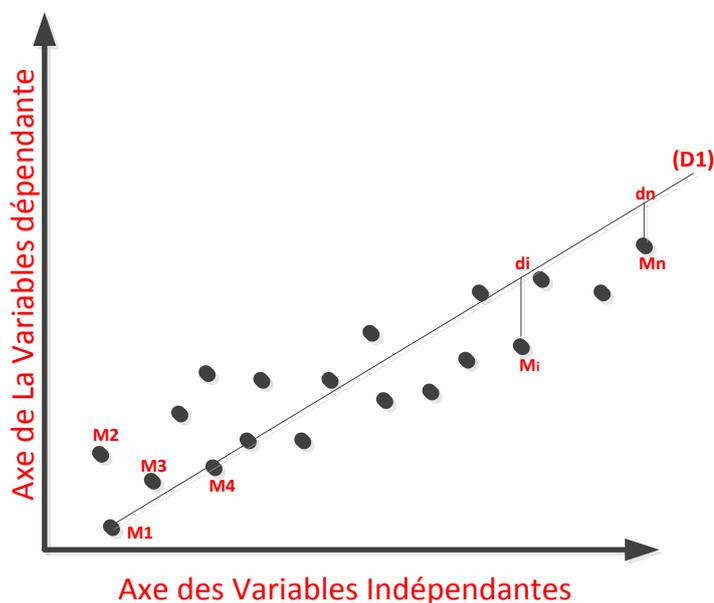


Figure 11: Droite de régression

$$\begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1k} \\ 1 & X_{21} & X_{22} & \dots & X_{2k} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ 1 & X_{n1} & X_{n2} & \dots & X_{nk} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \vdots \\ \beta_k \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{bmatrix} \quad (5)$$

où n représente le nombre d'observations utilisées pour déduire le modèle de l'équation. La représentation matricielle peut aussi s'écrire sous la forme :

$$Y = X\beta + \varepsilon \quad (6)$$

où Y est une matrice formée d'une colonne et de n lignes. Ses dimensions sont égales à $(n*1)$, X est de dimension $(n*(k+1))$, β est de dimension $((k+1)*1)$ et ε est de dimension $(n*1)$.

3.3.4. Hypothèses du modèle

Pour obtenir le meilleur estimateur, le modèle de régression linéaire suppose les hypothèses suivantes :

Première hypothèse : l'espérance du terme d'erreur est nulle, $E(\varepsilon) = 0$. Autrement dit, le terme d'erreur obéit à une loi de probabilité avec une moyenne nulle. En effet, certaines erreurs sont positives alors que d'autres sont négatives. Pour un grand nombre d'observations, la moyenne tend vers zéro. Avec cette hypothèse nous vérifions que la moyenne des variables omises (qui ne sont pas considérées dans l'équation de la régression) est nulle, d'où l'exactitude du modèle.

Deuxième hypothèse : la variance du terme d'erreur est constante pour toutes les observations; $\text{Var}(\varepsilon) = \sigma^2$. Ainsi, les erreurs sont homoscedastiques. Chaque erreur obéit à une loi de probabilité avec une variance σ^2 . La variance σ^2 est un paramètre inconnu qui mesure l'incertitude dans le modèle statistique (plus σ^2 est grande, plus la dispersion des termes d'erreur est grande).

Troisième hypothèse : la covariance entre les termes d'erreur des différentes observations est nulle, $\text{Cov}(\varepsilon_i, \varepsilon_j) = 0$. L'erreur commise pour une observation ne contient aucune information sur l'erreur d'une autre observation. Donc, les erreurs ne sont pas corrélées entre elles.

Quatrième hypothèse : le rang de la matrice X est complet. Ceci revient à dire qu'il n'existe aucun vecteur X_i qui pourra être présenté comme une fonction exacte d'un autre vecteur X_j de la même matrice. Si c'est le cas, l'estimateur ne pourra pas être évalué, comme nous allons le voir par la suite.

Cinquième hypothèse : cette dernière hypothèse spécifie que les différents termes d'erreur ε_i suivent une loi normale où la moyenne est nulle et la variance est égale à σ^2

$$\varepsilon_i \sim N(0, \sigma^2) \quad (7)$$

3.3.5. Processus d'estimation et méthode des moindres carrés ordinaires

La méthode des moindres carrés ordinaires (MCO) consiste à obtenir la meilleure estimation des valeurs du vecteur β tout en minimisant le vecteur d'erreur ε dans l'équation suivante :

$$Y = X\beta + \varepsilon \quad (8)$$

Soit b^* un vecteur aléatoire de dimension $(k+1)$. En remplaçant le vecteur β par le vecteur b^* , nous pouvons définir un vecteur de résidus e^* comme suit :

$$e^* = Y - Xb^* \quad (9)$$

La méthode MCO consiste à choisir un vecteur b^* qui minimise la somme des carrés des résidus, c.à.d. $e^{*'}e^*$, où $e^{*'}$ est la transposée du vecteur e^* . Ainsi, nous obtenons les équations suivantes :

$$e^{*'}e^* = (Y - Xb^*)'(Y - Xb^*) \quad (10)$$

$$e^{*'}e^* = Y'Y - Y'Xb^* - b^{*'}X'Y + b^{*'}X'Xb^* \quad (11)$$

Étant donné que $Y'Xb^*$ est la transposée de $b^{*'}X'Y$; et comme $Y'Xb^*$ et $b^{*'}X'Y$ sont des scalaires alors $Y'Xb^* = b^{*'}X'Y$. Par conséquent:

$$e^{*'}e^* = Y'Y - 2b^{*'}X'Y + b^{*'}X'Xb^* \quad (12)$$

Pour minimiser l'expression (12), nous dérivons celle-ci par rapport à b^* , d'après l'auteur de [56]:

$$\frac{\partial e^{*'}e^*}{\partial b^*} = -2X'Y + 2X'Xb^* = 0 \quad (13)$$

La condition nécessaire pour obtenir un résultat minimal est que cette dérivée (13) soit égale à zéro. Si la solution de cette condition est b , nous aurons :

$$\frac{\partial e^{*'}e^*}{\partial b^*} = -2X'Y + 2X'Xb \quad (14)$$

$$\Rightarrow X'Y = X'Xb \quad (15)$$

D'où

$$b = (X'X)^{-1}X'Y \quad (16)$$

Ainsi, b est l'estimateur de la méthode des moindres carrés qui minimise la somme des carrés des résidus, ce qui nous permet d'avoir le modèle le plus optimal. Lorsque toutes les hypothèses sont satisfaites, l'estimateur des moindres carrés est dit BLUE (Best Linear Unbiased Estimator), c.à.d. le meilleur estimateur linéaire impartial ou juste.

3.3.6. Jugement de la qualité du modèle

Une hypothèse de la régression linéaire multiple (RLM) consiste à prouver que les variables X_i ne dépendent pas linéairement les unes des autres. Autrement dit, il faut savoir si les variables dépendantes mesurées sur le même ensemble d'observations varient dans le même sens ou non. Pour tester cette dépendance entre les variables X_i , nous utilisons le coefficient de corrélation de Pearson [57] qui est égal à la covariance de X et Y divisée par le produit des écarts-types de X et Y:

$$r = \frac{cov(XY)}{\sigma(X).\sigma(Y)} \quad (17)$$

$$\text{où } cov(XY) = \overline{XY} - \bar{X} \times \bar{Y} \quad (18)$$

avec \bar{X} est la valeur moyenne de l'ensemble des observations de la variable indépendante X et \bar{Y} la valeur moyenne de l'ensemble des observations de la variable dépendante Y . Plus \mathcal{r} est proche de zéro, plus nous pouvons conclure que les deux variables X et Y sont indépendantes. Si le coefficient de corrélation est proche de 1 (-1) [58], ceci indique une corrélation de dépendance positive (ou négative) forte entre les deux variables.

L'équation (4) montre la variation linéaire de la variable Y en fonction de la valeur de plusieurs variables X avec une certaine marge d'erreur. Le coefficient de détermination (R^2) correspond à la proportion de la variation de Y qui sera expliquée seulement par les variables dépendantes et qui n'est pas due à l'erreur [59]. Par exemple, une valeur de R^2 égale à 0.75 veut dire que 75% de notre modèle est expliqué par la variation des variables dépendantes choisies dans le modèle proposé. R^2 est donnée par la formule suivante :

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y})^2 - \sum_{i=1}^N (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y})^2} \quad (19)$$

où N est le nombre d'observations faites, \bar{Y} est la moyenne des valeurs de Y et, \hat{Y}_i est la valeur estimée de la variable Y . R^2 varie dans l'intervalle $[0,1]$. Une valeur de $R^2 = 0$ veut dire que la variation des variables indépendantes n'explique pas la variation de la variable dépendante. Une valeur de $R^2 = 1$ veut dire que la variation des valeurs des variables indépendantes explique entièrement la variation de Y . Finalement, toute valeur comprise entre 0 et 1 montre le degré de la variation de Y en fonction des variables X_i .

Pour étudier l'influence de chacune des variables indépendantes X_i sur la variation de la variable dépendante Y , il faut déterminer β_i qui représente le poids de chaque variable X_i . La méthode la plus répandue pour calculer ces coefficients est la méthode des moindres carrés ordinaires. Le détail des calculs est donné par les formules suivantes :

$$\beta_k = \frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X}_k) * (Y_i - \bar{Y})}{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X}_k)^2} \quad (20)$$

$$\beta_0 = \bar{Y} - (\beta_1 \bar{X}_1 + \beta_2 \bar{X}_2 + \dots + \beta_k \bar{X}_k) \quad (21)$$

3.4. CONCLUSION

La problématique étudiée dans le cadre de notre thèse peut se résumer à une prise de décision basée sur plusieurs paramètres. Les paramètres dans notre cas peuvent : soit correspondre au réseau (opérateur) et être de nature numérique

(ensemble réel) comme la valeur de la bande passante, le débit, la puissance du signal, etc. soit correspondre à la satisfaction de l'utilisateur et être de nature linguistique (ensemble flou) comme bien satisfait, moyennement satisfait, très bien satisfait, etc. Ces paramètres affectent notre décision avec des coefficients (poids) différents.

Dans un tel contexte, nous avons présenté, dans la première partie de ce chapitre (cf. Section 3.2), les différentes étapes nécessaires et suffisantes pour construire un modèle basé sur la théorie de la logique floue capable de traiter les ensembles flous et dans la deuxième partie (cf. Section 3.3), nous avons montré comment utiliser la régression linéaire multiple pour identifier les paramètres les plus pertinents et leurs poids dans la prise de décision.

Les différentes méthodes de modélisation montrées dans ce chapitre vont nous permettre de construire des stratégies de sélection (algorithmes) du réseau destination. Dans le chapitre suivant, nous allons montrer comment intégrer ces algorithmes à MIH pour la rendre capable de choisir le meilleur réseau destination pour l'utilisateur et ceci, grâce à notre proposition d'une nouvelle architecture de gestion du *Handover*.

CHAPITRE 4. PROPOSITION D'UNE ARCHITECTURE DE GESTION DU HANDOVER

4.1. INTRODUCTION

Les réseaux ont évolué avec le temps du coaxial à Ethernet, du réseau filaire au sans fil, de l'analogique (1G) au numérique (2G, 2.75G, 3G et 4G). Ces différents moyens de communication utilisent des normes différentes et sont donc non-interopérables. Le standard IEEE 802.21 définit la structure de base d'une nouvelle composante, *Media Independent Handover*, dont le but est de jouer un rôle d'intégration entre les différents réseaux dans un environnement hétérogène. Cette composante est délivrée dans son état primitif (sans implémenter un algorithme de sélection du réseau destination). IEEE 802.21 définit les spécifications des différents modules qui constituent cette composante et leurs interactions, sans toutefois les implémenter. Dans son état actuel, MIH donne la possibilité à un nœud mobile de détecter le besoin de *Handover* suite à une détérioration de la qualité de service. L'implémentation des modules, définis par les spécifications du standard, permettra à un nœud mobile de changer son point de connexion d'une façon transparente à l'utilisateur. C'est-à-dire, quand le nœud mobile change son point de connexion, il ne se trouve pas obligé de redémarrer une nouvelle session. D'autre part, MIH prévoit la possibilité de permettre aux applications de participer au *Handover*. Par exemple, une application de type voix peut choisir d'exécuter le *Handover* durant la "période de silence" dans le but de minimiser l'interruption du service.

Dans ce chapitre, nous montrons comment MIH est modifié pour intégrer notre solution pour la sélection du meilleur réseau destination pendant la période du *Handover*. En effet, une nouvelle couche à architecture ouverte capable d'intégrer toute méthode de sélection multi critères (logique floue, régression linéaire multiple, autre algorithme, etc.) est ajouté à MIH offrant ainsi une nouvelle architecture de gestion du *Handover*.

La suite de ce chapitre comprend quatre sections. La section 4.2 résume l'état de l'art de la gestion du *Handover* avec MIH. La section 4.3 montre le besoin d'étendre l'architecture du MIH par une nouvelle entité (VHMC) capable de décider du meilleur réseau destination parmi plusieurs disponibles dans l'environnement du nœud mobile. Cette section détaille le flux des messages entre MIH et les différentes couches du modèle de référence OSI et les trois services du MIHF (MIES, MICS et MIIS). La section 4.4 montre le niveau d'insertion de notre nouvelle couche dans MIH et l'intégration des différentes stratégies de sélection à notre nouvelle entité. Elle décrit la communication entre VHMC et les trois services du MIH et montre le besoin d'ajouter une nouvelle structure dont le rôle est d'acheminer les informations

nécessaires pour notre centre de décision VHMC en décrivant les avantages, la limitation et les perspectives de notre architecture de gestion du *Handover*. Finalement, nous terminons par une conclusion dans la section 4.5.

4.2. ÉTAT DE L'ART DE LA GESTION DU HANDOVER AVEC MIH

Le standard IEEE 802.21 (MIH) a fait l'objet de nombreux travaux de recherche, dont plusieurs dans le cadre de projets internationaux tels que le projet FP7 HURRICANE (2008-2010) de l'UE qui a traité la problématique d'interopérabilité entre l'architecture courante du MIH et le 3GPP, ou le projet QoEHand (Brésil, Italie, Portugal) qui s'intéresse à la gestion de la QoS (et QoE) pendant le handover.

Des améliorations de MIH ont été explorées dans la littérature sur plusieurs niveaux :

- Implémentation du MIIS, facilitant le choix du meilleur réseau destination;
- Ajout de nouveaux messages pour faciliter l'exploitation de MIH et améliorer la QoS durant la période du Handover;
- Algorithmes pour le choix du réseau destination basés sur différents types de paramètres de QoS;
- Améliorations du temps de Handover

Concernant les paramètres réseau qui peuvent affecter le Handover, on peut citer les travaux suivants : Silva et al. [60], étudient le temps de Handover et le taux de perte des paquets en allant du wifi à WiMax. Ils affirment que le délai du Handover est directement relié à l'intervalle d'envoi de RA (router advertisement). En effet, le RFC3775 [61] définit le *MinRtrAdvInterval* à 0.03s et le *MaxRtrAdvInterval* à 0.07s. Quand l'intervalle des messages RA est configuré à son temps minimum, le temps du Handover diminue car le mobile peut détecter plus rapidement ses mouvements et décider du meilleur moment pour le déclenchement du Handover. Tiwari et al. [62] comparent la performance du MIH avec trois variantes du TCP : TCP Westwood+, TCP NewReno et TCP Vegas. Les paramètres étudiés sont "débit", "Handover latency" et "perte des paquets". Il étudie le cas du Handover entre réseau wifi et WiMax. Chandavarkar et al. [63], proposent un algorithme, pour chaque cas de Handover wifi – WiMax et wifi - wifi basé sur la durée de vie de la batterie, la vitesse du mobile et le rayon de couverture de l'AP. Normalement, le Handover se fait en 3 étapes : Initiation, Sélection et Exécution. Jiadi et al. [64] proposent une nouvelle procédure de Handover qui intervient seulement au niveau des deux premières étapes. Les simulations effectuées montrent une amélioration de la période du Handover et une meilleure QoS. Ying et al. [65] proposent une amélioration au MIH en ajoutant un certain nombre d'événements et des composantes coté réseau et coté client pour permettre le déclenchement du Handover du coté client (L2 et L4) ou coté réseau (aussi niveau L2 et L4).

Dans un environnement hétérogène, où coexistent plusieurs réseaux, un utilisateur a besoin non pas d'être simplement connecté mais plutôt d'être toujours bien connecté de n'importe où et à n'importe quel moment ("Always Best Connected" (ABC) and "AnyWhere Any Time"). Gustafsson et al. [66] démontrent que se connecter en ABC offre de nombreuses possibilités pour fournir aux utilisateurs un environnement de communication personnalisé à leurs besoins. Quand on introduit plusieurs paramètres, il faut mettre une stratégie de comparaison entre ces paramètres pour savoir comment en tirer profit. Ce qui revient à définir une politique de sélection basée sur différents paramètres. Iera et al. [67] présentent un nouvel algorithme multicritères de sélection de réseau pour fournir un service ABC. Il est relié à une fonction de coût bien appropriée qui prend en compte les métriques (paramètres) du réseau et les préférences de l'utilisateur. Ormond et al. [68] étudient le cas de sélection de réseau pour une application élastique (non temps réel) et avec comme paramètre les coûts de chaque réseau.

Les travaux suivants utilisent MIH pour améliorer les protocoles de gestion de la mobilité. An et al. [69] ont défini et ajouté des nouveaux paramètres (messages) au MIH: le "MIH-LinkList" et le "MIH-LinkAvailable" envoyés par le MIH, offre MIPv6 des informations sur les APs et leurs préfixes correspondants. Ce qui permet au FMIPv6 d'économiser l'étape de RtSolPr/PrRtAdv et les messages RS/RA et qui se traduit par une diminution du temps du Handover et amélioration du taux des pertes de paquet. Kim et al. [70] étudient un environnement où il y a juste des AP wifi (802.11). Quand un mobile avance il reçoit différents signaux de différents AP. la question est de choisir l'AP qui offre une QoS satisfaisante. L'auteur utilise le MIHF pour obtenir la position du mobile. Sachant les coordonnées du mobile, le MIHF obtient, à partir du MIIS, une liste des APs dans sa zone de couverture satisfaisant les critères de QoS. Hui *et al.* [71] proposent une évolution du protocole PMIPv6 pour permettre le déploiement de plusieurs tunnels entre un MAG et un LMA. Dans cette architecture, chaque service possède son propre tunnel, ce qui permet de différencier les trafics entre le MAG et le LMA et ainsi de faciliter la mise en place de techniques de QoS comme DiffServ. Choi et al. [72] proposent une amélioration à la procédure normale du Handover en PMIPv6 en disant que l'AP décide du choix du réseau à la place du mobile. Ceci va lui permettre de diminuer le nombre de messages de contrôle, améliorant ainsi la gestion des ressources et réalisant un gain de temps dans la procédure du Handover.

4.3. VERS UNE EXTENSION DE MIH

Le rôle de MIH est d'assister la détermination et l'initiation du besoin de *Handover*. Ce standard laisse la stratégie de sélection du meilleur réseau au libre choix de l'utilisateur. L'exécution du Handover est réalisée par les couches supérieures qui utilisent les protocoles de gestion de la mobilité (MIPv6, etc.). Autrement dit, IEEE 802.21 ne fait qu'aider les couches supérieures à initier le

Handover, et ne gère, en aucun cas, ni le choix du réseau de destination, ni l'exécution du transfert du nœud mobile entre deux réseaux.

Chaque entité qui implémente et utilise MIH est nommée entité-MIH. Dans le cas contraire, elle est nommée entité non-MIH. Un nœud mobile avec plusieurs interfaces, un point d'accès (Access Point, AP) ou une station de base (Base Station, BS) sont des exemples d'entités-MIH. Toute entité-MIH, pour communiquer avec n'importe quelle autre entité-MIH locale ou distante, doit passer auparavant par un processus d'enregistrement. Ce processus se fait à travers un flux de message entre les deux entités-MIH. Les entités non-MIH sont des entités gérées par des tiers.

Dans notre thèse, nous proposons une nouvelle architecture pour la gestion du *Handover* dans un environnement hétérogène (voir Figure 12 et Figure 13). Dans cette nouvelle architecture, la structure de base de la composante MIH est modifiée pour devenir une nouvelle composante capable de sélectionner un réseau de destination. Ainsi, une nouvelle couche est ajoutée à sa structure de base, la rendant plus intelligente et plus robuste pour assurer un *Handover* dans un environnement caractérisé par l'utilisation de plusieurs technologies mobiles et sans fil hétérogènes. La nouvelle couche, nommée *Vertical Handover Management Center* (VHMC), va s'intercaler entre le MIHF et la couche 3 dans le cadre de l'architecture proposée. Il s'agit d'un système ouvert capable de contenir toute nouvelle stratégie de sélection d'un réseau de destination et capable d'interagir avec les différentes couches de notre architecture. VHMC est une nouvelle entité-MIH capable d'interagir avec toute autre entité-MIH locale ou distante, grâce à l'introduction d'un nouveau flux de messages compatible avec celui prédéfini par le standard IEEE 802.21. Les détails de cette proposition d'architecture de gestion du *Handover* seront expliqués dans les sections suivantes de ce chapitre.

4.3.1. Modèle de communication du MIH

MIH échange des messages avec les autres couches à travers des points de service d'accès (Service Access Point, SAP). Chaque SAP se compose d'un ensemble de primitives de services qui précisent la nature des informations à échanger et leur format.

Les SAPs sont de différentes sortes (MIH_SAP, MIH_LINK_SAP, MIH_NET_SAP). Les couches supérieures, du modèle de référence OSI, reçoivent les événements des couches inférieures à travers MIH et vice versa.

MIH_SAP permet la communication entre le MIHF et les couches supérieures appelées MIH Users. En principe, MIH User est un protocole de gestion de la mobilité comme le MIPv6. MIH_LINK_SAP permet la communication entre le MIHF et les couches inférieures de la pile protocolaire (cf. Figure 14). Cependant, l'échange d'informations entre les MIHF distants (remote) est assuré par MIH_NET_SAP.

Dans la fonction MIH (MIHF), il existe trois services qui permettent la communication entre les couches supérieures et les couches inférieures du modèle de référence OSI. Le Media Independent Command Services (MICS)

Ce service permet aux couches supérieures d'effectuer certaines reconfigurations de paramètres du réseau ou de provoquer le passage à un autre réseau voisin et disponible. La nécessité d'une telle reconfiguration pourrait survenir lorsqu'un changement est détecté dans la couche de liaison ou dans les conditions du réseau. MICS utilise deux types d'évènements : commande de liens et commande MIH (cf. Figure 15).

Les détails des différentes primitives du service MICS sont donnés par l'Annexe B. (cf. Tableau B.2).

Tableau 7 montre les caractéristiques du fonctionnement principal de chacun de ces services.

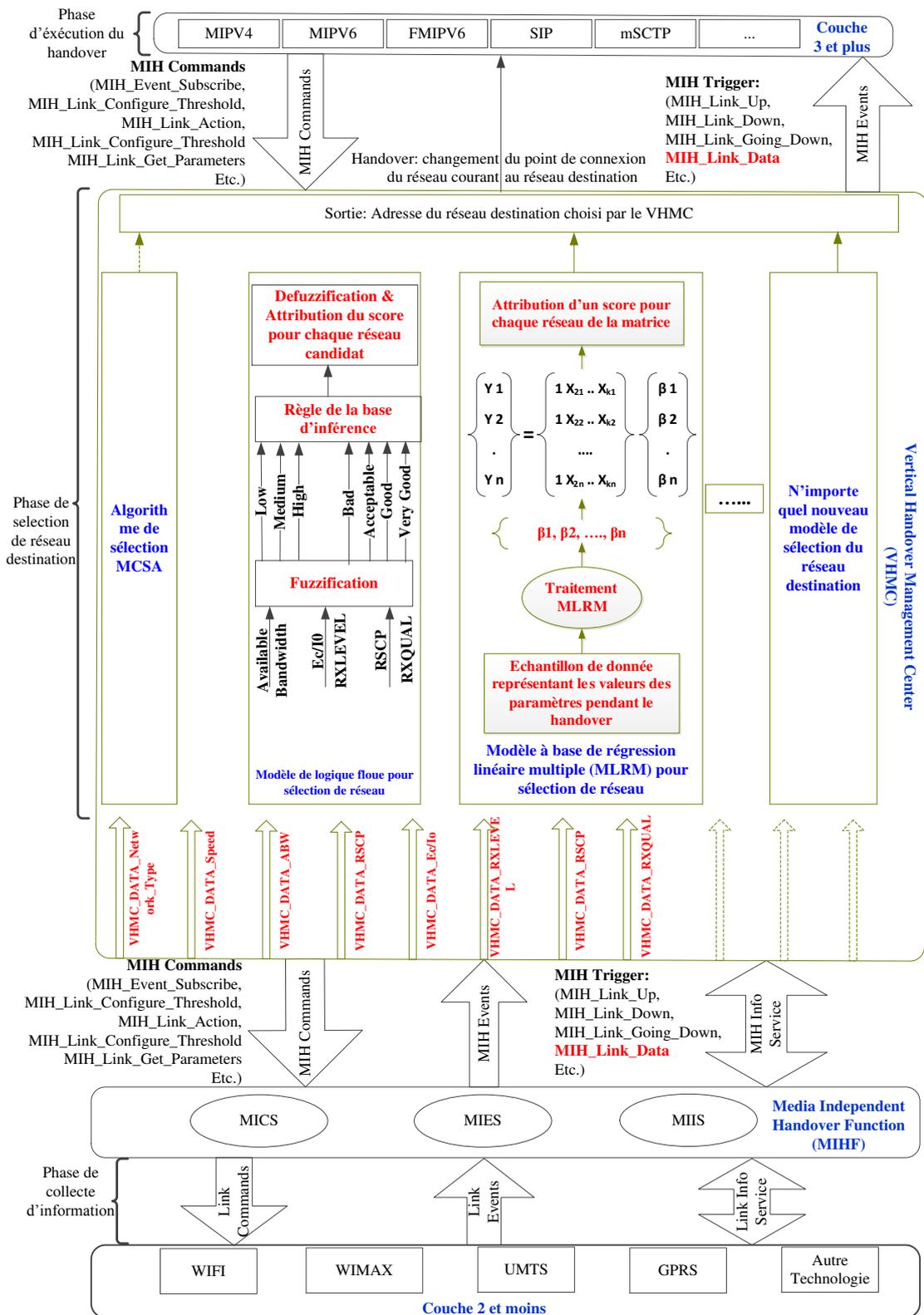


Figure 13 : Intégration des modèles dans notre architecture de gestion du Handover

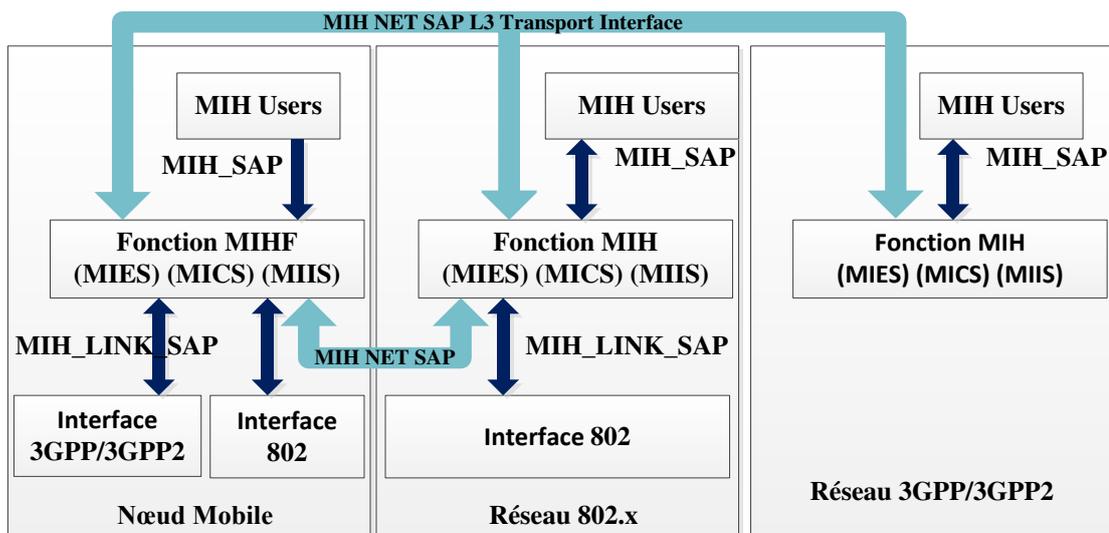


Figure 14 : Media Independent Handover - MIH

4.3.2.1. Media Independent Event Services (MIES)

L'état des liens entre le nœud mobile et le réseau se localise au niveau de la sous couche MAC et la couche physique. À chaque fois qu'il y a un changement dans l'état des liens, des évènements seront générés et envoyés vers le MIHF pour l'informer du nouvel état des liens (cf. Figure 14). Ces informations vont aider à déterminer s'il y a besoin d'initier un *Handover* ou non. Le *Handover* peut être initié par le nœud mobile ou bien par le réseau. La source des évènements qui vont déterminer le besoin d'initier le *Handover* peut être locale ou distante. Plusieurs entités de couches supérieures pourraient être intéressées par la réception de ces évènements. Donc, le MIHF doit être en mesure de distribuer des évènements à des destinations multiples. Ces évènements sont de nature discrète et asynchrone, et toute entité-MIH qui aimerait recevoir ces évènements devrait s'enregistrer à ce service auparavant avec MIHF. Cette procédure se fait par des requêtes d'inscription mutuelle entre les deux entités-MIH en question.

Comme le montre la Figure 15, ces évènements peuvent être locaux ou distants. La liste de ces évènements est donnée par l'Annexe B (cf. Tableau B.1).

4.3.2.2. Media Independent Command Services (MICS)

Ce service permet aux couches supérieures d'effectuer certaines reconfigurations de paramètres du réseau ou de provoquer le passage à un autre réseau voisin et disponible. La nécessité d'une telle reconfiguration pourrait survenir lorsqu'un changement est détecté dans la couche de liaison ou dans les conditions du réseau. MICS utilise deux types d'évènements : commande de liens et commande MIH (cf. Figure 15).

Les détails des différentes primitives du service MICS sont donnés par l'Annexe B. (cf. Tableau B.2).

Tableau 7 : Les messages des différents services MIH

Services MIS	Origine	Destination	Flux	Exemple
Évènement	MIHF ou les couches inférieures	MIHF ou les couches supérieures locales et distantes	(MIHF distante ou couches inférieures)-> MIHF local -> couches supérieures	link up/down/going down, transmission status
Commande	MIHF ou couches supérieures	MIHF ou couches inférieures locales ou distantes	(MIHF distante ou couches supérieures)-> MIHF local -> couches inférieures	switch links, get status
Information	Couches supérieures ou inférieures	Couches supérieures ou inférieures locales ou distantes	Non considéré par le standard IEEE 802.21.	Elements d'information (IEs), rapport des réseaux voisinant

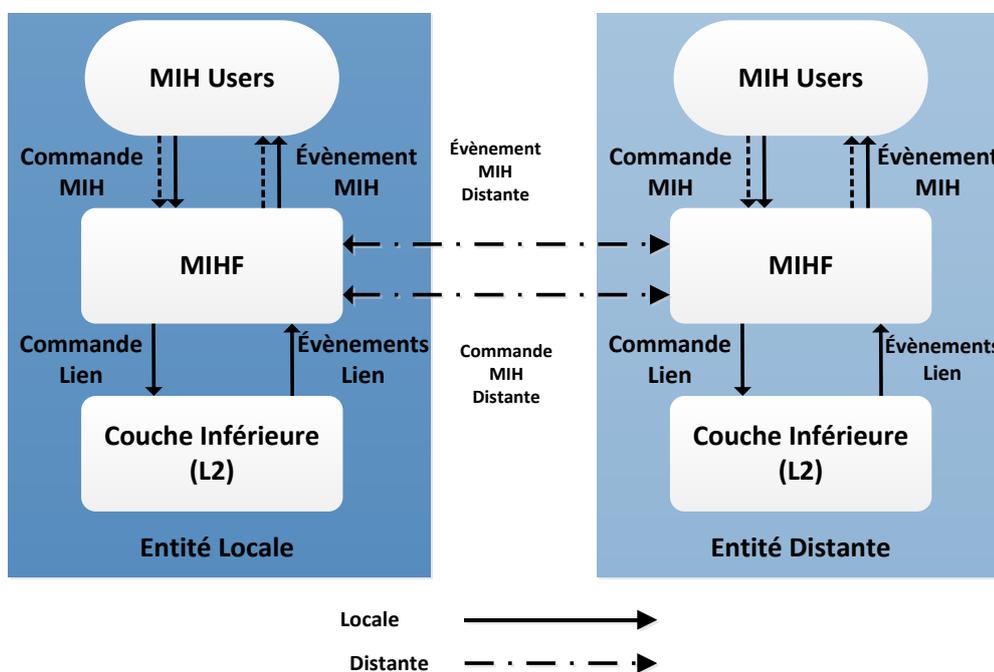


Figure 15 : Flux des évènements des services MIES et MICS

4.3.2.3. *Media Independent Information Services (MIIS)*

Le MIIS est une sorte de base de données qui stocke des informations utiles sur les réseaux voisins. Ces données sont pertinentes pour toute logique de sélection de réseau destination. Comme les services MIES et MICS, le MIIS a une portée locale et une portée distante. Ces informations sont délivrées par le MIIS au MN sous forme d'éléments d'information (IE'S). Les informations collectées sont destinées au module qui implémente la fonction de prise de décision du *Handover*. Ce module peut être un algorithme ou un modèle défini par l'utilisateur du MIH. Une liste de ces éléments d'informations est donnée dans l'Annexe B (cf. Tableau B.3).

Nous représentons les flux des messages entre les différentes entités-MIH : MIH User, MIHF locale et distante par le MSC (Message Sequence Chart) de la Figure 16.

La portée des messages du service MIIS peut être locale ou distante. En cas de prise de décision pour récupérer des informations du MIIS (distant ou local), le MIH User envoie la demande sous forme de requête (*MIH_Get_Information_Request*) vers l'entité-MIH locale. Si la portée de la demande est locale, les informations provenant du MIIS local seront délivrées au MIH User sous forme d'éléments d'informations. Dans le cas d'une demande à portée distante, la requête *MIH_Get_Information_Request* sera acheminée par l'entité-MIH locale au serveur distant qui, à son tour, délivre les informations nécessaires. Cette opération sera terminée par l'envoi du message *MIH_Get_Information_Response* qui confirme la fin de la requête demandée.

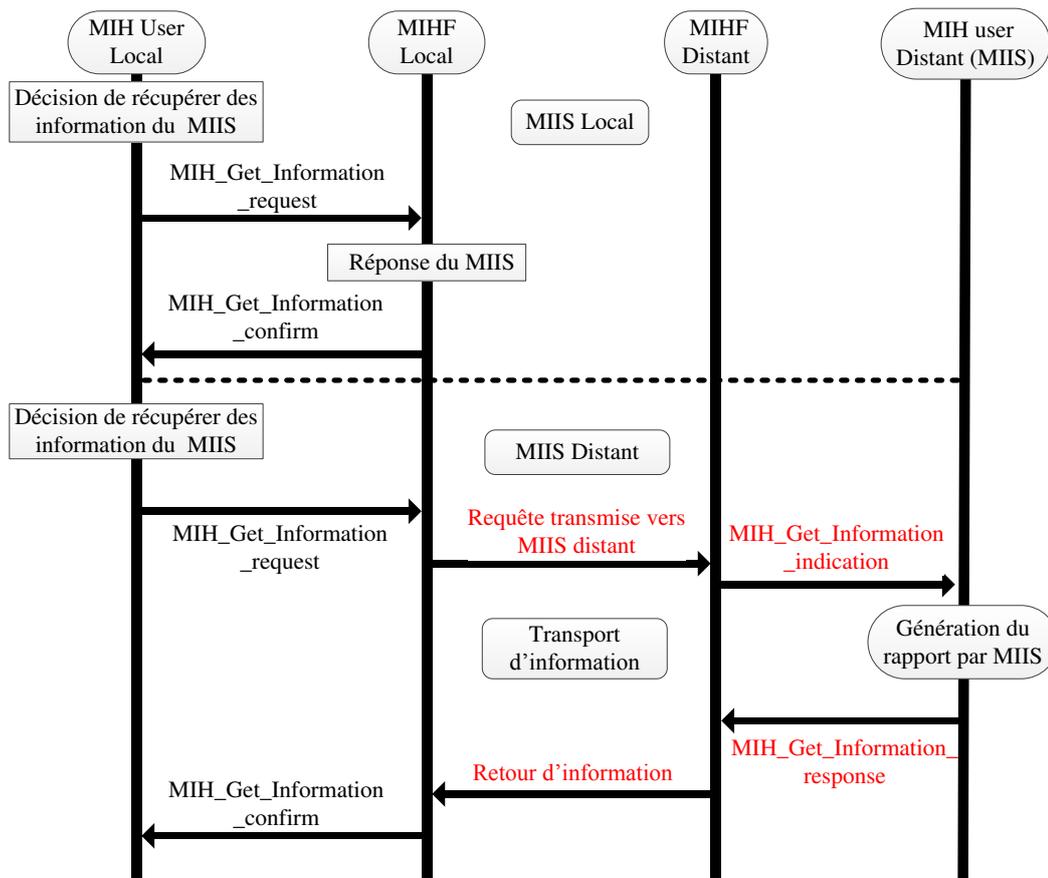


Figure 16 : Flux d'information entre entité locale et distante

4.4. PRISE DE DÉCISION PAR INTÉGRATION DE NOUVELLES ENTITÉS

Le standard IEEE 802.21 offre la composante MIH qui s'intercale entre la couche liaison et la couche réseau (niveau 2.5). Cette couche définit un ensemble de messages et d'évènements capables de communiquer avec les couches supérieures et les couches inférieures de la pile protocolaire, locale ou distante. Ce flux de messages permet de découvrir et d'annoncer le besoin du *Handover*. Nous avons adopté le standard IEEE 802.21 tout en l'étendant par l'ajout d'une nouvelle couche (VHMC) supplémentaire qui s'occupe de la détermination du réseau de destination à sélectionner, lors de la période du *Handover*, formant ainsi une nouvelle architecture de gestion du *Handover* dans un environnement hétérogène (cf. Figure 12).

Notre nouvelle architecture basée sur le standard MIH comporte un nouveau module capable de contenir plusieurs mécanismes de décision pour le choix d'un réseau de destination parmi plusieurs réseaux disponibles dans l'entourage du nœud mobile. VHMC est implémenté entre le MIHF et la couche 3 qui représente le MIH User : siège de différents protocoles de gestion de la mobilité.

La Figure 12 montre le niveau d'intervention de notre entité VHMC dans MIH (entre le MIHF et le MIH User). Le défi posé par notre architecture est de

conserver le flux des messages introduit initialement par MIH. Notre architecture d'intégration permet au VHMC de communiquer avec les trois services du MIH et avec le MIH User dont les détails sont donnés dans la section 4.4.2. VHMC est un centre de décision à architecture ouverte pour décider du choix de réseau destination dont le mécanisme est détaillé dans la section 4.4.1. Notre architecture nécessite d'étendre le flux des messages du MIH par l'ajout des nouvelles structures indispensables pour le fonctionnement de notre architecture de gestion du *Handover*. Ces détails seront donnés dans la section 4.4.3.

4.4.1. Nouvelle architecture d'intégration pour la gestion du Handover

Nous proposons dans le cadre de notre thèse trois modèles de sélection de réseau destination que nous intégrons à notre architecture de gestion du *Handover*. Le premier est un algorithme nommé *Multiple Criteria Slection Algorithm* (MCSA) basé sur plusieurs paramètres pour choisir le réseau de destination. Les détails du fonctionnement de cet algorithme sont donnés dans le Chapitre 5. Dans le Chapitre 6, nous proposons deux modèles pour la sélection du réseau destination. Le premier est basé sur la théorie de la logique floue et le deuxième modèle est basé sur la régression linéaire multiple. La théorie relative à ces deux modèles a été détaillée dans le Chapitre 3. Alors que l'utilisation de ces deux modèles pour la prise de décision dans notre architecture de gestion du *Handover* ainsi que leurs validations sont étudiées dans le Chapitre 6.

Les trois modèles précédents sont intégrés à notre architecture afin d'étendre le module MIH pour le rendre complet et robuste pour un cas de *Handover*, sans coupure de session, dans un environnement de réseaux hétérogènes. L'intégration de ces trois modèles se fait dans la nouvelle couche VHMC de l'architecture de gestion de *Handover* que nous proposons (cf. Figure 12) et nécessite l'introduction de nouveaux messages, permettant au VHMC de communiquer avec le MIHF et le MIH User (couches supérieures). Nous décrivons dans ce qui suit l'échange de messages qui se fait dans le cadre de notre architecture afin de permettre la prise de décision pour le choix d'un réseau destination lors d'un *Handover* dans un environnement hétérogène.

4.4.2. Interaction entre VHMC et les trois services du MIHF

Notre architecture d'intégration respecte le flux des messages introduit par MIH et sa fonction MIHF. L'introduction de VHMC entre MIHF et les couches supérieures doit conserver la continuité des flux de messages (commandes et événements) entre les différentes entités-MIH locales et distantes.

4.4.2.1. Conservation du flux ascendant et descendant

Le service MIES contient des événements de type " Link Event " et permet ainsi la communication des couches basses (Liaison de données et Physique) avec le MIHF à travers les structures MIH_LINK_SAP et des événements de type " MIH Event " qui sont envoyés par MIHF aux couches supérieures en passant par les structures MIH_SAP. De même, le service MICS contient des commandes de type " MIH Command " envoyées par les couches supérieures au MIHF à travers les structures MIH_SAP et des commandes de type " Link Command " envoyées par MIHF aux couches inférieures à travers les MIH_LINK_SAP.

Pour pouvoir conserver les flux de messages et d'évènements, nous intégrons à notre nouvelle couche VHMC, l'ensemble des primitives du MIH_LINK_SAP et MIH_SAP définies par les spécifications du standard IEEE 802.21 (cf. Annexe A). Le Tableau A.1 donne la liste des primitives du MIH_SAP et le Tableau A.2 donne la liste des primitives du MIH_LINK_SAP.

Un changement dans l'état des liens au niveau des couches MAC/PHY est détecté par les primitives du MIH_LINK_SAP définies par le standard IEEE 802.21. MIH_LINK_SAP transmet l'état des liens à MIHF. Un exemple de ces messages : Link_Up, Link_Down, Link_Going_Down, etc. l'état des liens, grâce à l'intégration du MIH_LINK_SAP dans VHMC, sera donc intercepté par ce dernier qui transmet le message aux couches supérieures en utilisant les primitives du MIH_SAP (voir Figure 17).

De même, si le " MIH User " souhaite communiquer avec les couches inférieures, il envoie un message de type " MIH Command " au VHMC à travers les primitives du MIH_SAP. VHMC transmet ce message au MIHF qui le transmet, à son tour, aux couches inférieures par les primitives du MIH_LINK_SAP (cf. Figure 12). Ce nouveau mode d'échange du flux des messages et d'évènements, dans le cadre de notre proposition d'architecture de gestion de *Handover*, va permettre à la nouvelle entité VHMC d'être informée de l'état des liens des couches sous-jacentes. Dès que VHMC reçoit l'évènement " Link_Going_Down ", indiquant la nécessité de changer le point de connexion du nœud mobile, elle commence à se préparer pour choisir un réseau de destination, parmi plusieurs disponibles dans l'entourage du nœud mobile, et transmettre les caractéristiques de ce choix aux couches supérieures.

4.4.3. Nécessité d'ajouter une nouvelle structure

Dans le cadre de notre architecture de gestion du *Handover*, la nouvelle entité (VHMC) vient compléter la structure de base du MIH par un centre de décision pour aider au choix du réseau de destination. VHMC contient plusieurs modèles de prise de décision qui nécessitent les valeurs de certains paramètres de qualité de service comme paramètres d'entrées pour être capable de prendre cette décision de choix de réseau destination lors du *Handover*. Pour répondre à ce besoin, nous définissons une nouvelle structure appelée VHMC_LINK_DATA qui contient les

valeurs des paramètres d'entrées dont on a besoin. Ainsi cette structure est composée par les paramètres suivant (voir Figure 18) :

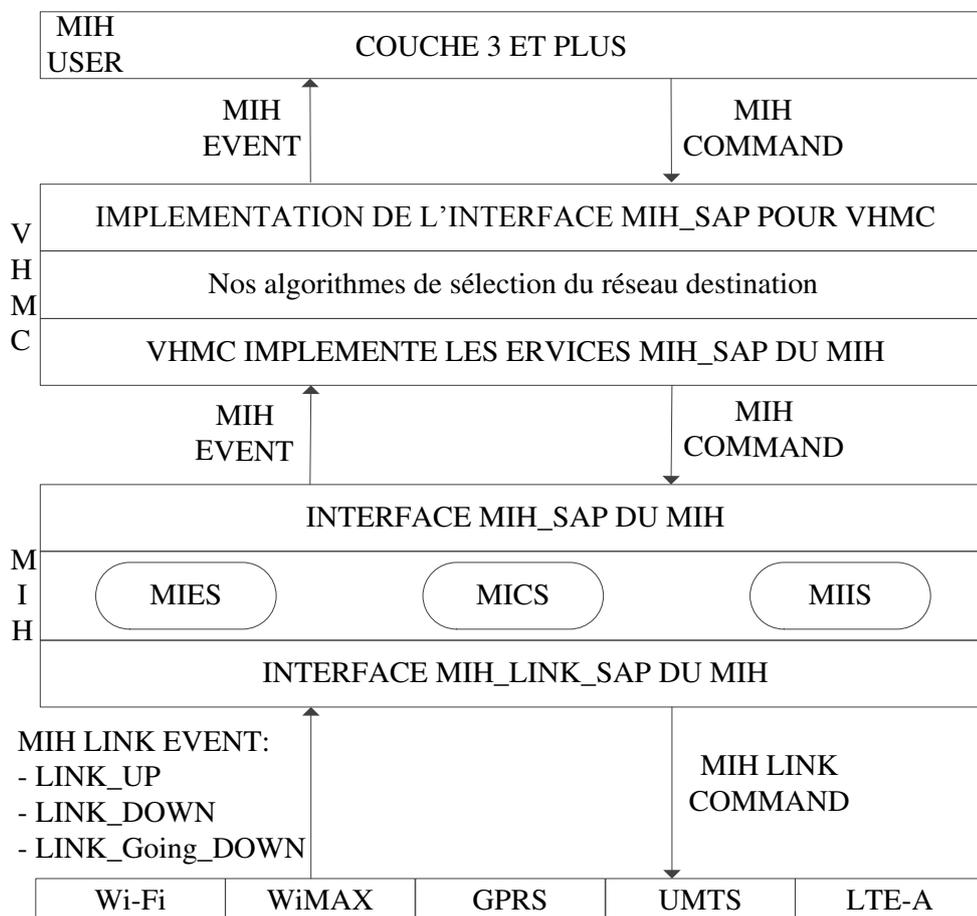


Figure 17 : Flux d'information entre MIH et notre entité VHMC

- **VHMC_DATA_RXQUAL** : ce paramètre reflète la qualité de la communication sur un réseau GPRS, *General Packet Radio Service*. C'est une valeur entière entre 0 et 7. Une valeur proche de zéro indique une bonne qualité de la communication. La valeur 7 indique une très mauvaise qualité.
- **VHMC_DATA_RSCP** : Le paramètre RSCP, *Received Signal Code Power*, reflète la qualité de la puissance du signal sur un canal donné dans le réseau UMTS, *Universal Mobile Telecommunications System*.
- **VHMC_DATA_RXLEVEL** : ce paramètre mesure la puissance du signal sur un réseau GPRS. C'est l'équivalent du VHMC_DATA_RSCP avec un réseau UMTS.
- **VHMC_DATA_Ec/No** : Ec/No (Energy per chip / Noise spectral density) est un paramètre de qualité de service avec un réseau UMTS. **VHMC_DATA_ABW** : ce paramètre représente la part de la bande passante restante disponible sur un réseau donné.

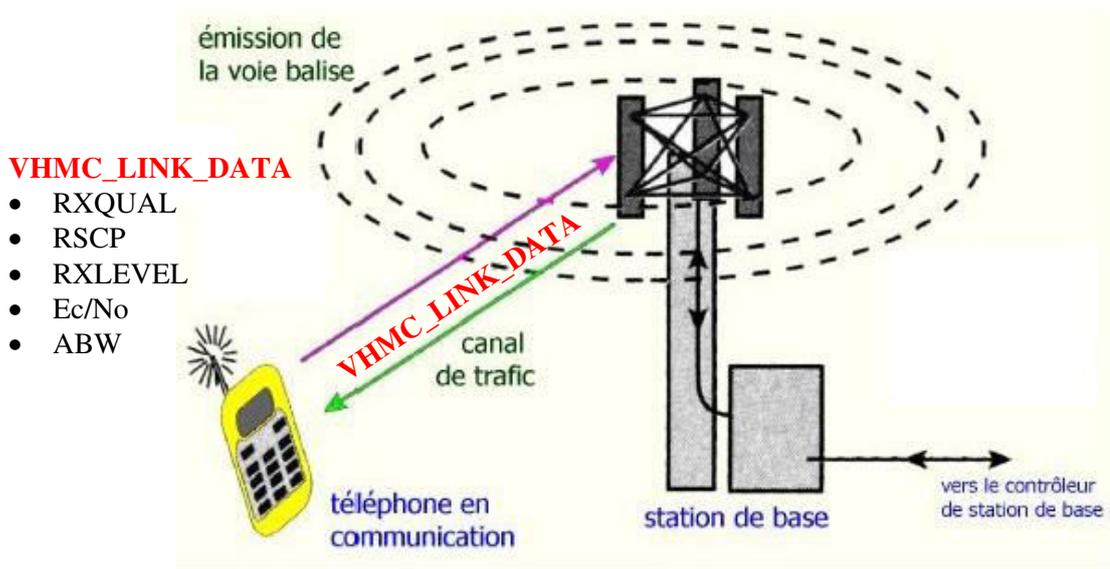


Figure 18 : Récupération des valeurs des paramètres du VHMC_LINK_DATA.

4.4.4. Récupération des valeurs du VHMC_LINK_DATA

La récupération des valeurs de la structure VHMC_LINK_DATA dans le cadre de notre architecture de gestion du *Handover* peut se faire de deux façons différentes :

4.4.4.1. Pour les réseaux mobiles

La communication entre le nœud mobile et réseau cellulaire se fait à travers des canaux (porteuse) qui sont de deux types : des canaux dédiés et alloués à chaque nœud mobile et d'autres qui sont partagés par différents mobiles. Le rôle de ces canaux est de contrôler la qualité de service de la communication, permettre l'échange des informations entre le nœud mobile et le réseau et assurer le Handover. Le canal TCH (Traffic Channels) est dédié pour la transmission des informations propres à l'utilisateur. Le SDCCH (Stand-alone Dedicated Control Channel) est un canal de signalisation. Le rôle du canal SACCH (Slow Associated Control Channel) est de superviser la puissance du signal et la qualité du lien radio. Chaque BTS émet continuellement des informations sur le canal BCH (Broadcast Channel) appelé aussi voie balise. Ce signal représente le lien permanent reliant le nœud mobile et une station BTS du réseau mobile. Le nœud mobile scanne périodiquement les voies balises pour reconnaître les stations (réseaux mobiles) dans son entourage et qui sont susceptibles de l'accueillir en cas de Handover. La voie balise d'une station contient les deux éléments suivants : (1) une fréquence-balise qui permet au mobile de mesurer la puissance du signal. (2) canaux de diffusion (broadcast) qui permet au nœud mobile de récupérer les paramètres nécessaires à travers le TCH. Le canal BCCH (Broadcast

Control Channel) permet de diffuser des données caractéristiques des cellules voisines (numéro de zone de localisation, règles d'accès à la cellule, etc.).

Les valeurs des paramètres de notre nouvelle structure `VHMC_LINK_DATA` décrite dans la section 4.4.3 sont déterminées à partir des mesures faites dans les réseaux mobiles sur les canaux des signalisations comme le montre la référence [73]. Généralement, les implémentations sont spécifiques aux constructeurs des équipements et opérateurs.

4.4.4.2. Pour les réseaux de données IP

- À partir du MIIS, le service d'information contient les informations nécessaires pour la couche VHMC. Le MIIS, laissé sans implémentation par le standard IEEE 802.21, a déjà été implémenté par d'autres études de recherche. En effet, J. Martinez Arraez et al.[73][74], implémentent le module MIIS dans NS2 pour l'installer sur chaque AP de chaque réseau. Cezar, A. [75], étudie la performance de deux méthodes pour récupérer des informations du MIIS: Resource Description Framework (RDF) et Binaire. Le standard IEEE 802.21 offre, parmi les flux de messages qu'il a définis, un moyen de communiquer avec MIIS pour récupérer les informations tels que (IE_OPERATOR_ID, IE_NETWORK_QoS, IE_PoACHANNEL_RANGE, etc.). Le Tableau B.3 de l'annexe B montre une liste détaillée des différents paramètres que le MIIS peut nous fournir sur tous les réseaux disponibles dans l'entourage du mobile. VHMC qui implémente les primitives MIH_SAP, MIH_LINK_SAP est capable de communiquer avec MIIS pour récupérer la valeur des paramètres d'entrée disponible dans le MIIS.
- Tout réseau de données IP envoie périodiquement un message appelé Annonce du Routeur (Router Advertisement, RA) grâce au protocole IPv6 de la couche 3 annonçant sa présence dans son entourage. Ce message contient un ensemble d'informations d'identification (adresse et préfixe) du réseau en question. La structure de ce message peut être modifiée pour lui ajouter la valeur des différents champs qui constitue la nouvelle structure `VHMC_LINK_DATA`.

La communication entre notre entité VHMC, la nouvelle structure ajoutée et le flux de message défini dans MIH vont permettre à notre architecture de gestion du *Handover* de sélectionner le meilleur réseau destination pour l'utilisateur.

La Figure 13 montre la structure détaillée de la nouvelle architecture que nous proposons pour la gestion du *Handover* en se basant sur une extension de la composante MIH. La couche VHMC contient une vue plus détaillée des trois modèles de sélection du nouveau réseau de destination que nous allons décrire et valider dans les chapitres suivants. Le fait d'intégrer les flux des messages, définis par le standard

MIH, permet à notre nouvelle entité VHMC de communiquer avec toute entité-MIH. Le rôle de l'extension de ce flux des messages par l'ajout de la structure VHMC_LINK_DATA est de permettre à notre centre de décision de recevoir les paramètres d'entrée nécessaires pour choisir le réseau le plus convenable dans un environnement déployant des technologies mobiles et sans fil hétérogènes. L'algorithme MCSA, le modèle de régression linéaire et le modèle de logique floue sont considérés comme des boîtes noires qui prennent en entrée les paramètres nécessaires pour la prise de décision et donnent en sortie un réseau bien déterminé (réseau de destination). Ce réseau est choisi parmi l'ensemble des réseaux disponibles dans l'entourage du nœud mobile. Les caractéristiques d'identification du réseau sélectionné seront transmises à la couche 3 de l'architecture de gestion de Handover qui contient les protocoles de gestion de la mobilité. Cette couche s'occupera d'exécuter la dernière phase du Handover.

4.4.5. Avantages et limitation de l'architecture proposée

4.4.5.1. Avantages

L'entité VHMC de notre architecture de gestion du *Handover* est un modèle ouvert, dans le sens qu'elle accepte de nouveaux modèles pour la sélection d'un réseau de destination durant la période de *Handover*. Ainsi, notre architecture reste assez générique et peut accepter un nouveau modèle de prise de décision. Ce modèle doit définir les paramètres d'entrée dont il a besoin et donner en sortie les caractéristiques d'identification du réseau destination choisi parmi plusieurs réseaux disponibles dans un environnement mobile et sans fil. Si les paramètres définis en entrée de ce modèle sont autres que ceux existants dans la nouvelle structure ajoutée VHMC_LINK_DATA, cette dernière pourra être modifiée pour contenir les nouveaux paramètres de qualité de service nécessaires pour le bon fonctionnement de ce modèle dans le cadre de notre architecture de gestion du *Handover*. Ainsi, cette nouvelle structure nous permet d'ajouter de nouveaux modèles à la couche VHMC, sans aucun besoin de modifier le flux de messages préexistants

4.4.5.2. Limitation

Les tests réalisés sur les deux algorithmes (Fuzzy Logic based et MLRM) (voir Chapitre 6) ont été basés sur des données réelles, récupérées des applications en temps réel, pour des installations GPRS-UMTS. Par contre, l'algorithme MCSA (voir Chapitre 5) a été fait avec un flux de données de type voix pour des installations WiFi-WiMAX. Donc, le choix de l'algorithme utilisé par le VHMC doit dépendre de la nature des réseaux utilisés (GPRS, UMTS, Wi-Fi, WiMAX) dans notre environnement. Nous pouvons créer un paramètre (flag) qui nous indiquera si le *Handover* se fait entre 2G-3G ou Wi-Fi- WiMAX. Dans ce cas, notre contribution possède une limitation, c'est qu'elle n'est pas générique pour toute sorte

d'environnement et d'installation ; comme le cas d'un environnement qui contient tous les types de réseaux à la fois (Wi-Fi, WiMAX, 2G, 3G, voire 4G (LTE)).

4.5. CONCLUSION

Dans ce chapitre nous avons en premier lieu détaillé le fonctionnement de la composante MIH et déterminé son rôle qui se limite juste à annoncer le besoin du *Handover* (première phase d'initiation du *Handover*). Pour la rendre plus robuste et plus intelligente, l'entité MIH a été étendue grâce à notre proposition d'architecture pour la gestion du *Handover* dans un environnement hétérogène. Cette architecture, contient une nouvelle couche (VHMC) dont le rôle est de décider du réseau destination à choisir (deuxième phase du *Handover*). VHMC est un centre de décision, qui prend en entrée les paramètres nécessaires pour la prise de décision et donne en sortie le meilleur réseau destination parmi plusieurs réseaux disponibles dans l'environnement hétérogène du nœud mobile. Notre architecture de gestion du *Handover* est basée sur trois stratégies de sélection du réseau destination que nous proposons dans le cadre de notre thèse (MCSA, logique floue et régression linéaire). Le flux d'évènements proposé par MIH a été respecté afin de permettre l'interopérabilité de notre architecture avec le standard mais il a été aussi étendu pour contenir de nouveaux paramètres et messages dont les algorithmes de la couche VHMC auront besoin comme paramètres d'entrée pour déterminer le réseau destination. Nous pouvons citer par exemple la structure VHMC_LINK_DATA qui comporte plusieurs paramètres relatifs à différentes technologies mobiles et sans fil. Une fois que l'entité VHMC décide du réseau à choisir, elle passe les caractéristiques de son identification aux protocoles de gestion de la mobilité localisés dans la couche 3 de la pile protocolaire (phase d'exécution du *Handover*). Ainsi, notre nouvelle architecture de gestion du *Handover* basée sur une extension de l'entité MIH nous permet de réaliser toutes les étapes nécessaires au bon déroulement du *Handover*.

Dans le chapitre suivant, nous détaillons le fonctionnement du premier algorithme du VHMC : *Mutli Criteria Selction Algorithm*, MCSA.

CHAPITRE 5. MÉTHODE DE SÉLECTION BASÉE SUR PLUSIEURS PARAMÈTRES

5.1. INTRODUCTION

Le standard IEEE 802.21, utilisé pour assurer un *Handover* transparent entre réseaux hétérogènes, est implémenté dans la deuxième version du logiciel Network Simulator (NS2) par le National Institute of Standard and Technology (NIST). Comme il a été mentionné dans les chapitres précédents, ce standard n'implémente pas la phase de sélection du réseau de destination. Pour des raisons de simplicité, NIST introduit un algorithme de sélection basé sur un seul paramètre qui est la puissance du signal (Radio Signal Strength Indicator, RSSI). Il existe d'autres paramètres de qualité de service qui méritent d'être pris en considération par la stratégie de sélection du nouveau réseau. Ces paramètres peuvent appartenir à trois intervenants dans le processus du *Handover* : les préférences de l'utilisateur, le nœud mobile et l'opérateur. Par exemple, parmi les paramètres qui reviennent à l'opérateur nous citons la bande passante, le taux de perte de paquets, l'interférence sur le canal de diffusion, le délai d'acheminement de bout en bout, etc. D'autres paramètres appartiennent aux préférences de l'utilisateur tel que le prix de la communication et finalement, il y a des paramètres qui sont spécifiques au mobile comme l'énergie de la batterie, la vitesse du nœud mobile, etc. L'algorithme de sélection devrait trouver un point d'équilibre pour satisfaire aussi bien les préférences de l'utilisateur que les caractéristiques du réseau de l'opérateur.

Dans la suite de ce chapitre, nous montrons d'abord l'état de l'art des améliorations de l'implémentation du NIST. Ensuite, pour mettre en évidence la limitation de l'algorithme du NIST et montrer le besoin d'une stratégie de sélection basée sur plusieurs paramètres, nous menons trois simulations différentes. Grâce à l'utilisation de l'algorithme du NIST, la première simulation montre l'impact du type de réseau de destination sur la qualité de service. La deuxième simulation montre le processus de variation du nombre de paquets perdus en fonction de la vitesse. Dans la troisième simulation, nous proposons un nouvel algorithme de sélection nommé *Multi Criteria Selection Algorithm* (MCSA) basé sur deux paramètres : la puissance du signal et la bande passante disponible du réseau de destination. Pour montrer l'importance de considérer plusieurs paramètres de qualité de service lors de la sélection du réseau destination, nous comparons, par simulation, les résultats obtenus par MCSA à ceux obtenus par NIST.

5.2. LIMITATION DE LA MÉTHODE DE SÉLECTION BASÉE SUR LA PUISSANCE DU SIGNAL

Chacun des trois intervenants cités plus haut (préférences de l'utilisateur, nœud mobile et opérateur) possède ses paramètres de satisfaction et ses préférences. Donc, les paramètres à intégrer, lors de la sélection d'un nouveau réseau, peuvent être diversifiés et répartis entre les trois catégories. La question qui se pose dans ce cas est : quels paramètres faut-il choisir et intégrer dans cette stratégie dont la finalité est de sélectionner le meilleur réseau de destination? Ces réseaux diffèrent par leur rayon de couverture, leur capacité à supporter la grande vitesse des nœuds mobiles et leurs débits qui sont plus ou moins élevés. Le coût de la communication peut varier également d'un type de réseau à un autre. Par ailleurs, la puissance du signal d'un réseau donné sera affaiblie par des interférences qui résultent de la présence d'autres appareils dans l'environnement, telles que la présence des radars, les interférences entre les canaux de même fréquence, etc. Pour toutes les raisons citées ci-dessus, nous pouvons dire qu'adopter une méthode de sélection basée uniquement sur la puissance du signal ne suffit pas pour assurer un point d'équilibre entre les paramètres qui intéressent l'utilisateur et l'opérateur. D'où, la nécessité de trouver une solution plus générique qui permet de garantir une meilleure qualité de service.

5.3. ÉTAT DE L'ART DES AMÉLIORATIONS DE L'IMPLEMENTATION DU NIST

Le module MIH pour NS proposé par le NIST n'implémente pas complètement le service MIIS du standard IEEE 802.21. Il définit juste la structure de base qu'une éventuelle implémentation doit prendre en compte pour pouvoir profiter du «framework » défini par NIST tel que le modèle de stockage des données dans la base, qui se fait selon deux formes : binaire ou RDF/XML¹ et offre deux méthodes requête/réponse TLV ou SPARQL².

Arraez³ et al.[76] implémentent le module MIIS dans NIST pour l'installer sur chaque point d'accès (PA) de chaque réseau. Le MIIS local de chaque PA est relié à une base de données centrale avec laquelle il communique périodiquement pour une éventuelle mise à jour. De cette façon le MN, qui est en communication avec un PA donné, reçoit une liste récente de son entourage à partir du MIIS local du nœud courant. Ce qui permet au MN de sauver l'énergie de sa batterie car il a alors besoin d'activer une seule interface avec laquelle il est actuellement connecté. Cezar [77], pour étudier la performance de chaque méthode de stockage dans la base (binaire ou RDF), développe un environnement de simulation du module MIIS dans NIST selon

¹ <http://www.w3.org/RDF/>

² <http://www.w3.org/TR/rdf-sparql-query/>

³ Projet financé par L'Agence Nationale de la Recherche, ANR.

les deux méthodes et constate que les requêtes TLV sont plus rapides que XML si la base de données est formée de petite structure de données (IEs de base). Par contre, si la structure de données qui constitue notre base est volumineuse (ajout des informations spécifique de chaque vendeur) dans ce cas la méthode RDF/XML est plus rapide. Andrei et al. [78][79] proposent une méthode de communication avec le MIIS par les couches supérieures à travers des services web et non pas au niveau de la couche 2. En effet, un MN consulte la base de données centrale à travers un site web qui lui retourne, en lui donnant ses coordonnées et son chemin, la liste des réseaux qui se trouve sur son chemin. Aussi il offre au MN la possibilité de charger une application qui lui permet de configurer son mobile pour utiliser ces réseaux. La communication entre différents MIIS locaux et le MIIS central se fait par l'intermédiaire des services web également. Cette méthode de Handover est assistée par l'utilisateur ou le mobile, cependant, il existe d'autres méthodes de Handover assistées par le réseau. Cicconetti [80] propose une méthode de Handover assisté par le MIIS. A l'aide d'un graphe de probabilité de Handover, il décrit un algorithme basé sur 3 paramètres : le graphe de connectivité, la table d'utilisation et la position géographique du PA courant qui sert le mobile actuellement. L'algorithme de sélection cherche les PAs dont la valeur dans la table d'utilisation est supérieure à un certain seuil. Cette liste triée est envoyé pour le MIHF du mobile qui les essaye jusqu'à trouver le meilleur choix parmi la liste. Le MN informe le nouveau PA et l'ancien PA de son choix et le Handover se fait entre les deux réseaux et le MIIS. Le résultat de l'expérience montre que cet algorithme minimise la signalisation au niveau du mobile ce qui diminue le temps du Handover. Le MIH est utilisé pour gérer le Handover entre réseaux hétérogènes mais aussi homogènes. Khan et al. [81] profitent du MIIS pour améliorer le Handover entre deux réseaux 802.11. En effet, le protocole 802.11 définit 11 canaux de communication et oblige le MN, lors du Handover, à balayer tous les canaux à la recherche du meilleur AP. Le MN qui sort en dehors de la zone de couverture de AP1, envoi un événement (Link_Going_Down) pour le MIHF du mobile, qui à son tours, envoi une requête au MIIS avec un nouveau paramètre défini (NET_CHANNEL_CONFIG). Dans ce cas, le MIIS répond par une liste des réseaux disponible en donnant des informations sur leurs canaux. Ainsi le mobile scanne parmi une liste limitée au lieu de scanner sur les 11 canaux, ce qui se traduit par une diminution du temps de Handover.

5.4. BESOIN DE PRISE EN COMPTE DE NOUVEAUX PARAMÈTRES

La stratégie de sélection basée seulement sur la puissance du signal reste limitée. En effet, considérons le scénario de la Figure 19. Un point d'accès Wi-Fi de faible rayon de couverture se situe dans une région couverte par une station de base (BS) WiMAX. Le mobile, au départ, est connecté à la station BS et se déplace à grande vitesse.

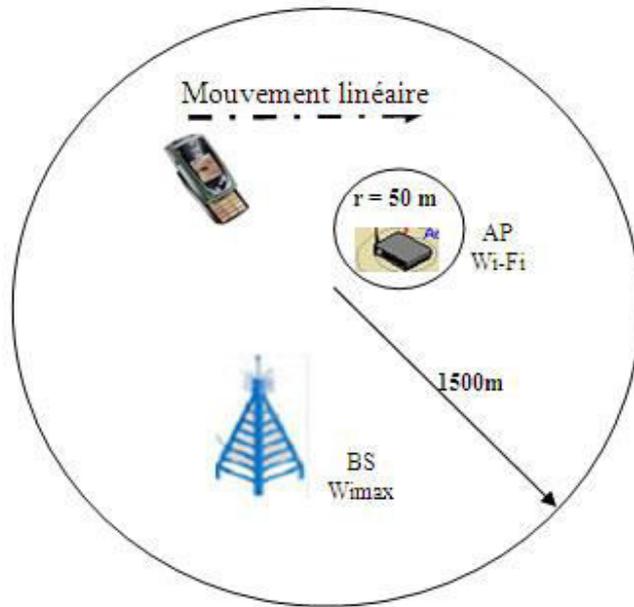


Figure 19 : Importance de la vitesse versus le rayon de couverture du réseau

Quand le mobile, connecté à WiMAX, passe dans la zone de couverture du point d'accès Wi-Fi, il change immédiatement son point de connexion du WiMAX vers le Wi-Fi. Mais, vu sa grande vitesse, il va atteindre aussitôt la limite de la zone de couverture du Wi-Fi qui a un faible rayon de couverture. Par conséquent, faire un *Handover* vers un réseau pour y rester très peu de temps est inutile. D'où, la nécessité d'ajouter à l'algorithme de sélection d'autres paramètres tels que le rayon de couverture du réseau de destination et la vitesse du mobile, sans toutefois négliger la puissance du signal.

5.5. ENVIRONNEMENT ET PARAMÈTRES DE SIMULATION

Pour mieux analyser les trois scénarios de *Handover* que nous allons étudier dans ce chapitre, nous avons choisi Network Simulator version 2.29 comme environnement de simulation, qui opère sur une plateforme Unix. Les paramètres de simulation utilisés dans NS2.29 sont donnés par le Tableau 8.

Le type du trafic utilisé dans nos scénarios de simulation est CBR (Constant Bit Rate), la taille des paquets utilisée reste constante tout au long de la simulation et équivaut à 1500 octets ; alors que le débit varie en fonction de la variance de l'intervalle du temps qui sépare deux paquets consécutifs. NS2 nous permet de créer une topologie de réseau qui simule bien l'état réel en déterminant le rayon de la zone de couverture, le type de l'antenne, la fréquence désirée et le modèle de la propagation radio. Chaque simulation sera répétée 30 fois, en variant la valeur du paramètre *\$defaultRNG seed*, et le résultat final sera la moyenne de l'ensemble des simulations.

Tableau 8 : Paramètres de simulation

Wi-Fi Access Point AP1 and AP2 Parameters	
Transmission Power (Pt_)	0.027 W
Receiving Threshold (RXThresh)	1.17557e-10 W
Carrier Sending Threshold (CXTresh)	1.058.13 e-10 W
Coverage Radius	150 meters
Radio Propagation Model	Two-RayGround
Frequency (Freq)	2.4 GHz
Sensitivity to link degradation (lgd_factor_)	1.2
WiMAX Parameters	
Transmission Power (Pt_)	30 W
Receiving Threshold (RXThresh)	3e-11 W
Carrier Sending Threshold (CXTresh)	2.4 e-11 W
Coverage Radius	1500 meters
Radio Propagation Model	Two-RayGround
Frequency (Freq)	3.5 GHz
Sensitivity to link degradation (lgd_factor_)	1.2
Antenna Type	Omni Antenna
Modulation	OFDM

5.6. PREMIÈRE SIMULATION : IMPACT DU TYPE DU RÉSEAU SUR LA QUALITÉ DE SERVICE

5.6.1. Scénario de simulation

Le but de cette simulation est de montrer l'intérêt de prendre en compte le type du réseau de destination (Wi-Fi, WiMAX, GPRS, UMTS, etc.) pour analyser toute stratégie de sélection d'un nouveau réseau. Notre environnement hétérogène sera constitué d'un point d'accès Wi-Fi (AP1) et d'une station de base (BS) WiMAX (cf. Figure 20). À travers ce scénario, nous comparons le temps de latence du Handover (défini dans Section 1.4) d'un réseau Wi-Fi vers un réseau WiMAX versus le temps de latence du *Handover* du nœud mobile quand le même mobile fait le trajet inverse (WiMAX → Wi-Fi).

Selon le premier scénario (*Handover* de Wi-Fi → WiMAX), le nœud mobile, connecté au point d'accès Wi-Fi (AP1), se dirige vers le centre de la zone de couverture de la station de base WiMAX (BS) et arrive à la limite de la zone de couverture de ce point d'accès. Ce processus provoque l'émergence, par MIH, d'un événement "Link Going Down" annonçant le besoin de changer le réseau. Puisque le seul réseau disponible est le WiMAX, le nœud mobile va se connecter à ce dernier.

Dans le deuxième scénario, nous reprenons la même expérience mais, dans ce cas, le mobile fait le trajet dans le sens inverse (du WiMAX vers Wi-Fi).

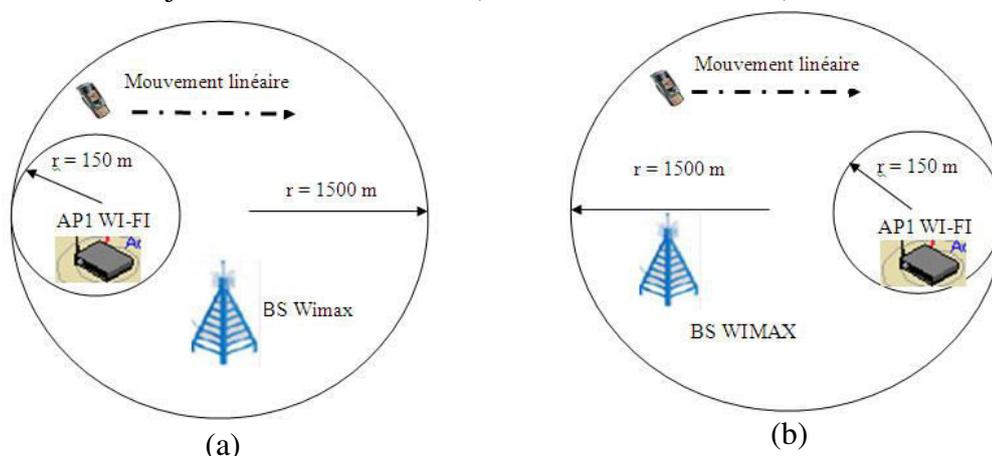


Figure 20 : (a) Handover Wi-Fi - WiMAX, (b) Handover WiMAX- Wi-Fi

5.6.2. Analyse des résultats

La Figure 21 montre comment, dans les deux scénarios de simulation lors du *Handover* (Wi-Fi \rightarrow WiMAX et WiMAX \rightarrow Wi-Fi), le temps de latence du *Handover* (défini dans Section 1.4) du nœud mobile varie en fonction du type du réseau pour un débit donné.

En effet, quand le débit du trafic augmente, le temps qui sépare deux paquets consécutifs devient plus court ce qui explique la nature décroissante de la courbe en fonction du débit. D'autre part, pour le même débit, le temps de latence du *Handover* lors du *transfert* du réseau WiMAX vers le réseau Wi-Fi est plus petit que le temps de latence du *Handover* pour un transfert du Wi-Fi vers le WiMAX. Nous pouvons, de plus, remarquer qu'en variant le débit entre 120 Kbit/s et 170 Kbit/s, le temps de latence du *Handover* pour le premier scénario (Wi-Fi \rightarrow WiMAX) varie entre 275 ms et 200 ms. Par conséquent, le temps de latence du *Handover* reste supérieur à 150 ms qui représente le temps limite acceptable pour le délai d'acheminement de bout en bout pour une application temps réel.

Dans le cas du deuxième scénario (WiMAX \rightarrow Wi-Fi), le temps de latence du *Handover* (défini dans section 1.4) varie entre 50 ms et 100 ms pour les mêmes variations de débit.

La conclusion déduite de cette expérience est que, suivant le type du réseau destination choisi, nous pouvons avoir un temps de latence du *Handover* différent et, par conséquent, un taux de perte de paquets différent. Durant ce temps, tous les paquets envoyés seront perdus. Par conséquent, plus grand est ce temps, plus le taux de perte des paquets est élevé.



Figure 21 : Courbe du temps de latence du Handover

5.7. DEUXIÈME SIMULATION: IMPACT DE LA VITESSE DU MOBILE

5.7.1. Scénario de simulation

Soit le scénario représenté par la Figure 22. Au début de l'expérience, le nœud mobile est connecté à la station de base (BS) WiMAX. Il avance vers le centre de la zone couverte par la BS et durant son trajet, il rencontre le premier point d'accès Wi-Fi (AP1) puis le deuxième point d'accès Wi-Fi (AP2). Selon l'algorithme du NIST, il s'agit de sélectionner le réseau qui a la plus forte puissance du signal. Le nœud mobile va donc se connecter d'abord à AP1 ; ensuite, il quitte AP1 pour se connecter à AP2. Une fois que le nœud mobile arrive à la limite de la zone de couverture de l'AP2, il revient sur WiMAX. Nous reprenons cette expérience en choisissant trois vitesses différentes pour étudier comment sera affectée la qualité de service pour chacun des réseaux, en fonction de la vitesse.

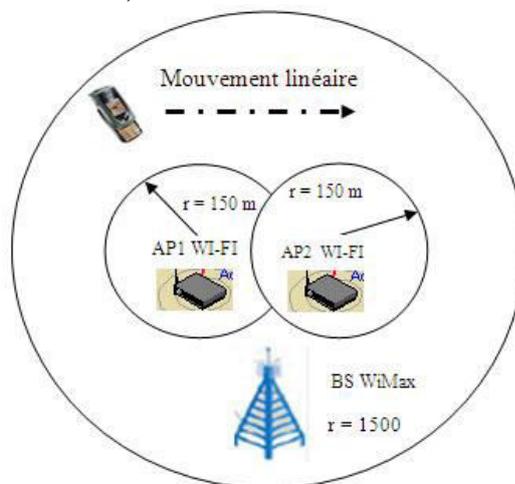


Figure 22 : Effet de la vitesse sur la qualité de service

5.7.2. Analyse des résultats

Durant cette simulation, le nœud mobile va faire le même trajet mais avec 3 vitesses différentes : 1 m/s, 5 m/s et 10 m/s. Pour les trois vitesses expérimentées avec le nœud mobile, le taux de perte des paquets sur le réseau WiMAX est nul. En effet, la technologie 802.16e *WiMAX mobile* permet la gestion de la mobilité des utilisateurs à grande vitesse [82]. Quand le nœud mobile avance vers le centre de la BS, il détecte la présence de l'AP1. Selon l'algorithme implémenté par NIST, le nœud mobile se connecte à AP1 et un certain nombre de paquets seront perdus durant le transfert (pendant le *Handover*) WiMAX → Wi-Fi (AP1). Une fois le nœud mobile connecté sur AP1, on remarque un nombre additionnel des paquets perdus (sur Wi-Fi) qui augmente en fonction de la vitesse (cf. Figure 23). Cela est expliqué par le fait que le Wi-Fi, différemment du WiMAX, est incapable de gérer les utilisateurs à grande vitesse [83]. Par exemple, pour une vitesse de 20 m/s, nous pouvons voir clairement l'effet Doppler dans la communication [84] sur un réseau Wi-Fi.

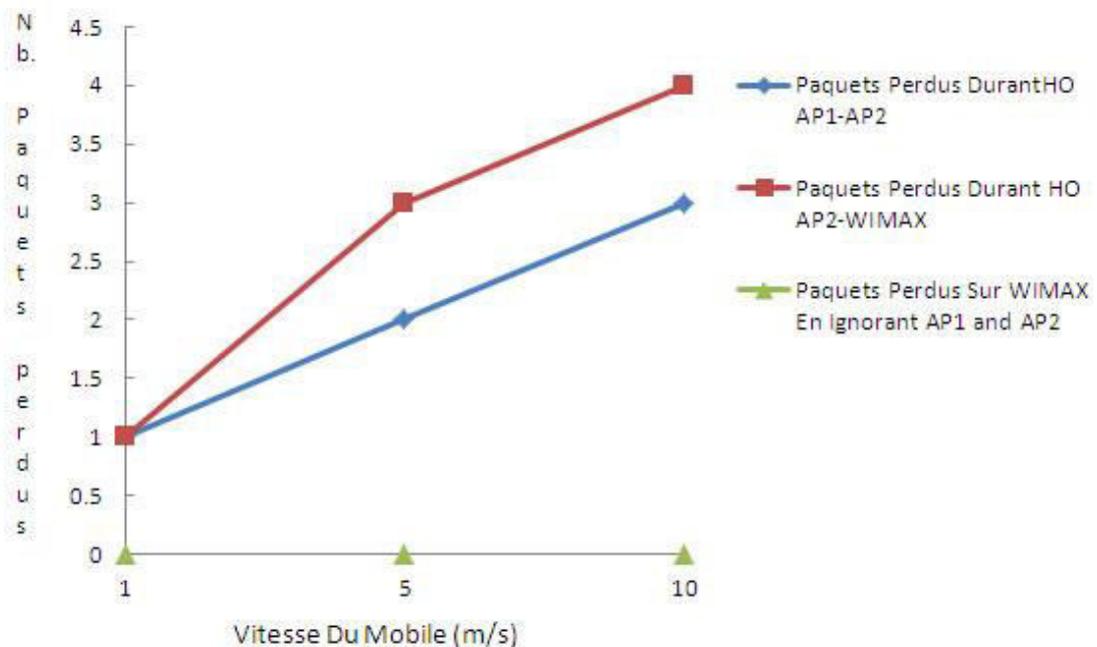


Figure 23 : Nombre de paquets perdus en fonction de la vitesse du mobile

De la même façon, le nœud mobile qui continue son chemin, rencontre AP2 et fait un *Handover* de l'AP1 vers l'AP2. Dans ce cas, nous assistons également à une autre perte de paquets. Ce nombre de paquets perdus augmente aussi avec la vitesse du nœud mobile. De même, quand le nœud mobile arrive à la limite de la zone de couverture de l'AP2, il rejoint de nouveau le réseau WiMAX et nous notons un certain nombre de paquets perdus durant le *Handover* de AP2 → WiMAX. Par contre, si le mobile continue sur WiMAX sans faire aucun des *Handover* suggérés par l'algorithme du NIST, le nombre de paquets perdus est nul (cf. Figure 23).

En conséquence, nous pouvons conclure que tout utilisateur se déplaçant à grande vitesse, et cherchant à minimiser le taux de paquets perdus pour améliorer sa qualité de service, devra utiliser un autre algorithme que celui proposé par NIST qui reste insuffisant pour satisfaire des utilisateurs se déplaçant à grande vitesse.

5.8. TROISIÈME SIMULATION : NOUVEL ALGORITHME (MCSA)

Dans cette simulation, nous avons modifié l'algorithme proposé par le NIST pour lui intégrer, en plus du RSSI, un autre paramètre de qualité de service, afin d'améliorer la prise de décision pour la sélection du réseau de destination. Le nouvel algorithme est nommé *Multi Criteria Selection Algorithm* (MCSA) et sera fondé sur deux paramètres : RSSI et la bande passante disponible du réseau de destination (Available Bandwidth, ABW). NS2 sera utilisé pour implémenter notre algorithme et créer un scénario de réseau hétérogène (Wi-Fi et WiMAX). Pour montrer la performance de notre algorithme (basé sur ces deux paramètres) par rapport à celui proposé par le NIST (basé sur un seul paramètre), nous comparons le taux de perte des paquets selon chacun des deux algorithmes lors de la sélection du réseau destination. Celui qui aboutit à moins de paquets perdus sera le plus performant.

5.8.1. Scénario de simulation

La topologie du scénario utilisé est donnée par la Figure 24. Il s'agit de deux points d'accès AP1 et AP2 (IEEE 802.11b) qui se trouvent dans une zone couverte par une station de base (BS) de type WiMAX (IEEE 802.16). Il est important de noter que d'autres sources de trafic sont connectées au point d'accès AP2 consommant ainsi la bande passante disponible. Au début de la simulation, le nœud mobile est connecté à AP1 et avance, en trajet rectiligne, vers le centre de la zone couverte par la BS, en passant par AP2.

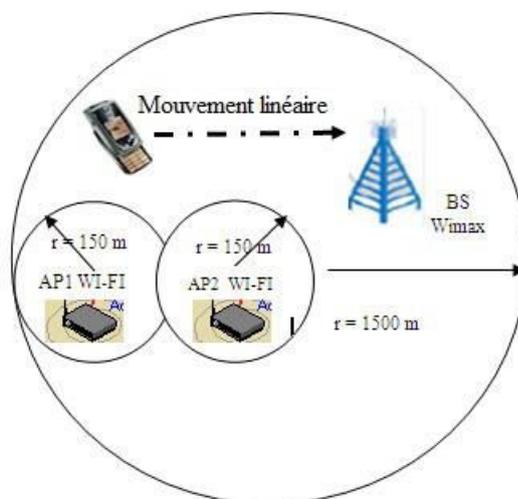


Figure 24 : Topologie du troisième scénario

5.8.2. Stratégie de l'algorithme du NIST

Au début de la simulation, le nœud mobile est connecté à AP1. Aussitôt qu'il sort de la zone couverte par AP1, le mobile détecte la présence du deuxième point d'accès AP2. L'algorithme proposé par NIST choisit le réseau dont la puissance du signal est la plus forte. Par conséquent, le nœud mobile va sélectionner AP2 comme réseau de destination. Dans ce cas, nous obtenons un cas de *Handover* du nœud mobile de l'AP1 vers l'AP2. Une fois qu'il arrive à la limite de la zone couverte par AP2, le nœud mobile fait un autre *Handover* de l'AP2 vers la BS (WiMAX), afin de garder une qualité de service acceptable.

5.8.3. Nouvelle stratégie de sélection : l'algorithme MCSA

Multi Criteria Selection Algorithm (MCSA) est un algorithme basé sur deux paramètres : la puissance du signal et la bande passante disponible du réseau destination. Le nœud mobile qui va changer de réseau commence par balayer son entourage afin d'identifier l'ensemble des réseaux disponibles. La première sélection sera faite sur la puissance du signal. Le nœud ne garde alors que les réseaux qui ont un RSSI supérieur à un seuil prédéterminé (SP) par MCSA (SP = 80% de la puissance maximale du signal). L'ensemble de ces réseaux va être mis dans une liste L1. En deuxième étape, notre algorithme va chercher, pour chaque réseau dans la liste L1, la valeur de la bande passante disponible (ABW) et l'inscrire dans une nouvelle liste L2 selon un ordre décroissant d'ABW. D'après cet algorithme, le meilleur réseau sera celui qui se trouve en tête de la liste. Autrement dit, selon MCSA, si nous avons le choix entre plusieurs réseaux dont le RSSI > SP, le mobile sélectionne celui qui a la bande passante disponible la plus grande. À chaque fois que nous avons besoin de sélectionner un nouveau réseau, la liste sera remise à jour. L'organigramme de cet algorithme est donné par la Figure 25.

5.8.4. Analyse des résultats

Pour pouvoir comparer la performance de l'algorithme MCSA à celle de l'algorithme proposé par le NIST, nous utilisons, pour les deux algorithmes, le même scénario représenté par la Figure 24. La Figure 26 montre le nombre total de paquets perdus en fonction du type du réseau pour un débit donné, selon chaque algorithme. Quand il arrive à la limite de la zone de couverture de l'AP1, le nœud mobile cherche, pour garder une qualité de service acceptable, à se connecter à un autre réseau disponible dans son environnement. Dans notre cas de scénario, le nœud mobile a deux choix : soit se connecter à AP2 et ensuite à WiMAX, soit se connecter directement à WiMAX.

L'algorithme implémenté par le NIST dans NS2.29, sélectionne, parmi l'ensemble des réseaux disponibles autour du mobile, un réseau de destination en se

basant sur la puissance du signal la plus forte. Par conséquent, AP2 sera sélectionné bien que sa bande passante disponible soit très faible (à cause de sa consommation par d'autres trafics). Nous obtenons donc une perte d'un nombre de paquets durant cette opération (*Handover* AP1-AP2). Une fois connecté à l'AP2, le nœud mobile rejoint la limite de couverture, détecte la présence du réseau WiMAX et fait un *Handover* de l'AP2 vers le WiMAX. Une quantité additionnelle de paquets perdus sera observée durant le deuxième *Handover* AP2- WiMAX (cf. Figure 26).

Selon notre algorithme MCSA, le réseau sélectionné sera le WiMAX car la bande passante disponible de l'AP2 (non consommée par d'autres trafics) sera plus faible que celle du WiMAX et la puissance du signal du WiMAX demeure supérieure au seuil prédéterminé (SP). Par conséquent, le nœud mobile se connecte directement à WiMAX et ignore la présence de l'AP2. Cette méthode de sélection va nous permettre de minimiser le nombre de *Handover* (cf. Tableau 9) et cela se traduit par un nombre de paquets perdus plus faible.

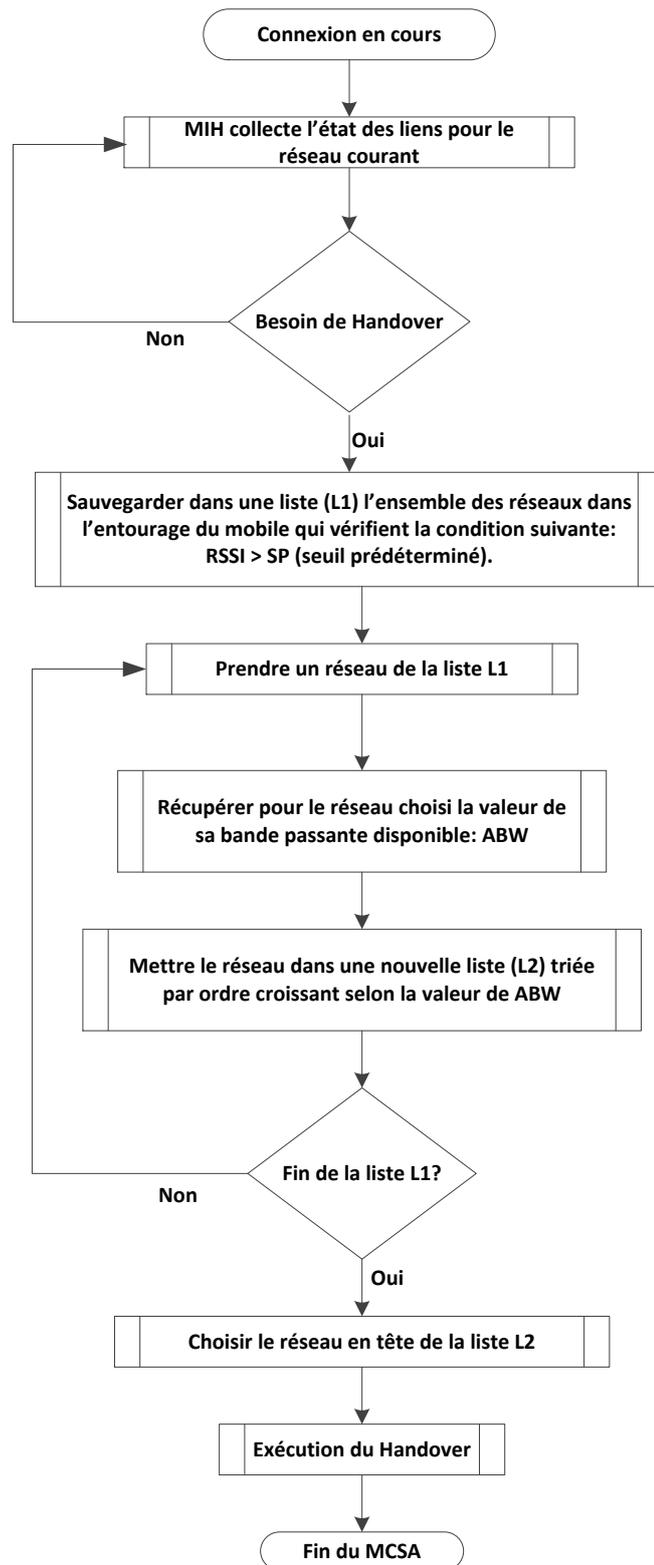


Figure 25 : Organigramme de l'algorithme MSCA

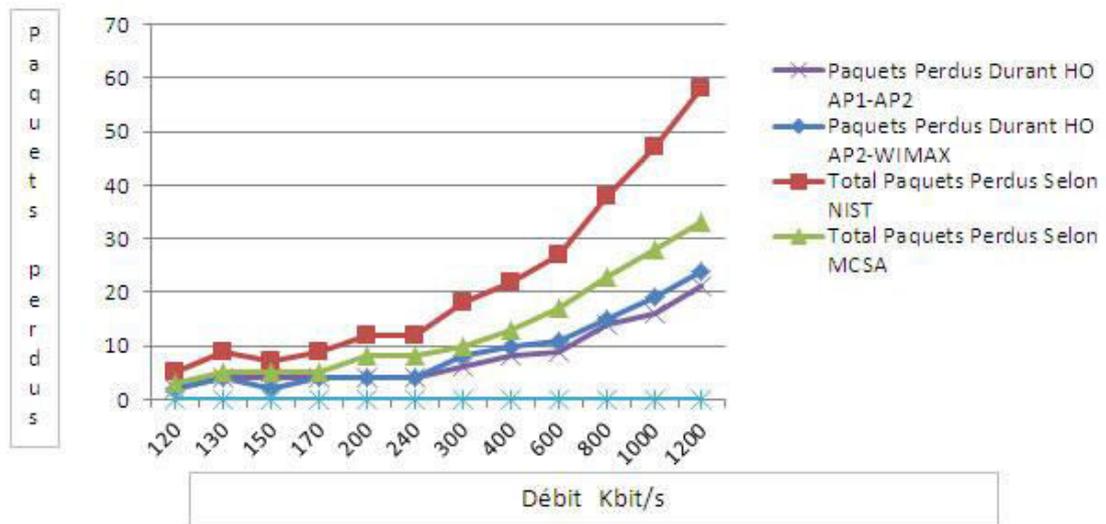


Figure 26 : Nombre de paquets perdus par NIST et MCSA

Il est clair qu'en appliquant notre nouvel algorithme MCSA, nous obtenons une diminution du nombre de paquets perdus. Nous pouvons en conclure que : sélectionner le réseau de destination en se basant uniquement sur le seul paramètre RSSI ne répond pas au besoin de tous les utilisateurs. Le scénario proposé montre que l'algorithme MCSA, fondé sur les deux paramètres RSSI et bande passante disponible du réseau destination se caractérise par une meilleure performance et assure une meilleure qualité de service.

Tableau 9 : Comparaison en nombre de Handover (HO) et de Paquets Perdus

Selon l'algorithme implémenté par NIST		Selon notre algorithme MCSA	
Nombre de HO	Total des paquets perdus	Nombre de HO	Total des paquets perdus
2 (AP1 to AP2 and AP2 to WiMAX)	20 AP1 to AP2:9 AP2 to WiMAX:11	1 (AP1 to WiMAX)	10 AP1 to WiMAX:10

Le changement de réseau (*Handover*) est un processus complexe qui met en jeu un nombre considérable de messages. La Figure 27 montre le flux des messages échangés entre les différents participants (les différents réseaux, le nœud mobile et le nœud correspondant).

Dans le premier bloc, le rôle des 4 premiers messages (MIH_Capability_Discovery_Request, MIH_Register_Request, MIH_Get_Status et MIH_Event_Subscribe_Request) est de préparer la communication entre le nœud mobile, le nœud correspondant, AP1, AP2 et la BS (phase d'enregistrement mutuel afin d'être capable d'échanger des messages). Dans le deuxième bloc (messages 5 à

8), le nœud mobile détecte la présence de la station WiMAX. Celle-ci décide de lui réserver la bande passante, en lui envoyant les messages DL-MAP/UL-MAP. Le nœud mobile se connecte à WiMAX et continue son chemin jusqu'à ce qu'il détecte la présence de l'AP1. Il fait alors un *Handover* WiMAX→Wi-Fi. Dans le troisième bloc (messages 9 à 13), le nœud mobile s'approche de la limite de couverture de l'AP1. Dans le quatrième bloc (messages 14 à 18), le nœud mobile détecte la présence de l'AP2. Il se déconnecte de l'AP1 et, à partir de là, la stratégie diffère selon l'algorithme utilisé : celui du NIST ou notre proposition MCSA. En utilisant l'algorithme du NIST, le nœud mobile se connecte à AP2 et par la suite revient sur WiMAX (messages 19 à 28). Cependant, en se basant sur notre nouvel algorithme MCSA, le nœud mobile ne se connecte pas à AP2, il se connecte directement à WiMAX (message 28) car la puissance de son signal est supérieure à SP et sa bande passante disponible est plus grande que celle proposée par le point d'accès AP2, économisant ainsi toute surcharge dans la communication due aux messages 19 à 21 (cf. Figure 27).

Par conséquent, grâce à l'utilisation de notre algorithme MCSA, le nombre de *Handover* est plus petit et le temps de latence du *Handover* pris par le nœud mobile pour changer de réseau est plus court. Cela se traduit par une diminution du nombre de paquets perdus qui aboutit à une amélioration de la qualité de service.

Il est utile de noter que, le principe d'ajout de notre entité VHMC dans MIH est de conserver le flux des messages défini par MIH (voir Chapitre 4). L'algorithme MCSA fait partie de notre entité VHMC. Par conséquent, l'utilisation de notre architecture de gestion de *Handover* donnera les mêmes améliorations de la qualité du service.

5.9. CONCLUSION

Le but de ce chapitre est de montrer que toute stratégie de sélection, qui utilise la composante MIH, devrait prendre en compte plusieurs paramètres de qualité de service. Pour se faire, nous avons simulé, dans un environnement déployant les technologies Wi-Fi et WiMAX trois scénarios différents en utilisant Network Simulator (NS2). La première simulation met en évidence l'impact du type du réseau destination sur la qualité du service. En effet, pour une application de type voix, le temps de latence du *Handover* (défini dans Section 1.4) vers un réseau WiMAX reste supérieur à 150 ms (varie entre 275 ms et 200 ms) alors que le temps de latence du *Handover* vers un réseau Wi-Fi est inférieur à 150 ms (varie entre 50 ms et 100 ms). La deuxième simulation met en évidence l'impact de la vitesse du nœud mobile pour conclure qu'un nœud mobile dont la vitesse dépasse 20 m/s ne devrait pas choisir un réseau de type Wi-Fi sinon, la qualité du service se détériore. Finalement, nous avons proposé un nouvel algorithme (MCSA) basé sur deux paramètres de qualité de service : la bande passante disponible du réseau destination (ABW) et la puissance du signal (RSSI). Notre algorithme a été implémenté dans NS2 et les résultats de la simulation sont comparés avec l'algorithme proposé par le NIST qui est basé sur le seul paramètre RSSI. Nous avons prouvé par simulation que la qualité du service sera améliorée de 50% en termes de nombre des paquets perdus et en nombre de *Handover*.

Par conséquent, une bonne stratégie de sélection devrait considérer, en plus du paramètre RSSI, d'autres indicateurs clés de la performance (Key Performance Indicator, KPIs). Ces indicateurs seront déterminés dans le Chapitre 6 dans lequel nous utilisons une méthode d'analyse statistique pour déterminer, parmi un grand ensemble de paramètres de qualité de service, ceux qui sont les plus décisifs pour le choix du réseau destination.

CHAPITRE 6. SÉLECTION BASÉE SUR LA LOGIQUE FLOUE ET LA RÉGRESSION LINEAIRE

6.1. INTRODUCTION

Le Chapitre 2 explique le modèle de référence du standard IEEE 802.21, *Media Independent Handover* (MIH). Il décrit les différentes phases théoriques du processus de *Handover* : Initiation, Sélection et Exécution. Malgré la bonne architecture du modèle de référence MIH proposé, il reste cependant incomplet et limité. En effet, MIH est seulement capable de détecter l'état des liens couvrant ainsi la première phase d'initiation du *Handover*. La phase de sélection du réseau reste à déterminer. Dans la suite de ce chapitre, nous allons présenter deux modèles qui assurent la sélection du réseau de destination et montrer comment MIH est modifié afin d'intégrer les modèles proposés dans le cadre de notre nouvelle architecture de gestion du *Handover* caractérisée par l'ajout de la nouvelle entité VHMC et décrite dans le Chapitre 4. Il est important de noter que les modèles proposés sont construits à la lumière des statistiques faites sur un grand ensemble de données réelles recueillies par la compagnie de télécommunication mobile au Liban : "*Alfa*". Une fois le réseau destination déterminé parmi l'ensemble des réseaux disponibles dans l'environnement du nœud mobile, la phase de l'exécution du Handover sera prise en charge par les protocoles de communication de la couche réseau tels que : MIPv4, MIPv6, FMIPv6 et HMIPv6.

La suite de ce chapitre comprend 4 sections. La Section 6.2 parle des données réelles recueillies de la compagnie "*Alfa*". Dans la Section 6.3, nous montrons comment construire notre modèle de sélection à base de logique floue et son mécanisme de fonctionnement ainsi que son intégration dans MIH. La Section 6.4 détaille la construction de notre modèle de sélection du réseau destination à base de régression linéaire et son intégration dans MIH. Finalement, la Section 6.5 donne la conclusion du chapitre.

6.2. DONNÉES RÉELLES DE HANDOVER ET ÉTALONNAGE

Les deux modèles proposés dans la suite de ce chapitre seront basés sur des données réelles fournies par la compagnie "*Alfa*". C'est à partir de ces données que la base d'inférence, élément principal aidant à la prise de décision, est construite et que le premier modèle (logique floue) sera déduit. D'autant plus, les études statistiques

faites sur les données recueillies vont aider à la construction du deuxième modèle basé sur la théorie de la régression linéaire multiple ou calibrage.

"Alfa" utilise la méthode de "drive test" pour récupérer les données. Il s'agit de brancher un téléphone mobile sur un ordinateur et de sillonner les rues, circulant entre les installations téléphoniques constituées de réseaux GPRS et UMTS. Les données obtenues représentent les valeurs de certains paramètres de qualité de service avant, durant et après la période du *Handover*. Les paramètres choisis sont : Received Signal Code Power (RSCP) mesuré par l'UMTS, la puissance du signal avec GPRS (RXLEVEL), Ratio of the Received Energy per Chip mesuré sur l'UMTS (E_c/I_o), le Signal Quality Received avec GPRS (RXQUAL) et la bande passante disponible du réseau (ABW). Le "drive test" a permis de recueillir un ensemble de 9600 enregistrements contenant des centaines de cas de changement de réseau (*Handover*) dont 100 cas de *Handover* hétérogènes (*Vertical Handover*), plus précisément, des changements entre des réseaux GPRS et UMTS. La suite de ce chapitre démontre comment une analyse approfondie des valeurs des paramètres récupérées aboutit à construire et à calibrer les deux modèles à savoir la logique floue et la régression linéaire multiple pour la sélection du réseau destination lors d'un *Handover*.

6.3. SÉLECTION BASÉE SUR UN MODÈLE DE LOGIQUE FLOUE

Dans cette partie, nous allons construire un modèle de logique floue qui sera intégré au standard IEEE 802.21 (MIH). Le rôle de notre modèle est de sélectionner, à partir des paramètres d'entrée des réseaux présents autour du mobile, le réseau de destination le plus approprié pour l'utilisateur.

6.3.1. Travaux portant sur l'utilisation de la logique floue lors du Handover

La logique floue a déjà été utilisée, dans la littérature, pour définir un modèle de sélection d'un réseau durant la période du *Handover*. Kwong et al. [85] ont montré que le *Handover*, basé sur le seul paramètre de puissance du signal, peut générer l'effet Ping-Pong. P. Dhand. [86] a proposé un contrôleur, basé sur le modèle de la logique floue (Fuzzy Controller for Handoff Optimization, FCHO), afin de minimiser le nombre de *Handover*. En effet, pour éliminer l'effet Ping-Pong, Pragati et al. [87] proposent un algorithme qui intègre, à la fois, la méthode de la logique floue et plusieurs paramètres de qualité de service.

Plusieurs travaux de recherche proposent des algorithmes basés sur le modèle de la logique floue prenant, en entrée, différentes sortes de paramètres pour déterminer le meilleur réseau destination. Ling et al. [88] utilisent la puissance du signal (Radio Signal Strength Indicator, RSSI) et la distance entre le nœud mobile et la station de base comme paramètre d'entrée. Yan et al. [89] proposent un algorithme qui prend pour entrées la vitesse du mobile et la bande passante disponible du réseau destination. Vasu et al. [90] utilisent des paramètres de qualité de service avec une unité de décision basée sur des règles de logique floue (fuzzy logic controller, FLCs).

Sadiq et al. [91] génèrent une décision de *Handover* basée sur la logique floue en prenant, comme paramètre, la puissance du signal et la direction relative du nœud mobile par rapport au point d'accès (Access Point, AP). Ils montrent que le temps de latence du *Handover* au niveau de la couche L2 a été diminué grâce à l'utilisation de leur algorithme. L'auteur dans [92] utilise plusieurs paramètres comme la bande passante, l'interférence (Signal to Noise Ratio, SNR), le volume du trafic et l'énergie de la batterie pour élaborer un schéma de logique floue, pour le *Handover*, établi entre réseau LTE et WLAN. Les recherches entamées dans [93] proposent un système de décision du *Handover* (*Handover Decision System*, HDS). Ces travaux ont élaboré une structure modulaire basée sur un grand nombre de règles d'inférence pour choisir le réseau de destination. Dans [94], l'auteur utilise les paramètres du réseau avec les préférences de l'utilisateur comme paramètres d'entrées pour un système de décision de logique floue. Le système proposé dans [94] introduit des règles d'inférence pour chaque étape de *Handover*. L'auteur de [95] propose un algorithme d'apprentissage basé sur la théorie de la logique floue afin de trouver les règles d'inférence optimale d'un cas de *Handover* pour un accès radio GSM-EDGE (*GSM Edge Radio Access Network*, GERAN). Pour optimiser les règles d'inférence d'un système de logique floue sans l'intervention des experts du domaine, Foong et al. [96] réalisent une nouvelle approche en utilisant un système appelé (*Adaptive Network Fuzzy Inference System*, ANFIS) qui permet d'optimiser le *Handover* en modélisant les fonctions d'appartenance et les règles d'inférence.

La qualité et la performance d'un modèle de logique floue se mesurent par 3 indicateurs : l'exactitude des règles qui constituent la base d'inférence, l'exactitude des fonctions d'appartenance et les limites de l'univers du discours. Dans tout ce qui a précédé dans la littérature, toutes ces valeurs ont été déduites soit en consultant des experts du domaine, soit en écrivant des logiciels qui aident à les optimiser. Dans notre cas, ces 3 indicateurs sont construits à partir des observations faites sur un grand nombre de données réelles. Par conséquent, le calibrage du modèle proposé à partir des données réelles du *Handover* lui donne une crédibilité et une robustesse capable de couvrir les cas du monde réel. Les travaux de cette thèse se démarquent par le fait qu'ils sont intégrés dans une architecture utilisant MIH, contrairement aux autres travaux utilisant la logique floue.

6.3.2. Définition du modèle à partir des données

Comme il a été décrit précédemment dans le Chapitre 3, un modèle basé sur la logique floue est composé de 3 unités : fuzzification, les règles d'inférence (fuzzy inference rules base engine) et une dernière unité appelée défuzzification (cf. Figure 28). Le rôle de l'unité de fuzzification est de faire correspondre, en utilisant les fonctions d'appartenance convenables, les valeurs numériques de chaque paramètre d'entrée à une valeur donnée d'un sous-ensemble flou.

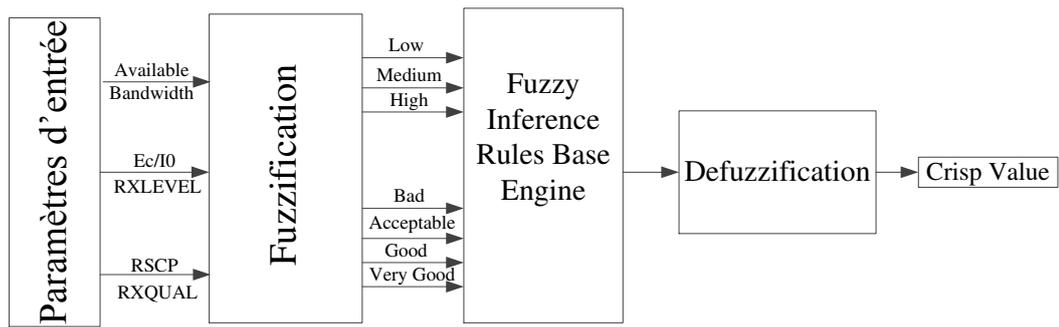


Figure 28 : Unités de notre système de logique floue

Par définition, une fonction d'appartenance détermine le degré d'appartenance de chaque paramètre d'entrée à un sous ensemble flou. Les fonctions d'appartenance des paramètres d'entrée de notre système sont données par les Figures suivantes (cf. Figure 29, Figure 30, et Figure 31) respectivement. Pour toutes les fonctions d'appartenance citées ci-dessous, la forme triangulaire combinée à la forme trapézoïdale est utilisée (voir section 3.2.3). Les plages de valeur de ces fonctions sont déterminées à partir des données réelles de la compagnie "Alfa".

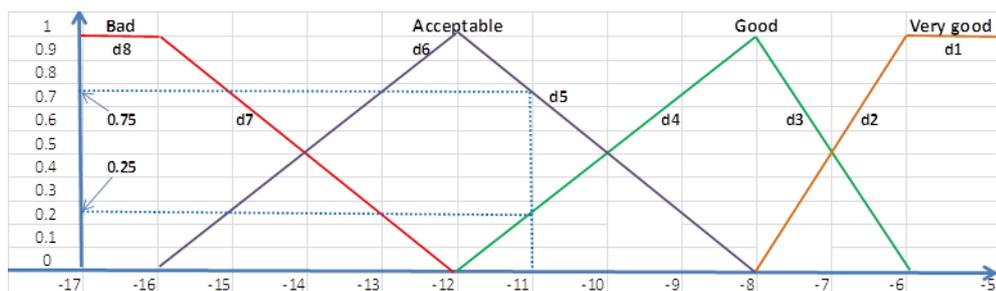


Figure 29 : Fonction d'appartenance pour le paramètre Ec/I0

La Figure 29 montre le degré d'appartenance du paramètre Ec/I0 pour une valeur (prise à titre d'exemple) égale à -11dB. Le paramètre Ec/I0 appartient à deux sous-ensembles flous: "Good" et "Acceptable" mais avec différents degrés d'appartenance : 0.25 et 0.75 respectivement.

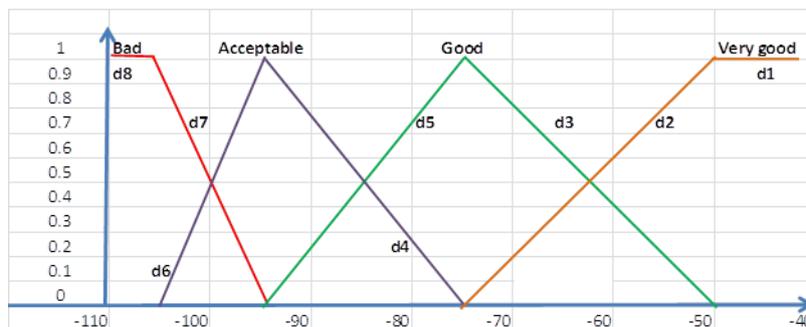


Figure 30 : Fonction d'appartenance pour le paramètre RSCP

La Figure 30 et la Figure 31 montrent les sous-ensembles flous, l'univers du discours (axe des abscisses) et les fonctions d'appartenance pour les paramètres RSCP et ABW, respectivement. Pour le paramètre RSCP, les valeurs d'entrées correspondent à l'une des valeurs de l'ensemble de logique floue: {"Bad", "Acceptable", "Good", "Very good"} alors que le paramètre "bande passante" (ABW) prendra l'une des valeurs de l'ensemble de logique floue: {"Low", "Medium", "High"}.

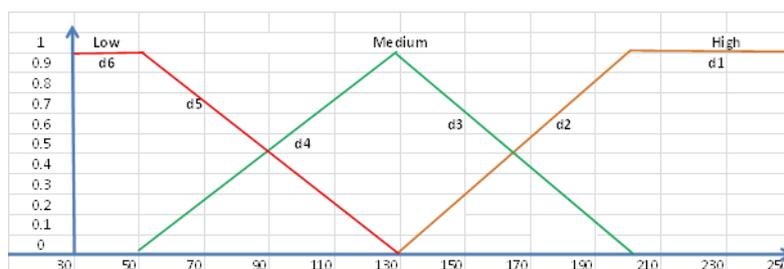


Figure 31 : Fonction d'appartenance pour le paramètre ABW

La forme triangulaire combinée à la forme trapézoïdale est utilisée pour les fonctions d'appartenance (cf. Section 3.2.3). L'univers du discours de chacun des paramètres d'entrée utilisés dans notre modèle est donné par le tableau ci-dessous (cf. Tableau 10). La plage des valeurs de l'univers du discours ainsi que les ensembles de logique floue sont déterminés à partir des données réelles recueillies de la compagnie "Alfa" et vérifiés par les experts du domaine.

Tableau 10 : Univers du discours

RSCP (dBm)	Bad < -105	Acceptable -95 à -105	Good -95 à -75	Very Good >-50
EC/Io (dB)	Bad < -16	Acceptable -16 à -12	Good -12 à -8	Very Good -8 to -6
ABW (Mbps)	Low < 50	Medium 50 à 130	High 130 à 250	

Comme expliqué au Chapitre 3, il existe deux schémas pour représenter la forme des règles de la base d'inférence : Sugeno [97] et Mamdani [98]. Le premier schéma est idéal pour être utilisé avec des techniques linéaires et fournit un résultat sous forme numérique. Le deuxième schéma est fondé sur une base d'inférence et des règles de connaissance sous la forme " Si...Alors " (IF-THEN) [99]. Notre base de règles, utilisées dans notre modèle de sélection du réseau de destination, est exprimée sous la forme de règles " Si...Alors ". Ces règles sont extraites des données et des observations faites sur 9600 enregistrements qui sont des données de type voix, parmi lesquelles, il y a 100 cas de *Handover* hétérogènes (Verticaux) entre des réseaux GPRS et UMTS. L'analyse de ces 100 cas de *Handover* a généré un ensemble de 18

règles constituant ainsi la base des règles d'inférence de notre système (cf. Tableau 11).

Par exemple, la règle numéro 1 du tableau 11, indique que si on a un réseau dont les paramètres : ABW a une valeur faible (Low, L), Ec/Io a une valeur (Acceptable, A) et RSCP a une valeur moyenne (M), alors le réseau en question est considéré comme faiblement recommandé (Lowly Recommended, LR).

Ces règles vont nous aider à choisir le réseau de destination, lors de la période du *Handover*. Dans le Tableau 11, "H" désigne "high", "M" désigne "Medium", "L" indique "low", "B" représente "bad", "A" désigne "Acceptable", "G" indique "Good" et "VG" indique "Very Good".

Le rôle du defuzzifier est de compiler la valeur de sortie de l'unité des règles d'inférence, puis de la transformer en valeur numérique en utilisant la méthode de centre de gravité des fonctions d'appartenance. Cette méthode nous permet d'obtenir une valeur numérique (score) pour chaque réseau candidat qui peut être sélectionné par le nœud mobile durant la période du *Handover*. Cette valeur sera comprise entre " 0 " qui représente le réseau le plus déconseillé et " 1 " qui indique le réseau le plus conseillé par notre modèle.

Tableau 11 : Règle de la base d'inférence

# de la règle	RSCP	Ec/Io	ABW	Ho output
1	A	A	M	LR
2	A	A	H	R
3	A	G	M	R
4	A	G	H	R
5	A	VG	M	R
6	A	VG	H	R
7	G	A	M	R
8	G	A	H	R
9	G	G	M	R
10	G	G	H	HR
11	G	VG	M	HR
12	G	VG	H	HR
13	VG	A	M	R
14	VG	A	H	R
15	VG	G	M	HR
16	VG	G	H	HR
17	VG	VG	M	HR
18	VG	VG	H	HR

6.3.3. Mécanisme de l'algorithme proposé

Considérons le scénario proposé par la Figure 32. Le nœud mobile est connecté au départ sur le premier réseau "Réseau 1". Lors de son déplacement, il arrive à la limite de couverture du réseau courant et aura besoin de changer son point de connexion vers un autre réseau, dans le but de garder une bonne qualité de service.

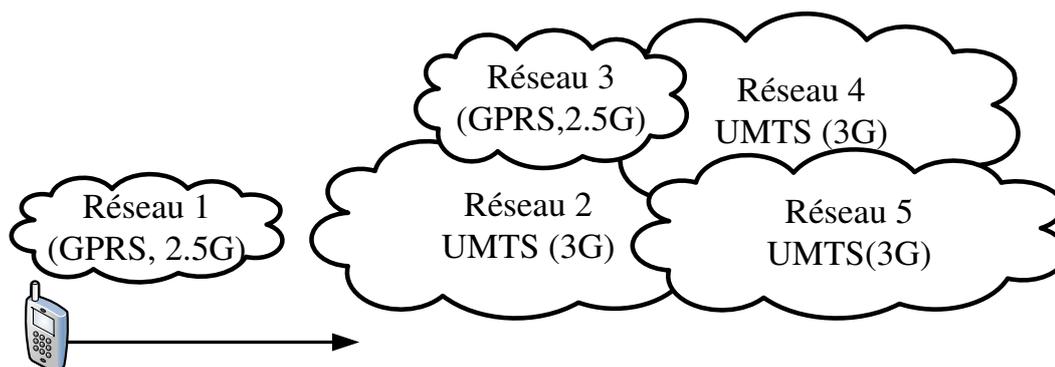


Figure 32 : Scénario étudié

Comme nous l'avons déjà décrit (voir section 6.2) notre algorithme basé sur la logique floue utilise les trois paramètres E_c/I_o , RSCP et ABW comme valeurs d'entrées pour le système proposé comme une instantiation possible de l'entité VHMC dans le cadre de notre nouvelle architecture de gestion du *Handover*. Les valeurs des paramètres d'entrée pour chaque réseau candidat sont données par le Tableau 12.

Tableau 12 : Valeurs des paramètres d'entrée pour chaque réseau disponible

	Réseau 2	Réseau 3	Réseau 4	Réseau 5
RSCP (dBm)	-100	-80	-90	-110
EC/Io (dB)	-11	-14	-7.5	-7.5
ABW (Mbps)	170	110	220	90

Le degré d'appartenance des paramètres d'entrée de chaque réseau candidat est calculé par leurs fonctions d'appartenance correspondantes (cf. Figure 29, Figure 30 et Figure 31). Par exemple, la Figure 29 montre le degré d'appartenance du paramètre E_c/I_o pour une valeur égale à -11dB aux deux ensembles flous "Acceptable" et "Good". Son degré d'appartenance à l'ensemble flou "Acceptable" a une valeur de vérité égale à 0.75 (A, 0.75) et à l'ensemble flou "Good" a une valeur de vérité égale à 0.25 (G, 0.25). Le Tableau 13 montre le degré d'appartenance de chacun des paramètres d'entrée pour chaque réseau candidat.

Tableau 13 : Fonction et degré d'appartenance des valeurs des réseaux candidats

	Réseau 2	Réseau 3	Réseau 4	Réseau 5
RSCP (dBm)	(A, 0.5) (B, 0.5)	(A, 0.25) (G, 0.75)	(A, 0.75) (G, 0.25)	(B, 1)
EC/Io (dB)	(G, 0.25) (A, 0.75)	(A, 0.5) (B, 0.5)	(VG, 0.25) (G, 0.75)	(VG, 0.25) (G, 0.25)
ABW Mbps)	(H, 0.6) (M, 0.4)	(L, 0.25) (M, 0.75)	(H, 1)	(L, 0.5) (M, 0.5)

Chaque triplet de paramètres d'entrée (EcNo, RSCP et ABW) peut déclencher une ou plusieurs règles de notre base d'inférence (cf. Tableau 11) avec différentes puissances (valeurs de vérité) α_i . Avant de calculer la valeur nette de chaque réseau (score) par défuzzification, nous devons calculer le poids de chaque règle en prenant le minimum des valeurs de vérité pour chaque triplet d'entrée ; et ceci selon la méthode de Mamdani. Pour chaque valeur de sortie (passage d'un réseau à un autre : HO output), une valeur numérique, entre 0 et 1, représentant le score de chaque réseau, est affectée comme suit :

- Fortement recommandée (Highly Recommended, HR = 1),
- Recommandée (Recommended, R = 0,5),
- Faiblement recommandée (Lowly Recommended, LR = 0,25),
- Non recommandée (Not Recommended, NR = 0)).

Les réseaux ayant une valeur mauvaise ("Bad" = "B"), pour n'importe quel paramètre d'entrée, sont considérés comme non recommandés. Ces réseaux ne seront pas pris en considération par notre base d'inférence qui ne concerne que les réseaux recommandés.

Le score de chaque réseau est calculé en utilisant la formule suivante :

$$z_0 = \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i z_i}{\sum_{i=1}^n \alpha_i} \quad (22)$$

Avec α_i , la valeur de vérité pour une règle donnée, et z_i est la valeur numérique attribuée à la valeur de sortie du *Handover* de chaque règle. Le réseau qui a la valeur la plus proche de 1 est le plus recommandé. Par exemple, les valeurs des paramètres (Ec/Io, RSCP et ABW) du deuxième réseau déclenchent les règles numéros 1, 2, 3 et 4 (cf. Tableau 14) de notre base d'inférence avec différentes valeurs de vérité α_i . Le score de chaque réseau est calculé par application de la formule (22), Pour le réseau numéro 2, le calcul sera comme suit :

$$\frac{(0.4 \times 0.25) + (0.5 \times 0.5) + (0.25 \times 0.5) + (0.25 \times 0.5)}{(0.4 + 0.5 + 0.25 + 0.25)} = 0.42 \quad (23)$$

Tableau 14 : Force de déclenchement des règles et scores affectés aux réseaux candidats

Numéro du réseau	Numéro de la règle déclenchée	Valeur de vérité de chaque règle	Score de chaque réseau
2	1	$\text{Min}(0.5, 0.75, 0.4) = 0.4$	0.42
	2	$\text{Min}(0.5, 0.75, 0.6) = 0.5$	
	3	$\text{Min}(0.5, 0.25, 0.4) = 0.25$	
	4	$\text{Min}(0.5, 0.25, 0.6) = 0.25$	
3	1	$\text{Min}(0.25, 0.5, 0.75) = 0.25$	0.41
	7	$\text{Min}(0.75, 0.5, 0.75) = 0.5$	
4	4	$\text{Min}(0.75, 0.75, 1) = 0.75$	0.66
	6	$\text{Min}(0.75, 0.25, 1) = 0.25$	
	10	$\text{Min}(0.25, 0.75, 1) = 0.25$	
	12	$\text{Min}(0.25, 0.25, 1) = 0.25$	
5	9	$\text{Min}(0.8, 0.75, 0.5) = 0.5$	0.73
	11	$\text{Min}(0.8, 0.25, 0.5) = 0.25$	
	15	$\text{Min}(0.2, 0.75, 0.5) = 0.2$	

Le Tableau 14 montre, pour chaque réseau, les règles déclenchées et la valeur de vérité déduite de chaque règle comme étant le minimum de la valeur de vérité de chaque triplet des paramètres d'entrée. Il montre aussi le score de chaque réseau candidat disponible dans l'entourage du nœud mobile. Nous pouvons déduire que le Réseau numéro 5 est le plus recommandé puisqu'il a la valeur la plus proche de 1. La Figure 33 montre l'organigramme de notre algorithme basée sur la logique floue. C'est une instance de notre architecture de gestion du *Handover*. En effet, dès que MIH annonce le besoin du nœud mobile de changer son point de connexion, notre algorithme commence à identifier l'ensemble des réseaux candidats autour du nœud mobile et les sauvegarder dans une liste. En deuxième étape, notre algorithme récupère les valeurs des paramètres de qualité de service (*Ec/Io*, *RSCP* et *BW*) pour chaque réseau de la liste. Notre modèle prend en entrée ces paramètres pour affecter un score à chaque réseau de la liste. Le réseau qui a le plus haut score est identifié comme étant le meilleur réseau de destination pour l'utilisateur.

6.3.4. Intégration du modèle de sélection flou dans MIH

Le modèle de logique floue que nous proposons pour la sélection du réseau destination vient s'intégrer à MIH, dans le cadre de notre architecture de gestion du *Handover*, pour lui offrir la capacité de choisir un réseau destination parmi plusieurs

réseaux disponibles dans l'entourage du nœud mobile (cf. Figure 34). Cette phase était laissée sans implémentation par le standard. Comme il a été expliqué, le rôle du modèle de logique floue ajouté à notre entité VHMC décrite dans le Chapitre 4 est de donner un score pour chaque réseau candidat. Le réseau possédant le plus haut score (le plus proche de 1) sera choisi par le nœud mobile.

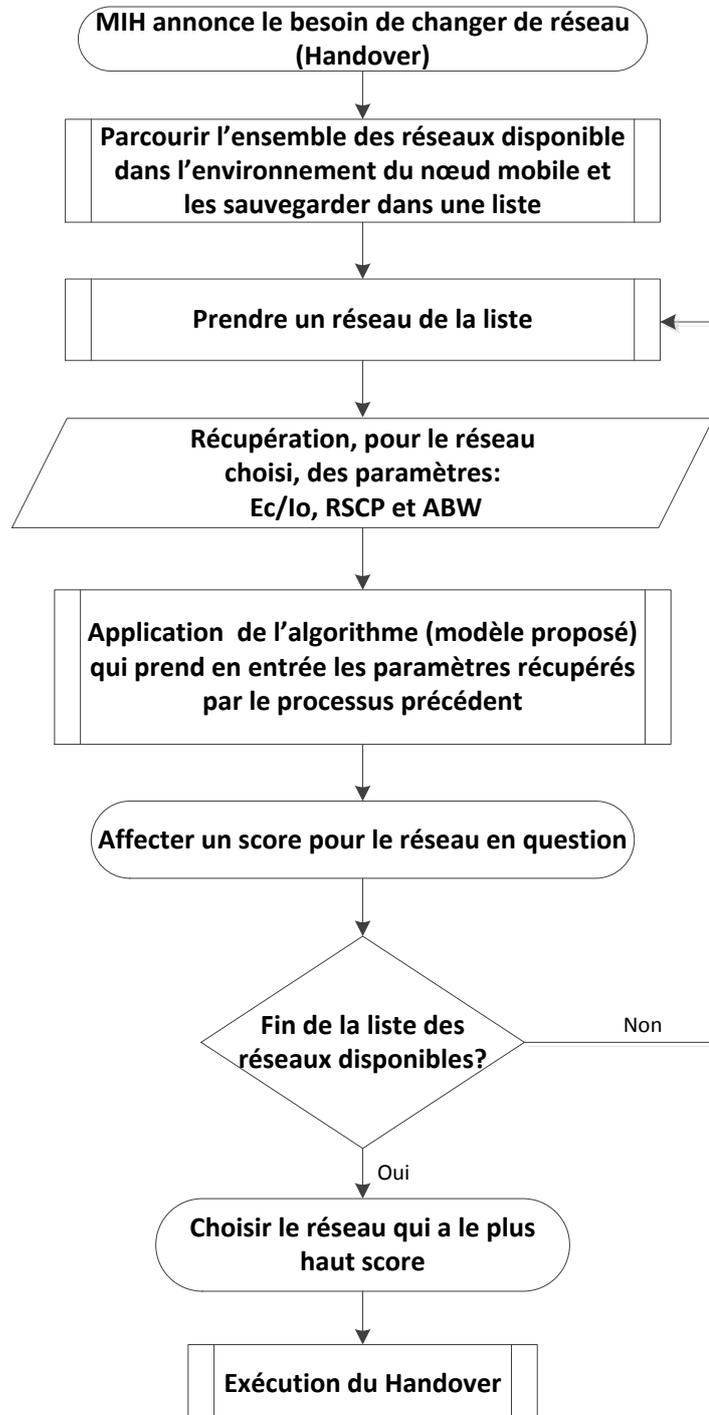
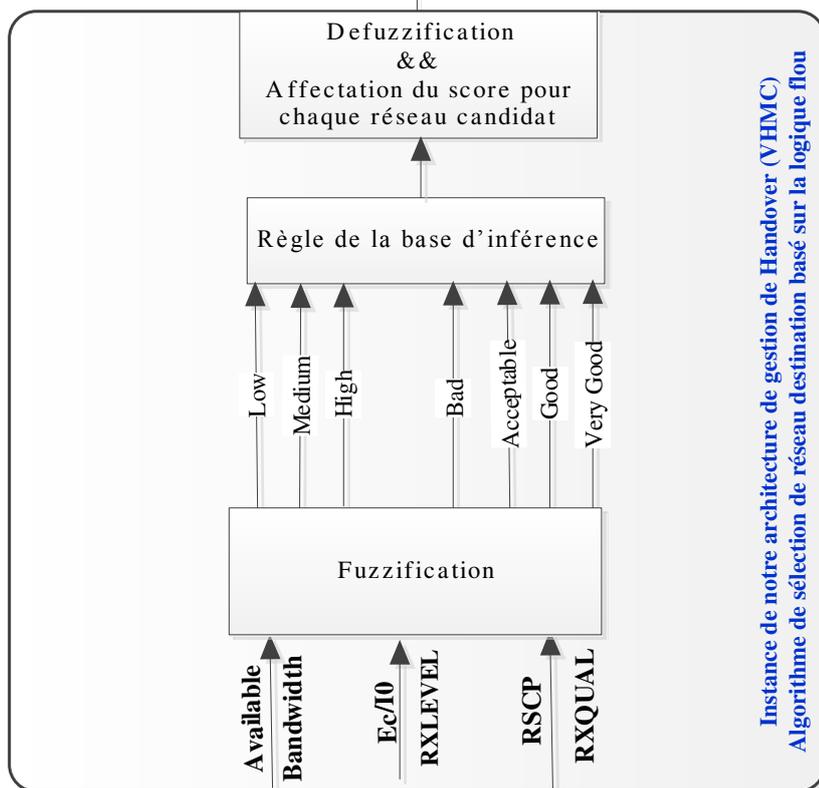


Figure 33: Organigramme de l'algorithme de sélection basé sur la logique floue

Phase d'exécution du Handover

Couche 3+
 MN change son point d'attache du réseau courant vers le réseau sélectionné par le modèle logique flou et qui a le plus haut score.

Affectation de score pour chaque réseaux par le modèle de logique flou



Instance de notre architecture de gestion de Handover (VHMC)
 Algorithme de sélection de réseau destination basé sur la logique flou

Phase de collecte d'informations des réseaux dans l'environnement du nœud mobile

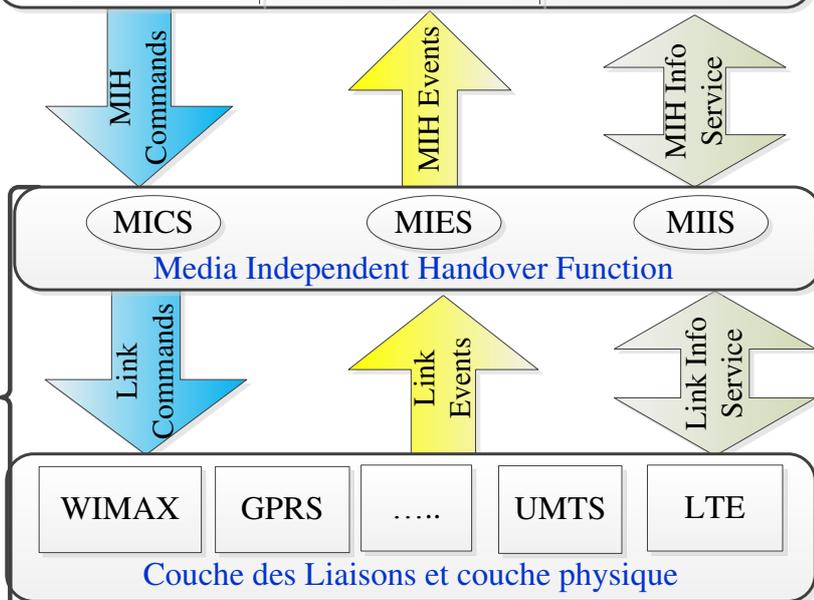


Figure 34 : Intégration du modèle de logique floue à MIH

6.4. SÉLECTION BASÉE SUR UN MODÈLE DE REGRESSION LINÉAIRE

La fiabilité du modèle de prédiction basé sur la théorie de la régression linéaire s'appuie, en premier lieu, sur l'analyse d'un nombre suffisant d'observations. Dans notre cas, les observations sont des données réelles collectées à partir des "drive test" fournis par la compagnie de télécommunication libanaise "Alfa". Les 9600 enregistrements qui contiennent 100 cas de *Handover* hétérogènes entre réseau UMTS et GPRS constituent un ensemble d'indicateurs de la performance de la qualité du service (Key Performance Indicator, KPIs) avec leurs valeurs numériques avant, après et durant le processus de *Handover*. L'analyse de ces données nous permet d'atteindre les objectifs suivants :

1. Surveiller, durant la période du *Handover*, la valeur de certains KPIs qui sont directement liés à la qualité de service
2. Identifier, parmi les KPIs, ceux qui sont les plus appropriés et qui ont une influence majeure sur le mécanisme de sélection du réseau destination.
3. Trouver le poids de chacun des paramètres identifiés dans le point précédent (2).

6.4.1. Handover et Régression dans la littérature

La régression linéaire a été utilisée dans la littérature, dans plusieurs domaines (agriculture, économie, etc.). Nous nous limitons à présenter les travaux qui ont utilisé ce modèle pour la gestion du *Handover*, en environnement hétérogène. Hsieh et al. [100], proposent une approche de prédiction du réseau de destination qui minimise le temps de latence du *Handover* en utilisant un algorithme de traçage du mouvement du nœud mobile. Akyildiz et Wang [101] introduisent un nouveau modèle stochastique pour déterminer la position du nœud mobile. Choi et al [102] proposent un nouveau schéma de *Handover* basé sur la régression linéaire simple pour prédire la puissance du signal du réseau de destination durant la période de *Handover*. Alaya-Feki et al. [103] utilisent une analyse statistique basée sur la méthode de régression permettant une amélioration de la gestion des ressources radio. La méthode de régression utilisé lui permet d'élaborer un estimateur dynamique pour l'atténuation du signal radio et améliorant la procédure du *Handover*. Toril et al. [104] fournissent un modèle basé sur la régression multiple pour le réseau GSM. Ce modèle estime le nombre des utilisateurs (Idle). Tiwana et al. [105] propose un modèle d'amélioration de la performance du réseau en utilisant une approche d'analyse statistique basée sur la régression linéaire. La performance du modèle proposé a été montrée avec un cas de *Handover*. J. T. Chien [106] utilise une méthode de régression linéaire avec la méthode de Bayes pour la reconnaissance de la voix. Tiwana et al. [107] définissent

un modèle de régression linéaire comme un outil statistique pour mieux gérer les ressources des réseaux 3G et LTE.

Dans ce chapitre, nous proposons un modèle de régression linéaire multiple pour la sélection du réseau de destination. Notre modèle est déduit à partir de 9600 enregistrements de données réelles. Nous avons utilisé le logiciel statistique SPSS pour analyser les données, identifier les paramètres les plus pertinents et évaluer leur poids. Ceci nous a permis d'avoir un modèle calibré par des statistiques du monde réel par rapport aux autres modèles qui se basent uniquement sur des études théoriques.

6.4.2. Définition de notre modèle de régression à partir de données réelles

Pour faire l'analyse des données et s'assurer du degré de fiabilité du modèle proposé, nous avons utilisé le logiciel SPSS, qui est un outil d'analyse statistique capable de fournir des indicateurs sur la qualité du modèle proposé. Le coefficient de corrélation de Pearson est un indicateur statistique qui nous permet de confirmer la relation linéaire se trouvant entre un vecteur de paramètres (KPIs) et un autre [108] qui est, dans notre cas, la sélection du réseau de destination. En statistique, Le coefficient de corrélation de Pearson varie dans l'intervalle $[-1, 1]$ pour indiquer la relation linéaire entre deux vecteurs[109]. La valeur -1 nie l'existence d'une telle relation et la valeur $+1$ confirme une relation forte entre les deux vecteurs. Le Tableau 15 montre que les paramètres Received Signal Code Power (RSCP), Received Energy Per Chip (Ec/No) et la bande passante disponible du réseau de destination (Available Bandwidth, ABW) sont identifiés comme étant les paramètres les plus relevant et qui jouent un rôle clé dans la sélection du nouveau réseau. Les valeurs numériques de chaque variable montrées par le Tableau 15 affirment la consistance des paramètres choisis vis-à-vis de la variable dépendante Y qui représente le réseau sélectionné. En effet, les valeurs qui relient la variables Y aux autres paramètres choisis : RSCP, Ec/No et ABW sont proches de 1 (0.722, 0.847 et 0.703 respectivement) ce qui confirme la forte dépendance entre la variable Y et chacune des variables indépendantes. Par ailleurs, la relation entre les variables Ec/No et RSCP est égale à -0.001 , entre RSCP et ABW est égale à 0.094 et entre Ec/No et ABW est égale à 0.016 . Il est clair que la relation entre ces variables est négligeable ce qui permet de dire que ces variables sont indépendantes.

Pour l'évaluation de notre modèle basé sur la régression linéaire, nous utiliserons un autre indicateur : le coefficient de détermination R carré (R^2). Ce coefficient prédit la valeur de la variation de la variable dépendante par le modèle. Par exemple, une valeur de $R^2 = 0.75$ veut dire que le réseau choisi par notre modèle est justifié à 75%. Après injection de l'ensemble des observations collectées dans SPSS, nous obtenons une valeur de R^2 égale à 80.1% (cf. Tableau 16). Cela veut dire que le réseau sélectionné est justifié à 80.1% par notre modèle et que les autres paramètres justifient le réseau sélectionné à 19.9%.

Pour trouver le poids β_k de chacun des paramètres (KPIs) utilisés dans notre modèle, SPSS utilise la méthode des moindres carrés ordinaires (Ordinary Least-Squares, OLS). Le Tableau 17 montre la valeur de chacun des coefficients β_i avec leurs P-Value. P-Value représente la probabilité d'erreur qui peut exister entre la variable Y et chacune des variables indépendantes. Une faible valeur de P-Value (<0.05) [110] pour les paramètres (KPIs) choisis dans notre modèle veut dire que ces paramètres sont indispensables pour utiliser le modèle proposé et que sans ces paramètres, la performance de notre modèle sera négativement affecté [59].

Tableau 15 : Coefficient de corrélation de Pearson

	Y	RSCP	Ec/No	ABW
Y	1.000	.722	.847	.703
RSCP	.722	1.000	-.001	.094
EcNo	.847	-.001	1.000	.016
ABW	.703	.094	.016	1.000

Tableau 16 : Coefficient de la régression

Paramètres de statistiques	Valeur
Determination coefficient, R2	0.801
Number of observations, N	9600

Tableau 17 : Poids des variables

Paramètres KPIs	Coefficient estimé ()	P-Value
(Constant)	-7.529	-0.000
RSCP	3.187	0.008
Ec/No	5.313	0.007
ABW	6.569	0.000

À partir du Tableau 17, nous pouvons représenter la relation entre la variable dépendante et les variables indépendantes comme suit :

$$Y = -7.529 + 3.187 * RSCP + 5.313 * EcNo + 6.569 * ABW \quad (24)$$

6.4.3. Intégration de notre modèle de régression linéaire multiple à MIH

Le rôle de MIH, qui s'intercale entre la couche 2 et la couche 3, est de transmettre l'état des liens des couches inférieures vers les couches supérieures. Quand un nœud mobile arrive à la limite de la couverture du réseau courant (sur lequel il est actuellement connecté), MIH génère un trigger de type

Link_Going_Down annonçant ainsi le besoin de quitter le réseau courant vers un autre réseau qui sera choisi parmi l'ensemble des réseaux disponibles autour du nœud mobile. Dans ce cas, notre modèle proposé Multiple Linear Regression Model (MLRM) sera utilisé comme étant une autre instantiation possible de l'entité VHMC que nous proposons dans le cadre de notre nouvelle architecture de gestion du *Handover*, et ce pour décider du réseau à choisir parmi l'ensemble des réseaux disponibles. La Figure 35 montre l'intégration des deux composantes : MIH et MLRM dans la pile protocolaire. Cette intégration représente une instance de notre architecture de gestion de Handover donnée dans le Chapitre 4.

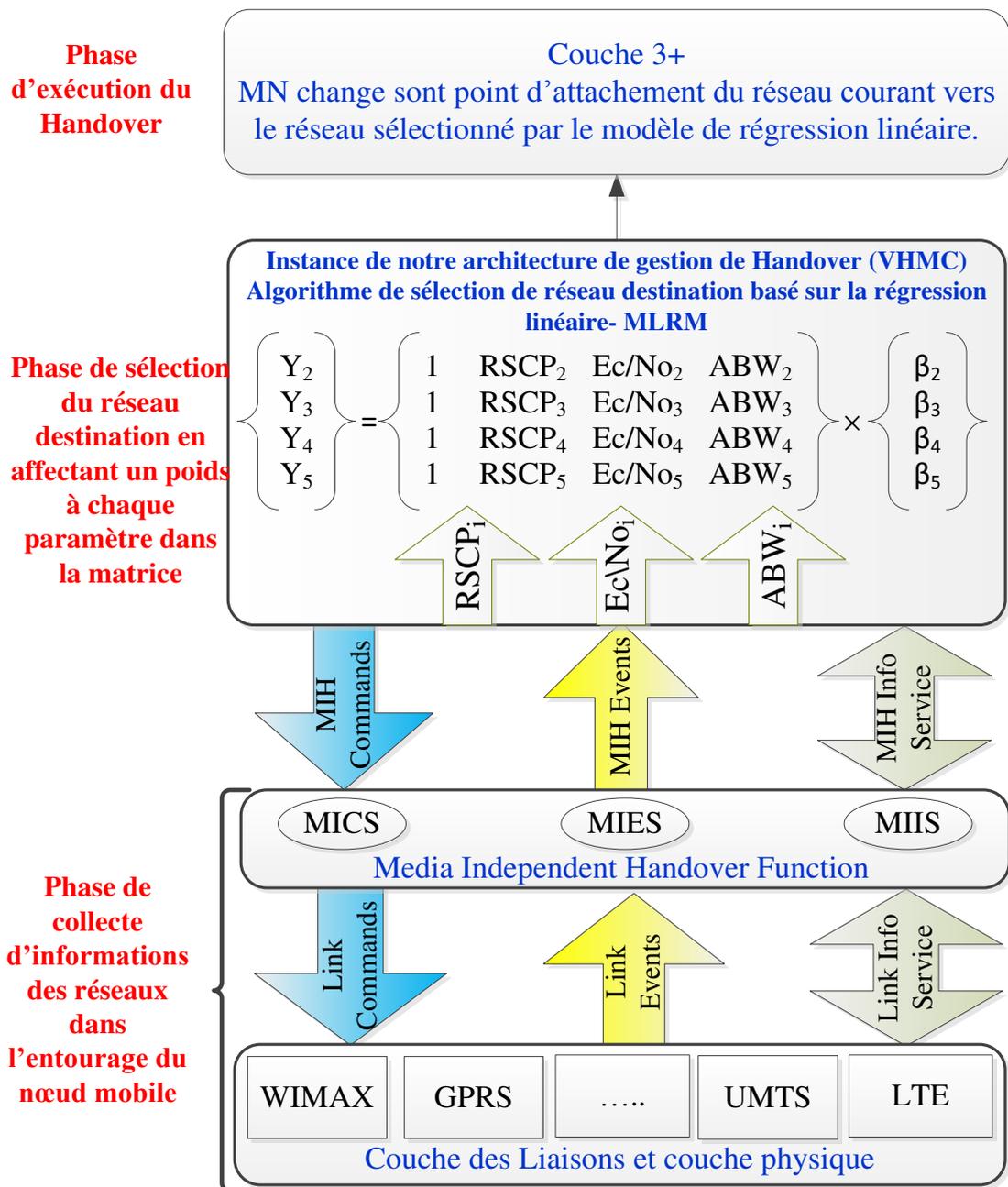


Figure 35 : Intégration du modèle MLRM à MIH

Pour mieux montrer le fonctionnement de cette architecture, un exemple de sélection d'un nouveau réseau durant la période du *Handover* sera détaillé dans la partie suivante.

6.4.4. Application du modèle proposé pour la sélection d'un réseau destination

Nous considérons le scénario illustré par la Figure 36. Le nœud mobile connecté au réseau 1 étant arrivé à la limite de sa couverture, aura besoin de garder un certain niveau de qualité de service et donc de se connecter à un autre réseau. La question qui se pose alors est : Quel réseau doit-il choisir parmi les quatre réseaux disponibles dans l'environnement du nœud mobile ?

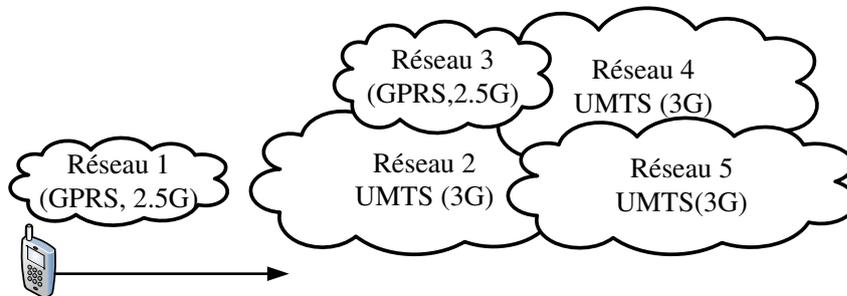


Figure 36 : Scénario de Handover

Les valeurs des paramètres (KPIs) de chacun des réseaux candidats sont données par le Tableau suivant (cf. Tableau 18).

Tableau 18 : Valeur des KPIs pour chaque réseau

	Réseau 2	Réseau 3	Réseau. 4	Réseau. 5
RSCP (dBm)	-100	-80	-90	-70
EC/Io (dB)	-11	-14	-7.5	-7.5
ABW (Mbps)	170	110	220	90

Le modèle décrit par l'équation (24) peut être représenté par la matrice suivante :

$$\begin{Bmatrix} Y_2 \\ Y_3 \\ Y_4 \\ Y_5 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 1 & RSCP_2 & Ec/No_2 & ABW_2 \\ 1 & RSCP_3 & Ec/No_3 & ABW_3 \\ 1 & RSCP_4 & Ec/No_4 & ABW_4 \\ 1 & RSCP_5 & Ec/No_5 & ABW_5 \end{Bmatrix} * \begin{Bmatrix} \beta_2 \\ \beta_3 \\ \beta_4 \\ \beta_5 \end{Bmatrix}$$

Figure 37 : Représentation matricielle du modèle MLRM

En remplaçant la valeur de chaque paramètre KPI tel que décrit dans le Tableau 18 et la valeur de leur poids obtenue par le logiciel statistique SPSS, la matrice précédente (cf. Figure 37) sera écrite sous la forme suivante :

$$\begin{bmatrix} Y_2 \\ Y_3 \\ Y_4 \\ Y_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -100dBm & -11dB & 170Mbps \\ 1 & -80dBm & -14dB & 110Mbps \\ 1 & -90dBm & -7.5dB & 220Mbps \\ 1 & -70dBm & -7.5dB & 90Mbps \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} -7.529 \\ 3.18 \\ 5.313 \\ 6.569 \end{bmatrix}$$

En calculant Y_i , nous obtenons les valeurs suivantes :

$$Y_2 = 732.058; Y_3 = 385.719; Y_4 = 1110.974; Y_5 = 320.7435$$

Plus grande est la valeur de chacun des paramètres KPIs, mieux est la qualité du service ; par conséquent, le meilleur réseau candidat pour notre modèle sera le réseau qui a la valeur de Y la plus élevée, soit le réseau 4 dans notre exemple.

6.5. CONCLUSION

Dans ce travail, nous avons modifié la structure du standard IEEE 802.21 (MIH) pour la compléter par deux modèles différents de sélection du meilleur réseau de destination pour l'utilisateur. Ces deux modèles constituent deux instanciations possibles de l'entité VHMC qui nous permet de prendre la décision du choix du réseau destination dans le cadre de la nouvelle architecture de gestion du *Handover* que nous proposons dans le Chapitre 4. Le premier modèle, basé sur la logique floue, affecte un score pour chaque réseau candidat dans l'entourage du nœud mobile. Le réseau qui possède le score le plus proche de 1 sera considéré comme le réseau le plus satisfaisant pour l'utilisateur. Le deuxième modèle est basé sur la théorie de la régression linéaire multiple qui affecte un poids aux paramètres déterminés comme paramètre clé pour juger la qualité de service. Ces deux modèles complètent la structure de MIH et sont contenus dans le VHMC que nous proposons pour la sélection d'un réseau de destination durant la période du *Handover*.

Le mobile étant connecté au réseau 1 (GPRS), arrive à la limite de sa couverture, MIH annonce le besoin de *Handover* et notre nouvelle entité VHMC prend en entrée les paramètres, déclarés comme indicateur clé de la performance, RSCP, Ec/Io et ABW pour décider du réseau à choisir. Le modèle de la logique floue a choisi le réseau numéro 5 alors que modèle de régression linéaire multiple a sélectionné le réseau numéro 4, comme réseau de destination

Les deux modèles n'ont pas choisi le même réseau destination. Mais, que ce soit le réseau 5 ou le réseau 4, ils sont tous les deux considérés comme les deux

meilleurs choix parmi les 4 réseaux disponibles. En effet, le réseau 2 a un RSSI de (-100) dBm ce qui montre une puissance moyenne du signal mais une valeur du paramètre E_c/I_o (-11) qui indique une faible qualité de service. Pour le réseau 3, le paramètre E_c/I_o a une valeur égale à -14 indiquant ainsi une très mauvaise qualité de service, malgré que la puissance du signal est très bonne (-80). Cependant, la valeur E_c/I_o des réseaux 4 et 5 est égale à -7.5 ce qui représente une excellente qualité de service. Le réseau 4 a une excellente puissance de signal égale à -90 et le réseau 5 à une valeur de -110 qui reflète une puissance du signal moyenne. Donc les deux réseaux choisis par chacun des deux modèles sont considérés comme de bons choix de réseau destination.

Notre étude mériterait d'être étendue à un plus grand nombre d'exemples générés aléatoirement pour mesurer le pourcentage de cas où les réseaux sélectionnés par les deux méthodes sont les mêmes.

CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES

L'utilisation de l'onde radio dans les réseaux a permis la convergence entre différents types de réseaux : Wi-Fi, WiMAX, GSM, GPRS, UMTS, LTE etc. Cet évènement a donné naissance à un seul environnement formé de différentes technologies obéissant à des normes qui ne sont pas nécessairement compatibles. Plusieurs organismes de standardisation ont travaillé pour faire inter-communiquer ces diverses technologies. Parmi ces standards, nous considérons la norme IEEE 802.21 (MIH) dont le rôle est de faciliter une transition sans coupure entre des réseaux de types variés.

MIH définit un moyen d'annoncer le besoin d'un *Handover* et ne donne aucun mécanisme de sélection du réseau destination. Dans notre thèse, nous proposons 3 modèles différents de sélection de réseau. Nous avons modifié la structure de base de MIH pour lui intégrer une nouvelle couche VHMC dans laquelle nous implémentons les trois modèles proposés. Le résultat de cette modification a donné naissance à notre proposition d'une nouvelle architecture de gestion du *Handover* plus robuste et capable de répondre à nos besoins.

Le premier modèle propose et utilise un nouvel algorithme MCSA basé sur plusieurs paramètres pour sélectionner le réseau destination. Nous avons comparé, par simulation, en utilisant Network Simulator (NS), les résultats de notre algorithme avec celui du NIST existant. L'environnement de simulation est constitué de réseaux Wi-Fi et WiMAX. Les résultats de la simulation montrent que notre algorithme améliore la qualité de service durant la période de *Handover* en termes de nombre de paquets perdus et du temps de latence du *Handover*. En effet, le NIST fait autant de *Handover* que de réseaux détectés dans le chemin du nœud mobile alors que notre algorithme MCSA nous permet d'ignorer plusieurs réseaux présents dans le chemin du mobile en se limitant à un seul *Handover*. Les simulations réalisées avec le simulateur NS2 montrent que le nombre de *Handover* ainsi que le nombre de paquets perdus avec l'algorithme du NIST sont plus importants comparés aux résultats obtenus avec notre algorithme MCSA. Nous avons constaté que notre algorithme a permis une amélioration nette de 50% au niveau de ces paramètres de qualité de service. De plus, nous avons montré que le nombre de messages échangés entre le nœud mobile et le réseau destination, selon l'algorithme MCSA, est plus faible qu'avec celui du NIST. Ceci encombre moins le cœur du réseau et se traduit par une meilleure gestion de ressources.

Deux autres modèles de sélection du réseau destination ont été proposés dans notre thèse afin de définir d'autres instanciations possibles de l'entité VHMC de notre architecture de gestion du *Handover* : le premier est basé sur la logique floue et le deuxième sur la théorie de régression linéaire. Ces modèles vont permettre à notre architecture de gestion du *Handover* d'offrir la bonne décision pour le choix du réseau de destination en utilisant plusieurs paramètres d'entrée pour l'entité VHMC. L'environnement étudié est composé de réseaux GPRS (2G) et UMTS (3G). Pour

pouvoir comparer les deux modèles, nous avons utilisé le même environnement réseau caractérisé par l'existence de cinq réseaux différents dans le voisinage du nœud mobile.

Après notre étude, nous avons remarqué que chacun des deux modèles (logique floue et régression linéaire) a donné une décision différente à propos du réseau destination choisi : la technique de la logique floue a décidé, que le réseau 5 est le meilleur pour y migrer ; alors que la méthode de régression linéaire a sélectionné le réseau 4 comme réseau destination. Cependant, les deux réseaux choisis par nos deux modèles sont les meilleurs réseaux au niveau de la qualité de service offerte et de la puissance du signal. D'où, les deux décisions sont considérées comme bonnes à adopter. D'autres exemples montrent que les deux modèles aboutissent exactement au même résultat. Nous pensons que les deux techniques utilisées par notre système sont valables pour le choix du réseau de destination dans un cas de *Handover*, dans un milieu hétérogène mais cela reste à valider par simulation ou en réel.

Dans notre thèse, nous n'avons pas pu utiliser Network Simulator (NS) pour simuler nos deux modèles (logique floue et régression linéaire) et obtenir des résultats détaillés en fonction du nombre de paquets perdus et du temps de latence du *Handover*; puisque NS2.29, qui implémente le module MIH, ne contient aucun module capable d'implémenter des réseaux GPRS. Ceci nous a limité à valider nos deux modèles par des calculs théoriques. Nous proposons donc, en perspectives, de développer un module capable d'être intégré par NS et MIH pour pouvoir faire des tests pratiques ou de réaliser un simulateur dans lequel nous pourrions implémenter des réseaux de type GPRS.

Par ailleurs, les 9600 enregistrements de données réelles recueillies de la compagnie "*Alfa*", représentent les valeurs des paramètres de qualité de service pour des installations GPRS et UMTS. Il serait utile d'essayer de récupérer un plus grand nombre d'enregistrements pour nous permettre de valider plus finement notre modèle.

D'autant plus, les réseaux 4G (Long Term Evolution, LTE) seront installés très prochainement au Liban, nous pourrions alors utiliser les mêmes méthodes pour récupérer des valeurs entre des installations GPRS, UMTS et LTE. Ce travail va nous permettre de voir si notre modèle reste valable en ajoutant d'autres types de réseaux ou bien s'il nécessite des modifications.

RÉFÉRENCES

- [1] International Telecommunication Union (ITU), "General Characteristics of International Telephone Connections and International Telephone Circuits.", ITU-TG.114, 1988.
- [2] AT&T Tech Channel (2011-06-13). "AT&T Archives: Testing the First Public Cell Phone Network". Techchannel.att.com. Retrieved 2013-09-28.
- [3] J.E. Padgett, C.G. Gunther, and T. Hattori. "Overview of wireless personal communications", IEEE Communications Magazine, 33(1):28-41, January 1995.
- [4] C. Cramona, J.M. Garcia, and J. Roubeau, "General Packet Radio Service", 2004.
- [5] ITU-T (2008) G.711.1 : Wideband embedded extension for G.711 pulse code modulation.
- [6] A. Rahil, N. Mbarek, and O. Togni, "Smart Network Selection and Packet Loss Improvement during Handover in Heterogeneous Environment", the Ninth International Conference on Networking and Services - ICNS, pp. 185-192, Mar. 2013.
- [7] A. Rahil, N. Mbarek, O. Togni, and M. Atieh, "Integrated Fuzzy Solution for Network Selection using MIH in Heterogeneous Environment", International journal on advances in networks and services 6, 3&4(2013) 175-187, 2013.
- [8] A. Rahil, N. Mbarek, M. Atieh, O. Togni, and A. Fouladkar, "Statistical Learning and Multiple Linear Regression Model for Network Selection using MIH", IEEE. The Third International Conference on e-Technologies and Networks for Development (ICeND2014), Apr 2014, Beirut, Lebanon. pp. 195-200 / ISBN: 9978-1-4799-3165-1, 2014.
- [9] Y. Tantani, "Gestion de la Relève Verticale dans les Réseaux Mobiles Hétérogène, Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures de l'Université Laval, 2010.
- [10] 3GPP TSG GERAN. General Packet Radio Service (GPRS); Mobile Station (MS) – Base Station System (BSS) interface; Radio Link Control / Medium Access Control (RLC/MAC) protocol (3GPP TS 04.60 version 8.13.0 Release 1999). Technical Specification, 3rd Generation Partnership Project, February 2002.
- [11] 3GPP TS 25.331 UMTS Radio Resource Control Protocol Specifications.
- [12] 3GPP TS 36.300, Evolved Universal Terrestrial Radio Access (EUTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (EUTRAN) Overall description, Stage 2, Rel. 8, v8.5.0, May 2008.
- [13] 3GPP TS 36.300, Evolved Universal Terrestrial Radio Access (EUTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN), Rel. 10, v10.2.0, Dec. 2010.
- [14] M. Handley et al, "Session Initiation Protocol", RFC 2543, March 1999.
- [15] B. Chang and J. Chen, "Cross-Layer-Based Adaptive Vertical Handoff with Predictive RSS in Heterogeneous Wireless Networks", IEEE Transactions on Vehicular Technology, PP. 3679-3692, vol. 57, No. 6, November 2008.
- [16] G. Lampropoulos and A. K. Salkintzis, "Media-Independent Handover for Seamless Service Provision in Heterogeneous Networks", IEEE Communication Magazine, doi: 10.1109/MCOM.2008.4427232, PP. 64-71, vol. 46, Issue: 1, Jan. 2008.
- [17] I. Aydin and C. Shen, "Cellular SCTP: A Transport-Layer Approach to Internet Mobility", ICCCN, PP. 285-290, October 2003.
- [18] C. E. Perkins and A. Myles, "Mobile IP, IEEE Communications Magazine", doi:10.1109/35.592101, PP. 84-99, Vol. 35, Issue:5, 1997.
- [19] A. Agrawal, "Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems, Amendment 2: Physical and Medium Access Control Layers for Combined Fixed and Mobile Operation in Licensed Bands", IEEE802.16e-2005.
- [20] P. Lin, T. Lin, and C. Wang, "Performance Analysis of a Cross-Layer Handoff Ordering Scheme in Wireless Networks", IEEE Transactions on Wireless Communications, PP. 5166–5171 vol.7, No. 12, December 2008.
- [21] M. Sharma and R.K.Khola, "An Intelligent Approach for Handover Decision in Heterogeneous Wireless Environment", International Journal of Engineering (IJE), PP.452-462, vol. 4, No. 5, Dec. 2010.
- [22] IEEE Std 802.11™-2007, IEEE Standard for Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, June 2007.
- [23] Kevin Denis, "Le roaming dans le Wi-Fi", <http://kevin.denis.free.fr/roaming/roaming-wifi.pdf>, 2007.

- [24] IEEE Std 802.16™-2004, IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks—Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems, October 2004.
- [25] R. Shah, M. Chatterjee, "A hierarchical architecture to integrate GSM and mobile IPv6 "Wireless Communications and Networking Conference, 2004. WCNC. 2004 IEEE Volume: 1, DOI: 10.1109/WCNC.2004.1311532,Page(s): 138 - 143 Vol.1, 2004.
- [26] J. V. Agustina, Peng Zhang, and R. Kantola, "Performance evaluation of GSM handover traffic in a GPRS/GSM network" Eighth IEEE International Symposium on Computers and Communication, 2003. (ISCC 2003). Proceedings. DOI: 10.1109/ISCC.2003.1214113, Page(s): 137 - 142 vol.1, 2003.
- [27] L. Bos, and S. Leroy, "Toward an all-IP-based UMTS system architecture" Network, IEEE, Volume: 15, Issue: 1 DOI: 10.1109/65.898820, Page(s): 36 - 45 , 2001.
- [28] Lim Woo Lip, Yu Chiann Foo, and R. Tafazolli, "Inter-System Handover Algorithms for HAPS and Tower-based Overlay UMTS", Information, Communications and Signal Processing, 2005 Fifth International Conference on DOI: 10.1109/ICICS.2005.1689080, Page(s): 419 - 424, 2005.
- [29] Jorge Cabrejas, Pablo Gualda, Jose F Monserrat, and David Martín-Sacristán, "Application of MIH for the lightweight deployment of LTE-advanced systems through mobile relaying", Journal on Wireless Communications and Networking, 2012, doi:10.1186/1687-1499-2012-117, PP: 117-129.
- [30] F. Démoncourt, "Introduction à la logique floue", Licence Commons-BY-SA. [http : // frank-demoncourt.developpez.com/tutoriels/algo/introduction-logique-oue/](http://frank-demoncourt.developpez.com/tutoriels/algo/introduction-logique-oue/), Paris, Avril 2011.
- [31] B. Max, "Vagueness: An Exercise in Logical Analysis", Philosophy of Science, PP: 427-455vol. 4, n° 4, Oct. 1937.
- [32] K. Bart and I.Satoru, "La logique floue",Pour la Science, n° 191, PP : 62-68, Sep. 1993.
- [33] N. Kana, Contribution à l'Etude et la mise en œuvre d'une approche hybride d'aide au diagnostic : Application aux domaines biomédical et industriel, Thèse de Doctorat, Université de Paris XII, Val de Marne.
- [34] A. Beldjilali, Gestion du degré de certitude des connaissances, "extention et adaptation du système CASI", Mémoire de Master, Université d'Oran, 2010.
- [35] D. Dubois, H. Prade, and P. Smets, "Partial Truth is not Uncertainty: Fuzzy Logic versus Possibilistic Logic", IEEE Expert, PP. 15-19, août 1994.
- [36] C. Gonzalo, "Commande et Identification Floue", Rapport de projet, École Nationale Supérieure de Mécanique et des Microtechniques, Besancon, PP. 11.
- [37] Archives du forum électronique d'Internet "comp.ai.fuzzy", articles n° 40,124, 1555, 2072. Coordonnées FTP : ftp.cs.cmu.edu; user/ai/pubs/news/comp.ai.fuzzy.
- [38] C. Rosental, "Histoire de la logique floue. Une approche sociologique des pratiques de démonstration", Revue de Synthèse, PP. 575-602, vol. 4, Oct. 1998.
- [39] B. Bouchon-Meunier, "La logique floue et ses applications", Addison-Wesley, SA, France, 1995.
- [40] L. L. Bello, G. A. Kaczynski, and O. Mirabella, "Improving the real-time behavior of ethernet networks using traffic smoothing", Industrial Informatics, IEEE Transactions on, vol. 1, Issue: 3, pp.151-161, 2005, doi:10.1109/TII.2005.852071.
- [41] W. Derigent, V. Bombardier, "Extraction de connaissances et reconnaissance automatique d'entités minces en aéronautique par règle linguistiques floues", 11ème Colloque National AIP PRIMECA, Produits, procédés et Systèmes industriels : les dernières innovations", La Plagne: France, 2009.
- [42] P.Y.Glorennec, "Algorithmes d'apprentissage pour systèmes d'inférence floue", HERMÈS, France, ISBN 9782746200449, 1999.
- [43] P.-Y. Glorennec, "Optimisation d'un SIF de structure donnée. Manuel utilisateur du logiciel sif.c",2000.
- [44] B. Bouchon-Meunier, "La logique floue et ses applications", Addison-Wesley, SA, France, 1995.
- [45] H. Bandemeret, and S. Gottwald, "Fuzzy sets, fuzzy logic, fuzzy methods with applications ", Wiley, 1995.
- [46] S. Z. Boujelbene, D. Ben Ayed Mezghani, and N. Ellouze, "Systèmes à Inférences Floues pour la Classification Phonémique", SETIT 4th International Conference: Sciences of Electronic, Technologies of Information and Telecommunications, Tunisia, 2007.
- [47] R. Alcalá, J. Casillas, O. Cordon, and F. Herrera, "Approximate Mamdani-type Fuzzy Rule-Based Systems : Features and Taxonomy of Learning Methods", Department of computer Science and

- Artificial Intelligence, University of Granada, E.T.S-Ingenieria Informatica, Spain, 1998.
- [48] Y. Nakoula, "Apprentissage des modèles linguistiques flous par jeu de règle pondérée", thèse électronique- électrotechnique- automatique, Ecole Supérieure d'Ingénieurs d'Annecy, 1997.
- [49] Y. Dodge, "The Concise Encyclopaedia of Statistics", New York, Springer, PP. 451-452, 2010.
- [50] A. M. Legendre, "Nouvelles méthodes pour la détermination des orbites des comètes", Paris, F. Didot, PP.80,1805.
- [51] Francis Galton, "Regression Towards Mediocrity in Hereditary Stature", Journal of the Anthropological Institute, vol. 15,p. 246-263, 1886.
- [52] R. Palm and A.F. Iemma,"Quelques alternatives à la régression classique dans le cadre de la colinéarité", Revue de Statistique Appliquée, PP. 5-33, vol. 43, no 2, 1995.
- [53] Robert Tibshirani, "Regression shrinkage and selection via the lasso", Journal of the Royal Statistical Society, vol. 58, no 1, PP. 267-288, 1996.
- [54] T. Foucart, "Colinéarité et Régression Linéaire", Mathématiques et Sciences humaines, vol. 1, no 173,PP. 5-25, 2006.
- [55] D. C. Montgomery, E. A. Peck, et G. G. Vining, "Introduction to Linear Regression Analysis", 4th Edition, John Wiley, 2006.
- [56] J. Johnston "Econometric Methods", third edition, ISBN: 0070326851, PP. 171, 1984.
- [57] G. Adomavicius and A.Tuzhilin, "Toward the next generation of recommender systems: a survey of the State-of-the-Art and Possible Extensions". IEEE Trans. Knowledge and Data Eng., 17, 6(2005), PP. 734-749, 2005.
- [58] X. Ge, J. Liu, Q. Qi, and Z. Chen, "A new prediction approach based on linear regression for collaborative filtering", Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD), Eighth International Conference on, doi: 10.1109/FSKD.2011.6020007, PP. 2586 – 2590, vol: 4, 2011.
- [59] W. Navidi, "Statistics for engineers and scientists", 2nd ed. McGraw-Hill, 2008.
- [60] Silva, H.; Figueiredo, L.; Rabadao, C.; Pereira, A.; "Wireless Networks Interoperability - Wifi Wimax Handover " Systems and Networks Communications, 2009. ICSNC '09. Fourth International Conference on
- [61] D. Johnson, C. Perkins, J. Arkko, "RFC 3775 - Mobility Support in IPv6", June 2004 (<http://www.ietf.org/rfc/rfc3775.txt>).
- [62] Tiwari, V.; Kansal, S.; Gaiwak, A.; "Performance Evaluation of TCP variants using Media Independent Handover in Heterogeneous network", Computer and Communication Technology (ICCT), 2010 International Conference on.
- [63] B. R. Chandavarkar, Dr. G. Ram Mohana Reddy; "Improvement in Packet Drop during Handover between WiFi and WiMax", International Conference on Network and Electronics Engineering 201.
- [64] Fu Jiadi; Ji Hong; Li Xi; "User-Adaptive Vertical Handover Scheme Based on MIH for Heterogeneous Wireless Networks", Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, 2009. WiCom '09. 5th International Conference .
- [65] Wang Ying; Zhou Yun; Yuan Jun; Zhang Ping; "An Enhanced Media Independent Handover Framework for Heterogeneous Networks", Vehicular Technology Conference, 2008. VTC Spring 2008. IEEE
- [66] Gustafsson, E.; Jonsson, A.; "Always best connected", Wireless Communications, IEEE, 2003
- [67] Iera, A.; Molinaro, A.; Campolo, C.; Amadeo, M.; "An Access Network Selection Algorithm Dynamically Adapted to User Needs and Preferences", Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2006 IEEE 17th International Symposium on
- [68] Olga Ormond, Gabriel-Miro Muntean²,John Murphy; "Network Selection Strategy in Heterogeneous Wireless Networks",
- [69] Yoon Young An et al. Reduction of Handover Latency Using MIH Services in MIPv6, Advanced Information Networking and Applications, 2006. AINA 2006. 20th International Conference on
- [70] Byung-Kil Kim et al. "Enhanced FMIPv4 Horizontal Handover with Minimized Channel Scanning Time based on Media Independent Handover (MIH)", Network Operations and Management Symposium Workshops, 2008. NOMS Workshops 2008. IEEE
- [71] Service flow identifier in proxy mobile IPv6. draft 3, IETF. <http://tools.ietf.org/html/draft-hui-netext-service-flow-identifier-03> accédé le 20 Septembre 2010.
- [72] Goya Choi; Bokki Kim; Sangwon Min; " A Novel MIH Handover Procedure for Efficient PMIPv6 Network ", Information and Communication Technology Convergence (ICTC), 2010

- International Conference on
- [73] 3GPP TS 05.08, 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group GERAN; Digital Cellular Telecommunications System (Phase 2+); Radio Subsystem Link Control (Release 1999).
- [74] J.M. Arraez, M. Esseghir, and L. Merghem-Boulaiah, "An Implementation of Media Independent Information Services for the Network Simulator NS-2", IEEE Consumer Communications and Networking Conference (CCNC), 2011.
- [75] A.Cezar. "Practical Approach of Implementing Media Independent Information Service from IEEE 802.21 Standard", Wireless Communication, Vehicular Technology, Information Theory and Aerospace & Electronics Systems Technology, Wireless VITAE 2009. 1st International Conference on, 2009.
- [76] Arraez, J.M. Esseghir, M. Merghem-Boulaiah, L.; "An Implementation of Media Independent Information Services for the Network Simulator NS-2", Consumer Communications and Networking Conference (CCNC), 2011 IEEE
- [77] Antohe Cezar. "Practical Approach of Implementing Media Independent Information Service from IEEE 802.21 Standard", Wireless Communication, Vehicular Technology, Information Theory and Aerospace & Electronics Systems Technology, 2009. Wireless VITAE 2009. 1st International Conference on.
- [78] Andrei, V. Popovici, E.C. Fratu, O. Halunga, S.V. "Solution for Implementing IEEE 802.21 Media Independent Information Service", Communications (COMM), 2010 8th International Conference on.
- [79] Andrei, Valentin; Popovici, Eduard C.; Fratu, Octavian; Halunga, Simona V. "Development of an IEEE 802.21 Media Independent Information Service", Automation Quality and Testing Robotics (AQTR), 2010 IEEE International Conference on.
- [80] Cicconetti, C.; Galeassi, F.; Mambrini, R. "Network-Assisted Handover for Heterogeneous Wireless Networks", GLOBECOM Workshops (GC Wkshps), 2010 IEEE
- [81] Khan, M.Q.; Andresen, S.H. "An Intelligent Scan Mechanism for 802.11 Networks by Using Media Independent Information Server (MIIS)", Advanced Information Networking and Applications (WAINA), 2011 IEEE Workshops of International Conference on. 2011
- [82] S. Murawwat and T. Javaid, "Speed & Service based Handover Mechanism for cellular WiMAX", Computer Engineering and Technology (ICCET), 2nd International Conference on, doi: 10.1109/ICCET.2010.5486067, vol. 1, PP. V1-418-V1-422, April 2010.
- [83] Z. Zhao, "Wi-Fi in High-Speed Transport Communications", Intelligent Transport Systems Telecommunications, (ITST), 9th International Conference on, doi: 10.1109/ITST.2009.5399314, PP. 430-434, Oct. 2009.
- [84] M. Thaalbiet and N. Tabbane, "Vertical Handover between WiFi Network and WiMAX Network According to IEEE 802.21 Standard", Technological Developments in Networking, Education and Automation, PP. 533-537, doi: 10.1007/978-90-481-9151-2_93, , 201.
- [85] C. F. Kwong and T. C. Chuah, et S. W. Lee, "Adaptive Network Fuzzy Inference System (ANFIS) Handoff Algorithm", International Journal of Network and Mobile Technologies ISSN 1832-6758 Electronic Version, vol. 1, no. 2, Nov. 2010.
- [86] P. Dhandet and P. Dhillon, "Handoff Optimization for Wireless and Mobile Networks using Fuzzy Logic", International Journal of Computer Application, vol. 63, No.14, PP. 0975 – 8887, Feb. 2013.
- [87] P. T. Keneet and M. S. Madankar, "FLC Based Handoff Mechanism for Heterogeneous Wireless Network: A Design Approach", International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, ISSN 2250-2459, ISO 9001:2008, Certified Journal, Vol. 3, Issue 2, Feb. 2013.
- [88] T. C. Ling, J. F. Lee, and K. P. Hoh, "Reducing Handoff Delay In Wlan Using Selective Proactive Context Caching", Malaysian Journal of Computer Science, vol. 23, No. 1, pp. 49-59, 2010.
- [89] Z. Yan, et al., "An adaptive multi-criteria vertical Handover framework for heterogeneous networks", in Proceedings of the International Conference on Mobile Technology, Applications, and Systems, PP. 141-147, Sep. 2008.
- [90] K. Vasu, S. Maheshwari, S. Mahapatra, and C. S. Kumar, "QoS aware fuzzy rule based vertical handoff decision algorithm for wireless heterogeneous networks", in Proceedings of the National Conference on Communications (NCC '11) , PP. 1-5, Jan. 2011.
- [91] A. S. Sadiq, K. Abu Bakar, and K. Z. Ghafour, "A Fuzzy Logic Approach for Reducing Handover

- Latency in Wireless Networks", *Journal of Network Protocols and Algorithms*, ISSN 1943-3581, vol. 2, No. 4, 2010.
- [92] A. Aziz, S. Rizvi, and N. M. Saad, "Fuzzy Logic based Vertical Handover Algorithm between LTE and WLAN", *Intelligent and Advanced Systems (ICIAS) International Conference on*, doi:10.1109/ICIAS.2010.5716261, PP. 1-4, 2010.
- [93] T. Thumthawatworn, A. Pervez, and P. Santiprabhob, "Adaptive Modular Fuzzy-based Handover Decision System for Heterogeneous Wireless Networks", *International Journal of Networks and Communications*, doi:10.5923/j.ijnc.20130301.04, PP. 25-38, 2013.
- [94] V. S. Krishna and L. Rajesh, "Implementation of Fuzzy Logic for Network Selection in Next Generation Networks", *Recent Trends in Information Technology (ICRTIT)*, International Conference on, doi: 10.1109/ICRTIT.2011.5972475, PP. 595–600, 2010.
- [95] P. Munoz, R. Barco, I. de la Bandera, and S. M. Luna-Ramírez, "Optimization of a Fuzzy Logic Controller for Handover-based Load Balancing", *Vehicular Technology Conference (VTC Spring)*, IEEE 73rd, doi:10.1109/VETECS.2011.5956148, PP. 1–5, 2011.
- [96] K. C. Foong, C. T. Chee, and L. S. Wei, "Adaptive Network Fuzzy Inference System (ANFIS) Handoff Algorithm", *Future Computer and Communication, ICFCC 2009*, International Conference on, doi:10.1109/ICFCC.2009.95, PP. 195–198, 2009.
- [97] Takagi and M. Sugeno, "Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control", *IEEE Transactions on Systems Man And Cybernetics*, vol. 15, no. 1, PP. 116–132, 1985.
- [98] E. Mamdani, and S. Assilian, "An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller", *International Journal of Man-Machine Studies*, vol. 7, no. 1, PP. 1 – 13, 1975.
- [99] A. Kaur and A. Kaur, "Comparison of mamdani-type and sugeno-type fuzzy inference systems for air conditioning system", *International Journal of Soft Computing and Engineering*, vol. 2, no. 2, 2012.
- [100] R. Hsieh, Z. G. Zhou, and A. Seneviratne, "S-MIP: A seamless handoff architecture for mobileIP," *IEEE INFOCOM03*, pp. 1774-1784, Apr. 2003
- [101] I. Akyildiz and W. Wang, "The predictive user mobility profile framework for Wireless multimedia networks", *IEEE/ACM Trans. Networking*, Vol. 12, No. 6, PP. 1021-1035, Dec. 2004.
- [102] Y. H. Choi, J. Park, Y. Chung, and H. Lee, "Cross-Layer Handover optimization using linear regression model", *Information Networking, ICOIN International Conference on*, doi:10.1109/ICOIN.2008.4472829, PP.1 – 4, 2008.
- [103] A. A. Feki, E. Moulines, and E. Villebrun, "Exploiting radio measurements in wireless mobile networks with advanced signal processing", *Wireless and Mobile Communications, ICWMC '07. Third International Conference on*, doi:10.1109/ICWMC.2007.41, PP. 28-33, 2008.
- [104] M. Toril, S. Luna-Ramirez, V. Wille, and R. Skehill, "Analysis of user mobility statistics for cellular network re-structuring", *Vehicular Technology Conference, VTC Spring 2009. IEEE 69th*, doi: 10.1109/VETECS.2009.5073398, PP. 1 - 5, 2009
- [105] M. I. Tiwana, B. Sayrac, and Z. Altman, "Statistical learning for automated RRM: application to eUTRAN Mobility", *Communications, ICC '09. IEEE International Conference on*, doi:10.1109/ICC.2009.5199489, PP. 1 - 5, 2009.
- [106] J. T. Chien, "Linear regression based Bayesian predictive classification for speech recognition", *Speech and Audio Processing, IEEE Transactions on*, doi:10.1109/TSA.2002.805640, PP. 70 - 79, vol. 11, Issue: 1, 2003.
- [107] M. I. Tiwana, B. Sayrac, Z. Altman, and T. Chahed, "Troubleshooting of 3G LTE mobility parameters using iterative statistical model refinement", *Wireless Days (WD), 2009 2nd IFIP*, doi: 10.1109/WD.2009.5449704, PP. 1 - 5, 2009.
- [108] G. Adomavicius, and A. Tuzhilin, "Toward the next generation of recommender systems: a survey of the State-of-the-Art and Possible Extensions", *IEEE Trans. Knowledge and Data Eng.*, 17, 6(2005), 734-749, 2005.
- [109] X. Ge, J. Liu, Q. Qi, and Z. Chen, "A new prediction approach based on linear regression for collaborative filtering", *Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD)*, Eighth International Conference on, doi: 10.1109/FSKD.2011.6020007, PP. 2586 – 2590, vol. 4, 2011.
- [110] G. Casella and R. L. Berge, "Reconciling bayesian and frequentist evidence in the one-sided testing problem", *American Statistical Association Journal of the American Statistical Association*, pp. 135-140, Vol. 82, No. 397, March 1987.

ANNEXE A. LES PRIMITIVES DES POINTS D'ACCÈS DE SERVICE (SAP)

A.1. LES PRIMITIVES DU MIH_SAP

Les tableaux A.1 et A.2 donnent respectivement les primitives du MIH_SAP et MIH_LINK_SAP.

Tableau A.1: Les Primitives du MIH_SAP

Primitives	Service Category	Description
MIH Capability Discover	System Management	Discover list of Events and Commands supported by MIH Function.
MIH Event Register	Event	Register for MIH event notifications
MIH Event DeRegister	Event	Deregister for MIH event notifications
MIH Link Up	Event	L2 connection has been established
MIH Link Down	Event	L2 connectivity is lost
MIH Link Going Down	Event	L2 connectivity is predicted to go down
MIH Link Event Rollback	Event	Predicted event has not occurred and hence event indication must be rolled back
MIH Link Parameters Report	Event	Link parameters have crossed specified threshold
MIH Link SDU Transmit Status	Event	Indicate transmission status of all PDU segments
MIH Link Handover Imminent	Event	L2 handover is imminent
MIH Link Handover Complete	Event	L2 handover has been completed
MIH Get Status	Command	Get the status of link
MIH Switch	Command	Switch session between specified links
MIH Configure	Command	Configure link parameters and parameter thresholds
MIH Configure Thresholds	Command	Configure thresholds for Link events
MIH Scan	Command	Scan the network

MIH Handover Initiate	Command	Initiate handover
MIH Handover Prepare	Command	Prepare for handover and query available resources
MIH Handover Commit	Command	Mobile node has committed to handover
MIH Handover Complete	Command	Handover has been completed
MIH Network Address Information	Command	Obtain network address on new link
MIH Get Information	Information	Request to get information from repository

Tableau A.2: Les Primitives du MIH_LINK_SAP

Primitives	Service Category	Description
Link Event Discover	System Management	Discover link capabilities
Link Event Register	Event	Register for event notifications
Link Event Deregister	Event	Deregister for event notifications
Link Configure Thresholds	Command	Configure link thresholds for Link events
Link Up	Event	L2 connectivity is established
Link Down	Event	L2 connectivity is lost
Link Going Down	Event	L2 connectivity loss is imminent
Link Event Rollback	Event	Predicted event has not occurred and hence event indication must be rolled back.
Link Parameters Change	Event	Link parameters have crossed specified thresholds
Link SDU Transmit Status	Event	Indicate transmission status of all PDU segments
Link Handover Imminent	Event	L2 handover is imminent
Link Handover Complete	Event	L2 handover has been completed
Link Get Information	Information	Request for IEs

ANNEXE B. FLUX DE MESSAGES DES SERVICES DU MIHF

B.1. DIRECTION DE FLUX D'INFORMATION MIHF

Les services MIES et MICS et MIIS définissent un ensemble de primitifs lui permettant de communiquer avec *Media Independent Handover Function* MIHF. Le tableau B.1 donne la liste des événements du MIES et le tableau B.2 donne les primitifs du service MICS. Les primitifs du service MISS sont donnés par le tableau B.3.

Tableau B.1: Les événements du service MIES

Type de l'évènement	Nom de l'évènement	Description	(L)ocal (R)emote	Direction
Link Events				
State Change	Link Up	L2 connection is established and link is available for use	-	-
State Change	Link Down	L2 connection is broken and link is not available for use	-	-
Predictive	Link Going Down	Link conditions are degrading & connection loss is imminent	-	-
State Change	Link Detected	New link has been detected	-	-
Link Parameters	Link Parameters Change	Link parameters have crossed specified threshold	-	-
Administrative	Link Event Rollback	Previous link event needs to be rolled back	-	-
Link Transmission	Link SDU Transmit Status	Indicate transmission status of all PDU segments	-	-
Link Synchronous	Link Handover Imminent	L2 handover is imminent based on changes in link conditions	-	-
Link Synchronou	Link Handover	L2 link handover to a new PoA has been completed	-	-

s	Complete			
MIH Events				
State Change	MIH Link Up	L2 connection is established and link is available for use	L, R	Client -> Network Network -> Network
State Change	MIH Link Down	L2 connection is broken and link is not available for use	L, R	Client -> Network Network -> Network
Predictive	MIH Link Going Down	Link conditions are degrading & connection loss is imminent	L, R	Client -> Network Network -> Network Network -> Client
State Change	MIH Link Detected	New link has been detected	L, R	Client -> Network Network -> Network
Link Parameters	MIH Link Parameters Report	Link parameters have crossed specified threshold and need to be reported	L, R	Client -> Network Network -> Network Network -> Client
Administrative	MIH Link Event Rollback	Previous link event needs to be rolled back	L, R	Client -> Network Network -> Network Network -> Client
Link Transmission	MIH Link SDU Transmit Status	Indicate transmission status of all PDU segments	L	N/A
Link Synchronizations	MIH Link Handover Imminent	L2 handover is imminent based on changes in link conditions	L, R	Client -> Network Network -> Network Network -> Client
Link	MIH Link	L2 link handover to a new	L, R	Client -

Synchronou s	Handover Complete	PoA has been completed		>Network Network -> Network Network -> Client
-----------------	----------------------	------------------------	--	---

Tableau B.2: Les évènements du service MICS

Command	(L)ocal (R)emote	Direction	Comments
MIH Commands			
MIH Get Status	L, R	Network -> Client	Get the status of links
MIH Switch	L, R	Network -> Client	Switch the links as specified
MIH Configure	L, R	Network -> Client	Configure a link
MIH Configure Thresholds	L,R	Network-> Client	Configures thresholds for link events
MIH Scan	L, R	Network -> Client	Scan a link
MIH Handover Initiate	L, R	Client -> Network Network -> Client	Network or client may initiate handover and send a list of suggested networks and associated Points of Attachment
MIH Handover Prepare	L, R	Network->Network	This command is sent by current MIHF entity to target MIHF entity to allow for resource query and handover preparation
MIH Handover Commit	L, R	Client -> Network Network -> Client	In this case the client or network commits to do the handover and sends the choice of selected network and associated PoA
MIH Handover Complete	L, R	Client -> Network Network->Network	Notification from new serving MIHF to previous serving MIHF indicating handover completion, and any pending packets may now be forwarded to the new MIHF
MIH Network Address Information	L, R	Network->Network	Sent from current serving MIHF entity to target MIHF entity to obtain reconfigured network address on target network for the client
Link Commands			

Link Configure Thresholds	-	-	Configure the thresholds for various link layer events such as Link Going Down
---------------------------	---	---	--

Tableau B.3: Éléments d'information du service MIIS

Éléments d'informations (IE)	Catégorie	Description
IE_OPERATOR_ID	General IE	Identifier of operator, can be a domain name
IE_COST	Access Network Specific IEs	Monetary cost
IE_NETWORK_QoS		Link Layer QoS of access network
IE_NETWORK_DATA_RATE		Max value of access n/w data rate
IE_NET_FREQUENCY_BANDS		In KHz for broadband and cellular networks
IE_NET_IP_CFG_METHODS		DHCP, Foreign Agent, etc. along with their IP addresses, Helpful in IP acquisition
IE_NET_CAPABILITIES		Internet access, MIH capability, etc.
IE_NET_MOB_MGMT_PROT		Proxy-based mobility protocols
IE_PoA_LINK_ADDR		Point of Attachment (PoA) Specific IEs
IE_PoACHANNEL_RANGE	Channel range in which Po Ais communicating	