

# UNIVERSITE KASDI-MERBAH OUARGLA

Faculté des Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication  
Département d'Informatique et des Technologies de l'Information

## Thèse de Doctorat

Spécialité : **Systemes et réseaux informatiques**

Option : **Ingénierie des Réseaux et communication**

Pour obtenir le diplôme de

**Doctorat Troisième Cycle en Informatique**

Présentée par :

**Safia Gueziz**

*Sujet de la Thèse*

**Contribution à la simulation et l'émulation des Réseaux sans fil  
de dernière génération**

**Encadrer par :** Dr. Ahmed Korichi

**Soutenu le :** 25 Juin 2019

**Devant le jury composé de :**

Mohamed Said Said	MCA	Université de Ouargla	Président
Mohamed Lamine Kherfi	MCA	Université de Ouargla	Examineur
Brahim Lejdel	MCA	Université Hamma Lakhdar El-Oued	Examineur
Ahmed Korichi	MCA	Université de Ouargla	Rapporteur

Juin 2019

## **Remerciements**

*Je tiens à exprimer toute ma gratitude et ma reconnaissance envers Monsieur le Dr. Ahmed Korichi, Maitre de Conférences Habilité en informatique à l'Université de Ouargla, qui a dirigé ce travail, pour son soutien, pour la sympathie qu'il m'a témoignée et pour la liberté de recherche qu'il a bien voulu me laisser. Je remercie encore une deuxième fois le Dr. Ahmed Korichi comme président du comité de formation doctorale SRI pour cette formation en or qui nous a offrir,*

*Je tiens à exprimer toute ma gratitude et ma reconnaissance envers Monsieur le Dr. Dris Korichi de m'avoir fait l'honneur d'être mon encadreur au début de ce travail. Vous trouvez ici toute ma reconnaissance.*

*Je remercie vivement Monsieur le Dr. Said Mohamed Said, Maitre de Conférences Habilité à l'Université de Ouargla, de m'avoir fait l'honneur d'être président de mon jury.*

*Je remercie très sincèrement Monsieur le Dr Mohamed Lamine Kherfi, Maitre de Conférences Habilité à l'université de Ouargla, d'avoir accepté de faire partie de mon jury de thèse.*

*Je remercie très sincèrement Monsieur le Dr Brahim Lejdel, Maitre de Conférences Habilité à l'université Hamma Lakhdar El-Oued, d'avoir accepté de faire partie de mon jury de thèse.*

*Je ne pourrais terminer sans remercier mon père, ma mère et ma famille. Je suis très reconnaissante envers mon mari qui m'a soutenu et encouragé pour terminer ce travail, ainsi que tous mes amis qui m'ont encouragé à poursuivre mes études. Que mes parents tout particulièrement trouvent ici ma reconnaissance.*

*Safia Gueziz,*

# Résumé

L'une des défis majeurs dans les réseaux sans fil de nouvelle génération (NGWS : Next Generation wireless Network) est le handover vertical (VHO) au cours de la mobilité de l'utilisateur entre les différents types de technologies (3GPP et non-3GPP) tels que Global System for Mobile Communication (GSM), Wireless Fidelity (Wi-Fi), Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX), Universal mobile Telecommunications System (UMTS) et long Term Evolution (LTE). Par conséquent, les opérateurs de télécommunication sont tenus d'élaborer une stratégie d'interopérabilité pour ces différents types de réseaux existants pour obtenir la meilleure connexion partout, à tout moment, sans interruption des sessions en cours. Nous proposons une nouvelle approche de VHO optimisée basée sur des approches VHO qui ont été étudiés dans la littérature et de prendre en considération les problèmes de recherche et des conclusions qui sont apparues dans nos enquêtes. L'approche proposée démontre une meilleure performance (perte de paquets, la latence et assurer la continuité de session de communication au cours de Handover) par rapport à celle trouvée dans la littérature. Il se compose d'une procédure qui est composée de trois phases : (Initiation de Handover, Décision de Handover et Exécution de Handover) et un algorithme de décision pour choisir le meilleur réseau parmi les disponibles dans la phase de Décision de Handover. La procédure proposée basée sur le standard IEEE 802.21 (MIH), une architecture de couplage lâche et Mobile Internet Protocol version 4 (MIPv4) qui fournit tampon tôt pour les nouveaux paquets de données pour minimiser la perte de paquets et la latence de VHO. L'algorithme de décision proposé est composé de deux fonctions de sélection de VHO (ANSFi, ANSFa) et une liste de priorité des différents Radio Access Technologies (RAT). Nous considérons deux types principaux de VHO : cas impérative de VHO en raison de puissance du signal radio (RSS) va vers le bas, dans ce cas appliqué la fonction de sélection ANSFi ou cas alternative de VHO en fonction des préférences de l'utilisateur (par exemple, débit de données élevé, faible coût) appliqué la fonction de sélection ANSFa pour donner une liste des RAT de priorité basé sur ANSFi ou ANSFa pour minimiser l'échec de la connexion de VHO et donner la priorité aux sessions impératives plus sessions alternatives. L'analyse des résultats de simulation démontrent alors que notre approche proposée dépasse les autres approches traditionnelles en termes de la réduction de latence de Handover Vertical et de perte de paquet et assurer la continuité de session de communication au cours de Handover.

Mots clés : Réseaux mobiles, Réseaux sans fil, Simulation, emulation

## Abstract

One of the major challenges in wireless networks of new generation (NGWS : Next Generation wireless Network) is the handover vertical (VHO) during the mobility of the user between the different types of technologies (3GPP and non-3GPP) such as Global System for Mobile Communication (GSM), Wireless Fidelity (Wi-Fi), Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX), Universal mobile Telecommunications System (UMTS) and long Term Evolution (LTE). As a result, telecommunications operators are required to develop an interoperability strategy for these different types of existing networks in order to obtain the best connection anywhere, at any time, without interruption of the current sessions. We propose a new optimized VHO approach based on VHO approaches that have been studied in the literature and take into account the research problems and findings that have appeared in our investigations. The proposed approach demonstrates better performance (packet loss, latency and to ensure the continuity of the communication session during Handover) compared to that found in the literature. It consists of a procedure which is composed of a three-phase: (Handover Initiation, Handover decision and Handover execution) and a decision algorithm to choose the best network among available in the Handover decision phase. The proposed procedure based on IEEE 802.21 (MIH), a loose coupling architecture and Mobile Internet Protocol Version 4 (MIPv4) that provides early buffer for new data packets to minimize packet loss and VHO latency. The proposed decision algorithm consists of two VHO selection functions (ANSFi, ANSFa) and a priority list of different Radio Access Technologies (RAT). We consider two main types of VHO: imperative VHO case due to the power of the radio signal (RSS) goes down, in this case applied ANSFi selection function or alternative VHO case based on user preferences (e.g., high data throughput, low cost) applied ANSFa selection function to give a list of priority RAT based on ANSFi or ANSFa to minimize the failure of the VHO connection and gives priority to Imperative sessions plus alternative sessions. The analysis results of the simulation shows that our proposed approach exceeds other traditional approaches in terms of vertical Handover latency reduction and packet loss and ensure continuity of communication session during Handover.

Key words: Mobile Networks, Wireless Networks, simulation, emulation

## ملخص

واحدة من التحديات الرئيسية في الشبكات اللاسلكية من الجيل الجديد ( NGWS : الجيل القادم الشبكة اللاسلكية) هو النقل الرأسي (VHO) أثناء تنقل المستخدم بين أنواع مختلفة من التقنيات (GPP 3 و غير GPP 3) مثل النظام العالمي للاتصالات المتنقلة (GSM) ، شبكات لاسلكية (Wi-Fi) ، شبكات التشغيل المتبادل على نطاق العالم من أجل الوصول إلى الموجات الدقيقة (WiMAX) ، النظام العالمي للاتصالات السلكية واللاسلكية المتنقلة (UMTS) و شبكات التطور طويلة الأجل (LTE) لذلك ، يتعين على مشغلي الاتصالات تطوير استراتيجية للتشغيل البيئي لهذه الأنواع المختلفة من الشبكات الحالية للحصول على أفضل اتصال في أي مكان وفي أي وقت دون مقاطعة الجلسات المستمرة.لدى نقترح نهجًا جديدًا ل النقل الرأسي ( Handover Vertical ) مُحسّن استنادًا إلى أساليب النقل الرأسي التي تمت دراستها ونأخذ في الاعتبار مشاكل البحث والاستنتاجات التي ظهرت في استطلاعاتنا. يوضح النهج المقترح أداءً أفضل (من حيث فقد الحزمة ، زمن الوصول ، واستمرارية جلسة التواصل عبر التسليم) مقارنةً بتلك الموجودة في الدراسات السابقة يتكون من إجراء يتكون من ثلاث مراحل: (بدء التسليم ، قرار التسليم ، تنفيذ التسليم) وخوارزمية قرار لاختيار أفضل شبكة من بين تلك المتاحة في مرحلة قرار التسليم. يستند الإجراء المقترح إلى معيار (IEEE 802.21 MIH) وهيكل اقتراح سائب (loose coupling) وإصدار بروتوكول الإنترنت المتنقل 4 (MIPv4) الذي يوفر مخزنًا مؤقتًا مبكرًا لحزم البيانات الجديدة لتقليل فقد الحزمة وتقليل زمن الانتقال العمودي (التنقل الراسي). تتكون خوارزمية القرار المقترحة من دالتين لاختيار الشبكة (هما ANSFi و ANSFa) وقائمة أولويات لتقنيات الوصول اللاسلكي المختلفة (RAT). نحن نعتبر نوعين رئيسيين من التنقل الراسي: الحالة الملحة بسبب الانخفاض في قوة إشارة الراديو (RSS) ، وفي هذه الحالة نطبق دالة الاختيار ANSFi أو الحالة البديلة وفقًا لتفضيلات المستخدم (على سبيل المثال ، معدل البيانات المرتفع ، التكلفة المنخفضة) نطبق دالة الاختيار ANSFa لإعطاء قائمة من RAT ذات الأولوية بناءً على ANSFi أو ANSFa لتقليل فشل اتصال التنقل الراسي ويعطي الأولوية للجلسات الحتمية بالإضافة إلى الجلسات البديلة. يوضح تحليل نتائج المحاكاة أن طريقتنا المقترحة أحسن من الطرق التقليدية الأخرى من حيث تقليل زمن التنقل الراسي وفقدان الرزم وضمان استمرارية جلسة الاتصال أثناء التنقل الراسي .

كلمات مفتاحية : شبكات متنقلة , شبكات لاسلكية , محاكاة,

# Table des matières

Résumé

Abstract

ملخص

Table des matières

Liste des figures

Liste des tables

Liste des acronymes

Chapitre 1 Introduction Générale .....	14
1.1. Introduction.....	17
1.2. Tendances technologiques .....	17
1.3. Contexte de la thèse.....	18
1.4. Les réseaux NGN.....	18
1.5. Problématique .....	23
1.6. Objectives et Contribution .....	24
1.7. Structure de thèse .....	25
Chapitre 2 Revue de littérature sur la gestion de Handover Vertical dans les réseaux NGN .....	27
2.1. Introduction.....	28
2.2. Évolution des réseaux sans fil :.....	28
2.2.1. GSM (Global System for Mobile Communication) .....	29
2.2.2. UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) .....	31

2.2.3.	Les réseaux WiFi (Wireless Fidelity) .....	38
2.2.4.	Les réseaux WiMAX .....	44
2.2.5.	La technologie LTE .....	51
2.2.6.	Réseau mobile de prochaine génération (4G).....	54
2.3.	Les réseaux sans fil de dernière génération NGN .....	57
2.4.	Gestion de Handover dans les réseaux NGN.....	57
2.4.1.	Classifications de Handover.....	58
2.4.2.	Terminal mobile multimode de Handover : .....	61
2.4.3.	Critères de Handover : .....	62
2.5.	Techniques de Handover Vertical dans les réseaux NGWN : .....	65
2.5.1.	Cadres d'interfonctionnement : .....	66
2.5.2.	Architectures d'interfonctionnement : .....	78
2.5.3.	Protocoles de gestion de mobilité.....	83
2.5.4.	Algorithmes de Décision de Handover Vertical et discussion .....	85
2.6.	Méthodologie d'évaluation des réseaux NGN .....	87
2.6.1.	Les paramètres à évaluer .....	88
2.6.2.	Outils de simulation de handover vertical dans les réseaux NGN .....	90
2.6.3.	Le simulateur NS 2.29 .....	92
2.7.	Conclusion .....	93
Chapitre 3 Une nouvelle Procédure de Handover dans les Réseaux NGN.....		95
3.1.	Introduction.....	96
3.2.	Notre Approche Proposée.....	96

3.2.1.	Notre procédure : .....	97
3.2.2.	Modélisation analytique de la procédure proposée .....	102
3.2.3.	Résultats analytiques et discussions sur la procédure proposée .....	115
3.3.	Conclusion .....	118
Chapitre 4 Proposition d'un algorithme de décision pour améliorer le VHO dans les réseaux NGN . 119		
4.1.	Introduction.....	120
4.2.	Algorithme de décision Proposé .....	120
4.2.1.	Fonction de sélection de réseau d'accès : .....	122
4.2.2.	Intégration de notre solution sous le mobile terminal .....	125
4.2.3.	Scénario et paramètres de Simulation .....	126
4.2.4.	Résultats de simulation et discussion.....	131
4.3.	Conclusion .....	135
Chapitre 5 Proposition d'un modèle d'émulation de Handover Vertical dans les réseaux NGN..... 137		
5.1.	Introduction.....	138
5.2.	Expérimentation par émulation .....	138
5.3.	Niveaux d'émulation d'un réseau :.....	140
5.3.1.	Emulation de niveau physique : .....	142
5.3.2.	Emulation de niveau liaison : .....	142
5.3.3.	Emulation de niveau réseau:.....	142
5.4.	Modèle d'architecture d'émulation : .....	143
5.4.1.	Type d'émulation :.....	143
5.4.1.1.	Émulation distribuée :.....	144



5.4.1.2.	Émulation centralisée : .....	144
5.4.1.3.	Approche hybride : .....	145
5.4.2.	Niveau conditionnement : .....	145
5.4.3.	Niveau modèle : .....	145
5.4.3.1.	L'émulation virtuelle : .....	146
5.4.3.2.	Émulation conduit par de la simulation temps réel : .....	146
5.4.3.3.	Émulation conduit par des traces : .....	146
5.5.	Fonctionnalités nécessaires à l'émulation : .....	147
5.5.1.	Reproduction d'expérience : .....	147
5.5.2.	Précision des conditions: .....	147
5.6.	Méthodologie d'émulation réseaux : .....	148
5.7.	Proposition d'un modèle d'émulation de VHO : .....	148
5.8.	Conclusion .....	150
Chapitre 6 Conclusion et perspectives .....		151
6.1.	Conclusion générale .....	152
6.1.1.	Bilan de l'étude réalisé .....	152
6.1.2.	Perspectives.....	154
Liste des Publication .....		155
Références Bibliographiques.....		156

## Liste des figures

<b>Figure 1.1:</b> Evolution des réseaux sans fil .....	19
<b>Figure 1.2 :</b> Architecture générique des réseaux NGN .....	21
<b>Figure 2.1:</b> Architecture du réseau GSM.....	30
<b>Figure 2.2:</b> Architecture générale de l'UMTS [P. Guy, 2008] .....	34
<b>Figure 2.3 :</b> Architecture détaillé d'UMTS [B. Tarek, 2010]. .....	35
<b>Figure 2.4 :</b> Couches Liaison et Physique du 802.11 [D. Khaled, 2011].....	40
<b>Figure 2.5 :</b> Pile protocolaire de WiMAX [B. Tarek, 2010] .....	46
<b>Figure 2.6 :</b> Architecture du WiMAX mobile [B. Tarek, 2010].....	49
<b>Figure 2.7 :</b> Architecture de l'EPS [B. Tarek, 2010] .....	54
<b>Figure 2.8 :</b> Classifications de Handover .....	58
<b>Figure 2.9 :</b> Paramètres utilisés pour la prise de décisions de Handover Vertical.....	63
<b>Figure 2.10 :</b> Media Independent Handover [IEEE 802.21 Tutorial, 2006].....	67
<b>Figure 2.11:</b> Architecture générale du standard 802.21[P. Payaswini et al, 2014] .....	68
<b>Figure 2.12 :</b> IP Multimédia Subsystem (IMS) .....	74
<b>Figure 2.13 :</b> Comparaison entre MIS et IMS (RAT: technologies d'accès radio).....	78
<b>Figure 2.14 :</b> comparaison entre MIH et IMS (Performances) .....	78
<b>Figure 2.15 :</b> Comparaison entre MIH et IMS (Méthodes d'évaluation) .....	78
<b>Figure 2.16 :</b> l'architecture de couplage lâche [X. Fangmin et al, 2009].....	79
<b>Figure 2.17 :</b> couplage serré au niveau GGSN [S. Benoubira et al, 2011] .....	81
<b>Figure 2.18 :</b> couplage serré au niveau RNC [S. Benoubira et al, 2011].....	82
<b>Figure 3.1 :</b> Phase Intialisation de notre Procédure Proposée .....	99
<b>Figure 3.2 :</b> Phase Decision de notre Procédure Proposée.....	100

<b>Figure 3.3:</b> Phase Execution de notre Procédure Proposée.....	101
<b>Figure 3.4 :</b> Schéma de la procédure de handover vertical propose.....	103
<b>Figure 3.5 :</b> Signalisation du temps pour notre procédure de handover vertical proposée .....	105
<b>Figure 3.6 :</b> Procédures de transfert PMIPv6 entre WLAN et Mobile WiMAX .....	109
<b>Figure 3.7 :</b> Procédures de handover PFMIPv6 entre WLAN et Mobile WiMAX .....	110
<b>Figure 3.8 :</b> Procédures de handover PMIPv6-IEEE 802.21 entre WLAN et Mobile WiMAX.....	111
<b>Figure 3.9 :</b> Procédure I AM 4 VHO.....	113
<b>Figure 3.10 :</b> comparaison de la latence des procédures de Handover Vertical.....	117
<b>Figure 3.11:</b> Comparaison de perte de paquets des procédures de Handover Vertical .....	117
<b>Figure 4.1 :</b> Notre Algorithme de décision Proposée .....	121
<b>Figure 4.2 :</b> Le standard MIH sous le Terminal Mobile .....	125
<b>Figure 4.3 :</b> Scénario de simulation.....	127
<b>Figure 4.4 :</b> Graphe de débit sur le temps.....	132
<b>Figure 4.5 :</b> Graphe de retard de bout en bout sur le temps.....	133
<b>Figure 4.6 :</b> Graphe de variation de latence de Handover sur le temps .....	134
<b>Figure 4.7 :</b> Comparaison de notre algorithme avec les autres en termes de latence de Handover....	135
<b>Figure 4.8 :</b> Comparaison de notre algorithme avec les autres en termes de perte de paquets .....	135
<b>Figure 5.1 :</b> Différents niveaux d'émulation réseau [H. Thalmensy, 2007] .....	141
<b>Figure 5.2 :</b> Classifications d'émulation d'un réseau.....	143
<b>Figure 5.3 :</b> Architecture d'émulation centralisée [H. Thalmensy, 2007].....	145
<b>Figure 5.4 :</b> Architecture d'un émulateur par simulation temps réel [H. Thalmensy, 2007] .....	146
<b>Figure 5.5 :</b> Méthode d'émulation [H. Thalmensy, 2007] .....	148
<b>Figure 5.6 :</b> Vue logique du modèle d'émulation de VHO à l'aide de cadre MIH.....	150

## Liste des tableaux

<b>Tableau 2.1:</b> Historique de standard d'IEEE 802.16 [I. Khalil, 2009] .....	45
<b>Tableau 2.2 :</b> Comparaison du contrôle de Handover .....	60
<b>Tableau 2.3 :</b> les évènements de couche liaison de réseau [O. Khattab, 2014] .....	69
<b>Tableau 2.4 :</b> informations des éléments de Handover [O. Khattab, 2014] .....	69
<b>Tableau 2.5 :</b> les command de Handover pour initialiser le Handover entre les réseaux.....	70
<b>Tableau 2.6 :</b> Résumé comparatif entre MIH et IMS.....	76
<b>Tableau 2.7 :</b> Comparaison entre les architectures d'interfonctionnement .....	83
<b>Tableau 3.1 :</b> Notations de Signalisation du temps pour notre procédure proposée .....	106
<b>Tableau 3.2 :</b> Paramètres d'entrée pour l'évaluation des performances de la modélisation analytique	116
<b>Tableau 4.1 :</b> Les caractéristiques de chaque technologie utilisée dans le scénario de simulation .....	128
<b>Tableau 5.1 :</b> les avantages et les désavantages des approches d'expérimentations .....	139

## Liste des acronymes

<b>2G</b>	Second Generation.
<b>3G</b>	Third Generation.
<b>3GPP</b>	3rd Generation Partnership Project.
<b>4G</b>	Fourth Generation.
<b>AAA</b>	Authentication, Authorisation and Accounting.
<b>ABC</b>	Always Best Connected.
<b>AC</b>	Admission Control.
<b>AGW</b>	Access Gateway.
<b>AHP</b>	Analytic Hierarchy Process.
<b>ANS</b>	Access Network Selection.
<b>AP</b>	Access Point.
<b>ASNGW</b>	Access Service Network Gateway.
<b>BE</b>	Best Effort.
<b>BER</b>	Bit Error Rate.
<b>BS</b>	Base Station.
<b>BSC</b>	Basic System Controller.
<b>BSS (GSM)</b>	Basic Service Set.
<b>BSS (Wi-Fi)</b>	Basic Station Subsystem.
<b>BTS</b>	Basic Transceiver System.
<b>BU</b>	Binding Update.
<b>CBR</b>	Constant Bit Rate.
<b>CDMA</b>	Code Division Multiple Access.
<b>CN</b>	Correspondent Node.
<b>CoA</b>	Care of Address.
<b>DHCP</b>	Dynamic Host Configuration Protocol.
<b>DL</b>	Down Link.
<b>DSL</b>	Digital Subscriber Line.
<b>EDGE</b>	Enhanced Data Rates for Global System for Mobile Communication Evolution.
<b>EPC</b>	Evolved Packet Core.
<b>ESS</b>	Extended Service Set.
<b>ETSI</b>	European Telecommunication Standards Institute.
<b>E-UTRAN</b>	Evolved Universal Mobile Telecommunications System Terrestrial Radio Access Network.
<b>FA</b>	Foreign Agent.
<b>FDD</b>	Frequency Division Duplex
<b>FIS</b>	Fuzzy logic Inference System.

<b>FL</b>	Fuzzy Logic.
<b>FTP</b>	File Transfer Protocol.
<b>GGSN</b>	Gateway General Packet Radio Service Support Node.
<b>GPRS</b>	General Packet Radio Service.
<b>GSM</b>	Global System for Mobile Communication.
<b>HA</b>	Home Agent.
<b>HAWAII</b>	Handover Aware Wireless Access Internet Infrastructure.
<b>HHO</b>	Horizontal Handover.
<b>HIP</b>	Host Identity Protocol.
<b>HL</b>	Handover Latency.
<b>HLR</b>	Home Location Register.
<b>HSDPA</b>	High Speed Downlink Packet Access.
<b>HSPA</b>	High Speed Packet Access.
<b>HSS</b>	Home Subscriber Service.
<b>IBSS</b>	Independent Basic Service Set.
<b>IEEE</b>	Institute of Electrical and Electronics Engineers.
<b>IETF</b>	Internet Engineering Task Force.
<b>IMS</b>	Internet Protocol Multimedia Subsystem.
<b>IMT-Advanced</b>	International Mobile Telecommunication-Advanced.
<b>IPTV</b>	Internet Protocol Television.
<b>ISDN</b>	Integrated Services Digital Network.
<b>ITU-R</b>	International Telecommunication Radio Communication Sector.
<b>LC</b>	Loose Coupling.
<b>LCWC</b>	Loosely Coupled WiMAX Cellular.
<b>LMA</b>	Local Mobility Anchor.
<b>LTE</b>	Long Term Evolution.
<b>MAC</b>	Medium Access Control.
<b>MADM</b>	Multiple Attribute Decision Making.
<b>MAG</b>	Mobile Access Gateway.
<b>MAN</b>	Metropolitan Area Network.
<b>MCC</b>	Mobile Country Code.
<b>MCHO</b>	Mobile Controlled Handover.
<b>MCNA</b>	Mobile Controlled Network Assisted.
<b>ME</b>	Mobile Equipment.
<b>MF</b>	Membership Function.
<b>MICS</b>	Media Independent Command Service.
<b>MIES</b>	Media Independent Event Service.
<b>MIH</b>	Media Independent Handover.
<b>MIHF</b>	Media Independent Handover Function.
<b>MIIS</b>	Media Independent Information Service.
<b>MIPv4</b>	Mobile Internet Protocol version 4.
<b>MIPv6</b>	Mobile Internet Protocol version 6.

<b>MME</b>	Mobility Management Entity.
<b>MN</b>	Mobile Node.
<b>MS</b>	Mobile Station.
<b>MSC</b>	Mobile Station Switching Centre.
<b>MU</b>	Mobile User.
<b>NAP</b>	Network Access Provider.
<b>NCHO</b>	Network Controlled Handover.
<b>NCMA</b>	Network Controlled Mobile Assisted.
<b>NGWS</b>	Next Generation Wireless Systems.
<b>NN</b>	Neural Network.
<b>NSP</b>	Network Service Provider.
<b>OFDMA</b>	Orthogonal Frequency Division Multiple Access.
<b>PDP</b>	Packet Data Protocol.
<b>PFMIPv6</b>	Proxy First Mobile Internet Protocol version 6.
<b>PMIPv6</b>	Proxy Mobile Internet Protocol version 6.
<b>PoA</b>	Point of Attachment.
<b>PoS</b>	Point of Service.
<b>QoS</b>	Quality of Service.
<b>RAT</b>	Radio Access Technology.
<b>RNC</b>	Radio Network Control.
<b>RSS</b>	Received Signal Strength.
<b>SAE</b>	System Architecture Evolution.
<b>SAW</b>	Simple Additive Weighting.
<b>SC</b>	Single Carrier.
<b>SGSN</b>	Serving General Packet Radio Service Support Node
<b>SGW</b>	Serving Gateway.
<b>SIM</b>	Subscriber Identity Module.
<b>SIP</b>	Session Initiation Protocol.
<b>S-MAG</b>	Source-Mobile Access Gateway.
<b>SMS</b>	Short Message Service.
<b>SNR</b>	Signal to Noise Ratio.
<b>TC</b>	Tight Coupling.
<b>TOPSIS</b>	Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution.
<b>UMTS</b>	Universal Mobile Telecommunications System.
<b>VHL</b>	Vertical Handover Latency.
<b>VHO</b>	Vertical Handover.
<b>WAG</b>	Wireless Local Area Network Access Gateway.
<b>WAN</b>	Wide Area Network.
<b>WCDMA</b>	Wideband Code Division Multiple Access.
<b>Wi-Fi</b>	Wireless Fidelity.
<b>WiMAX</b>	Worldwide Interoperability for Microwave Access.
<b>WLAN</b>	Wireless Local Area Network.

# Chapitre 1 Introduction Générale

## Contenu

---

- 1.1. Introduction
  - 1.2. Motivation
  - 1.3. Contexte de la thèse
  - 1.4. Les réseaux NGN
  - 1.5. Problématique
  - 1.6. Objectives et contributions
  - 1.7. Structure de thèse
-



## 1.1. Introduction

Avec l'avancement des technologies d'accès radio, les communications mobiles a été plus répandue que jamais auparavant. Par conséquent, le nombre d'utilisateurs des réseaux de communication mobile a augmenté rapidement. Il y a une demande croissante de services sur les réseaux sans fil à large bande en raison de la diversité des services qui ne peuvent être fournis avec un seul réseau. Ce fait signifie que l'évolution vers une infrastructure globale fondée sur IP « les réseaux de nouvelle génération (NGN : Next Generation Networks) ». les réseaux NGN s'explique par la capacité du modèle IP d'offrir un mode d'acheminement des données indépendant, d'une part, du type de technologies réseaux sous-jacentes (Ethernet, Fibre optique, Wi-Fi, WiMax, Satellite, 2G/3G/4G/5G, etc.) et, d'autre part, du type de données véhiculées (audio, vidéo, données). L'objectif est ainsi de réaliser, à travers les réseaux NGN, le support de multiples services (téléphonie, télévision, services Internet) au sein d'une unique infrastructure tirant parti de l'hétérogénéité des technologies d'accès.

L'une des défis majeurs dans les réseaux sans fil de nouvelle génération (NGWN: Next Generation wireless Network) est la gestion de mobilité des utilisateurs entre les différents types des technologies réseaux afin d'obtenir une meilleure connexion partout, à tout moment, sans interruption des sessions en cours. Dans ce contexte, l'objectif principal de nos travaux est de proposer une approche optimisée gérer l'itinérance des utilisateurs (Handover Vertical : VHO) dans les réseaux NGN basé sur des approches qui ont été étudiés dans la littérature et de prendre en considération les problèmes de recherche et des conclusions qui sont apparues dans nos enquêtes. Dans cette vision, nous allons étudier les différents standards de télécommunication dans les réseaux mobiles et sans fil, Les architectures d'intégration et les protocoles de gestions de mobilités dans les réseaux NGN.

## 1.2. Tendances technologiques

Actuellement, l'ensemble des architectures de communication est en train d'évoluer vers une infrastructure globale basé sur IP. Le modèle IP est caractérisé par une structure modulaire composée de plusieurs couches distinctes qui communiquent à travers des interfaces bien définies. Les réseaux NGN représentent la prochaine génération de réseaux censée réaliser la convergence totale des services en une seule architecture basé sur la technologie IP qui permette une interconnexion et une interopérabilité entre les technologies

réseaux (réseaux de données, de diffusion, de télécommunication, réseaux sans fils, 2G/3G/4G...).

Parmi les difficultés majeures dans les réseaux sans fil de nouvelle génération (NGN) est de gérer les besoins des différents utilisateurs en termes de qualité de service, de sécurité fournis, mais aussi de mobilité des utilisateurs. Pour cela les opérateurs de télécommunication doivent apporter une solution pour l'interopérabilité de différentes technologies réseaux existants et optimiser la procédure de transfert vertical (Handover Vertical).

### **1.3. Contexte de la thèse**

Nous présentons dans cette section une vue générale sur le contexte de cette thèse qui porte sur les réseaux sans fils de nouvelle génération NGN. Les caractéristiques principales de ce domaine y sont développées, au regard de ce qui constitue la finalité de notre travail ; proposer une nouvelle approche optimisée gérer l'itinérance des utilisateurs (Handover Vertical VHO) avec une meilleure connexion n'importe où, n'importe quand (Always Best Connected : ABC). Nous y présentons une terminologie, les caractéristiques et les exigences majeures de ces réseaux ainsi que quelques travaux de normalisation et de standardisation lancés afin de répondre aux spécificités des réseaux NGN.

### **1.4. Les réseaux NGN**

Tout d'abord un réseau sans fil (en anglais Wireless network) est, comme son nom l'indique, un réseau dans lequel au moins deux terminaux (ordinateur, PDA, imprimante, routeur, etc.) peuvent communiquer sans liaison filaire. Les réseaux sans fil ont recours à des ondes radioélectriques (radio et infrarouges) en lieu et place des câbles habituels. Il existe plusieurs technologies se distinguant d'une part par la fréquence d'émission utilisée ainsi que le débit et la portée des transmissions [F. Lemainque, 2009].

Les équipements terminaux qui utilisent la voie hertzienne pour communiquer et qui peuvent se déplacer forment des réseaux de mobiles. Les réseaux de mobiles font partie de la famille des réseaux cellulaires. Une cellule est une zone géographique dont tous les points peuvent être atteints à partir d'une même antenne. Lorsqu'un utilisateur d'un réseau cellulaire se déplace et change de cellule, le cheminement de l'information doit être modifié pour tenir compte

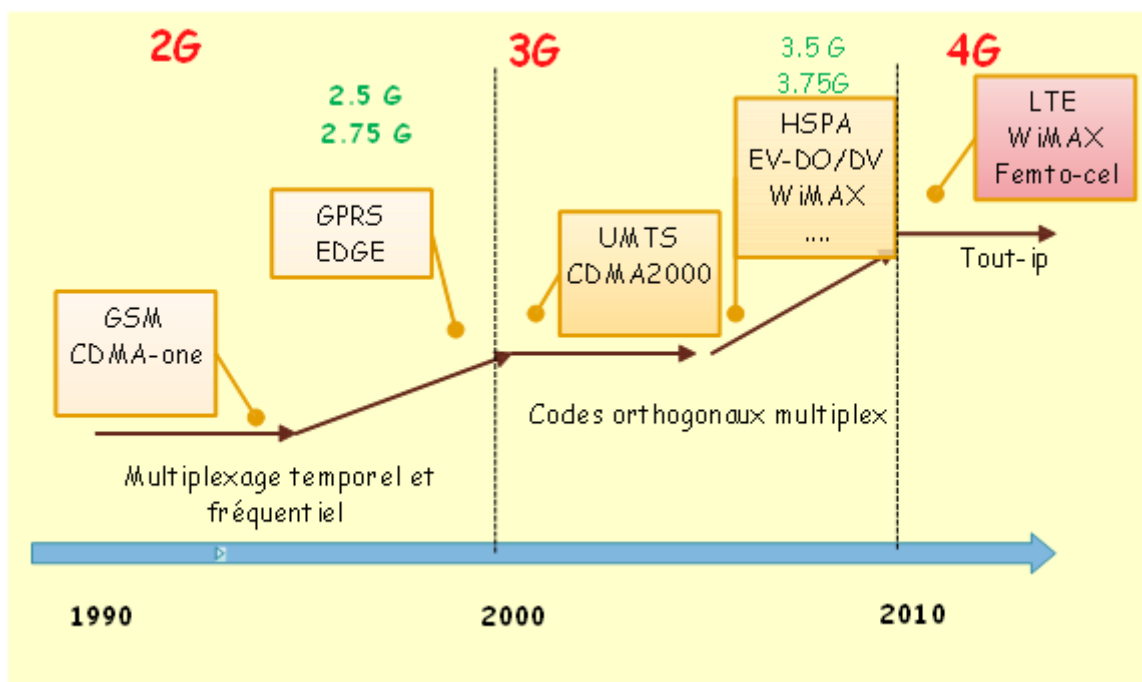
de ce déplacement. Cette modification s'appelle un changement intercellulaire, ou Handover, ou encore Handoff. La gestion des Handovers est souvent délicate puisqu'il faut trouver une nouvelle route sans interrompre la communication [P. Guy, 2008]. Quatre générations de réseaux de mobiles se sont succédé, qui se distinguent par la nature de la communication transportée [P. Guy, 2011]:

1G : communication analogique.

2G : communication numérique sous forme circuit.

3G : communication sous forme paquet, sauf pour la parole téléphonique.

4G : communication multimédia sous forme paquet à très haut débit [P. Guy, 2011].



**Figure 1.1:** Evolution des réseaux sans fil

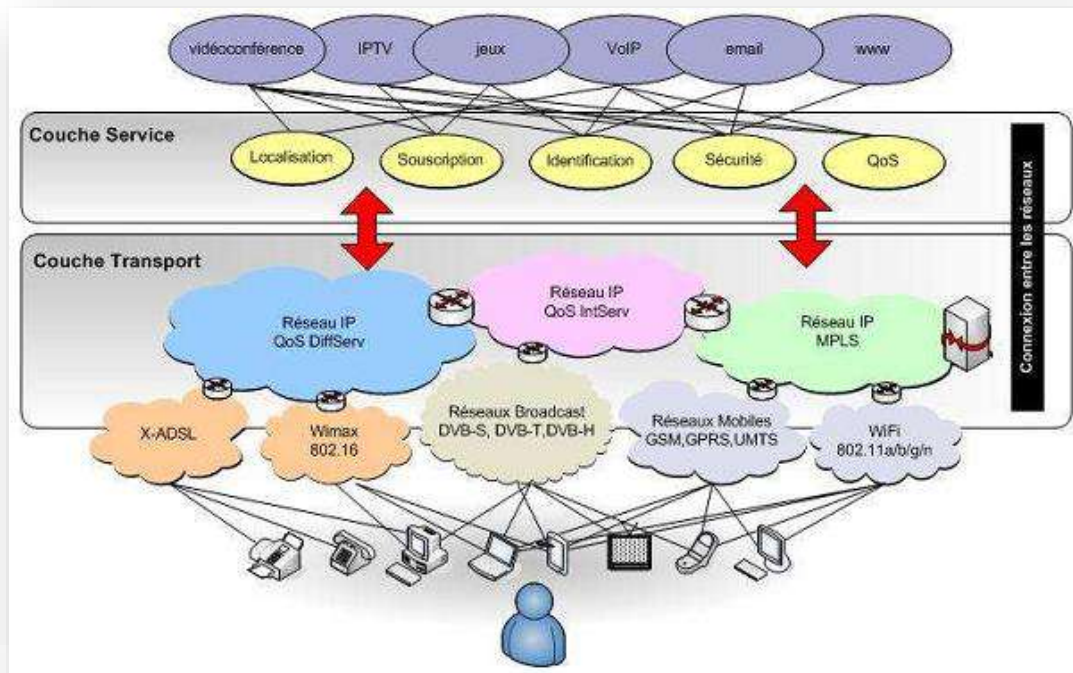
Les réseaux NGN représentent la prochaine génération de réseaux censée réaliser la convergence totale des services en une seule architecture basé sur la technologie IP qui permettre une interconnexion et une interopérabilité entre les réseaux traditionnels (réseaux de données, de diffusion, de télécommunication). Les définitions des organismes de normalisation tels que l'ETSI et l'ITU-T restent assez vagues et dressent une liste générale des principales caractéristiques des réseaux NGN qui se veulent multi-réseaux, multiservices, multi-protocoles et multi-terminaux. Ces caractéristiques communes sont : la convergence ou intégration des réseaux, le « tout IP », le découplage des fonctions applicatives du réseau de transport sous-jacent, la distribution de l'intelligence dans le réseau, l'ubiquité.

## Architecture des réseaux NGN :

Plusieurs impératifs ont été clairement identifiés par les organismes œuvrant pour les réseaux NGN (3GPP, ITU-T, ETSI, ATIS, etc.) sont :

- Un cœur de réseau unique et mutualisé pour tous les types de réseaux d'accès et de services.
- Une architecture de cœur de réseau en 2 couches : «Transport » / « Services »,
- Une évolution du transfert des données vers le mode paquet,
- Des interfaces ouvertes et standardisées entre chaque couche afin de réaliser l'indépendance des services vis-à-vis du réseau.
- Un découplage entre la fourniture de service et la fourniture de réseau.
- Le support de technologies d'accès multiples.
- Le support de la convergence des réseaux voix/données et fixe/mobile.
- Le support de terminaux multiples (modulaires, multi-mode, multimédia et adaptatifs).

La principale caractéristique d'un réseau de nouvelle génération est son fondement sur IP qui offre un mode de transfert homogène de bout en bout indépendant, d'une part, des réseaux sous-jacents et, d'autre part, du type de données applicatives véhiculées. Après l'évolution du cœur de réseau vers le « tout-IP », la notion la plus importante reste la décomposition en plans fonctionnels séparés par des interfaces ouvertes qui assure à la fois le passage à l'échelle et la flexibilité d'une telle architecture en offrant une facilité d'interconnexion et d'intégration de nouveaux services [M. Chalouf, 2009].



**Figure 1.2 :** Architecture générique des réseaux NGN

Le plan de « Transport » regroupe l'ensemble des ressources mises en place pour assurer le transfert de données. Ainsi, il gère l'acheminement du trafic vers sa destination en fournissant une connectivité IP aux différents composants d'un réseau NGN tout en garantissant une QoS de bout en bout. Ce plan dépend directement de la technologie du réseau de transport utilisé pour acheminer les paquets. Le plan de « Service » fournit les fonctionnalités de base pour l'exécution des services avec ou sans session. En effet, il regroupe les plateformes d'exécution de service et de diffusion de contenu tout en masquant la diversité technologique aux clients et aux fournisseurs de services.

## Gestion de mobilité dans les réseaux NGN

**La mobilité :** L'objectif de la mobilité est de permettre à un utilisateur d'être connecté de n'importe où, avec n'importe quel type de terminal. Par définition, un utilisateur mobile est un utilisateur qui est en déplacement, d'où la possibilité de changer de réseau d'accès. La mobilité des utilisateurs peut être assurée à différents niveaux de la pile protocolaire TCP/IP. Elle peut être fournie au niveau de : la couche application, la couche « Transport », la couche « Réseau » ou

encore la couche « Liaison de données ». En effet, plusieurs organismes se sont intéressés à la mobilité ; ce qui a permis de définir plusieurs standards et protocoles. Parmi ces standards, nous trouvons le protocole MIP (Mobile IP ou IP mobility) qui représente l'un des protocoles les plus connus dans la gestion de la mobilité des utilisateurs. De plus, nous avons le standard IEEE 802.21 qui propose de gérer la mobilité au niveau des couches basses en accélérant la procédure de changement de réseau. Il existe, également, d'autres architectures permettant la gestion de la mobilité à d'autres niveaux comme le niveau application (une solution basée sur SIP) ou le niveau « Transport » (Mobile TCP, Mobile UDP, etc.).

## Vertical Handover dans les réseaux NGN

**Définition du Handover :** Le mécanisme du handover est un ensemble d'opérations mises en oeuvre afin de permettre à un terminal mobile de changer de point d'attachement sans interruption du service. C'est le concept de base de la mobilité, qui consiste à établir un lien au niveau de chaque nouveau point d'attachement au réseau [S. Boussen, ]. Il existe deux types de handover :

- Handover horizontal : il s'agit de l'acquisition d'une nouvelle adresse IP par rapport à la nouvelle localisation quand l'utilisateur change de point d'accès sans changer de technologie.
- Handover vertical : il s'agit d'un changement de technologie d'accès [S. Boussen, ].

Plusieurs évènements peuvent entraîner l'exécution du handover [S. Boussen, ] :

- La perte de la connectivité comme la force du signal ou la baisse des performances du réseau d'accès courant : la QoS n'est plus garantie.
- La détection d'un point d'attachement présentant de meilleures performances que le réseau courant.
- Le lancement d'une nouvelle application et le réseau actuel ne garantit plus la QoS demandée par l'application.

- La détection d'un réseau d'accès qui permet d'économiser la consommation d'énergie et prolonger la durée de vie de la batterie du terminal utilisateur.

La procédure du Handover comprend trois phases :

**1- Phase de découverte** : il s'agit d'une phase de collecte d'informations sur le mobile et sur les différents réseaux d'accès, telles que la force du signal reçu (RSS : Received Signal Strength), le taux d'erreurs binaires (BER : Bit Error Rate), la distance entre le mobile et la station de base, etc. Les informations récupérées serviront plus tard dans la phase de décision du handover.

**2- Phase de décision** : cette phase est décomposée à son tour en deux étapes. (a) L'étape d'initiation du handover, qui a pour but de déterminer s'il y a nécessité d'effectuer un handover. (b) L'étape de sélection du réseau d'accès, qui permet de choisir le réseau qui convient le mieux parmi les réseaux d'accès disponibles.

**3- Phase d'exécution** : il s'agit de l'établissement de la connexion avec le nouveau lien. Trois cas sont possibles selon que l'ancien lien est libéré avant (Hard Handover), pendant (Seamless Handover) ou après (Soft Handover) l'établissement du nouveau lien [S. Boussen, ].

## 1.5. Problématique

Les réseaux sans fil de prochaine génération (NGWN) sont hétérogènes et comprennent plusieurs technologies complémentaires mobiles et sans fil telles que: Global System for Mobile Communication (GSM), Wireless Fidelity (Wi-Fi), Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX), Universal mobile Telecommunications System (UMTS) et long Term Evolution (LTE), Ces réseaux hétérogènes d'accès sans fil varient considérablement en termes de multiples attributs tels que la zone de couverture, un débit de données soutenu pour les services et les coûts. Cela signifie que chaque réseau d'accès sans fil a ses caractéristiques différentes. Par conséquent, les opérateurs de télécommunication sont tenus d'élaborer une stratégie d'interopérabilité pour ces différents types de réseaux existants et optimiser la procédure de Handover vertical (minimiser la perte de paquets et la latence de VHO) pour donner une meilleure connexion durant la mobilité des utilisateurs.

Plusieurs organismes se sont intéressés à la mobilité ; ce qui a permis de définir plusieurs standards et protocoles. Deux principales architectures d'interfonctionnement ont été proposées par l'Institut européen des normes de télécommunications (ETSI), à savoir : le couplage lâche et serré pour l'intégration entre les différents types de technologies [O. Khattab et al, Jun2014]. Il y a aussi deux principaux cadres d'interfonctionnement qui ont été proposés par l'IEEE Groupe et 3GPP : Media Independent Handover IEEE 802.21 (MIH) et IP Multimedia Subsystem (IMS), où chacun d'eux exige d'utiliser des protocoles de gestion de la mobilité et des algorithmes de décision de Handover Vertical pour compléter son travail [O. Khattab et al, Jul 2014] ; [G. Lampropoulos et al, 2008] ; [S. Frei et al, 2011] ; [X. Yan et al, 2010]. Dans la littérature, diverses approches de transfert vertical (Handover Vertical) ont été proposées pour assurer un transfert vertical transparent. Ces approches de transfert vertical (VHO) n'ont pas une considération exhaustive des détails sur le fonctionnement du réseau en cas de critères de décision VHO soit impérativement en raison des conditions du réseau telles que RSS Signal Radio, soit en raison des préférences de l'utilisateur telles que haute sécurité, le débit, la qualité de service (QoS). Un autre problème est que les études rapportant ces approches manquent de détails suffisants pour la mise en œuvre. En plus, la plupart des implémentations des approches de Handover Vertical se fait par expérimentation par simulation cependant la simulation ne permet pas l'intégration d'implémentations réelles du fait qu'elle fonctionne en temps logique et la modélisation implique parfois des hypothèses ou des simplifications qui peuvent éloigner le comportement simulé du comportement réel.

Donc, gérer la mobilité des utilisateurs dans les réseaux NGN doivent être traité d'une manière exhaustive en termes d'architecture d'intégration et d'interopérabilité, des protocoles de gestion de la mobilité et en termes des algorithmes de décision de Handover Vertical conduisant nous à proposer une approche optimisée pour gérer l'itinérance (Handover vertical) des utilisateurs mobiles avec une meilleure connexion basé sur le cadre d'interfonctionnement IEEE 802.21 (MIH) et de prendre en considération les problèmes de recherche et des conclusions qui sont apparues dans nos enquêtes.

## 1.6. Objectives et Contribution

Les objectifs de notre étude sont l'étude des techniques de gestion de Vertical Handover dans les réseaux NGN et la proposition d'une nouvelle approche optimisée pour gérer le Handover vertical dans les réseaux NGN avec une meilleure connexion (Always Best Connected) basé sur



des approches qui ont été étudiés dans la littérature. Dans ce contexte, nous avons pu apporter les contributions suivantes :

- Etudier les différentes techniques de gestion de Handover Vertical (les architectures d'intégration et d'interopérabilité, les protocoles de gestion de la mobilité, et les algorithmes de décision) au sein des réseaux NGN. Un état de l'art des travaux de recherches relatifs à notre objectif dans le domaine des réseaux NGN est établis en focalisons sur les défis de la gestion de mobilité des utilisateurs.
- Proposer une procédure de Handover Vertical optimisé qui est compose d'une trois phases : (Initiation de Handover, Décision de Handover et Exécution de Handover). La procédure proposée basé sur le standard IEEE 802.21 (MIH), une architecture de couplage lâche et Mobile Internet Protocol version 4 (MIPv4) qui fournit tampon tôt pour les nouveaux paquets de données pour minimiser la perte de paquets et la latence de VHO.
- Proposer un algorithme de sélection de réseau d'accès pour choisir le meilleur réseau parmi les disponible dans la phase de Décision de Handover. Elle est composée de deux fonctions de sélection de réseau : **ANSFi** (Acces Network Selection Function impérative case) appliqué dans le cas impératif de VHO, sélectionner le meilleur réseau disponible en considérant un seul paramètre qui est la force du signal (RSS) mesurée par Mobile Terminal (MT), et **ANSFa** (Acces Network Selection Function alternative case) est appliqué dans le cas alternative de VHO, sélectionner le meilleur réseau disponible en considérant plusieurs paramètres (énergie, le coût monétaire, débit, taux d'erreur de frame, la charge de réseau).
- Proposer un modèle de simulation de notre approche proposée de Handover Vertical, implémenter le par le simulateur NS2 version 2.9 et propose un modèle étendu d'émulation pour faire des expérimentations en temps réels sur notre approche.

## 1.7. Structure de thèse

Ce manuscrit de thèse est composé de six chapitres, organisés comme suit :

- **Le deuxième chapitre** : dans ce chapitre, nous commençons par une brève présentation sur la gestion de mobilité et de Handover Vertical dans les réseaux NGN. Puis, nous exposons les techniques de VHO dans les réseaux NGN, nous commençons par présenter les cadres d'interfonctionnements de VHO (MIH : Média Independant Handover et IMS : IP MultiMedia Subsystem), leurs architectures et leurs objectifs. Nous présentons aussi les protocoles de gestion de mobilité les plus utilisé pour faciliter et garantir un Vertical Handover transparent et présentons les architectures d'interfonctionnement de VHO : coulage lâche et couplage serré (Loose coupling et Tight coupling). Par la suite, nous exposons les recherches menées sur les Handover Vertical dans les réseaux NGN.
- **Le troisième chapitre** : est dédié à la présentation de notre deuxième contribution, notre procédure proposée de Handover Vertical qui est basé sur le standard IEEE 802.21 (MIH), une architecture de couplage lâche et Mobile Internet Protocol version 4 (MIPv4). Nous commençons par décrire son principe de fonctionnement et ses phases principales. Puis, nous comparons notre procédure proposée par d'autres procédures de VHO qui existent dans la littérature en termes de la latence de Handover Vertical et la perte de paquets s'en basons sur un modèle analytique.
- **Le quatrième chapitre** : Dans ce chapitre, nous présentons notre troisième contribution, notre algorithme de décision proposée pour choisir le meilleur réseau parmi les disponible dans la phase de Décision de Handover dans les réseaux NGN. Nous commençons par la description de fonctionnement de l'algorithme proposée puis les équations utilisées et l'intégration de notre solution sous le Terminal Mobile. Puis nous terminons par l'analyse de résultats de simulation et on compare notre algorithme de décision aux d'autres.
- **Dans le cinquième chapitre** : Dans ce chapitre nous présentons notre quatrième contribution, le modèle d'émulation étendu de notre approche de VHO proposée. Nous commençons par la description de son principe de fonctionnement. Puis, nous détaillons ses compositions principales.
- **Dans le dernier chapitre** : nous concluons cette étude par une synthèse de notre contribution et nous montrerons à quel point notre objectif a été atteint. Nous exposerons ensuite les perspectives et les futurs travaux envisageables pour approfondir cette étude.

# Chapitre 2 Revue de littérature sur la gestion de Handover Vertical dans les réseaux NGN

## Contenu

---

- 2.1. Introduction
  - 2.2. Evolutions des réseaux sans fil
    - 2.2.1. GSM
    - 2.2.2. UMTS
    - 2.2.3. WiFi
    - 2.2.4. Les réseaux WiMAX
    - 2.2.5. La technologie LTE
    - 2.2.6. Réseau mobile de prochaine génération (4G)
  - 2.3. Les réseaux sans fil de dernière génération
  - 2.4. Gestion de Handover dans les réseaux NGN
    - 2.4.1. Classification de Handover
    - 2.4.2. Terminal mobile multimode de Handover
    - 2.4.3. Critères de Handover
  - 2.5. Techniques de Handover Vertical dans les réseaux NGWN
    - 2.5.1. Cadres d'interfonctionnement
    - 2.5.2. Architectures d'interfonctionnement
    - 2.5.3. Protocoles de gestion de mobilité
    - 2.5.4. Algorithmes de décision de Handover Vertical et discussion
  - 2.6. Méthodologie d'évaluation des réseaux NGN
    - 2.6.1. Les paramètres à évaluer
    - 2.6.2. Outils de simulation de handover vertical dans les réseaux NGN
    - 2.6.3. Le simulateur NS-2.29
  - 2.7. conclusion
-

## 2.1. Introduction

Les évolutions rapides des réseaux sans fil et la demande grandissante des services de communication par l'utilisateur Mobile, partout et à tout moment, entraînent une évolution vers l'intégration transparente de différents réseaux mobiles et sans fil (Wi-Fi, WiMAX, GSM, UMTS, etc.) qui coexistent les uns avec les autres dans un seul réseau hétérogène (réseau sans fil de prochaine génération). Dans un tel environnement, un utilisateur 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). Pour satisfaire les besoins de l'utilisateur et fournir des meilleurs services, un nœud mobile aura besoin de migrer (handoff) entre ces différents accès radio. Plusieurs problèmes techniques se posent alors, comme le transfert d'un utilisateur mobile sans coupure de session (Seamless Handover), la gestion de la mobilité, etc. 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 répondre à ces défis et aider l'utilisateur mobile à faire un Handover transparent, plusieurs standards ont été proposés. Vu que la finalité de notre travail est de proposer une nouvelle approche optimisée gérer le transfert (handoff) de l'utilisateur dans les réseaux NGN, ce chapitre aborde essentiellement le Handover Vertical dans les réseaux NGN. Nous commençons par une brève présentation de l'évolution des réseaux sans fil et par la suite nous définissons les réseaux sans fil de dernière génération (NGN) et dans la suite nous présentons les défis et les problèmes liés à la gestion de Handover dans les réseaux NGN. Nous dressons un état de l'art et une étude comparative des différentes techniques et des algorithmes de décision de Handover Vertical dans les réseaux NGN, tout en soulignant les avantages et les limites de chaque technique proposée. Et en fin nous présentons les méthodologies d'évaluation existant pour les réseaux NGN.

## 2.2. Évolution des réseaux sans fil :

En raison de l'augmentation rapide du nombre d'utilisateur mobile qui exigent des services de communication via des réseaux sans fil, les réseaux d'accès sans fil ont évolué de la première

génération à la quatrième génération. Cette section présente un arrière-plan de ces principaux technologies de réseaux d'accès ; à savoir, GSM, UMTS, Wi-Fi, WiMAX et LTE.

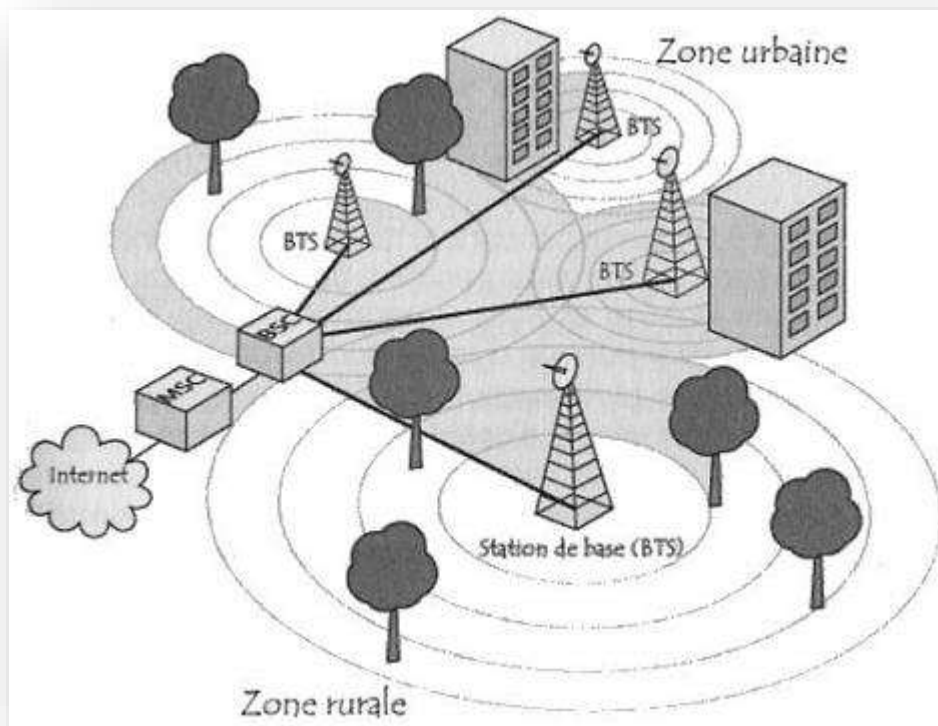
### **2.2.1. GSM (Global System for Mobile Communication)**

Ce standard utilise les bandes de fréquences 900 MHz et 1800 MHz en Europe. Aux Etats-Unis par contre, la bande de fréquence utilisée est de 1900 MHz. Ainsi, nous appelons tri-bande, les téléphones portables pouvant fonctionner en Europe et aux Etats-Unis. Il permet de transmettre la voix ainsi que des données numériques de faible volume, par exemple des messages textes SMS (Short Message Service) ou des messages multimédias MMS (Multimedia Message Service) [B. Badr et al, 2012].

Le réseau GSM a pour premier rôle de permettre des communications entre abonnés mobiles et abonnés du réseau téléphonique commuté (RTC réseau fixe). Le réseau GSM s'interface avec le réseau RTC et comprend des commutateurs. La mise en place d'un réseau GSM va permettre à un opérateur de proposer des services de type " Voix " à ses clients en donnant l'accès à la mobilité tout en conservant un interfaçage avec le réseau fixe RTC existant [B. Badr et al, 2012].

Dans un réseau GSM, le terminal de l'utilisateur est appelé station mobile. Une station mobile est composée d'une carte SIM (Subscriber Identity Module), permettant d'identifier l'usage de façon unique et d'un terminale mobile, c'est-à-dire l'appareil de l'usage.

Les terminaux (appareils) sont identifiés par un numéro d'identification unique de 15 chiffres appelé IMEI (International Mobile Equipment Identity). Chaque carte SIM possède également un numéro d'identification unique (et secret) appelé IMSI (International Mobile SubscriberIdentity). Ce code peut être protégé à l'aide d'une clé de 4 chiffres appelés code PIN [F. Lemainque, 2009].



**Figure 2.1:** Architecture du réseau GSM

L'ensemble des stations de base d'un réseau cellulaire est relié à un contrôleur de stations (BSC, Base Station Controller), chargé de gérer la répartition des ressources. L'ensemble constitué par le contrôleur de station et les stations de base connectées constitue le sous-système radio (en anglais BSS pour Base Station Subsystem)

Enfin, les contrôleurs de stations sont eux-mêmes reliés physiquement au centre de commutation du service mobile (en anglais MSC pour Mobile Switching Center), géré par l'opérateur téléphonique, qui les relie au réseau téléphonique public et à internet. Le MSC appartient à un ensemble appelé sous-système réseau (en anglais NSS pour Network Station Subsystem), chargé de gérer les identités des utilisateurs, leur localisation et l'établissement de la communication avec les autres abonnés [F. Lemainque, 2009].

Le MSC est généralement relié à des bases de données assurant des fonctions complémentaires :

Le Registre des abonnés locaux (HLR Home Location Register) : il s'agit d'une base de données contenant des informations (position géographique, informations administratives, etc) sur les abonnés inscrits dans la zone du commutateur (MSC)

Le Registre des abonnés visiteurs (VLR Visitor Location Register) : il s'agit d'une base de données sur les autres utilisateurs que les abonnés locaux. Le VLR rapatrie les données sur un nouvel utilisateur à partir du HLR correspondant à sa zone d'abonnement. Les données sont conservées pendant tout le temps de sa présence dans la zone et sont supprimées lorsqu'il la quitte ou après une longue période d'inactivité (terminal éteint).

Le Registre des terminaux (EIR pour Equipment Identity Register) : il s'agit d'une base de données répertoriant les terminaux mobiles.

Le Centre d'authentification (AUC Authentication Center) : il s'agit d'un élément chargé de vérifier l'identité des utilisateurs.

Le réseau cellulaire ainsi formé est prévu pour supporter la mobilité grâce à la gestion du handover, c'est-à-dire le passage d'une cellule à une autre. Enfin, les réseaux GSM supportent également la notion d'itinérance (en anglais roaming), c'est-à-dire le passage du réseau d'un opérateur à un autre [F. Lemainque, 2009].

### **2.2.2. UMTS (Universal Mobile Telecommunications System)**

L'UMTS est un réseau mobile de troisième génération capable d'offrir des bénéfices significatifs à l'utilisateur en terme de services à valeur ajoutée, tels que l'accès Internet à haute vitesse, le téléchargement de fichiers (audio et vidéo) ou alors la visiophonie. L'UMTS se base principalement sur la technique d'accès multiple large bande WCDMA pour y offrir ce type de service [I. Khalil, 2009].

Classes de services et QoS définies par l'UMTS : le 3GPP (3rd Generation Partner Project) a défini les classes de services que l'UMTS peut offrir et qui dépendent de la QoS (quality of service) désirée par l'utilisateur. La qualité de service est généralement définie par les critères suivants :

-délai : temps écoulé entre l'envoi d'un paquet par un émetteur et sa réception par le destinataire. Le délai comprend les délais de propagation, de transmission, de traitement et d'attente dans les systèmes intermédiaires.

-gigue sur le délai : variation du délai de deux paquets consécutifs.

-bande passante minimum : taux de transfert minimum pouvant être maintenu entre deux points terminaux.

-fiabilité : taux moyen d'erreurs d'une liaison.

Ces classes de services sont définies par 3GPP comme suit :

Service conversationnel (Conversational class) : les services de cette catégorie permettent de transmettre principalement du son et des images entre deux personnes ou groupes de personnes. Leur qualité est donc assez sensible à des délais dans la transmission, ces délais pouvant être facilement perceptibles par les utilisateurs. Parmi ces services, nous pouvons citer la téléphonie en mode circuit, la téléphonie en mode paquet utilisant le protocole VoIP (Voice over IP) et la vidéophonie. Néanmoins, cette dernière est moins tolérante aux erreurs que la téléphonie et requiert généralement un débit plus important [I. Khalil, 2009].

Services streaming (Streaming class) : on retrouve dans cette classe les services qui traitent l'information au niveau du terminal de façon continue, c'est-à-dire au moment même où elle est reçue (avant de la recevoir dans sa totalité). Ce type de service est unidirectionnel. Ces services sont assez récents et offrent un potentiel d'application assez vaste. Le streaming audio et vidéo sont des exemples d'applications typiques. À la différence des services conversationnels, les services de type streaming sont assez asymétriques (on ne reçoit pas au même débit que l'on émet) et on peut tolérer dans ce cas des délais importants [I. Khalil, 2009].

Services interactifs (Interactive class) : ce type de service est caractérisé par le fait que le terminal ayant envoyé un message/commande attend une réponse du destinataire dans un certain intervalle de temps. Par conséquent, un paramètre clé pour identifier la QoS des services interactifs est le temps d'aller-retour, c'est-à-dire le temps écoulé entre le moment où le message /commande est émis et celui où la réponse arrive. Comme exemple, on peut citer le commerce électronique ainsi que les services de localisation qui se développent de plus en plus [I. Khalil, 2009].

Services en arrière-plan (Background class) : il existe des services qui ne posent, ou presque, aucune contrainte de temps dans le transfert de l'information qu'ils génèrent. Ils peuvent s'exécuter en « arrière-plan ». Parmi ces services, on peut trouver l'envoi d'un courrier électronique, d'un message court SMS (Short Message Service) ou alors le téléchargement d'un fichier. Le paramètre pour quantifier la QoS de ce type de service est principalement le taux d'erreurs qui doit être souvent assez faible [I. Khalil, 2009].



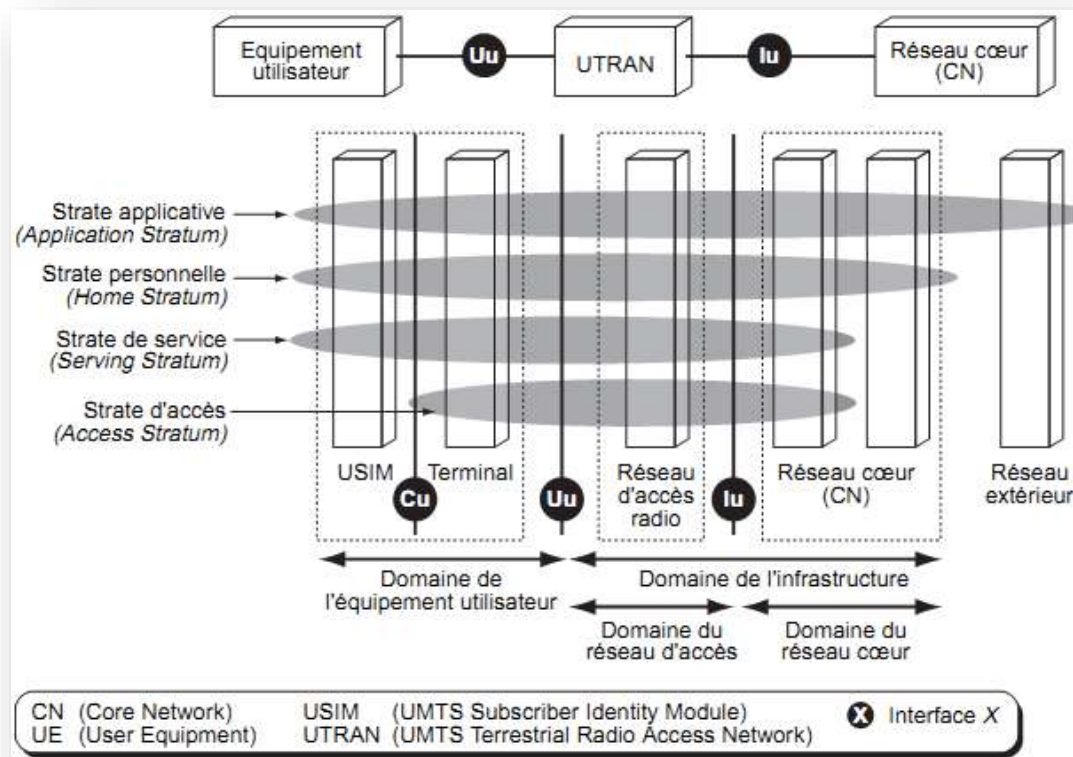
L'architecture de l'UMTS s'appuie sur la modularité. Ses éléments constitutifs doivent être indépendants, de façon à autoriser en théorie des mises à jour de telle ou telle partie du système sans avoir à en redéfinir la totalité [P. Guy, 2011].

L'UMTS définit trois domaines : le domaine utilisateur, le domaine d'accès radio, ou UTRAN, et le réseau cœur (Core Network). Ces domaines sont séparés par des interfaces, respectivement l'interface Uu et l'interface Iu [P. Guy, 2011].

Des strates fonctionnelles sont appliquées à cette architecture de façon à séparer les fonctions en groupes indépendants :

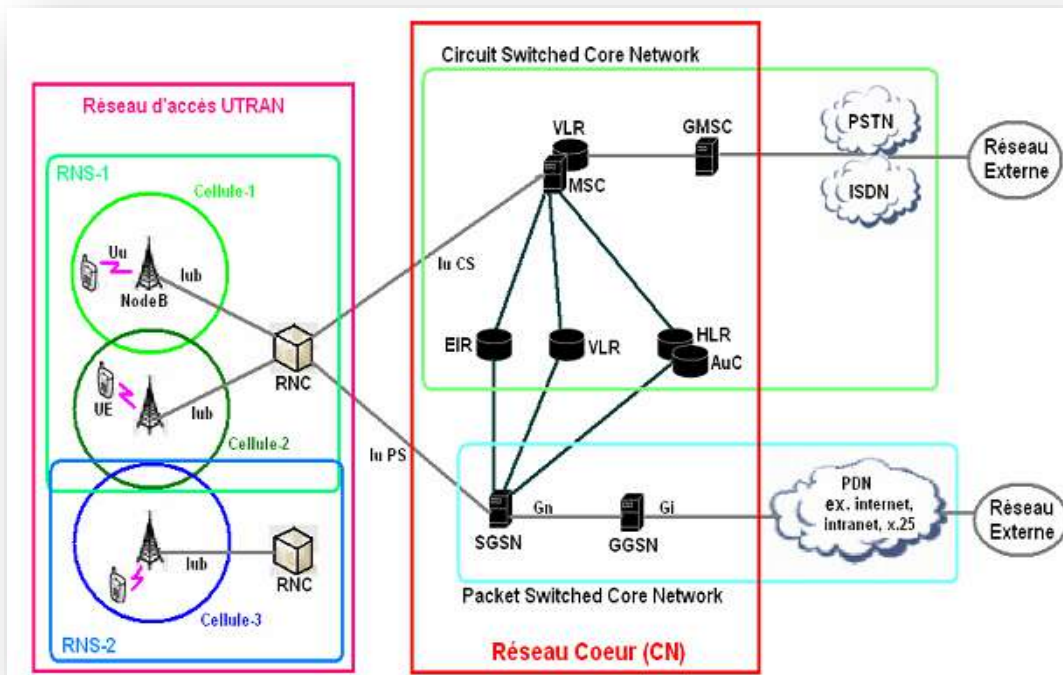
- La strate d'accès radio (transport/access stratum) contient les protocoles et fonctions relatifs à l'accès radio.
- La strate de service (serving stratum) contient tout ce qui permet l'établissement d'un service de télécommunications.
- La strate « personnelle » (home stratum) est dédiée aux fonctions qui permettent de mémoriser et de récupérer les informations relatives à un utilisateur pour personnaliser ses services et environnements.
- La strate applicative (application stratum) représente les applications qui sont mise en œuvre de bout en bout.

Le domaine utilisateur est similaire à ce qui a été défini en GSM. Il se compose d'un terminal capable de gérer l'interface radio et d'une carte à puce, la carte U-SIM, qui contient les caractéristiques de l'utilisateur et de son abonnement. De même, le domaine du réseau fixe est semblable à celui du GPRS. En revanche, l'accès radio de l'UMTS, l'UTRAN, est complètement différent [P. Guy, 2011].



**Figure 2.2:** Architecture générale de l'UMTS [P. Guy, 2008]

UMTS est une amélioration des standards GSM et GPRS. Il définit l'UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network) et l'UE (User Equipment). L'UE communique avec l'UTRAN via la technologie radio WCDMA. L'UMTS est composé d'entités logiques assurant chacune des fonctions spécifiques, ces entités sont groupées dans l'UTRAN qui est chargé des fonctions radio [B. Tarek, 2010].



**Figure 2.3 :** Architecture détaillée d'UMTS [B. Tarek, 2010].

L'UE est composé du ME (Mobile Equipment) qui est le terminal radio employé pour la communication radio dans l'interface air WCDMA, et de l'USIM (UMTS Subscriber Identity Module) qui est la carte à puce qui conserve l'identité de l'abonné, exécute les algorithmes d'authentification, et stocke des informations requises par le terminal.

L'UTRAN introduit le NodeB et le RNC (Radio Network Controller). Il est formé d'un ou plusieurs RNS (Radio Network Systems), et chaque RNS est contrôlé par un RNC. Le RNC est connecté à un ou plusieurs NodeB, et chaque NodeB couvre une cellule [B. Tarek, 2010].

Le NodeB convertit les signaux de l'interface radio en flux de données, et les transmet à RNC. Dans le sens contraire, le NodeB prépare les données parvenues de RNC pour les transporter dans l'interface radio [B. Tarek, 2010].

Le RNC est le nœud central de l'UTRAN, il contrôle un ou plusieurs NodeB, et il est responsable du contrôle des ressources radio dans son domaine.

Le CN (Core Network), déjà défini pour les systèmes GSM et GPRS, est composé du PS (Packet Switching Network), CS (Circuit Switching Network) et HLR (Home location Register) [B. Tarek, 2010].

Le réseau PS est composé du SGSN (Serving GPRS Support Node) qui est responsable du routage des paquets, l'authentification, et l'encryptage pour les utilisateurs du réseau PS. Le GGSN (Gateway GPRS Support Node) est utilisé comme passerelle vers les réseaux externes fondés sur la commutation des paquets comme l'Internet...

Le réseau CS est composé du MSC/VLR (Mobile Service Switching / Visitor Location Register) qui joue le rôle d'un commutateur et une base de données de stockage. Le MSC est responsable de la signalisation. Le VLR est contrôlé par le MSC et employé dans le cas du Roaming des utilisateurs. Le CS est également composé du GMSC (Gateway MSC) qui est similaire au GGSN et sert de passerelle vers les réseaux externes reposant sur la commutation des circuits comme PSTN... Le CS comprend aussi le HLR (Home Location Register) qui est une base de données localisée dans le système géré par l'opérateur principal de l'utilisateur (user home system) ; le HLR conserve toutes les informations sur l'utilisateur. Il est composé aussi de l'AuC (Authentication Center) qui stocke les données (clés) permettant aux abonnés de s'authentifier avec confidentialité. Et finalement le CS est composé de l'EIR (Equipment Identity Register) qui est une base de données contenant les caractéristiques des mobiles [B. Tarek, 2010].

#### *Rappels sur les différentes versions de la norme UMTS*

■ Première version, Release 99 : la Release 99 de l'UMTS possède une nouvelle interface radio basée sur l'accès multiple à répartition en codes CDMA, en comparaison avec le GSM/GPRS. Cette technique d'accès multiple a été héritée du système américain IS-95 développé par la société Qualcomm au milieu des années 1990.

L'UMTS comporte deux types de réseaux d'accès (UTRAN TDD et FDD) dont l'interface radio met en œuvre un accès multiple, dit large bande (W-CDMA), car il permet de transmettre 3,84 millions de chips par seconde dans 5 MHz de bande passante. Les interfaces terrestres du réseau d'accès sont supportées par de l'ATM pour les deux types de réseaux d'accès.

La qualité de service offerte est de type conversationnel et streaming vers le domaine circuit du réseau cœur et interactif et « entête de fond » (ou background) vers le domaine paquet du réseau cœur. Le débit radio est limité à 384 kbit/s dans le sens descendant et à 128 kbit/s dans le sens montant, ce qui limite la transmission des données en mode paquet [P. Jérôme, 2010], [P. Jérôme, 2007].

À noter que les domaines circuit et paquet du réseau cœur se basent, en Release 99, sur le réseau de transport du GSM et GPRS.

■Deuxième version, Release 4 : la seconde version de la norme UMTS, ou Release 4, introduit une seconde interface radio TDD, appelée TD-SCDMA, qui se distingue de la première interface radio TDD, appelée TD-CDMA, par un débit chip inférieur (1,28 million de chips par seconde au lieu de 3,84 millions de chips par seconde). Le TD-SCDMA a été promu par une poignée d'industriels chinois et porte couramment le nom de « TDD chinois ».

La Release 4 apporte également une évolution majeure dans le réseau cœur circuit avec l'introduction d'un réseau cœur de nouvelle génération (NGN). En effet, le commutateur circuit MSC, qui gère jusque-là la transmission et la signalisation, se voit éclaté en un serveur MSC, pour assurer le contrôle d'appel et en une « passerelle de média » (ou media gateway), pour assurer la transmission

■Troisième version, Release 5 : la troisième version de la norme UMTS, ou Release 5, introduit le support IP dans l'UTRAN de manière optionnelle (en plus de l'ATM) ainsi que le support de la signalisation SIP par le réseau cœur avec la nouvelle architecture IMS pour les services non temps réel basés sur IP.

Du côté de l'interface radio, les débits dans le sens descendant ont été améliorés avec le HSDPA qui offre, en théorie, 14,4 Mbits/sa partagé entre les téléphones mobiles présents dans une cellule.

■Quatrième version, Release 6 : la Release 6 apporte un support optimisé des services temps réel basés sur IP. En outre, la diffusion de contenu multimédia en mode broadcast ou multicast devient possible avec le MBMS qui permet d'ouvrir, par exemple, un service de télévision mobile.

Par ailleurs, le HSUPA apporte un débit maximum théorique de 5,76 Mbit/s dans le sens montant et la capacité du HSDPA est accrue grâce à la fonctionnalité de « DPCH fractionnel »

■Cinquième version, Release 7 : La Release 7 constitue la cinquième version du système UMTS et se caractérise notamment par l'évolution du HSPA (HSPA Evolution), plus communément appelée « HSPA+ » [P. Jérôme, 2011].

La Release 7 de l'UMTS introduit, entre autres, une troisième variante de l'interface radio TDD, avec un plus haut débit chip à 7,68 millions de chips par seconde, poussée par quelques industriels seulement. De plus, elle adapte le HSUPA au TDD.

Une nouvelle fonctionnalité, appelée « connectivité permanente pour les utilisateurs des services paquets » (ou CPC), a été également introduite en particulier afin d'accroître la capacité du HSUPA [P. Jérôme, 2007].

■ Release 8 (2008), UMTS R8 : introduction de LTE (Long Term Evolution), de l'OFDMA à la place du CDMA (non compatibilité avec les releases précédentes sur ce point) et d'un réseau tout IP (sauf pour la parole téléphonique) [P. Guy, 2011].

■ Release 9 (2009), UMTS R9 : introduction d'un calendrier « green », c'est-à-dire de solution permettant d'économiser l'énergie électrique dépensée par les stations de base du fait de l'importance consommation des antennes et équipements associés.

Cette release propose également une normalisation des femtocells, des services d'alerte et de WiMAX comme technologie 4G, amélioration de la compatibilité IP [P. Guy, 2011].

■ Release 10 (2011), UMTS R10 : première release correspondant à la 4G LTE Advanced. Cette version sera compatible avec la release 8 sur LTE.

■ Release 11 (2012), UMTS R11 : cette release s'occupera des services et de l'interopérabilité des services entre environnements fixe et mobile.

■ Release 12 (2013), UMTS R12 : bien qu'en cours de discussion au moment de l'écriture de cette section, elle pourrait commencer la 5G qui verrait l'arrivée d'antenne mobiles (avion, ballon, station, orbitale...etc.) [P. Guy, 2011].

### **2.2.3. Les réseaux WiFi (Wireless Fidelity)**

IEEE 802.11 ou WIFI est un standard international décrivant les caractéristiques du réseau LAN sans fil (WLAN). Il connecte des ordinateurs portables, des équipements de bureau, des équipements personnels (PDA)... en créant un réseau sans fil couvrant un rayon de dizaines de mètres et tolérant une mobilité à très petite vitesse

[B. Tarek, 2010]. Cette norme est un standard international décrivant les caractéristiques d'un réseau local sans fil (WLAN), la marque déposée « Wi-Fi » correspond initialement au nom donné à la certification délivrée par la WECA (Wireless Ethernet Compatibility Alliance), organisme ayant pour mission de spécifier l'interopérabilité entre les matériels répondant à la norme 802.11

et de vendre le label « Wi-Fi » aux matériels répondant à leurs spécifications [F. Lemainque, 2009].

### *L'architecture de Wi-Fi*

Comme tous les standards de l'IEEE, 802.11 couvre les deux premières couches du modèle de référence OSI. L'une de ses caractéristiques essentielles est qu'il définit une couche MAC commune à toutes les couches physiques. De la sorte, de futures couches physiques pourront être ajoutées sans qu'il soit nécessaire de modifier la couche MAC [P. Guy, 2011].

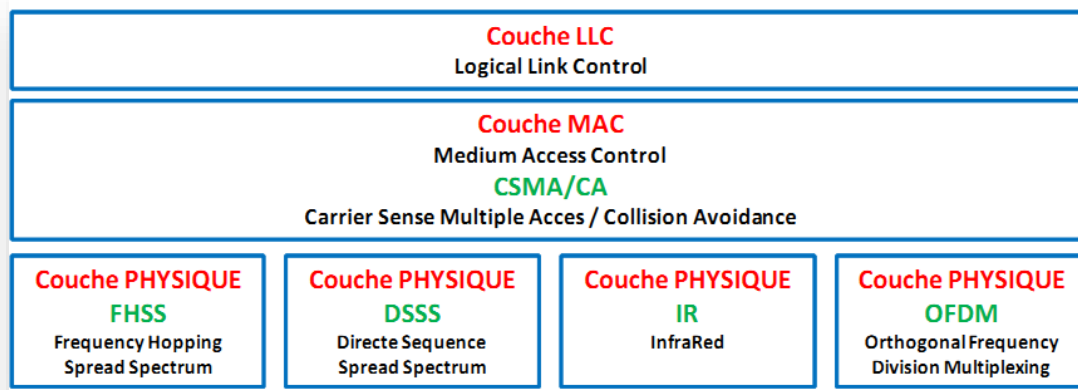
### *La couche physique*

La couche physique a pour rôle de transporter correctement la suite de signaux 0 ou 1 que l'émetteur souhaite envoyer au récepteur. Elle est divisée en deux sous-couches, PLCP (Physical Layer Convergence Protocol) et PMD (Physical Medium Dependent). La sous-couche PMD s'occupe de l'encodage des données, tandis que la sous-couche PLCP prend en charge l'écoute du support. Elle fournit pour cela un CCA (Clear Channel Assessment), qui est le signal utilisé par la couche MAC pour savoir si le support est occupé ou non.

IEEE 802.11 définit quatre couches physiques différentes :

- FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum)
- DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)
- IR (Infrarouge)
- OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)

Le FHSS et le DSSS utilisent la bande des 2,4 GHz de l'ISM (Industrial, Scientific, and Medical). L'infrarouge n'est utilisé que dans les cas où les distances entre les différentes stations sont faibles. La quatrième couche physique a été définie dans la bande des 5,2 GHz. Grâce au codage OFDM, des débits compris entre 6 et 54 Mbit/s peuvent être atteints [P. Guy, 2011].



**Figure 2.4 :** Couches Liaison et Physique du 802.11 [D. Khaled, 2011]

### *La couche liaison de données*

La couche liaison de données est composée essentiellement de deux sous-couches, LLC (Logical Link Control) et MAC. La couche LLC utilise les mêmes propriétés que la couche LLC 802.2. Il est de ce fait possible de relier un WLAN à tout autre réseau local appartenant à un standard de l'IEEE. La couche MAC, quant à elle, est spécifique de 802.11. Le rôle de la couche MAC 802.11 est assez similaire à celui de la couche MAC 802.3 du réseau Ethernet terrestre, puisque les terminaux écoutent la porteuse avant d'émettre. Si la porteuse est libre, le terminal émet, sinon il se met en attente. Cependant, la couche MAC 802.11 intègre un grand nombre de fonctionnalités que l'on ne trouve pas dans la version terrestre [P. Guy, 2008].

Les fonctionnalités nécessaires pour réaliser un accès sur une interface radio sont les suivantes :

- procédures d'allocation du support ;
- adressage des paquets ;
- formatage des trames ;
- contrôle d'erreur CRC (CyclicRedundancy Check) ;
- fragmentation-réassemblage.



L'une des particularités du standard est qu'il définit deux méthodes d'accès fondamentalement différentes au niveau de la couche MAC. La première est le DCF (Distributed Coordination Function), qui correspond à une méthode d'accès assez similaire à celle des réseaux traditionnels supportant le best-effort. Le DCF a été conçu pour prendre en charge le transport de données asynchrones, dans lequel tous les utilisateurs qui veulent transmettre des données ont une chance égale d'accéder au support. La seconde méthode d'accès est le PCF (Point Coordination Function). Fondée sur l'interrogation à tour de rôle des terminaux, ou polling, sous le contrôle du point d'accès, la méthode PCF est conçue essentiellement pour la transmission de données sensibles, qui demandent une gestion du délai utilisé pour les applications temps réel, telles que la voix ou la vidéo. Un réseau en mode ad-hoc utilise uniquement le DCF, tandis qu'un réseau en mode infrastructure avec point d'accès utilise à la fois le DCF et le PCF [P. Guy, 2008].

### *Les évolutions de 802.11*

#### 802.11a :

La norme 802.11a (baptisée WiFi 5) permet d'obtenir un haut débit (dans un rayon de 10 m : 54 Mbit/s théoriques, 27 Mbit/s) [F. Lemainque, 2009]. Les propositions suivantes ont été retenues pour les réseaux 802.11a :

- Fréquence de 5 GHz dans la bande de fréquences sans licence U-NII (Unlicensed-National Information Infrastructure), qui ne nécessite pas de licence d'utilisation.
- Modulation OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) avec 52 porteuses, autorisant d'excellentes performances en cas de chemins multiples.
- Huit débits, échelonnés de 6 à 54 Mbit/s. Le débit sélectionné par la carte d'accès dépend de la puissance de réception [P. Guy, 2008].

#### 802.11b :

La norme 802.11b est la norme la plus répandue en base installée actuellement. Elle propose un débit théorique de 11 Mbit/s (6 Mbit/s réels) avec une portée pouvant aller jusqu'à 300 m (en théorie) ; dans un environnement dégagé. La plage de fréquences utilisée est la bande des 2,4 GHz (bande ISM, Industrial Scientific Medical) avec, en France, 13 canaux radio disponibles dont 4 au maximum non superposés (1-5-9-13) [F. Lemainque, 2009].

802.11c : La norme 802.11c n'a pas d'intérêt pour le grand public. Il s'agit uniquement d'une modification de la norme 802.11d afin de pouvoir établir un pont avec les trames 802.11 (niveau liaison de données) [F. Lemainque, 2009].

802.11d : La norme 802.11d est un supplément à la norme 802.11 dont le but est de permettre une utilisation internationale des réseaux locaux 802.11. Elle consiste à permettre aux différents équipements d'échanger des informations sur les plages de fréquences et les puissances autorisées dans le pays d'origine du matériel [F. Lemainque, 2009].

802.11e : La norme 802.11 vise à donner des possibilités en matière de qualité de service (QoS, quality of Service) au niveau de la couche liaison de données. Ainsi, cette norme a pour but de définir les besoins des différents paquets en termes de bande passante et de délai de transmission de manière à permettre, notamment, une meilleure transmission de la voix et de la vidéo [F. Lemainque, 2009].

802.11f : La norme 802.11f est une recommandation à l'intention des vendeurs de points d'accès pour une meilleure interopérabilité des produits. Elle propose le protocole IPRP (Inter-access Point Roaming Protocol) permettant à un utilisateur itinérant de changer de point d'accès de façon transparente lors d'un déplacement, quelles que soient les marques des points d'accès présentes dans l'infrastructure réseau. Cette possibilité est appelée itinérance (roaming) [F. Lemainque, 2009].

802.11g : La norme 802.11g est actuellement la plus répandue dans le commerce. Elle offre un haut débit (54 Mbit/s théoriques, 25 Mbit/s réels) sur la bande de fréquence des 2,4 GHz et propose une compatibilité ascendante avec la norme 802.11b, ce qui signifie que des matériels conformes à la norme 802.11g peuvent fonctionner en 802.11b. Cette aptitude permet aux nouveaux équipements de proposer le 802.11g tout en restant compatibles avec des réseaux existants souvent encore en 802.11b. Il est possible d'utiliser au maximum 4 canaux non superposés (1-5-9-13) [F. Lemainque, 2009].

802.11h : La norme 802.11h vise à rapprocher la norme 802.11 du standard européenne (HiperLAN2, d'où le h de 802.11h) et être en conformité avec fréquence et d'économie.

802.11i : La norme 802.11i a pour but d'améliorer la sécurité des transmissions (gestion et distribution des clés, chiffrement et authentification). Cette norme s'appuie sur l'AES (Advanced Encryption Standard) et propose un chiffrement des communications pour les transmissions utilisant les standards 802.11a, 802.11b et 802.11g [F. Lemainque, 2009].

802.11IR : La norme 802.11IR a été élaborée de manière à utiliser des signaux infrarouges. Cette norme est désormais techniquement dépassée [F. Lemainque, 2009].

802.11j : La norme 802.11j est à la réglementation japonaise ce que le 802.11h est à la réglementation européenne [F. Lemainque, 2009]. Très proche de 802.11a (OFDM, 54 Mbits/s, etc.), elle travaille dans la bande 4,9 GHz – 5 GHz [D.B. Van, 2007].

802.11n : Propose un débit bande de base de 540 Mbits/s sur une portée de 50 mètres environ grâce à l'utilisation conjointe des techniques MIMO et OFDM. Elle propose l'utilisation des deux bandes de fréquences 2,4 GHz (comme 802.11b et 802.11g) et 5 GHz (comme 802.11a). Comme 802.11g, cette norme reste compatible avec 802.11 ; de plus, elle reprend les concepts de 802.11e pour la gestion de la Qualité de Service, de 802.11i pour la sécurité et de 802.11f pour la gestion des handovers [D.B. Van, 2007].

802.11s : Le débit théorique atteint aujourd'hui 10 à 20 Mbit/s. Elle vise à mettre en œuvre la mobilité sur les réseaux de type ad hoc. Tout point qui reçoit le signal est capable de le retransmettre. Elle constitue ainsi une toile au-dessus du réseau existant. Un des protocoles utilisés pour mettre en œuvre son routage est OLSR [F. Lemainque, 2009].

802.11 ac : IEEE 802.11ac est une version de WiFi sur laquelle reposent beaucoup d'espoirs. C'est un WiFi classique, mais avec des débits de plusieurs gigabits par seconde. Deux solutions sont en discussion et devraient se compléter. La première, assez simple, consiste à augmenter la largeur du canal de transmission en utilisant beaucoup plus la bande des 5GHz. La seconde solution concerne la virtualisation des antennes. Cette technique consiste à permettre l'émission de plusieurs communications sur une même fréquence, mais dans des directions distinctes. Il y a un multiplexage dans l'espace d'où le nom de la technique SDMA (Space Division Multiple Access) [P. Guy, 2011]. La technologie SDMA, également connue sous le nom de MU-MIMO (Multiple MIMO), permet de connecter plusieurs utilisateurs simultanément sur la même fréquence sans interférence [P. Guy, 2011].

802.11af: La technique IEEE 802.11 af s'attaque à une solution totalement différente pour monter en débit: l'utilisation de la radio cognitive. Elle consiste à réutiliser les bandes de fréquence qui ne sont pas utilisées à un instant t. Le standard WiFi IEEE 802.11 af à ne pas confondre avec IEEE 802.11 ac, ou PoE (Power over Ethernet), est appelé TVWS (TV White Space). L'expression « espace blanc » (White space) renvoie précisément aux fréquences qui ne sont pas utilisées par les canaux de télévisions hertziennes.

Au niveau physique, la méthode utilisée dans l'IEEE 802.11af est de type FSS (FixedSubcarrierSpacing) OFDM. Les canaux utilisés dans l'OFDM peuvent contigus ou non, c'est-à-dire appartenir à des canaux de télévision qui se trouvent l'un à côté de l'autre ou contraire séparer par des canaux de télévision actifs [P. Guy, 2011].

#### **2.2.4. Les réseaux WiMAX**

WiMAX (WorldwideInteroperability for Microwave Access) est une solution pour des réseaux MAN sans fil. En utilisant un accès WiMAX, on peut atteindre théoriquement un débit jusqu'à 70 Mb/s avec une distance de 50 km. WiMAX se sert de la technologie micro-onde avec plusieurs bandes de fréquences. Par rapport au modèle OSI, IEEE 802.16 se focalise comme tous les standards IEEE sur la couche 1 et 2. WiMAX prend en charge les transferts de type ATM et IP. Pour cela il utilise une sous-couche de convergence qui permet la conversion des informations afin de les rendre exploitable par la couche MAC [B. Tarek, 2010].

WiMAX couvre des zones géographiques importantes sans la contrainte d'installation d'infrastructures coûteuses pour faire parvenir la connexion jusqu'à l'utilisateur. Le premier élément de l'architecture WMAN est la station de base (BS) qui couvre une certaine zone géographique où se situent des utilisateurs immobiles ou en mouvement relativement lent qui communiquent avec la BS selon le principe du point à multipoint. Ce réseau peut fournir des débits importants et un passage à l'échelle en raison des capacités de canal flexibles. Il offre une couverture importante, des services avec des exigences de QoS, ainsi qu'une sécurité importante. Le standard 802.16 couvre l'utilisation des bandes de fréquences de 10 à 66 GHz [B. Tarek, 2010].

Plusieurs variantes de standard ont été proposées, modifiées et ratifiées comme le résume la table 2.1 :

**Tableau 2.1:** Historique de standard d'IEEE 802.16 [I. Khalil, 2009]

Standard IEEE 802.16	Bande de fréquence (BF)	Date
<b>IEEE 802.16</b>	Réseaux métropolitains sans fil BF supérieure à 10 GHz	Octobre 2002 Obsolète
<b>IEEE 802.16a</b>	Réseaux métropolitains sans fil BF comprise entre 2 et 11 GHz	
<b>IEEE 802.16b</b>	Réseaux métropolitains sans fil BF comprise entre 10 et 60 GHz	
<b>IEEE 802.16c</b>	Réseaux métropolitains sans fil dans les bandes BF libres	
<b>IEEE 802.16d</b> <b>(IEEE std 802.16-2004)</b>	Révision intégrant les standards 802.16, 802.16a et 802.16c	Octobre 2004
<b>IEEE 802.16<sup>e</sup></b>	Réseaux métropolitains sans fil avec des clients mobiles	Février 2006
<b>IEEE 802.16f</b>	Réseaux sans maillés (mesh network)	

Les révisions du standard IEEE 802.16 se déclinent en deux catégories :

**WiMAX fixe** : également appelé IEEE 802.16-2004, est prévu pour un usage fixe avec une antenne montée sur un toit, à la manière d'une antenne TV. Le WiMAX fixe opère dans les bandes de fréquence 2,5 GHz et 3,5GHz, pour lesquelles une licence d'exploitation est nécessaire, ainsi que la bande libre des 5,8GHz [F. Lemainque, 2009].

C'est cette norme qui est actuellement commercialisée pour les connexions Internet. Elle n'est nullement conçue pour la mobilité et ne supporte pas le « roaming » [B. Badr et al, 2012].

**WiMAX mobile** (en anglais WiMAX portale), également baptisé IEEE 802.16e, prévoit la possibilité de connecter des clients mobiles au réseau internet. Le WiMAX mobile ouvre ainsi la voie à la téléphonie mobile sur IP ou plus largement à des services mobiles haut débit [F. Lemainque, 2009]. Cette solution est en concurrence avec les connexions 3G actuelles (débit de 400 à 700 Kbps). La plage de fréquence se situe entre 2 et 6 GHz [B. Badr et al, 2012].

### Couches Protocolaires

Dans la structure de la pile protocolaire du WiMAX, il existe une couche physique et trois sous-couches MAC :

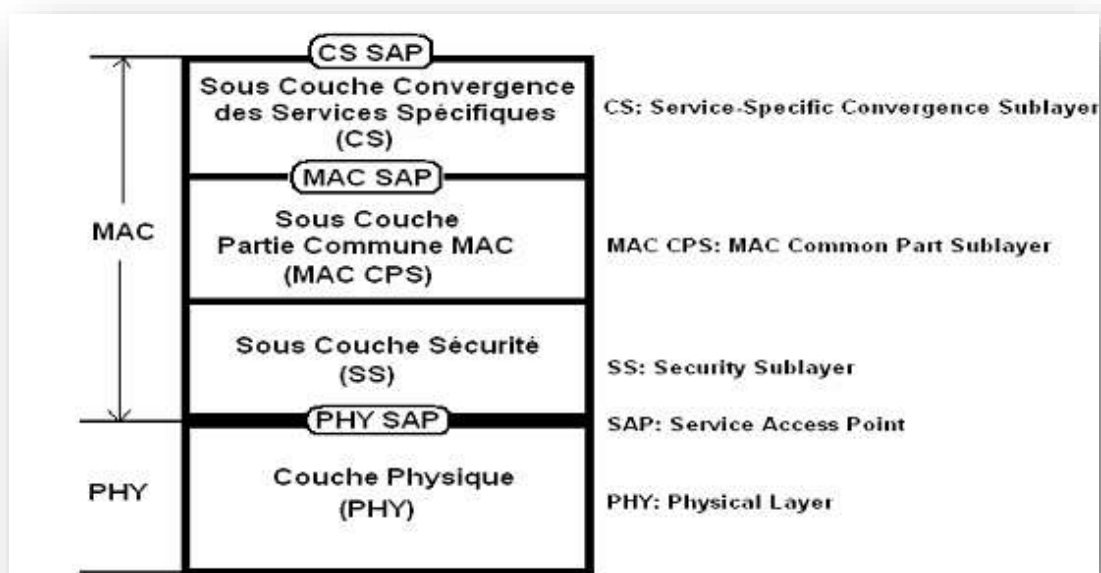


Figure 2.5 : Pile protocolaire de WiMAX [B. Tarek, 2010]

**Service-Specific Convergence Sublayer** (1ère sous couche MAC) : Joue le rôle d'interface avec les couches supérieures ou bien avec les systèmes externes. Elle a entre autre la charge de classer les paquets selon leur provenance et leur destination afin de les répartir sur la bonne connexion MAC.

**Common Part Sublayer** (2ème sous couche MAC) : Contient les fonctions clés de la couche MAC. Elle détermine de quelle manière le médium va être partagé. C'est le cœur de la couche MAC à savoir qu'elle s'occupe de l'allocation de ressource, de l'établissement et de la maintenance des connexions, etc...

**Sous couche de protection** (3ème sous couche MAC) : Contient les informations d'authentification et de cryptage. Elle s'occupe aussi du cryptage des données, de l'échange des clefs, etc...

#### **Couche physique :**

- Modulation : Selon les besoins, différentes couches physiques peuvent être utilisées par la couche MAC. Au niveau physique, on utilisera par exemple différentes méthodes de modulation (QPSK, QAM 16, QAM 64) pour gérer l'envoi des bits sur le support.
- Multiplexage : Pour gérer le partage des porteuses sur les voies montantes et descendantes, des techniques de multiplexage sont utilisées: TDD (Time Division Duplex) et FDD (Frequency Division Duplex).
- Méthodes d'accès : Il est nécessaire de partager un support unique entre plusieurs utilisateurs. Une politique d'accès au support est donc mise en place, en l'occurrence, le WiMAX utilise TDM/TDMA (Time Division Multiplexing / Time Division Multiple Access) [B. Tarek, 2010].

#### **QoS dans le WiMAX**

Le WiMAX a été conçu dès le début pour prendre en charge la Qualité de Service (QoS). La couche MAC permet de différencier deux classes de stations d'abonnées (SS):

- **GPC** (Grant per Connection) : Où le débit est alloué explicitement par la BS à une connexion, et la SS emploie les ressources seulement pour cette connexion.

- **GPSS** (Grant per SS) : Où l'allocation de débit par la BS est faite par station d'abonné SS. Elle va ensuite répartir ses ressources entre les différentes connexions.

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

**Unsollicited Grant Service** (UGS) : Ce type de service est utilisé pour des flux temps réel générant des paquets de taille fixe et de façon périodique comme de la transmission de voix sans suppression de silences.

**Real-Time Polling Service** (rtPS) : Ce service concerne les flux temps réel générant périodiquement des paquets de taille variable comme de la vidéo encodée en MPEG.

**Non-Real-Time Polling Service** (nrtPS) : Ce service est conçu pour les flux ne nécessitant pas de temps réel, utilisant des paquets de taille variable, comme du transfert de fichiers (FTP) à haut débit.

**Best Effort** (BE) : Ce service est le plus simple de tous, il est utilisé pour tous les flux ne nécessitant pas de qualité de service particulière [B. Tarek, 2010].

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

Au niveau de l'interface physique, IEEE 802.16e utilise la méthode d'accès OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) qui permet d'adapter les canaux de manière dynamique [B. Tarek, 2010].

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



L'IEEE 802.16e est composé aussi du NAP (Network Access Provider) qui est l'entité responsable de fournir l'infrastructure nécessaire pour l'accès radio à un ou plusieurs fournisseurs de services. Elle contrôle un ou plusieurs ASN (Access Service Network) qui est formée d'une ou plusieurs BS, et d'un ou plusieurs ASN-GW [B. Tarek, 2010].

La dernière composante de l'IEEE 802.16e est le NSP (Network Service Provider). Cette entité fournit l'accès au réseau IP et offre aux abonnés l'accès aux services réseau. Le NSP contrôle un ou plusieurs CSN (Connectivity Service Network) qui est le cœur du réseau WiMAX. Une telle architecture est illustrée à la figure suivante :

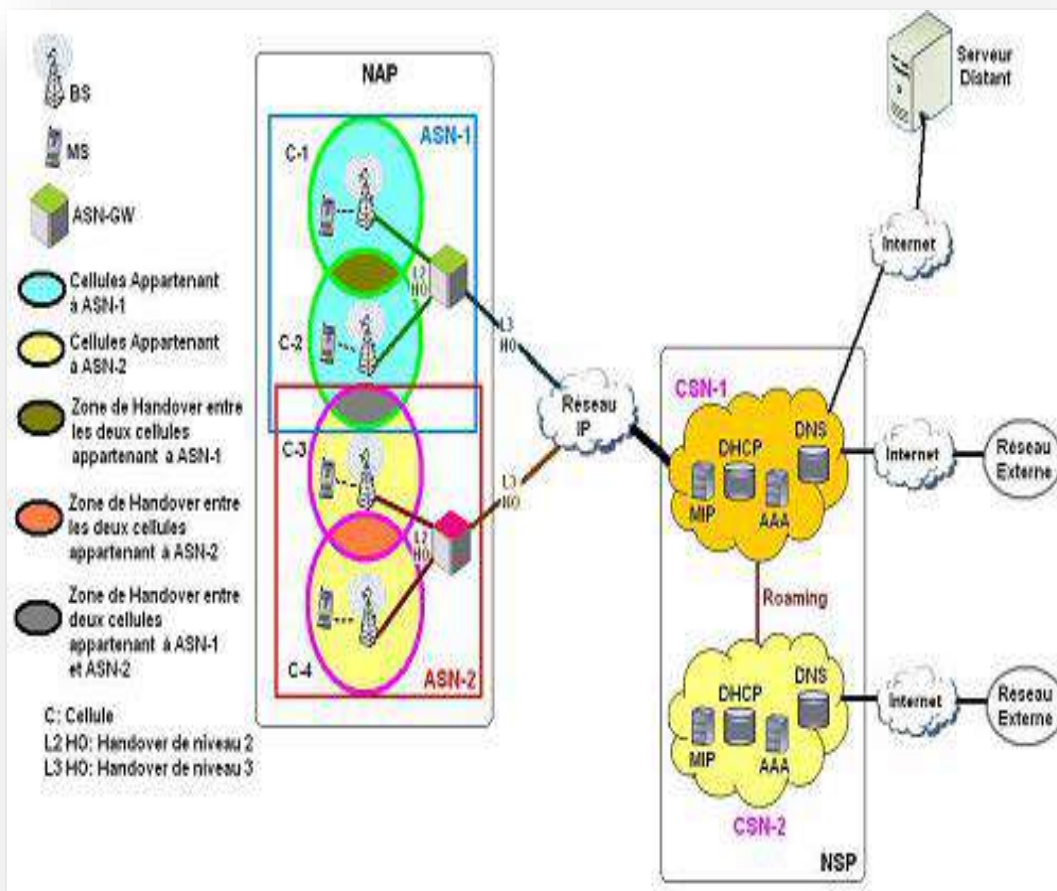


Figure 2.6 : Architecture du WiMAX mobile [B. Tarek, 2010].

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

- **Network Access Provider (NAP)** : Une entreprise qui fournit l'infrastructure d'accès radio à un ou plusieurs fournisseurs de services de réseau.

- **Network Service Provider (NSP)** : Une entité qui fournit la connectivité IP et les services réseau aux abonnés compatibles avec le niveau de service établi. Pour fournir ces services, un NSP établit des ententes contractuelles avec un ou plusieurs programmes d'action nationaux. Un NSP peut également établir des accords de Roaming avec d'autres fournisseurs de services réseau et des ententes contractuelles avec des tiers fournisseurs de l'application (par exemple ASP) pour fournir des services IP aux abonnés.

- **ConnectivityServing Network (CSN)** : Représentation logique des fonctions du NSP, par exemple :

- Raccordement à Internet.
- Authentification, autorisation et gestion.
- Gestion de l'adresse IP.
- Mobilité et Roaming entre ASNs.
- Gestion de la politique et de la QoS fondée sur le SLA (Service Level Agreement).

Elle contient des éléments de gestion comme le DHCP, l'AAA, l'HA, etc.

- **Access Serving Network (ASN)** :

Représentation logique des fonctions du NAP, exemple :

- Interface d'entrée au réseau 802.16.
- Gestion des ressources radio et contrôle d'admission.
- Gestion de la mobilité.
- QoS et politique de renforcement.
- Acheminement pour la sélection de CSN.

Elle contient une ou plusieurs stations de bases responsables de la communication avec les abonnés, et un ou plusieurs ASN-GW qui constituent une passerelle qui assure la connexion des BSs avec le CSN.

- **ASN Gateway (ASN GW)** : Elément du réseau WIMAX qui agit comme une entité logique dans le système WIMAX. Il sert à représenter une agrégation du plan de contrôle des entités fonctionnelles avec la fonction correspondante dans l'ASN ou la fonction résidente dans le CSN, ou une autre fonction dans l'ASN. L'ASN GW : Gère la mobilité, le Handover (transfert intercellulaire) et le forwarding. Il agit comme une passerelle. Il contrôle les ressources radio. Il renforce la QoS et la classification des fonctions et se charge de la gestion et de la sécurité.

Fonctions de l'ASN-GW :

Gestion de localisation et du Paging.

Serveur pour la session réseau et le contrôle de la mobilité.

Contrôle d'admission et mise en cache des profils d'abonnés, et des clés de chiffrement.

AAA (Authentication Authorization Accounting) client/proxy.

Fournit les fonctionnalités de l'agent étranger.

Routage IPv4 et IPv6 pour sélectionner le CSN.

**La station de base** : Située dans l'ASN et responsable de la communication sans fil avec les abonnés.

**Les terminaux d'abonnés** : Sont des équipements spéciaux équipés d'une carte WiMAX qui permet la communication avec ce réseau. Ils sont situés dans la zone de couverture d'une BS pour pouvoir communiquer avec cette dernière [B. Tarek, 2010].

### 2.2.5. La technologie LTE

LTE(Long Term Evolution of 3G) est la norme de communication mobile la plus récente qui est proposée par l'organisme 3GPP dans le contexte de la 4G. Comme l'IEEE 802.16m, elle propose des débits élevés pour le trafic temps-réel, avec une large portée. Théoriquement, le LTE peut atteindre un débit de 50 Mb/s en lien montant et 100 Mb/s en lien descendant [B. Tarek, 2010].

En réalité, l'ensemble de ce réseau s'appelle EPS (Evolved Packet System), et il est composé des deux parties : le réseau évolué d'accès radio LTE, et le réseau cœur évolué appelé SAE (System Architecture Evolution) [B. Tarek, 2010].

### **Accès radio LTE**

le LTE emploie la technologie OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) dans le sens descendant, et le SC-FDMA (Single Carrier - Frequency Division Multiple Access) dans le sens montant [B. Tarek, 2010].

Le LTE respecte les délais requis par le trafic temps-réel. Cette technologie prend en charge la mobilité des utilisateurs en exécutant le Handover à une vitesse allant jusqu'à 350 km/h. Le LTE a pris en charge l'interconnexion et l'interopérabilité avec les normes 2G et 3G, et les réseaux CDMA-2000.

Contrairement à la 3G qui nécessite d'allouer une bande de fréquence de 5 MHz, le LTE propose plusieurs bandes de fréquences allant de 1.25 jusqu'à 20 MHz. Cela lui permettra de couvrir de grandes surfaces [B. Tarek, 2010].

### **Réseau cœur SAE**

Contrairement aux normes 2G et 3G qui proposent deux domaines de commutation de circuit et de paquet, SAE ne propose qu'un seul domaine paquet fondé sur l'IP et appelé EPC (Evolved PacketCore).

Il y a deux types de communication au niveau de SAE : Default bearer qui est une connectivité permanente sans garantie de débit entre un abonné et son réseau SAE d'attachement ; et Dedicated bearer qui est une connectivité avec garantie de débit et d'une certaine QoS dans le cas de l'utilisation d'un trafic temps-réel sensible au délai [B. Tarek, 2010].

### **Réseau global EPS**

En comparant avec les normes 2G et 3G, l'architecture de l'EPS est plus simple. En particulier la nouvelle entité eNodeB remplace les fonctions des deux composants NodeB et RNC définis dans la 3G.

L'EPS est composé de :

- **UE** : équipement utilisateur.

- **eNodeB** : responsable de la transmission et de la réception radio avec l'UE.
- **MME** (Mobility Management Entity) : MME est responsable de la gestion de la mobilité et l'authentification des utilisateurs. Elle est responsable aussi du Paging lorsque l'utilisateur est en état inactif. Elle sélectionne les composants dédiés aux types de la communication de l'utilisateur. Elle gère le Handover inter-domaines et inter-réseaux. Et enfin elle s'occupe de la signalisation.
- **Serving GW** (Serving Gateway) ou UPE (User Plane Entity) : joue le rôle d'une passerelle lors du Handover inter-domaines et inter-réseaux. Responsable du routage des paquets [B. Tarek, 2010].
- **PDN GW** (Packet Data Network Gateway) ou IASA (Inter-Access System Anchor) : chargé de la mobilité entre différents systèmes, il est composé de l'élément 3GPP Anchor qui permet d'exécuter la mobilité entre LTE et les technologies 2G/3G, et l'élément SAE Anchor qui permet d'exécuter la mobilité entre le système 3GPP et les systèmes non 3GPP (WIFI, WIMAX, etc.). Sachant que l'élément SAE Anchor ne prend aucune décision concernant la mobilité, il exécute seulement les décisions prises par l'UE. Responsable de l'attribution des adresses IP aux utilisateurs.
- **HSS** (Home Subscriber Server) : base de données, évolution du HLR de la 3G. Elle contient les informations de souscriptions pour les réseaux GSM, GPRS, 3G et LTE...
- **PCRF** (Policy & Charging Rules Function) : fournit les règles de la taxation.
- **ePDG** (Evolved Packet Data Gateway) : un élément réseau qui permet l'interopérabilité avec le réseau WLAN en fournissant des fonctions de routage des paquets, de Tunneling, d'authentification, d'autorisation et d'encapsulation / décapsulation des paquets [B. Tarek, 2010].

L'architecture du réseau EPS est présentée ci-dessous :

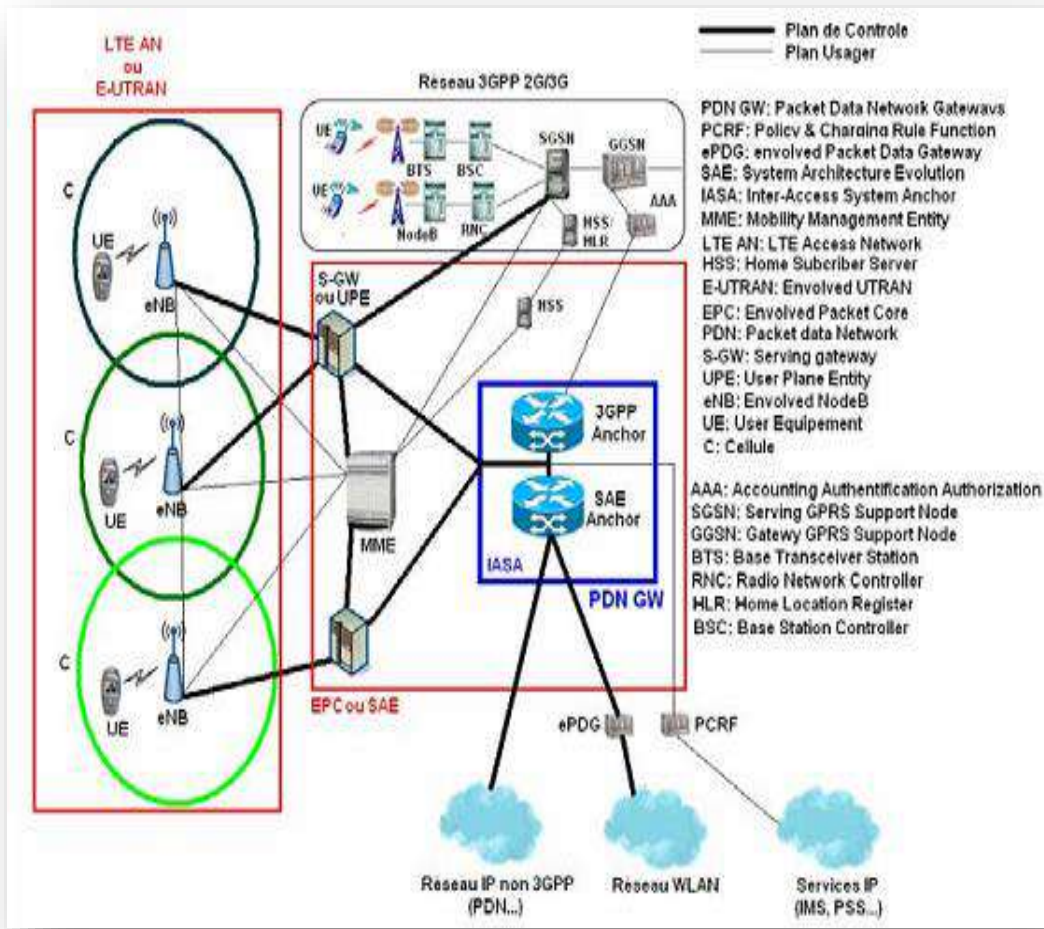


Figure 2.7 : Architecture de l'EPS [B. Tarek, 2010]

### 2.2.6. Réseau mobile de prochaine génération (4G)

Avec la 3G+ et la 4G, l'important devient la transmission de données et l'intégration des réseaux de mobiles dans l'environnement IP. La 4G marquera la convergence totale avec le réseau Internet fixe. Les clients ne verront plus aucune différence entre une connexion mobile et une connexion fixe [P. Guy, 2011].

La 4G est également liée au mixage de plusieurs technologies simultanément, une station pouvant être connectée en même temps sur plusieurs réseaux. Les applications se déroulant sur l'équipement terminal peuvent ainsi choisir le meilleur réseau par rapport à leurs contraintes de qualité de service, de sécurité, de disponibilité et de gestion de la mobilité.

On appelle ces réseaux « multi-homés » parce qu'ils possèdent plusieurs réseaux de base. Ils peuvent recevoir plusieurs adresses IP puisqu'une station est enregistrée dans plusieurs réseaux [P. Guy, 2008].

Les technologies supposées comme candidates potentielles pour une validation 4G sont : LTE Advanced et WiMAX 802.16m.

### **LTE Advanced**

LTE Advanced et WiMAX phase 2 marquent le véritable démarrage de la 4G. LTE Advanced est naturellement la suite de LTE, avec une compatibilité IP. WiMAX phase 2 appartient également à la famille 4G et est par nature compatible IP. De nombreuses fonctions ont été révisées par rapport à WiMAX phase 1. La caractéristique essentielle reste cependant la totale compatibilité avec le monde IP.

De nombreux éléments nouveaux sont pris en compte dans la 4G représentée par le LTE Advanced. Les points marquants sont les suivants :

\*les nœuds relais qui permettent d'atteindre une antenne E-NodeB (EnhancedNodeB) ou encore eNB par l'intermédiaire d'un point relais. Cette solution a été essentiellement proposée dans le cadre de WiMAX phase 2 mais est reprise par le LTE Advanced.

\*les solutions MIMO sont utilisées, que ce soit dans le sens antenne vers terminal ou dans le sens inverse.

\*les bandes passantes utilisées vont de 20 MHz à 100 MHz, ce qui permet de multiplier les débits jusqu'à un facteur 5 lorsque nécessaire.

\*l'interface air est optimisée en fonction de l'emplacement du terminal et des interférences.

\*la 4G joue la carte de la compatibilité avec les environnements Wi-Fi qui se développent à grande vitesse afin de profiter de ces réseaux pour l'écoulement de trafics important [P. Guy, 2011].

**WiMAX phase 2**

Le groupe IEEE responsable de sa normalisation a demandé au 3GPP de devenir membre de la famille 4G. Cette demande a été accordée puisque WiMAX est complètement compatible avec le monde IP et offre une qualité de service et un système de gestion correspondant aux demandes des opérateurs de télécommunications [P. Guy, 2011].

Pour cela, le comité IEEE 802.16 a introduit de nouveaux groupes de travail suivants:

- IEEE 802.16g : Network Management Task Group (Management Plane Procedures & Services)
- IEEE 802.16h : License-Exempt Coexistence Task Group
- IEEE 802.16j : Mobile Multihop Relay Task Group
- IEEE 802.16m : Advanced Air Interface Task Group

Le groupe le plus important est le dernier. Il a pour objectif de définir une interface radio améliorée permettant de doubler au minimum les débits pour obtenir 46 Mbit/s dans le sens descendant et toujours 4 Mbit/s dans le sens montant. WiMAX phase 2 augmente encore ces débits pour être du même ordre de grandeur que ceux de LTE advanced. Cette phase sera suivie de WiMAX phase 3, avec l'objectif de démultiplier de nouveau les vitesses pour atteindre plusieurs centaines de mégabits par seconde, voire le gigabit par seconde [P. Guy, 2011].

IEEE 802.16m est une amélioration du WiMAX (802.16-2004) et du WiMAX mobile (802.16e) assurant la compatibilité avec les deux systèmes. Les débits théoriques proposés par cette version atteignent 100 Mb/s en situation de mobilité, et à 1 Gb/s quand la station abonnée est fixe. Le système 802.16m peut opérer dans des fréquences radio inférieures à 6 GHz. IEEE 802.16m utilisera la technologie MIMO (Multiple Input / Multiple Output) comme le Mobile WiMAX en proposant d'améliorer la technologie d'antenne pour obtenir une bande passante plus grande. On peut voir le 802.16m comme une technologie qui profite des avantages de la 3G et du 802.16 pour offrir un ensemble de services à très haut débit (Streaming vidéo, IPTV, VoIP). L'IEEE 802.16m gardera la même architecture et la même pile protocolaire que le 802.16e [B. Tarek, 2010].



L'objectif des évolutions vers le LTE Advanced et WiMAX phase2 est d'atteindre les très hauts débits fixés par l'UIT pour la 4G NGMN (Next Generation Mobile Network) [P. Guy, 2011].

### **2.3. Les réseaux sans fil de dernière génération NGN**

Les réseaux NGN représentent la prochaine génération de réseaux censée réaliser la convergence totale des services en une seule réseau sans fil hétérogènes basé sur la technologie IP qui permette une interconnexion et une interopérabilité entre différents réseaux (GSM, UMTS, WiMAX, WiFi, LTE,..) afin d'offrir une gamme diversifiée de haut débit de données et de services multimédias pour les utilisateurs finaux. Par conséquent, les opérateurs de télécommunication seront tenus d'élaborer une stratégie pour l'interopérabilité de ces différents types des réseaux existants. Il est nécessaire de concevoir des algorithmes intelligents pour les décisions de Handover Vertical pour permettre aux utilisateurs mobiles d'obtenir, et de façon transparente, la meilleure connexion partout et en tout temps.

Du point de vue des utilisateurs mobiles, il existe de nombreuses caractéristiques des réseaux sans fil hétérogènes tels que :

- Haute facilité d'utilisation: partout, à tout moment et avec n'importe quel système.
- Multiples services de divers fournisseurs tels que la navigation sur le Web, le téléchargement de fichiers, VoIP et l'application de streaming.
- Support les services de télécommunication et les services multimédias à haut débit de données à faible coût de transmission.
- Capacités de communication multiples pour prendre en charge deux ou plusieurs types de technologies réseaux.

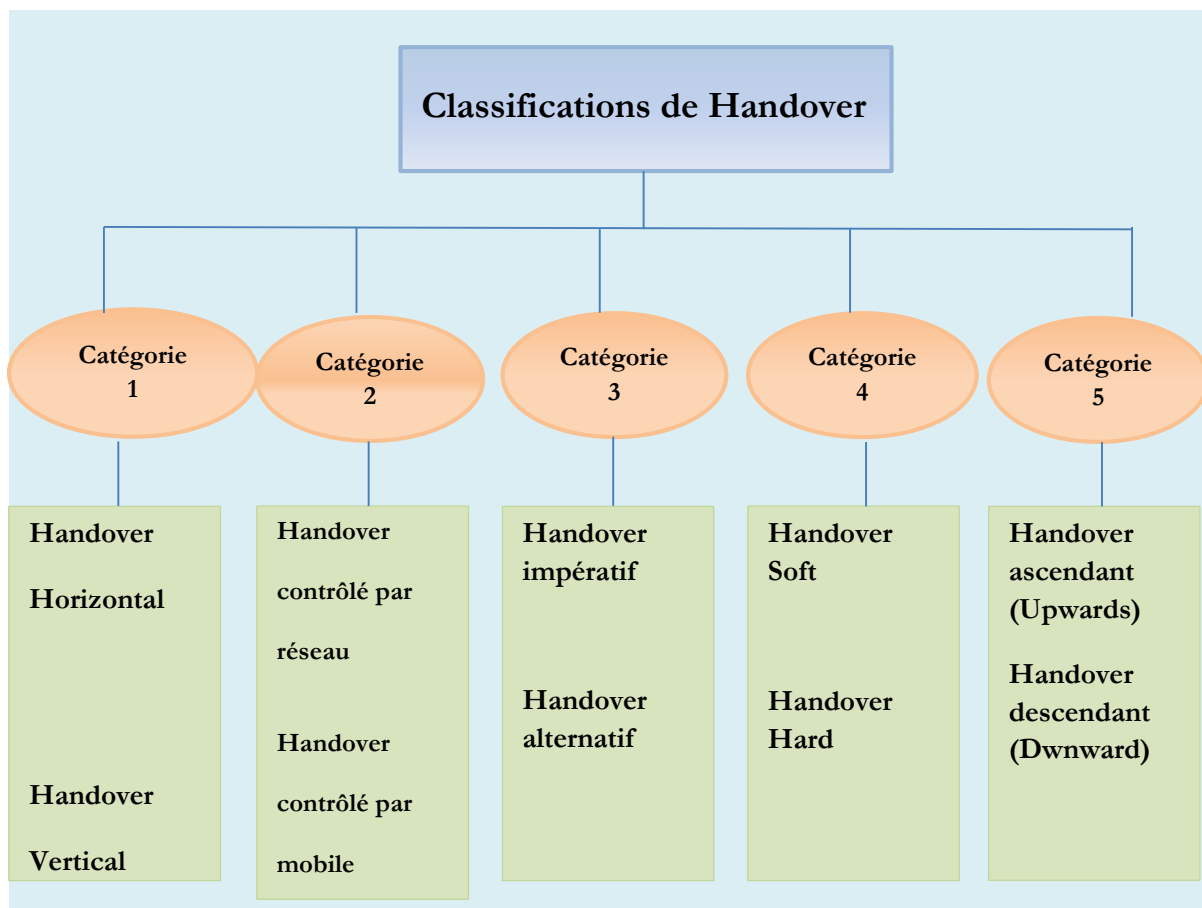
### **2.4. Gestion de Handover dans les réseaux NGN**

La gestion du Handover (transfert intercellulaire) est un processus qui permet aux utilisateurs mobiles de poursuivre leurs sessions en cours lorsqu'ils se déplacent dans les mêmes zones de couverture RAT (Radio Access Technologies) ou traversent des RAT différentes. Dans les

réseaux sans fil hétérogènes, la gestion du Handover est cruciale car les RAT diffèrent généralement en termes de paramètres multiples tels que RSS, débit, fiabilité, coût du service, sécurité, consommation d'énergie, zone de couverture et latence. Par conséquent, la complémentarité de ces RAT via les architectures d'interfonctionnement de Handover Vertical (VHO) est essentielle pour fournir une capacité d'accès sans fil omniprésente avec le meilleur réseau d'accès disponible répondant aux exigences de l'utilisateur mobile (par exemple, zone de couverture élevée, débit de données élevé et faible coût).

### 2.4.1. Classifications de Handover

Le Handover a été classé conformément aux cinq catégories suivantes, comme la montre la Figure suivante :



**Figure 2.8** : Classifications de Handover

#### Catégorie 1 : selon Scénarios de mobilité

Les scénarios de mobilité peuvent être classés en un Handover Horizontal (HHO), homogène, intra-système ou micro-mobilité (entre différentes cellules du même RAT) et Vertical Handover

(VHO), également connu sous le nom hétérogène, inter-système ou macro-mobilité (entre différents types de RATs). Le RAT homogène est généralement requis lorsque le routeur d'accès de desserte devient indisponible en raison du mouvement du utilisateur mobile (c'est-à-dire lorsque RSS du routeur d'accès de desserte (par exemple, BS ou AP) se détériore en dessous d'une certaine valeur seuil). Dans les RAT hétérogènes, il y a plus de critères que de RSS (c'est-à-dire que les utilisateurs mobiles bénéficieront de caractéristiques RAT différentes (par exemple, RSS, débit, sécurité et coût)) [O. Khattab, 2014].

### **Catégorie2 : contrôle de Handover**

Le contrôle de Handover (décision de Handover) peut être pris soit par l'entité de réseau, soit par l'utilisateur mobile, ces cas étant respectivement appelés Handover contrôlé par réseau (NCHO : Network Controlled Handover) et Handover contrôlé par mobile (MCHO : Mobile Controlled Handover). Dans NCHO, les objectifs des opérateurs de réseaux sont principalement associés à la gestion des ressources réseau et à la satisfaction des besoins des utilisateurs tout en maximisant leurs revenus. Dans MCHO, l'objectif de l'utilisateur mobile est d'obtenir la meilleure connexion n'importe où, en se concentrant sur la satisfaction des besoins et des préférences des utilisateurs, quelles que soient les complexités de fonctionnement du réseau et le fonctionnement efficace du réseau [O. Khattab, 2014].

Le contrôle de Handover inclut généralement certaines mesures et informations qui sont obtenues d'une entité ou des deux et qui concernent le moment et l'endroit où effectuer le Handover. Par conséquent, le contrôle de Handover peut être catégorisé comme suit:

- Handover contrôlé par réseau / Handover mobile assisté (NCHO / MAHO) lorsqu'un réseau a le contrôle principal du Handover en exploitant les informations et les mesures recueillies auprès de l'utilisateur mobile.
- Handover contrôlé par mobile/ Handover assisté par réseau (MCHO / ONSA), lorsque l'utilisateur mobile a le contrôle principal du handover en exploitant l'information fournie par le réseau [O. Khattab, 2014].

**Tableau 2.2** : Comparaison du contrôle de Handover

Contrôle de Handover	Avantages	Désavantages
<b>Network Controlled Handover (NCHO)</b>	Gérer les communications en cours de l'utilisateur mobile. Coordonner la mobilité de tous les utilisateurs mobiles.	Manque certains paramètres qui ont un impact sur la décision de transfert.
<b>Mobile Controlled Handover (MCHO)</b>	<p>La décision de transfert sur la base de ses mesures radio actualisées, des préférences de l'utilisateur préconfigurées et de toutes les règles de mobilité des opérateurs téléchargées.</p> <p>Pas besoin d'envoyer des mesures radio inter-technologies à un réseau à partir de l'utilisateur mobile.</p> <p>L'impact sur les réseaux d'accès 2G / 3G et WiMAX mobile est minimisé.</p> <p>Pas besoin d'un accès radio 3G pour suivre les ressources radio disponibles du côté WiMAX et vice versa.</p> <p>Moins de complexité dans un réseau.</p> <p>Moins de frais généraux de signalisation.</p> <p>Moins de latence de transfert</p> <p>Plus flexible.</p>	<p>Se concentrer sur la satisfaction des exigences et des préférences des utilisateurs, indépendamment de la complexité du fonctionnement du réseau et du fonctionnement efficace du réseau.</p>

**Catégorie 3 : Initiation de Handover impérative et alternative**

Il y a deux raisons principales d'initiation de Handover Vertical (VHO): le Handover impératif et le Handover alternatif. Le Handover impératif est déclenché par des événements physiques concernant la disponibilité des interfaces RAT (Technologie d'accès radio) (par exemple, le RSS est en train de s'éteindre) pour maintenir la session en cours. Un Handover alternatif est déclenché par les préférences de l'utilisateur (par exemple, débit de données et coût) [O. Khattab, 2014].

**Catégorie 4 : Soft et Hard Handover**

Le type de transfert est considéré comme souple (Soft) lorsque les utilisateurs mobiles créent une connexion à un réseau cible avant la libération du réseau source précédent; (make before break handover) pour atteindre la mobilité transparente. D'un autre côté, lorsqu'une nouvelle connexion est établie après la sortie de la précédente, le transfert est connu comme dur (Hard) ou (break before make handover) [O. Khattab, 2014].

**9 : Handover Upwards et Handover Downwards**

En Handover ascendant (Upwards), le VHO est le Handover à la RAT situé avec une taille de cellule plus grande et une bande passante inférieure (c'est-à-dire que l'utilisateur mobile se déplace entre un réseau supportant un débit élevé mais une couverture plus faible (par exemple Wi-Fi)) à un réseau avec une couverture plus élevée mais un débit de données inférieur (par exemple, UMTS)). Contrairement à cela, avec le transfert vers le bas (Downward), le VHO est le Handover à la RAT situé avec une plus petite taille de cellule et une plus grande bande passante (c'est-à-dire que l'utilisateur mobile passe d'une grande cellule de couverture avec un faible débit de données à une petite cellule de couverture qui prend en charge un débit de données élevé) [O. Khattab, 2014].

**2.4.2. Terminal mobile multimode de Handover :**

Le réseau sans fils de prochaine génération sera constitué de réseaux d'accès hertziens hétérogènes tels que UMTS, Wi-Fi, WiMAX et LTE, où les utilisateurs mobiles peuvent accéder à ces technologies et services en utilisant un seul appareil. Ce dispositif est équipé de plusieurs interfaces radio comprenant des dispositifs capables de supporter plusieurs RAT en incorporant plusieurs cartes d'interface et un logiciel approprié pour basculer entre des systèmes d'accès multiples. La décision concernant le Handover entre différentes RAT est basée sur les conditions du réseau, les conditions mobiles, les préférences de l'utilisateur, les exigences de QoS (application) et le coût du service [O. Khattab, 2014].

Le terminal mobile multimode doit être capable de [O. Khattab, 2014]:

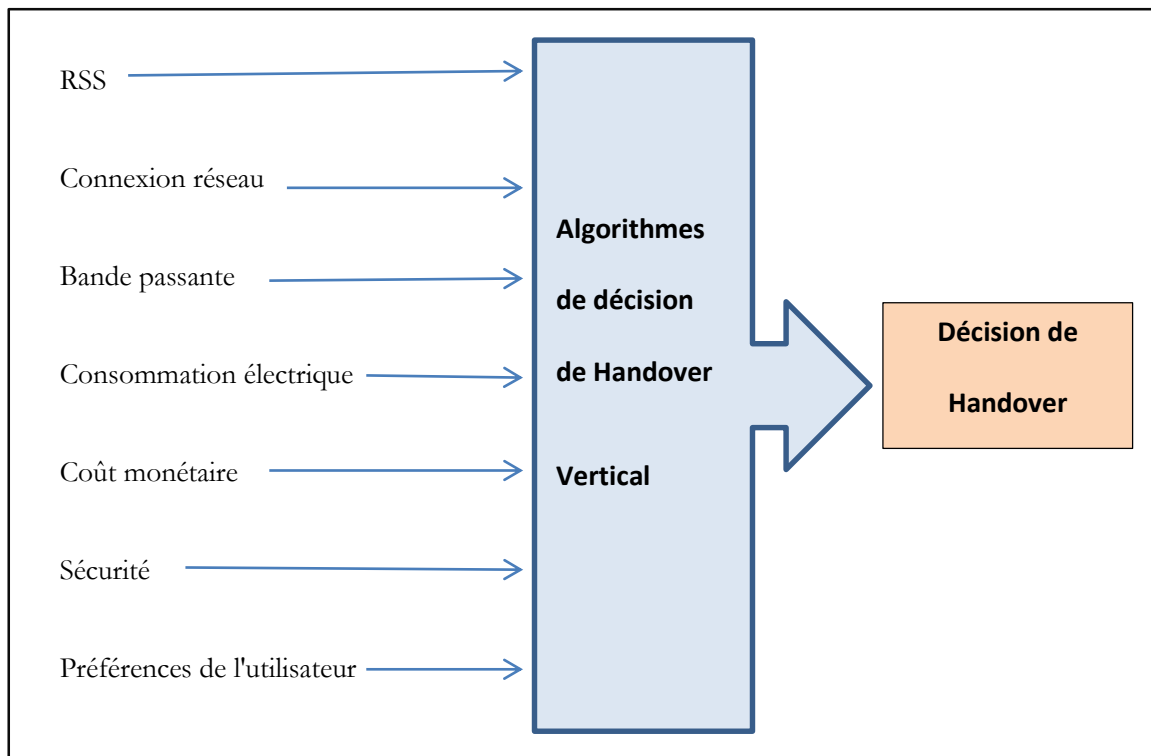
- Détecter les RAT disponibles et leurs capacités.
- Sélectionner, activer et configurer les connexions aux points d'attache appropriés.
- Accéder, modifier et stocker le profil de l'utilisateur.
- Soutenir les applications dans la transmission transparente des connexions existantes de l'ancien réseau d'accès au nouveau réseau d'accès.

### **2.4.3. Critères de Handover :**

Comme mentionné précédemment, les RAT homogènes (Handover Horizontal) considèrent principalement RSS comme le seul critère de décision lorsque le routeur d'accès de desserte devient indisponible en raison du mouvement de l'utilisateur mobile (c'est-à-dire lorsque le flux RSS d'un routeur d'accès de desserte (par exemple BS ou AP) se détériore en dessous d'une certaine valeur de seuil). Alors que dans les RAT hétérogènes (Vertical Handover), les critères pris en compte pour maximiser la satisfaction de l'utilisateur sont plus que simplement RSS (eg, RSS, débit, sécurité et coût), ce qui peut aider les utilisateurs mobiles à choisir le meilleur RAT parmi tous réseaux de candidats disponibles.

À cet égard, nous nous concentrons sur les efforts de recherche et les développements récents pour améliorer la performance d'un processus Handover Vertical où plusieurs paramètres ont été

proposés dans la décision VHO: RSS, temps de connexion réseau, bande passante disponible, consommation électrique, coût monétaire, sécurité et préférences de l'utilisateur [O. Khattab, 2014], ceci est représenté sur la figure suivant



**Figure 2.9** : Paramètres utilisés pour la prise de décisions de Handover Vertical

### 1. Force du signal reçu (RSS)

RSS (Received Signal Strength) est le paramètre le plus largement utilisé dans Handover Horizontal (HHO) en tant que critère de décision car il est facile à mesurer et est directement lié à la qualité de service. Il existe une relation entre les lectures RSS et la distance entre l'utilisateur mobile et son PoA [O. Khattab, 2014].

### 2. Temps de connexion au réseau

Le temps de connexion réseau est la période pendant laquelle l'utilisateur mobile reste connecté à son PoA car il est lié à l'emplacement et à la vitesse de l'utilisateur mobile. Les deux, la distance entre l'utilisateur mobile et son PoA et la vitesse de l'utilisateur mobile, affectent le RSS chez l'utilisateur mobile. La connexion réseau joue deux rôles essentiels : Le premier consiste à choisir le bon moment pour déclencher le transfert afin que la qualité de service puisse être maintenue à

un niveau satisfaisant; Le second rôle joué par la connexion réseau est de réduire le nombre de transferts inutiles; comme la remise à une cible RAT avec potentiellement une courte durée de connexion devrait être découragée. Le temps de connexion réseau est particulièrement important pour Handover Vertical (VHO) car, en général, les réseaux sans fil hétérogènes ont des zones de couverture réseau des tailles différentes [O. Khattab, 2014].

### **3. Bande passante disponible**

La bande passante disponible est une mesure des ressources de communication de données disponibles exprimées en bps. Il est utilisé comme un indicateur des conditions de trafic en RAT et est particulièrement important pour les applications sensibles au retard; par exemple, des applications telles que le streaming vidéo seront plus performantes quand la bande passante plus élevée est disponible [O. Khattab, 2014].

### **4. Consommation d'énergie**

La consommation d'énergie est un problème critique en particulier si les utilisateurs mobiles ont des capacités d'alimentation limitées; par conséquent, il serait préférable dans telles situations de passer à un réseau avec des exigences de puissance plus faibles qui aideraient à prolonger la durée de vie de la batterie [O. Khattab, 2014].

### **5. Coût monétaire**

Le coût des services offerts par différents réseaux avec des politiques de tarification différentes pourrait être une chose importante à considérer par les utilisateurs et pourrait affecter leurs choix de RAT et par conséquent la décision de Handover; par exemple, l'utilisateur peut préférer se connecter à la RAT disponible avec moins chère pour avoir un coût de service minimum [O. Khattab, 2014].

### **6. Sécurité**

Une sécurité appropriée pour certaines applications améliore l'intégrité de l'information et la confidentialité des données transmises; par conséquent, il est parfois préférable d'utiliser un réseau avec une sécurité élevée plutôt qu'un réseau offrant des niveaux de sécurité des données plus faibles [O. Khattab, 2014].



## 7. Préférences de l'utilisateur

Les préférences de l'utilisateur vis-à-vis d'un réseau d'accès pourraient conduire à effectuer le handover en choisissant les meilleurs RAT parmi les multiples disponibles. Par exemple, si un réseau cible auquel l'utilisateur mobile effectue le Handover n'offre pas une haute sécurité, l'utilisateur peut décider de rester au RAT actuel tandis qu'un autre utilisateur peut choisir un réseau moins cher pour accéder aux informations Web quel que soit le niveau de sécurité [O. Khattab, 2014].

## 2.5. Techniques de Handover Vertical dans les réseaux NGWN :

Le réseau NGWN comprendra des réseaux d'accès hertzien hétérogènes tels que UMTS, Wi-Fi, WiMAX et LTE. Ces différentes RAT ont des capacités significatives différentes en termes de zone de couverture, de débit de données pris en charge pour les services, de coût, etc. Par conséquent, la complémentarité de ces technologies via les architectures d'interfonctionnement de Handover Vertical (VHO) est essentielle pour fournir une capacité d'accès sans fil omniprésente avec une zone de couverture élevée, un débit de données élevé et un faible coût pour les utilisateurs mobiles.

Par conséquent, le défi serait la possibilité de déplacer les utilisateurs mobiles de façon transparente entre ces différents types de réseaux sans fil. Pour répondre à ces exigences; nombreuses techniques de VHO ont été proposées pour l'intégration entre les technologies précitées: architectures d'interfonctionnement, cadres d'interfonctionnement, protocoles de gestion de la mobilité; ceux-ci sont discutés ensuite.

Deux principales architectures d'interfonctionnement ont été proposées par l'Institut européen des normes de télécommunications (ETSI), à savoir : le couplage lâche et serré pour l'intégration entre les différents types de technologies [K. Omar et al, Jun 2014]. Il y a aussi deux principaux cadres d'interfonctionnement qui ont été proposés par l'IEEE Groupe et 3GPP : Media Independent Handover IEEE 802.21 (MIH) et IP Multimedia Subsystem (IMS), où chacun d'eux exige d'utiliser des protocoles de gestion de la mobilité et des algorithmes de décision de Handover Vertical pour compléter son travail [K. Omar et al, Jul 2014], [G. Lampropoulos et al, 2008], [S. Frei et al, 2011], [X. Yan et al, 2010].

### 2.5.1. Cadres d'interfonctionnement :

Un défi de l'intégration des réseaux sans fil est de fournir une capacité d'accès sans fil omniprésente et un Handover Vertical transparent (Seamless Vertical Handover) pour les appareils de communication mobile entre différents types de technologies telles que Wi-Fi, WiMAX, UMTS et LTE. Ce défi est crucial car les utilisateurs mobiles sont de plus en plus exigeants pour les services, quelles que soient les complexités technologiques qui leur sont associées.

Pour répondre à ces exigences de VHO transparente ; deux principaux cadres d'interfonctionnement ont été proposés par le groupe IEEE et le 3GPP pour l'intégration entre les technologies susmentionnées; à savoir, MIH et IMS où chacun d'eux nécessite un protocole de gestion de la mobilité pour compléter son travail, comme MIP et SIP, respectivement. [O. Khattab, 2014].

#### a) Cadre de Handover indépendant des médias (MIH)

Le groupe IEEE a publié la norme IEEE 802.21 Media Independent Handover (MIH) en 2009 pour fournir une Handover Vertical transparente entre des réseaux sans fil hétérogènes qui comprennent à la fois des supports sans fil (3GPP et non-3GPP) et câblés [J. Rodriguez et al, 2009], [M. Johann et al, 2011], [P. Neves et al, 2009], [G. Lampropoulos et al, 2008], [IEEE Draft Standard, Apr 2008], [A. Pontes et al, 2008], [D. Corujo et al, 2011], [R. Tamijetchelvy et al, 2012], [M. Kassab et al, 2010] et [P. Vetrivelan et al, 2012]. Le standard IEEE 802.21 définit deux entités; la première, Point de Service (PoS), qui est chargé d'établir la communication entre un réseau et l'utilisateur mobile sous le cadre MIH et le second, point d'attachement (PoA) qui est le point d'accès RAT. Le MIH fournit également trois services principaux: Service d'événements indépendant des médias (MIES), média indépendant Service de commande (MICS) et Service d'information indépendant des médias (MIIS) [T. Miriam et al, 2009] de sorte que le MIH repose sur la présence de protocoles de gestion de mobilité (par exemple, MIP et SIP), ceci est représenté sur la figure 2.10.

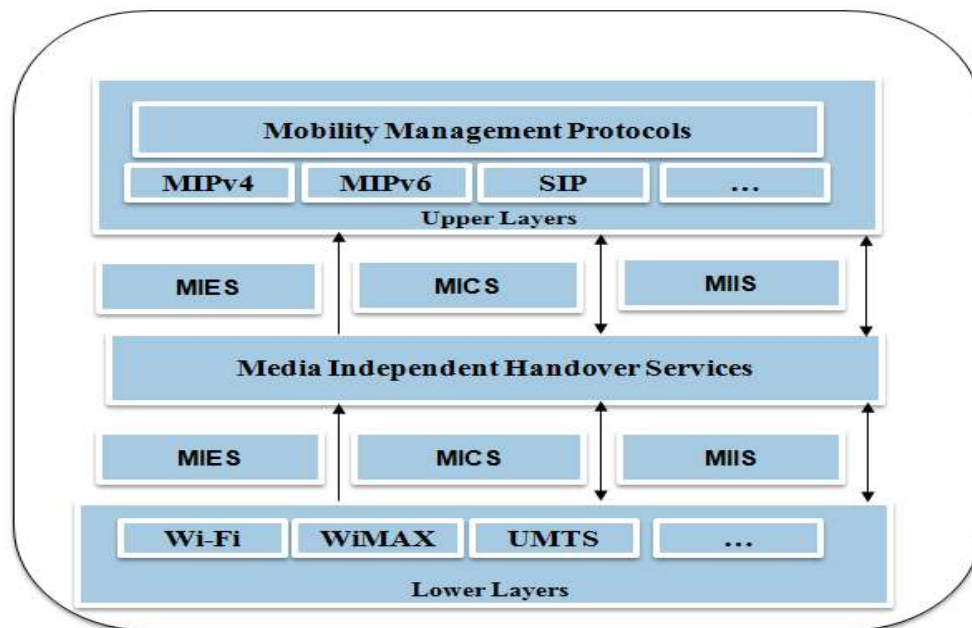
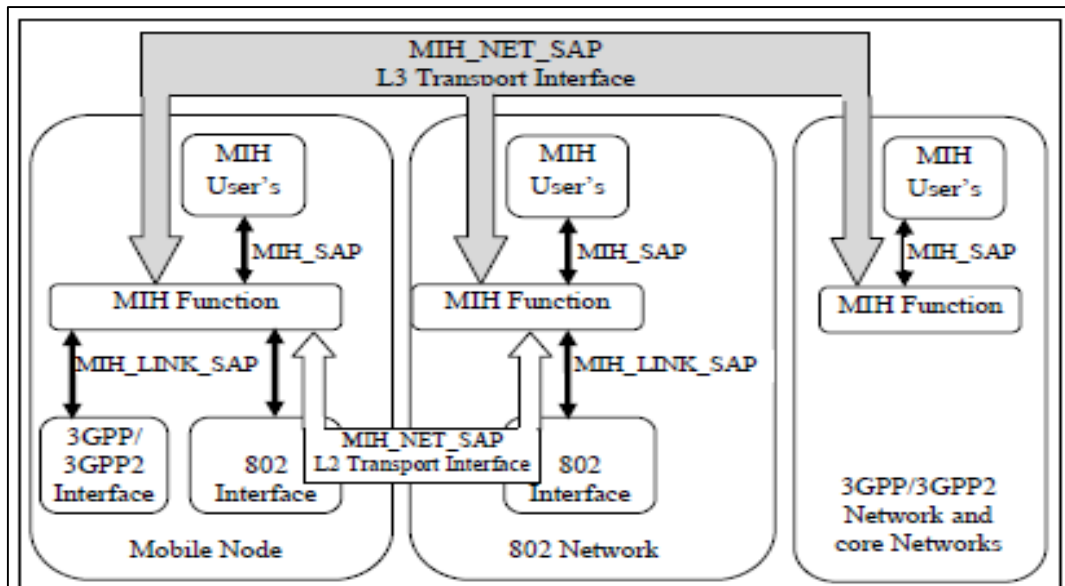


Figure 2.10 : Media Independent Handover [IEEE 802.21 Tutorial, 2006]

- Service d'événements indépendant des médias (MIES) : Il est responsable de la détection des événements et de leur signalement entre l'utilisateur mobile et le réseau (par exemple, liaison sur la connexion (établie), liaison descendante (brisée) et liaison descendante (panne imminente), comme indiqué dans la Table 2.3
- Service d'information indépendant des médias (MIIS) : Il est chargé de collecter toutes les informations requises pour identifier si le Handover est nécessaire ou non et transmettre les informations aux utilisateurs mobiles (par exemple, réseaux, emplacements, capacités et coûts disponibles), comme indiqué dans la Table 2.4
- Service de commandement indépendant des médias (MICS) : Il est responsable de l'émission des commandes sur la base des informations collectées par MIIS et MIES (par exemple, initié de Handover, préparation de Handover, validation de Handover et Handover terminé), comme indiqué dans la Table 2.5



**Figure 2.11:** Architecture générale du standard 802.21 [P. Payaswini et al, 2014]

Le standard 802.21 comprend aussi les éléments suivants :

- fonction MIH (MIHF): le standard IEEE 802.21 définit un ensemble de fonctions permettant le transfert (le Handover) intercellulaire et introduit une nouvelle entité logique appelée Media-Independent Handover Function (MIHF) (MIHF). MIHF réside logiquement entre la couche liaison et la couche réseau. MIHF fournit des services abstraits aux couches supérieures via une interface unifiée pour les entités résidant au niveau de la couche réseau et au-dessus, appelées MIH Users (MIHUs). Le rôle principal du MIHF est d'aider au transfert et à la prise de décision en ce qui concerne le transfert en fournissant toutes les informations nécessaires au sélecteur de réseau ou aux entités de gestion de la mobilité. Le MIHF n'est pas censé prendre de décision concernant la sélection du réseau [P. Payaswini et al, 2014].
- Utilisateur MIH (MIH\_USR), qui est l'entité fonctionnelle qui utilise les services MIH. Les MIHU devraient prendre les décisions de transfert et de sélection des liens en fonction de leurs politiques internes, du contexte et des informations reçues du MIHF [P. Payaswini et al, 2014].
- Point d'accès au service MIH (SAP): les SAP associés à des primitives entre le MIHF et les MIHU (MIH\_SAP) permettent aux MIHU d'accéder aux services fournis par MIH. Pour gérer les particularités de chaque technologie, 802.21 mappe cette interface générique à un ensemble de SAP dépendant du support dont l'objectif est de collecter des informations et de contrôler le comportement des liens lors des transferts. Les SAP suivants sont définis dans le standard MIH [P. Payaswini et al, 2014] :

- ✓ MIH SAP: Cette interface permet la communication entre la couche MIHF et les utilisateurs MIHF de couche supérieure.
- ✓ MIH LINK SAP: Il s'agit de l'interface entre la couche MIHF et les couches inférieures de la pile de protocoles.
- ✓ MIH NET SAP: Cette interface prend en charge l'échange d'informations entre des entités MIHF distantes.

**Tableau 2.3** : les évènements de couche liaison de réseau [O. Khattab, 2014]

No	Type d'événement	Nom de l'événement	de	La description
1	Changement d'état.	Relier		Connexion L2 établie.
2	Changement d'état.	Lien vers le bas		La connexion L2 est cassée.
3	Prédictif	Lien vers le bas.		Rupture de connexion L2 imminente.
4	Changement d'état.	Lien détecté.		Nouveau lien L2 a été trouvé.
5	Changement d'état.	Modifier les paramètres de lien.		La modification des paramètres de liaison spécifiques a franchi des seuils prédéfinis (vitesse de liaison, mesures de qualité).
6	Administratif.	Rattachement d'événement de lien.		un événement de rollback.
7	Transmission De Liaison.	Lier l'état de transmission SDU.		Améliorer les performances de Handover grâce à des commentaires locaux plutôt que d'attendre des notifications de bout en bout
8	Lien synchrone.	Lien de Handover imminent.		Handover intercellulaire L2 imminent (changement de sous-réseau). Notifier les informations de transfert sans modification de l'état du lien.
9	Lien synchrone	Lien Handover Terminé.		Notifier l'état de Handover.

**Tableau 2.4** : informations des éléments de Handover [O. Khattab, 2014]

Élément d'information	La description	Commentaires
-----------------------	----------------	--------------

<b>Liste des réseaux disponibles</b>	Liste de tous les types de réseau disponibles en fonction de l'emplacement du client	Par exemple, 802.11, 802.16, GSM, GPRS / EDGE, réseaux UMTS
<b>Emplacement du PoA</b>	Situation géographique, adresse civique et identification du PoA	Par exemple, le format GML pour LBS ou la gestion de réseau.
<b>ID de l'opérateur</b>	Nom d'un fournisseur de réseau.	Par exemple, pourrait être équivalent à l'ID de réseau.
<b>Partenaires itinérants</b>	Liste des accords d'itinérance directe	Par exemple, sous forme d'identificateur d'accès au réseau (NAI) ou de code de pays du mobile (MCC) + code de réseau mobile (MNC).
<b>Coût</b>	Indication des coûts pour l'utilisation du service / réseau.	Par exemple, gratuit / non gratuit ou (taux forfaitaire, horaire, journalier ou hebdomadaire).
<b>Sécurité</b>	La couche de sécurité est prise en charge.	Suites de chiffrement et méthodes d'authentification, spécifiques à la technologie, par exemple, WEP (Wireless Equivalent Privacy) en 802.11, 802.11i, gestion des clés de confidentialité (PKM) en 802.16, etc.
<b>QoS</b>	Lier les paramètres QoS.	802 large représentation, application conviviale.
<b>Capacités PoA</b>	Services d'urgence, services IMS, etc.	Services de couche supérieure
<b>IE spécifiques au fournisseur</b>	Informations spécifiques au vendeur / opérateur.	Informations personnalisées

**Tableau 2.5** : les command de Handover pour initialiser le Handover entre les réseaux

No	Nom de la commande	MIHF <> MIHF	La description
----	--------------------	--------------	----------------

<b>1</b>	MIH Handover Initier	Client $\leftrightarrow$ Réseau.	Initie les Handovers et envoie une liste de réseaux suggérés et un PoA suggéré (AP / BS).
<b>2</b>	MIH Handover Préparer.	Réseau $\leftrightarrow$ Réseau.	Cette commande est envoyée par MIHF (Media Independent Handover) sur l'ancien réseau à MIHF sur le nouveau réseau suggéré. Cela permet au client de rechercher des ressources sur un nouveau réseau et permet également de préparer le nouveau réseau pour le handover.
<b>3</b>	MIH Handover Commit.	Client $\leftrightarrow$ Réseau	Dans ce cas, le client s'engage à effectuer le transfert en fonction des choix sélectionnés pour le réseau et le PoA.
<b>4</b>	MIH Handover Terminé	Client $\leftrightarrow$ Réseau. Réseau $\leftrightarrow$ Réseau.	Il s'agit d'une notification du nouveau PoA du réseau à l'ancien PoA du réseau, indiquant que le handover a été effectué, qu'un nouveau PoA a été établi et que tous les paquets en attente peuvent désormais être transférés vers le nouveau PoA.

De nombreuses approches de Handover Vertical (VHO) ont été proposées dans la littérature basée sur le MIH :

Dans [P. Neves et al, Dec2009], les auteurs ont présenté le processus d'intégration de MIH avec les scénarios Wi-Fi, WiMAX et UMTS afin de fournir une VHO transparente avec une faible latence et une perte de paquets nulle. Le paramètre RSS a été pris en compte pour prendre une décision VHO avant que le lien PoA source ait été déconnecté en raison du flux RSS descente. La latence était divisée en deux phases: la latence de préparation du transfert (HPL) et la latence d'exécution du transfert (HEL). Le simulateur Ns-2 a été utilisé en considérant deux types de trafic IPTV et VoIP [P. Neves et al, Dec2009]. Les résultats du Handover Vertical entre le Wi-Fi et le WiMAX ont montré que le HPL était approximativement de 125 ms, le HEL de 45 ms et la gigue de 1,5 ms. et pour le Handover Vertical entre WiMAX et UMTS les résultats ont montré

que la latence de HPL était d'environ 36 ms, le HEL de 110 ms et la gigue de 4,3 ms. Enfin, le Handover Vertical l'UMTS et le Wi-Fi le HPL était approximativement de 31 ms, le HEL de 48 ms et la gigue était de 6,3 ms alors qu'aucune évaluation des performances n'a été fournie concernant la perte de paquets [P. Neves et al, Dec2009].

Dans [J. Kim et al, 2007], les auteurs ont présenté l'approche de Handover vertical (VHO) du MIH afin de fournir une VHO continue avec une faible latence, ils ont également présenté l'algorithme de décision de Handover de MIH Layer 2 déclenchement (MIH L2) basé sur RSS en tenant compte des scénarios Wi-Fi et WiMAX. La modélisation analytique et le simulateur Ns-2 ont été utilisés en considérant le trafic FTP. Le résultat a montré que la latence était considérablement réduite par rapport au MIPv4 lors du processus de pré-enregistrement utilisant le déclencheur L2 [J. Kim et al, 2007].

Dans [H. Kim et al, 2009], les auteurs ont présenté une approche de Handover Vertical rapide pour les réseaux sans fil hétérogènes utilisant MIH avec Proxy Mobile IPv6 (PMIPv6) pour prendre en charge les performances des réseaux sans fil hétérogènes entre les scénarios Wi-Fi et WiMAX en tenant compte des flux RSS pour prendre des décisions de VHO.

Les résultats de la modélisation analytique ont montré que l'approche proposée réduisait le temps de latence de 26% et les pertes de paquets de 90% [H. Kim et al, 2009].

Dans [J. Marquez-Barja et al, 2011], les auteurs ont présenté une évaluation de performance de l'algorithme de décision de VHO en utilisant MIH et en considérant les scénarios Wi-Fi, WiMAX et UMTS pour sélectionner un RAT cible. Le trafic à débit binaire constant (Constant Bit Rate : CBR) a été utilisé pour évaluer la latence, le débit et la perte de paquets de VHO dans le simulateur Ns-2. Le paramètre RSS et capacité de réseau ont été pris en compte pour prendre la décision VHO. Ce travail se contente de sélectionner un RAT cible pour les ressources de vérification.

Dans [O. Khattab et al, Jun2013], les auteurs proposent quatre catégories d'approches de VHO basées sur MIH et IP Multimedia Subsystem (IMS) (catégorie basé sur MIH, catégorie basé sur IMS, catégorie basé sur MIP sous IMS et catégorie basé sur la combinaison de MIH et IMS) afin d'atteindre leurs objectifs dans la fourniture transparente de Vertical Handover. Il a été conclu que le MIH est plus souple et a une meilleure performance de Handover Vertical par rapport au cas avec le cadre IMS.

.Dans [P. Neves et al, 2009] les auteurs présentent de nouvelles procédures de Handover Vertical pour traiter la mobilité dans des environnements hétérogènes. Le schéma proposé est

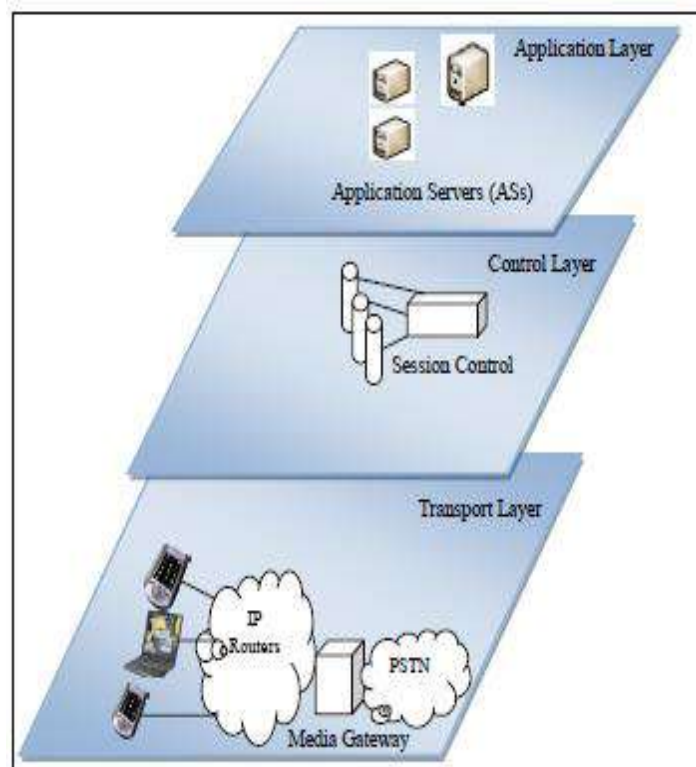


une version améliorée de la plate-forme IEEE 802.21 MIH, appelée Enhanced Media Independent Handover Framework (eMIHF). Et dans l'étude [A. Gomes et al] les objectifs du projet HURRICANE sont de spécifier, concevoir, mettre en œuvre et tester des mécanismes innovants de Handover Vertical, assurant une mobilité inter-technologies homogène.

Dans l'étude [L. Eastwood et al, 2008], une disposition de pré-authentification (MPA) indépendante des médias est suggérée. Les auteurs de [V. Alexandru et al, 2011] proposent un « testbed » de l'émulation de réseau pour résoudre les problèmes de gestion de la mobilité qui se posent quand application de diffusion en continu provient d'Internet et que le flux est lu sur un nœud mobile. Cela peut être fait avec l'aide des procédures MIH.

### b) Sous-système multimédia IP (IMS)

Le Sous-système multimédia IP (IP multimedia Subsystem : IMS) a été introduit en 2002 par le 3GPP (Sortie 5) pour soutenir les services multimédia UMTS [S. Sengar et al, 2011], [X. Fangmin, 2007], [M. Lin et al, 2008] et [B. Bakmaz, 2007] et assure la sécurité de l'accès à l'IMS. Cependant, il a commencé à soutenir le service multimédia à la fois les réseaux sans fil (3GPP et non-3GPP) et les réseaux câblés dans la version 7 [L. Youngsuk et al, 2007]. L'IMS est définie comme une architecture à trois couches constituée d'une couche de transport, la couche de contrôle et la couche application, ceci est visible sur la figure suivante.



**Figure 2.12** : IP Multimédia Subsystem (IMS)

La couche de transport : Elle comprend toutes les entités pour les réseaux d'accès pris en charge qui permettent aux périphériques IMS et les utilisateurs mobiles relient l'IMS à travers de nombreux types de réseaux d'accès (par exemple, Wideband Code Division Multiple Access (WCDMA), UMTS, Wi-Fi, WiMAX, Ethernet et DSL). Il permet également le dispositif IMS de recevoir / envoyer l'appel, soit par RTC ou la passerelle média [O. Khattab, 2014], [M. Qadeer et al, 2009].

La couche de contrôle : Cette couche comprend trois serveurs de signalisation SIP qui sont connus par : Call Session Control Functions (CSCFs) de qui sont responsables de l'établissement, la gestion et terminer des sessions multimédias. Il comprend également d'autres entités (à savoir HSS, Breakout Gateway Control Function (BGCF), Media Gateway Control Function (MGCF), Media Resource Function Controller (MRFC) et Multimedia Resource Function Processor (MRFP)) [O. Khattab, 2014], [M. Qadeer et al, 2009].

Application Layer : Dans cette couche, le serveur d'application (AS) est responsable de l'hébergement et l'exécution de tous les services offerts par IMS. Cependant, dans ce cadre, la décision de transfert (Décision de Handover) est hors de son champ d'application et à la différence du cadre MIH l'utilisateur mobile oblige à découvrir des cellules voisines sans assistance en effectuant périodiquement un balayage radio en arrière-plan qui se traduisent par [O. Khattab, 2014], [O. Khattab et al, Jun2013].

- Des informations limitées sont découvertes
- L'utilisateur mobile a besoin de deux récepteurs fonctionnant simultanément pour l'analyse et une autre pour la session en cours alors qu'un récepteur peut être impliqué probabilité de données manquantes de la cellule de desserte
- Consommation élevée d'utilisateurs mobiles et
- Mise à niveau des cellules existantes (2G / 3G) en raison de la diffusion d'informations sur les cellules voisines 4G (par exemple, WiMAX et LTE), ce qui entraîne des coûts supplémentaires.

Dans la littérature, de nombreuses approches ont été proposées à propos de Handover Vertical (VHO) basée sur le IMS :

Dans [A. Sgora et al, 2010], la modélisation analytique a été présentée afin d'évaluer le coût de la signalisation de la gestion de la mobilité au cours de VHO entre les scénarios WiMAX et UMTS. Les résultats ont montré que le coût de la signalisation de transmission, le coût du traitement de la transmission et le coût de la signalisation de la file d'attente a augmenté linéairement avec la valeur croissante du taux d'arrivée IMS [A. Sgora et al, 2010].

Dans [K. Munasinghe et al, 2008], les auteurs ont présenté une approche d'interfonctionnement pour assurer la continuité du service pendant et après la session Handover Vertical tout en se déplaçant entre les scénarios Wi-Fi et UMTS. Le simulateur OPNET a été utilisé en considérant le trafic VoIP et le résultat a montré que la latence était d'environ 150 ms [K. Munasinghe et al, 2008].

Dans [A. Munir et al, 2010], les auteurs ont présenté deux approches d'interfonctionnement WiMAX-3G: WiMAX-Cellular à couplage lâche (LCWC) et WiMAX-Cellular à couplage serré (TCWC) basées sur des architectures d'interfonctionnement Handover Vertical faiblement et étroitement couplées, respectivement pour étudier les effets de ces architectures d'interfonctionnement Handover Vertical sur l'enregistrement IMS basé sur SIP et les procédures de configuration de session. Ils ont également analysé les effets de leur approche d'interfonctionnement WiMAX-3G sur la latence de signalisation IMS. La modélisation analytique et le simulateur Ns-2 ont été utilisés en considérant les trafics VoIP, MPEG, FTP et HTTP (Hypertext Transfer Protocol). Les résultats ont montré que la latence d'enregistrement IMS pour WiMAX dans l'architecture TCWC était inférieure à celle de l'architecture LCWC considérant que la latence d'enregistrement IMS pour la 3G était la même pour TCWC et LCWC, la latence de configuration de session IMS dans l'architecture TCWC était également inférieure à la latence dans l'architecture LCWC lorsqu'un nœud source (SN) se trouvait dans un réseau 3G à 128 Kbps et que le nœud correspondant était dans un WiMAX 24 Mbps [A. Munir et al, 2010].

### **c) Comparaison entre les cadres MIH et IMS**

Afin de fournir une comparaison des deux cadres, nous résumons leurs spécifications sur: producteur, publié, protocole de gestion de la mobilité, RAT hérités, sécurité, implémentation de l'algorithme de décision, service multimédia filaire et sans fil, le fournisseur de RAT disponible, la capacité de fournisseur de RAT disponible, la mise à niveau, le coût supplémentaire, les composants, les consommations de batterie (Utilisateur Mobile) et les récepteurs (Utilisateur Mobile), comme indiqué dans la table 2.6.

Le framework IMS comprend un grand nombre de composants, il est basé sur SIP pour la gestion de la mobilité et l'utilisateur mobile oblige à découvrir les cellules voisines sans assistance en effectuant périodiquement une analyse radio en arrière-plan.

Le MIH présente moins de composants par rapport à IMS, il est basé sur différents protocoles de gestion de la mobilité tels que MIPv4 et MIPv6, qui sont les meilleurs standards pour VHO et présente MIIS qui est responsable de la collecte de toutes les informations nécessaire pour identifier si le Handover est nécessaire ou non et transmettre les informations aux utilisateurs mobiles (par exemple, les réseaux disponibles, les emplacements, les capacités et les coûts) ce qui entraîne: (a) une grande quantité d'informations est fournie. b) un destinataire pour la session en cours. (c) faible consommation d'énergie de l'utilisateur mobile et (d) pas besoin de mettre à niveau les anciennes cellules (pas de coût supplémentaire); par conséquent, la majorité des approches trouvées dans la littérature sont basées sur le cadre MIH. Cependant, le contrôle de sécurité est hors de sa portée.

Considérant que l'espace commun entre eux comprend de support un service multimédia filaire et sans fil et les anciennes technologies d'accès radio, alors que l'implémentation de l'algorithme de décision est hors de leur portée.

**Tableau 2.6 :** Résumé comparatif entre MIH et IMS

La spécification	MIH	IMS
<b>Producteur</b>	Groupe IEEE.	3GPP.
<b>Publié</b>	2009	2002
<b>Protocole de gestion de la mobilité</b>	MIPv4,MIPv6,HIP,SIP, etc.	SIP.
<b>RAT hérités</b>	Soutien	Soutien
<b>Sécurité</b>	Hors de portée	Soutien
<b>Implémentation de l'algorithme de décision</b>	Hors de portée	Hors de portée
<b>Service multimédia filaire et sans fil</b>	Soutien	Soutien
<b>Fournisseur disponible</b>	<b>RAT</b> MIIS.	Diffusion cellulaire

<b>Capacité de fournisseur</b>	Grand	Limité
<b>RAT disponible</b>		
<b>Améliorer</b>	Ce n'est pas nécessaire	Cellules héritées (2G / 3G)
<b>Supplément</b>	Non	Oui
<b>Composants</b>	Cinq	Onze
<b>Consommation de la batterie</b>	Faible.	Haute
<b>Récepteurs (utilisateur mobile)</b>	Un	Deux

Nous observons que le MIH est la seule catégorie qui présente des solutions qui incluent tous les réseaux existants: 3G (par exemple, UMTS et HSPA) et 4G (par exemple, WiMAX et LTE), alors que la catégorie IMS ne comprend que deux types de RAT, ceci est montré dans la Figure 2.12. En ce qui concerne l'objectif principal, la performance de la catégorie MIH se concentre sur deux paramètres essentiels qui rendent VHO transparente: perte de paquets et latence, Alors que la catégorie IMS se concentre sur la latence alors que la perte de paquets est hors de portée, cela est illustré à la Figure 2.13.

Enfin, les méthodes d'évolution de cette enquête sont diverses: environnement réel, banc d'essai (Testbed), outils de simulation et modélisation analytique. Nous observons que le MIH est la catégorie dominante par rapport à la catégorie IMS car il est principalement dans la pratique et qu'il est unique fournissant un travail empirique de l'environnement réel cela est illustré à la Figure 2.14.

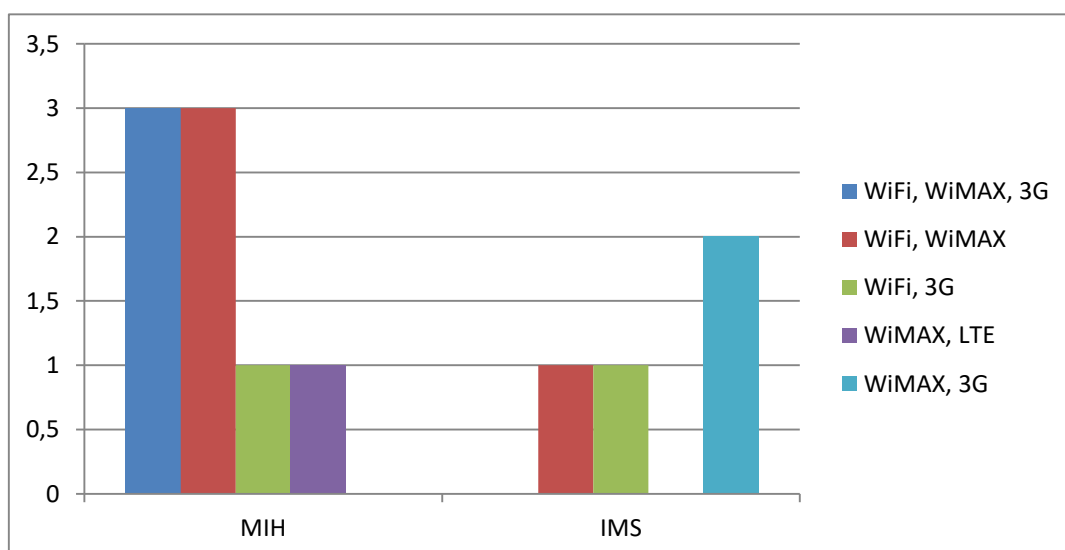


Figure 2.13 : Comparaison entre MIS et IMS (RAT: technologies d'accès radio)

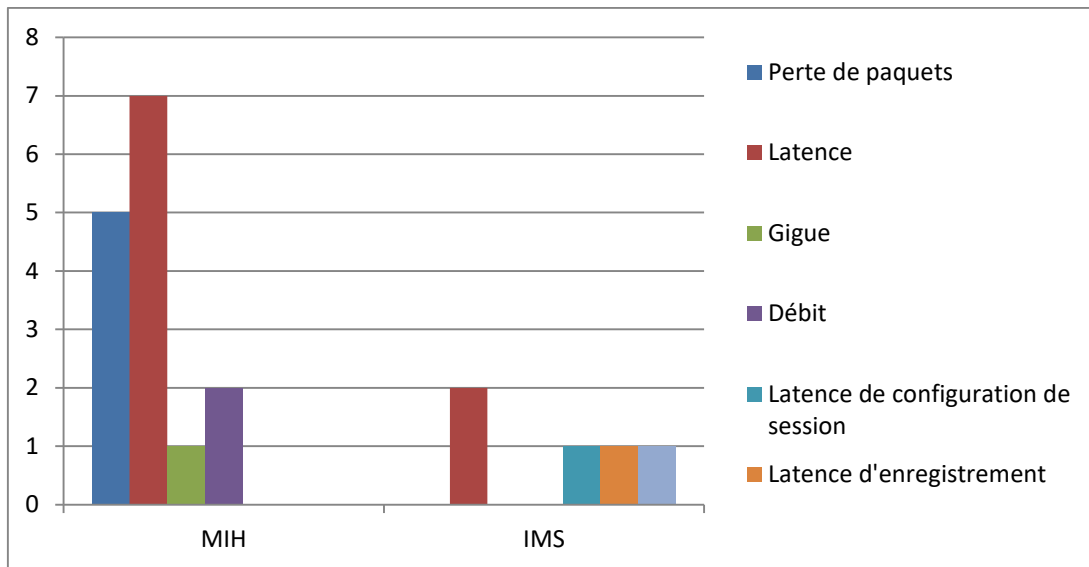


Figure 2.14 : comparaison entre MIH et IMS (Performances)

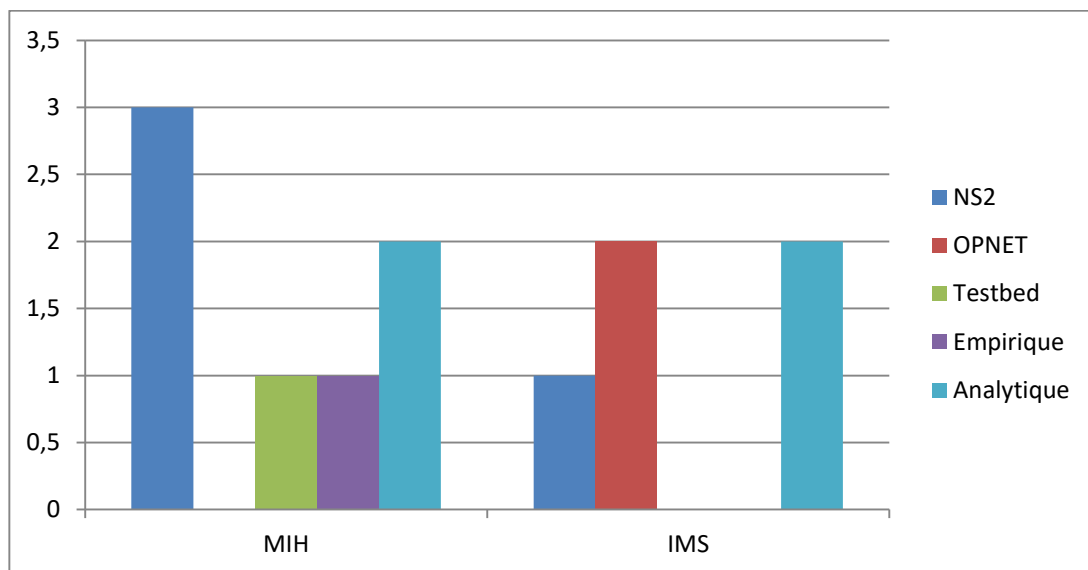


Figure 2.15 : Comparaison entre MIH et IMS (Méthodes d'évaluation)

### 2.5.2. Architectures d'interfonctionnement :

Le couplage lâche (Loose coupling) et couplage serré (Tight coupling) sont deux principales architectures d'interfonctionnement de Handover Vertical proposées par l'Institut européen des

normes de télécommunications (ETSI) en 2001 [Rapport technique: ETSI] pour l'intégration entre les différents types de technologies [A. Salkintzis et al, 2002] Dans cette section, nous examinons les architectures d'interfonctionnement de Handover Vertical : couplage lâches et serrés et mettre en évidence leurs objectifs, les caractéristiques et les défis.

a) **Le couplage lâche :**

Dans l'architecture de couplage lâche (Loose Coupling), chacun des réseaux d'accès sans fil existants tels que UMTS, Wi-Fi et le WiMAX est déployé indépendamment [A. Sgora et al, 2010]. Les données des réseaux WiMAX et Wi-Fi ne passent pas par le réseau de cœur 3GPP [B. Ronald, 2009]. Cela signifie qu'il n'y a pas besoin de modifier l'architecture actuelle, qu'il n'ya pas de coût supplémentaire et que le point d'interfonctionnement intervient après le réseau central 3GPP en particulier, après GGSN avec Internet [B. Ronald, 2009].

L'interconnexion des réseaux dans cette architecture repose également sur le protocole MIP tandis que pour le service d'itinérance, le serveur AAA se connecte entre différents RAT permettant aux données Wi-Fi et WiMAX d'accéder directement à Internet sans nécessiter de lien direct entre leurs composants et le réseau cœur 3GPP [B. Ronald, 2009]. La figure suivante illustre un exemple de couplage lâche entre UMTS et WiMAX.

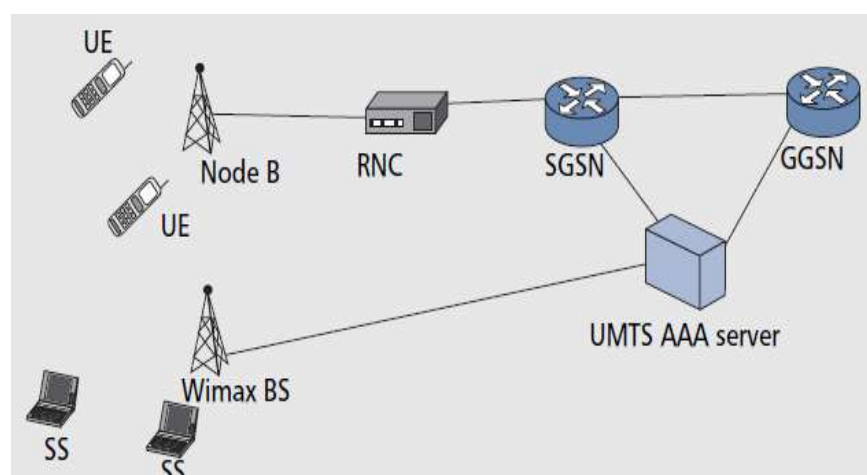


Figure 2.16 : l'architecture de couplage lâche [X. Fangmin et al, 2009]

b) **Le Couplage serré :**

Dans une architecture de couplage serrée (Tight Coupling), les données Wi-Fi et WiMAX passent par le réseau de cœur 3GPP avant aller sur Internet et des modifications importantes des réseaux d'accès sans fil existants sont nécessaires pour fournir un service transparent à l'utilisateur mobile afin de passer d'un réseau à un autre [B. Ronald, 2009].

Cela influe à son tour la performance du réseau de coeur 3GPP en termes de complexité, de la congestion et de perte de paquets en raison de surcharge [S. Benoubira et al, 2011]. L'interconnexion de réseaux dans cette architecture est basée sur les fonctionnalités de réseau central 3GPP existantes (par exemple, les ressources de réseau central, les bases de données d'abonnés et les systèmes de facturation). qui garantissent que les utilisateurs mobiles poursuivent leurs sessions en cours lorsqu'ils se déplacent dans différentes RAT [S. Benoubira et al, 2011]. Il existe deux types de couplage serré [O. Khattab, 2014] , [S. Benoubira et al, 2011], [B. Ronald, 2009]:

#### **Intégration de couplage serré au niveau GGSN :**

Dans cette architecture, tous les RATs sont reliés entre eux par Virtual GPRS Support Node (VGSN) chargé d'échanger des informations d'abonné et des paquets de route entre les réseaux d'accès sans fil, la durée de Handover (latence) est équivalente à couplage lâche où MIP est utilisé (pas besoin de fonctionnalités MIP) et il nécessite moins modification de la complexité du réseau central 3GPP [E. Stevens et al, 2006], ceci est visible sur la figure suivante [O. Khattab, 2014].



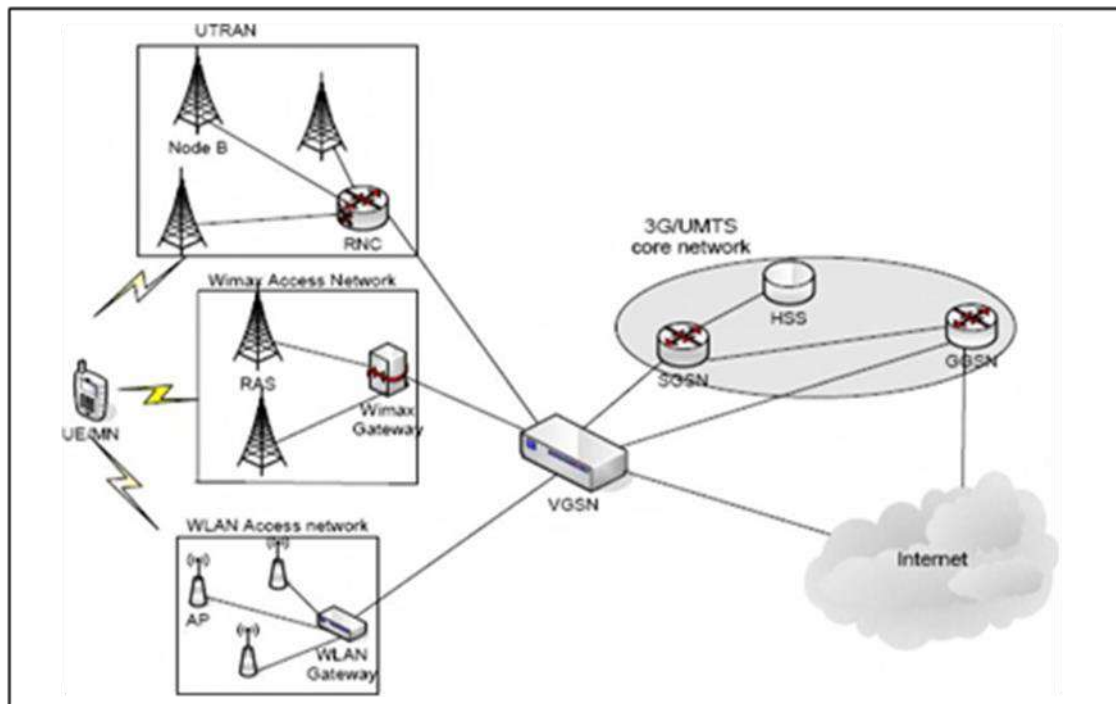
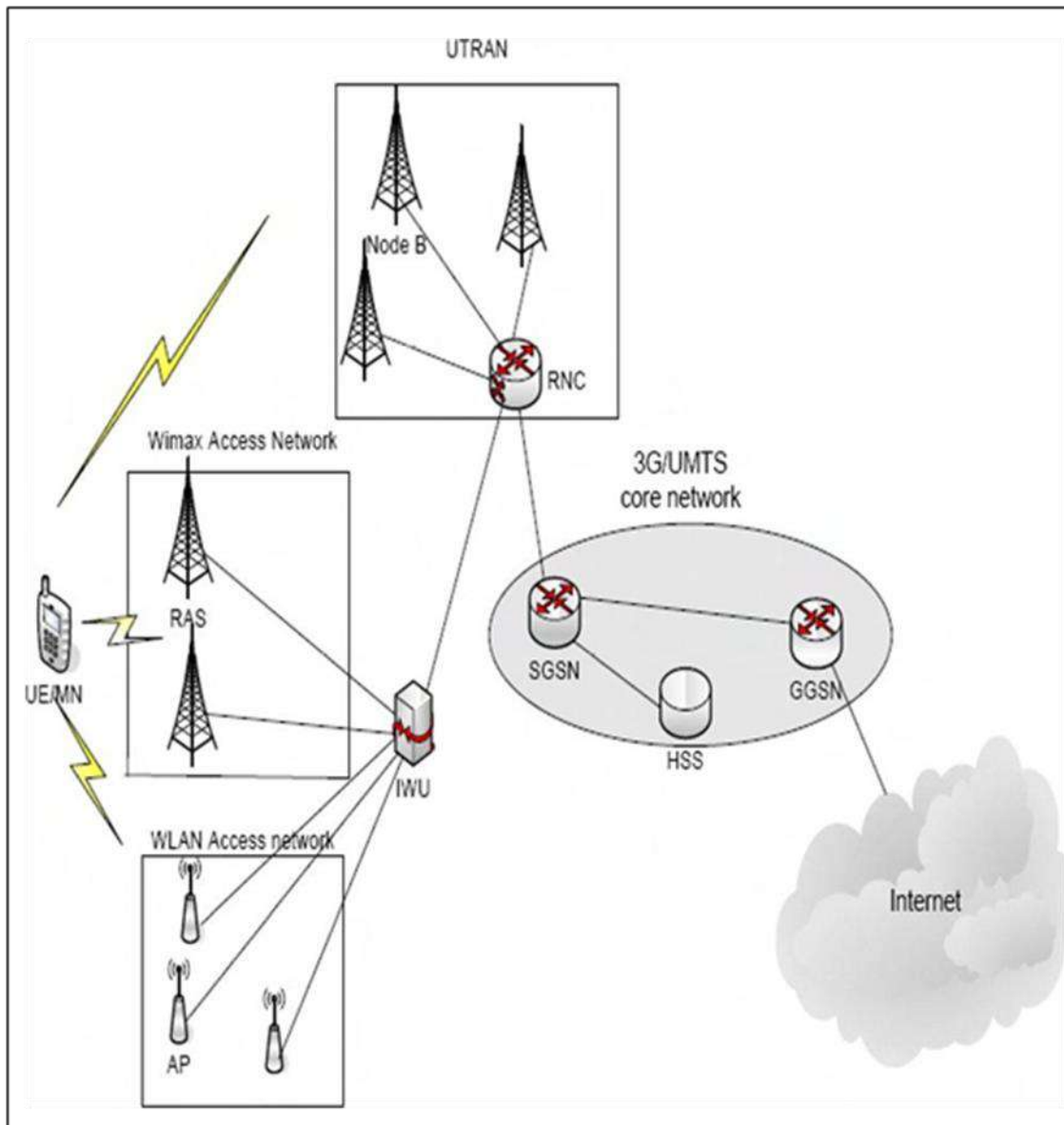


Figure 2.17 : couplage serré au niveau GGSN [S. Benoubira et al, 2011]

#### Intégration de couplage serré au niveau RNC :

Dans cette architecture, les AP et BS en Wi-Fi et WiMAX, respectivement, sont connectés à RNC par Interworking Unit (IWU). La fonctionnalité principale d'IWU est de traduire l'échange de protocole et de signalisation entre RNC et une autre interface RAT telle que AP et BS [S. Benoubira et al, 2011], ceci est montré dans la figure suivante [O. Khattab, 2014].



**Figure 2.18** : couplage serré au niveau RNC [S. Benoubira et al, 2011]

Dans [O. Khattab et al, 2014], les auteurs présentent les architectures d'interfonctionnement : le couplage lâche et serrés (leurs objectifs, leurs défis et caractéristiques). Il a été conclu dans [O. Khattab et al, 2014] que le couplage lâche est plus approprié avec MIH et contribue à renforcer son rôle vital dans l'environnement sans fil hétérogène pour obtenir un Handover Vertical transparente, rapide et souple avec un minimum de latence et de perte de paquets minimale.

### c) Comparaison entre les couplages lâches et serrés :

Pour fournir une comparaison des deux architectures d'interfonctionnement de Handover Vertical (VHO), nous résumons leurs spécifications sur: l'efficacité de la durée du Handover, la probabilité de perte de paquets, la gestion de la mobilité, la congestion, la complexité, la

surcharge, modification supplémentaire et coût supplémentaire [O. Khattab et al, 2014], cela est indiqué dans la Table 2.7.

Selon la comparaison entre les architectures d'interfonctionnement dans la Table 2.7, le couplage lâche semble remplacer le couplage serré pour la majorité des caractéristiques comparées en termes de probabilité de perte de paquets, congestion, complexité, surcharge, modification supplémentaire et coût supplémentaire. Il offre la même efficacité pour la durée de Handover lorsque MIP est utilisé et une probabilité de perte de paquets inférieure à couplage serré qui est encourus en raison d'une surcharge dans le réseau central 3GPP [O. Khattab et al, 2014].

**Tableau 2.7 :** Comparaison entre les architectures d'interfonctionnement

Caractéristiques	Couplage serré	Couplage lâche
Efficacité de la durée du Handover	Faible	Similaire avec MIP
Probabilité de perte de paquets	Haute	Faible
Gestion de la mobilité	Fonctionnalités du réseau de base 3GPP	MIP
Congestion	Haute	Faible
Complexité	Haute	Faible
Surcharge	Haute	Faible
Modification supplémentaire	Haute	Non
coût supplémentaire	Haute	Non

### 2.5.3. Protocoles de gestion de mobilité

La gestion de la mobilité a gagné en importance en raison du nombre croissant d'utilisateurs mobiles demandant des services sur les réseaux sans fil à large bande. La gestion de la mobilité a permis aux utilisateurs mobiles de maintenir leurs sessions en cours, en particulier lors de la traversée de différents RAT. Afin de satisfaire à ces exigences en matière de mobilité transparente, l'IETF a élaboré des protocoles de gestion de la mobilité. ceux-ci peuvent être classés en cinq types [J. Rodriguez et al, 2009]:

**Mobile IP (Mobile IPv4, IPv6 Mobile) :** Les MIPv4 et MIPv6 constituent le meilleur standard pour gérer une large mobilité dans les réseaux IP (macro-mobilité), de sorte que les utilisateurs mobiles traversant différentes RAT et conservant deux adresses IP, l'une pour l'identification et l'autre pour le routage. [O. Khattab, 2014], [J. Rodriguez et al, 2009].

**IP cellulaire et Handover Aware Wireless Access Infrastructure Internet (HAWAII) :**

Ce type de protocole convient aux mouvements locaux (micro-mobilité), de sorte que les utilisateurs mobiles itinérants dans les mêmes zones de couverture RAT [O. Khattab, 2014], [J. Rodriguez et al, 2009].

**Host Identity Protocol (HIP):** Un nouvel espace de nom utilisé entre la couche IP et les protocoles de transport. L'espace de noms sépare les adresses IP et l'identifiant de l'hôte [O. Khattab, 2014], [J. Rodriguez et al, 2009].

**Protocole Internet virtuel (VIP) :** C'est une couche IP virtuelle qui utilise le principe d'une adresse réseau virtuelle et une adresse réseau physique pour nommer Internet [O. Khattab, 2014], [J. Rodriguez et al, 2009].

**Session Initiation Protocol (SIP) :** Il est défini pour prendre en charge les services multimédias en temps réel dans les réseaux mobiles au niveau de la couche d'application, ce qui permet de gérer à la fois la mobilité avant la session et gestion de la mobilité en milieu de session [O. Khattab, 2014], [J. Rodriguez et al, 2009].

Dans [O. Khattab et al, Apr2013], les auteurs proposent deux catégories d'approches de VHO basées sur les protocoles de gestion de la mobilité (MIPv4 et MIPv6), dont les performances et les caractéristiques ont été présentées. Il a été conclu dans [O. Khattab et al, Apr2013] que la continuité de service dans la catégorie MIPv4 sous MIH permettra aux opérateurs de diversifier leurs réseaux d'accès en tenant compte des avantages de cette catégorie. Tandis que la catégorie MIPv6 sous MIH nécessite des améliorations du travail futur en termes de critères de décision VHO, d'entités supplémentaires, de complexité, de diversité des RAT et d'évaluation en utilisant un travail empirique en environnement réel.

Dans cette enquête [O. Khattab et al, Apr2013], les auteurs ont conclu que la catégorie MIPv6 est généralement basée sur RSS pour prendre une décision sur la VHO et que la majorité de son évaluation réside dans la phase d'analyse théorique qui doit être testée ou encore trop complexe

pour être mise en œuvre. Cette catégorie a également été principalement utilisée entre deux RAT et mis en œuvre une approche par banc d'essai (Testbed) pour obtenir des résultats optimaux [O. Khattab et al, Apr2013]. Alors que la catégorie MIPv4 est généralement basée sur plusieurs paramètres, elle a été testée et principalement utilisé entre trois RAT [O. Khattab et al, Apr2013]. C'est aussi moins complexe et il y a une approche utilisée travail empirique de l'environnement réel pour obtenir des résultats optimaux.

#### 2.5.4. Algorithmes de Décision de Handover Vertical et discussion

La conception d'un algorithme de décision de handover efficace permet une mobilité claire, vis-à-vis des utilisateurs, entre les réseaux d'accès sans fil hétérogènes. Nous discriminons cinq catégories dans la littérature : stratégie classique, stratégie basée sur la fonction d'utilité, stratégie basée sur l'intelligence artificielle, stratégie multicritères, et stratégie sensible au contexte [B. Sanda, ].

- **Stratégies de décision classiques :** se basent sur les informations relatives à la qualité du lien de communication tels que : le ratio signal sur bruit (SNR), la bande passante disponible, la force du signal reçu (RSS), et le taux d'erreur par bit (BER) [C.W. Lee et al, 2005] ; [C. Chi et al, 2007] ; [K. Yang et al, 2007]. Ces stratégies peuvent se baser sur la comparaison de valeurs ou sur l'utilisation de techniques comme la marge d'hystérésis ou le dwell timer.
- **Stratégies basées sur les techniques de décision à attributs multiples :** Les techniques de décision à attributs multiples MADM (Multiple Attribute Decision Making) les plus connues sont AHP, TOPSIS et GRA [B. Sanda, ]. AHP (Analytical Hierarchy Problem) est une méthode de décision multicritères. L'AHP utilise une évaluation de l'importance en se basant sur le concept de hiérarchie d'objectifs, de critères, de sous-critères et d'alternances avec des poids correspondants à chaque niveau. L'ordre des préférences des critères est représenté dans une matrice dont la diagonale est égale à 1. Le critère de la  $i$ ème ligne est préféré au critère de la  $j$ ème colonne, si la valeur de  $(i,j)$  est supérieure à 1. Le principe de la méthode TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) [F. Bari et al, 2007] est de choisir l'alternative la plus proche de la solution idéale et la moins proche de la

pire solution. Cette distance est généralement calculée par la distance euclidienne. Le principe de la méthode GRA (Grey Relationnel Analysis) [Q. Song et al, 2005] ; [E. Stevens-Navarro et al, 2006] est de classer les alternatives en rangs et de choisir l'alternative avec le rang le plus élevé. L'attribution des rangs s'appuie sur la comparaison des réseaux candidats avec le réseau idéal [B. Sanda, ].

- **Stratégies basées sur la fonction d'utilité :** L'utilité est un concept subjectif qui permet de mesurer le taux de satisfaction de l'utilisateur lors de la consommation d'un service. La fonction d'utilité est généralement décrite par une expression mathématique qui permet de renvoyer une valeur numérique du degré de satisfaction d'un décideur sur la base de plusieurs critères. On distingue deux types de critères : les critères croissants à maximiser (comme le débit, la BP, etc.) et les critères décroissants à minimiser (comme le BER, le délai, le coût de service, etc.) [B. Sanda, ].
- **Stratégies basées sur l'intelligence artificielle :** Plusieurs concepts issus du domaine de l'intelligence artificielle ont été déployés dans la phase de décision du handover tels que la logique floue, les réseaux de neurones et les algorithmes génétiques. Parmi ces méthodes, la logique floue est celle qui a été le plus souvent utilisée pour résoudre les problèmes liés à la prise de décision à critères multiples. En effet, la logique floue permet de traiter l'imprécision des attributs en leur attribuant des valeurs nominatives (très faible, faible, moyen, etc.) qui facilite la combinaison et la comparaison de plusieurs critères simultanément [B. Sanda, ].
- **Stratégies sensibles au contexte :** Le contexte est toute information qui peut être utilisée pour caractériser la situation d'une entité. Une entité est une personne, un lieu ou un objet qui est considéré comme pertinent pour l'interaction entre un utilisateur et une application [A.K. Dey et al, 2000].

Plusieurs approches ont été proposées pour répondre à la problématique de décision du Handover Vertical dans un environnement de réseaux hétérogènes. Ces différentes stratégies peuvent être comparées par différentes caractéristiques comme : la complexité d'implémentation, les types de service pris en charge, la flexibilité le support des réseaux NGN, retards de Handover débit, etc.

Les stratégies classiques telles que celles utilisant RSS, SNR et / ou BER sont les plus simples à mettre en place qui ont des délais de Handover réduits avec un débit faible à moyen, elles ne sont pas adaptées à un environnement de réseaux NGN puisqu'elles ne tiennent pas compte des préférences de l'utilisateur et de la variation des paramètres de QoS.

L'avantage d'utilisation des stratégies de décision à attributs multiples (MADM), des stratégies basées sur la logique floue et des stratégies sensibles au contexte est qu'elles peuvent combiner et évaluer plusieurs critères de décision simultanément, il y a une amélioration générale du débit par rapport aux stratégies classiques mais la complexité dans l'évaluation des différents attributs augmente le temps de retards de Handover. Cela est également vrai pour les approches qui utilisent les méthodes de l'intelligence artificielle et les méthodes sensibles au contexte. Les stratégies basées sur la fonction d'utilité sont caractérisées par la réduction de la complexité de la décision de handover et une grande flexibilité contrairement aux approches basées sur la logique floue qui sont moins flexibles, puisqu'elles doivent redéfinir de nouvelles règles et mettre à jour sa base de connaissance pour supporter de nouveaux critères ou scénarios.

La plupart des travaux ont montré que la gestion du transfert basé sur le contexte actuel de l'utilisateur conduit à des décisions intelligentes et efficaces, en particulier dans un environnement NGN. En tant que tel, une approche idéale qui faciliterait le Handover vertical sans coupure devrait être trouvée avec les caractéristiques suivantes :

- Il doit pouvoir prendre en compte les facteurs liés à l'utilisateur, à l'application, au périphérique et à l'environnement (réseau) dans la formulation de la fonction VHD.
- L'algorithme de prise de décision ne doit pas être trop complexe, c'est-à-dire qu'il est raisonnable sur le plan des calculs que les délais de Handover restent bas;
- Il devrait pouvoir considérer plusieurs attributs de manière dynamique.

## **2.6. Méthodologie d'évaluation des réseaux NGN**

La phase d'expérimentation occupe une place importante dans le cadre de la recherche en systèmes informatiques et particulièrement en ce qui concerne les études portant sur le domaine des réseaux et protocoles de communication. Outre l'évaluation de la faisabilité d'une solution, l'expérimentation vise à établir qu'un système vérifie les propriétés exigées par sa spécification. En somme, elle doit permettre de réduire le risque d'erreurs de conception et d'implémentation et

ainsi garantir la qualité des logiciels. Quelle que soit la méthode de conception d'un nouveau protocole de communication, il est impératif de valider son comportement théorique grâce à des mesures expérimentales.

Plusieurs environnements permettent de réaliser des expérimentations :

- l'environnement réel (une infrastructure opérationnelle est utilisée pour tester une application ou un protocole réseau donné),
- la simulation (un simulateur est utilisé dans un environnement synthétique permettant de modéliser l'application ou le protocole à tester) et enfin,
- l'émulation (alternative aux précédents environnements proposant de modéliser uniquement le réseau étudié et d'utiliser des implémentations réelles des protocoles ou applications).

Dans cette section, nous décrivons brièvement les méthodes d'évaluation les plus représentatives du handover vertical dans la littérature. De plus, les simulateurs et les bancs d'essai (Testbed) fréquemment utilisés dans les différentes propositions sont également décrits.

L'évaluation du handover vertical effectuée par différents auteurs suit leurs objectifs de recherche spécifiques et donc les paramètres d'entrée, les méthodologies et les métriques adoptées par les différents auteurs sont assez hétérogènes. Néanmoins, afin d'éviter tous les indésirables questions et pour unifier et clarifier les concepts, nous proposons maintenant un ensemble de paramètres pour harmoniser les évaluations dans ce domaine.

### **2.6.1. Les paramètres à évaluer**

Les algorithmes de décision de Handover Vertical peuvent être comparés quantitativement dans différentes situations d'utilisation en mesurant la Latence de Handover, le débit global d'une session pendant un modèle de mobilité [J. Madaan et al, 2015], le retard de bout en bout, la gigue et la perte de paquets. Ces métriques sont expliquées plus en détail ci-dessous:

#### **Latence de Handover Vertical :**

Il fait référence au temps pris par un Handover de son initiation à son achèvement [J. Madaan et al, 2015]. Cette métrique ne prend en compte que le temps associé au processus de Handover vertical lui-même, en tenant compte les trois phases de Handover vertical (VHO): phase de



collecte des informations, phase de décision et d'exécution. Il est défini comme suit [J. Marquez-Barja et al, Jun2011]:

$$\text{Latence}_{\text{VHO}} = \text{Latence}_{\text{collect}} + \text{Latence}_{\text{Decision}} + \text{Latence}_{\text{Execution}} \quad (1)$$

### Débit:

Le débit ou débit du réseau est le taux moyen de remise réussie des messages sur un canal de communication. Ces données peuvent être transmises via un lien physique ou logique ou transiter par un certain nœud de réseau. Le débit est généralement mesuré en bits par seconde (bit / s ou bps), et parfois en paquets de données par seconde ou en paquets de données par créneau horaire [K. Rajender et al, 2010].

$$\text{Débit} = [(\text{Nombre total d'octets envoyés} * 8) / (\text{Temps du dernier paquet envoyé} - \text{Temps du premier paquet envoyé})] \quad (2)$$

Où «Temps» est exprimé en secondes.

Le handover vers un système avec un débit plus élevé est normalement intéressant car il est étroitement lié à la quantité d'informations transmises sur une liaison de communication [J. Madaan et al, 2015].

### Le retard de bout en bout :

Le délai de bout en bout indique le temps nécessaire à un paquet pour se déplacer de la source CBR (Constant Bit Rate) à la destination. Il représente le délai moyen de transmission des données d'une application ou un utilisateur éprouve lors de la transmission de données. Le délai est généralement mesuré en secondes [K. Rajender et al, 2010].

$$\text{Retard moyen de bout en bout} = (\text{Total des délais de transmission de tous les paquets reçus}) / (\text{Nombre de paquets reçus}) \quad (3)$$

Où,

$$\text{Délai de transmission d'un paquet} = (\text{Temps Pkt. Rxvd. Sur le serveur} - \text{Temps Pkt Txd. Sur le client}) \quad (4)$$

Où "temps" est en secondes.

**La gigue :**

La gigue (Jitter) est une variation du délai de transit des paquets provoquée par les effets de mise en file d'attente, de contention et de sérialisation sur le chemin traversant le réseau. En général, des niveaux plus élevés de gigue sont plus susceptibles de se produire sur des liaisons lentes ou fortement encombrées. Les causes habituelles incluent la connexion délais d'attente, délais de connexion, encombrement du trafic de données et interférences. En termes simples, cette gigue est une sortie indésirable des défauts et des interruptions du système. Ainsi, lorsque surviennent des tremblements, les moniteurs d'ordinateur et les processeurs informatiques peuvent ne pas fonctionner correctement, les fichiers peuvent être perdus, les fichiers audio téléchargés peuvent générer du bruit, les appels téléphoniques Internet peuvent être interrompus, subir des retards ou se déconnecter [K. Rajender et al, 2010].

$$\text{Jitter moyen} = (\text{Jitter total du paquet pour tous les paquets reçus}) / (\text{Nombre de paquets reçus} - 1) \quad (5)$$

Où,

$$\text{Paquet Jitter} = (\text{Délai Txn. Du Paquet actuel} - \text{Délai Txn. Du Paquet précédent}) \quad (6)$$

La gigue ne peut être calculée que si au moins deux paquets ont été reçus.

**La perte de paquets :**

La perte de paquets est l'un des critères importants à contrôler pour obtenir les performances requises des réseaux sans fil. Une perte de paquets peut se produire dans la mémoire tampon d'un nœud si la taille de la mémoire tampon devient inférieure au flux de paquets dans la mémoire tampon. La perte de paquets se produit dans la liaison sans fil entre deux nœuds, si la capacité de la liaison devient inférieure au débit des paquets [R. Marriswamy et al, 2014].

**2.6.2. Outils de simulation de handover vertical dans les réseaux NGN**

À des fins d'évaluation, les propositions utilisent divers outils de simulation / émulation, ainsi que des bancs d'essai (Testbed) et des implémentations matérielles / logicielles spécifiques et auto-conçues. La plupart des auteurs s'appuient sur des simulateurs largement utilisés, en particulier les simulateurs de réseau, afin de reproduire les conditions et les schémas du réseau. Néanmoins, il

n'existe pas de simulateurs spécifiquement conçus pour l'évaluation du handover vertical dans les réseaux NGN; par conséquent, la plupart des propositions apportent des ajustements ou développent des modules pour atténuer cette pénurie.

Par conséquent, des simulateurs tels que le simulateur de réseau (ns-2) [K. Fall et al, 2009] et l'OPNET [T. OPNET] sont utilisés pour simuler l'environnement réseau, bien qu'aucun d'entre eux n'offre des outils pour évaluer le handover vertical lui-même. Pour ce faire, les auteurs modifient le code ou configurent les simulateurs pour atteindre leurs objectifs. Néanmoins, afin de fournir un environnement hétérogène pour étudier le processus de handover vertical, seulement quelques modules, bancs de test (Testbed) et architectures a été développé. Nous décrivons brièvement les plus populaires:

**NS2-Miracle** [N. Baldo et al, 2007] ce framework de simulation est également conçu pour fonctionner avec le ns-2. L'extension Multi-InteRfAce Cross Layer (MIRACLE) est un ensemble de bibliothèques dynamiques qui, conjointement avec le ns-2, offrent un support pour les technologies multiples.

**SHINE** [A. Bazzi et al, 2006] est un framework de simulation capable de simuler des réseaux hétérogènes et d'effectuer des handovers verticaux dans des zones de couverture superposées. Ce framework utilise un serveur principal qui agit comme les couches supérieures en charge de la mobilité et de la gestion des utilisateurs, des protocoles de transport, etc. il utilise également des clients pour chaque technologie d'accès simulée. Ces clients représentent les couches inférieures. Le framework est capable de simuler GPRS, UMTS, Wi-Fi et WiMAX.

**Y-Comm** [G. Mapp et al, 2007] présente une nouvelle architecture pour les réseaux mobiles hétérogènes. Cette architecture repose sur deux frameworks: le premier est appelé « Peripheral framework », et le deuxième « Core framework ». Le Peripheral framework interagit avec le périphérique de réseau sans fil, et est implémenté dans les appareils mobiles. Il est chargé de contrôler le handover vertical et faire la gestion des politiques, entre autres tâches. Le deuxième framework s'exécute de manière distribuée dans l'infrastructure fournissant des services de configuration, ainsi que la gestion du réseau et QoS.

**Universal seamless handoff architecture (USHA)** [L. Chen et al, 2004], [L. Chen et al, 2006] est une solution simple, rapide et fiable pour effectuer un handover vertical sans faille (VHO). Il est basé sur un composant logiciel en deux parties (Client USHA et serveur USHA) qui utilise le

tunneling MIP pour maintenir la session ouverte. Cette solution a été entièrement testée dans une implémentation réelle.

Dans la réalité nous ne disposons pas d'une véritable framework pour tester notre approche proposée de Handover Vertical dans les réseaux NGN, nous avons opté pour la solution de simulation. Nous utiliserons le simulateur NS2.29 qui présente une efficacité pour simuler différents réseaux sans fil comme : WiFi, WiMAX, UMTS, etc. Ce simulateur est un simulateur open source, extensible, est basée sur des composants d'événements discrets et la version 2.29 intègre l'implémentation de standard NIST (IEEE 802.21 standard: Média indépendant Handover) qui notre approche basé sur le. En outre, il dispose d'une conception orientée objet et est basé sur le langage C++, ce qui permet une conception de modules réseau flexible, efficace et paramétrable.

### **2.6.3. Le simulateur NS 2.29**

Afin d'évaluer notre approche proposée par rapport à d'autres, nous avons mis en place un environnement de simulation approprié basé sur le simulateur NS-2 version 2.29 avec des modules additionnels NIST. Dans ce qui suit, nous décrivons les modules les plus importants qui ont été ajoutés :

#### **A. Le module IEEE 802.21 (MIH)**

Le module complémentaire 802.21 (le module NIST) est une implémentation de MIHF sous le simulateur NS2.29 (Media Independent Handover Function) basée sur le brouillon 3 de la spécification IEEE 802.21. L'événement de module MIH le plus important est l'événement MIH Link Going Down. Cet événement est déclenché lorsque le niveau de puissance entre deux paquets consécutifs au récepteur diminue ou lorsque le niveau de puissance d'un paquet est inférieur à l'intensité du signal de seuil d'un paquet reçu (c'est-à-dire  $RxThresh$ ) [Q. Nguyen-Vuong et al, 2013]. L'algorithme proposé par NIST choisit le réseau dont la puissance du signal (RSS) est la plus forte, cependant, une bonne stratégie de sélection devrait considérer en plus du paramètre RSS, d'autres critères de sélection seront déterminés dans le Chapitre 4 qui sont les plus décisifs pour le choix d'un meilleur réseau destination.

#### **B. Le module MutiFace Node**

Les nœuds prenant en charge plusieurs interfaces ne sont pas intuitifs dans le simulateur NS-2. En effet, les packages externes ne suivent pas nécessairement la même structure de nœud que celle définie dans le modèle de base de simulateur NS-2. Pour résoudre ce problème, le NIST a

créé le concept de MultiFace Node (MFN), nœud virtuel qui relie les autres nœuds et intègre les modules ND (Enhanced Neighbor Discovery) et MIH (le IEEE 802.21). Les autres nœuds sont considérés comme des interfaces pour le nœud multiFace. Le principe de MFN vise à simplifier la gestion des interfaces hétérogènes afin de mettre en œuvre des algorithmes de sélection de réseau d'accès efficaces [Q. Nguyen-Vuong et al, 2013].

### **C. Le module Enhanced Neighbor Discovery (ND)**

Le module ND a été conçu pour fournir une détection de mouvement au niveau de la couche 3. Son rôle est de gérer les adresses IP lorsque le réseau d'accès est modifié. Le module fait partie du framework MIH et peut prendre en charge plusieurs types d'interface telsque UMTS, WiFi et WiMAX. L'agent ND est inclus dans tous les nœuds et son comportement change selon que le nœud est un routeur ou un hôte [Q. Nguyen-Vuong et al, 2013].

### **D. Modèle de mobilité**

Pour simuler un scénario de mobilité réaliste, nous avons utilisé le célèbre émulateur de mobilité CanuMobiSim [Q. Nguyen-Vuong et al, 2013] pour imposer le déplacement des Mobiles Terminaux et générer le fichier de trace des mouvements de l'utilisateur écrit en TCL puis de l'utiliser dans la plate-forme de simulation. Nous avons créé plusieurs Mobiles Terminaux multi-interfaces qui se déplacent dans une zone définie en fonction des mouvements générés par fichier de trace. Lors de leur déplacement, les MT sont toujours à portée d'un ou de plusieurs réseaux d'accès sans fil (WiFi, WiMAX, UMTS et LTE) et sont également capables de les détecter.

## **2.7. Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons décrit comment les réseaux mobiles et les réseaux sans fil ont évolué grâce à des progrès technologiques remarquables. La convergence entre les réseaux sans fil et les réseaux mobiles permet à un utilisateur mobile de migrer (handoff) d'un réseau à un autre. Un tel environnement hétérogène est appelé réseau sans fil de prochaine génération (NGN). Le fait de quitter un réseau pour un autre s'appelle le processus de Handover qu'il devrait se faire d'une façon transparente pour l'utilisateur. Dans la littérature, diverses approches de transfert vertical (Handover Vertical) ont été proposées pour assurer un transfert vertical transparent. Ces approches n'ont pas une considération exhaustive des détails des critères de décision Handover Vertical sur le fonctionnement du réseau en cas soit impérativement en raison des conditions du

réseau, soit en raison des préférences de l'utilisateur. Un autre problème est que les études rapportant ces approches manquent de détails suffisants pour la mise en œuvre. En plus la plupart des implémentations des approches de Handover Vertical se fait par expérimentation par simulation cependant la simulation ne permet pas l'intégration d'implémentations réelles.

Dans ce contexte, l'objectif principal de nos travaux est de proposer une nouvelle approche pour gérer le handover vertical des utilisateurs mobiles dans les réseaux NGN avec une meilleure connexion basé sur le cadre d'interfonctionnement IEEE 802.21 (MIH) et de prendre en considération les problèmes de recherche et des conclusions qui sont apparues dans nos enquêtes.

# Chapitre 3 Une nouvelle Procédure de Handover dans les Réseaux NGN

## Contenu

---

- 3.1. Introduction
  - 3.2. Notre approche proposée
    - 3.2.1. Notre procédure
    - 3.2.2. Modélisation analytique de la procédure proposée
    - 3.2.3. Résultats analytiques et discussions sur la procédure proposée
  - 3.3. Conclusion
-

### 3.1. Introduction

Ce chapitre présente notre approche proposée qui est divisée en deux parties principales. La première partie présente la procédure proposée de handover vertical dans les réseaux NGN. Cette procédure est conçue pour gérer la mobilité de l'utilisateur dans les réseaux sans fil hétérogènes (Wi-Fi, WiMAX, UMTS et LTE) avec une latence minimale. La deuxième partie présente l'algorithme de décision proposé pour sélectionner le meilleur réseau d'accès disponible. Cet algorithme est conçu pour réduire l'échec de la connexion de transfert vertical

Dans ce chapitre, nous présentons notre procédure de handover vertical, tandis que l'algorithme de décision sera présenté dans le prochain chapitre 4. Une modélisation analytique de notre procédure est présentée et les résultats d'analyse montrent que la latence de Handover et La perte de paquets de la procédure proposée sont significativement réduite par rapport à celle trouvée dans la littérature.

### 3.2. Notre Approche Proposée

Parmi les conclusions qui sont apparues dans nos enquêtes, six points essentielles ont été conclus comme suit:

- Media Independent Handover (MIH) est plus flexible et offre de meilleures performances en fournissant un handover vertical transparent par rapport à la structure IP Multimedia Subsystem (IMS).
- MIPv4 sous le cadre MIH permet aux opérateurs de diversifier leurs réseaux d'accès Alors que MIPv6 sous MIH nécessite des améliorations de travail futures.
- L'architecture de couplage lâche est plus adaptée à la structure MIH pour permettre une intégration entre différents réseaux existants dans un environnement sans fil hétérogène (NGWN).
- Doit considérer plus de deux réseaux différents dans la procédure de handover vertical à parcourir entre eux (procédure exhaustive).



- Dans le handover vertical, la phase de décision (algorithme de décision) doit prendre en compte les différents cas de transfert (impératif et alternatif) pour choisir le meilleur réseau sans fil disponible.
- Outre la plupart des implémentations des approches Handover Vertical réalisées par expérimentation par simulation, cependant, la simulation ne permet pas l'intégration d'implémentations réelles.

À la suite des conclusions ci-dessus, nous proposons une nouvelle approche de Handover Vertical qui fournit une interopérabilité entre les différents réseaux existants, fournir de meilleures performances (perte de paquets, latence, réduction de l'échec de la connexion du handover vertical, moins de complexité) et une procédure améliorée de handover vertical comparée à celle trouvée dans la littérature. Notre approche consiste d'une nouvelle procédure basée sur le couplage lâche en conjonction avec MIPv4 sous le cadre MIH, et un algorithme de décision qui se compose de deux fonctions de sélection d'accès réseau (ANSFi et ANSFa) pour permettons aux utilisateurs mobiles d'obtenir de façon transparente la meilleure connexion dans les différents cas de Handover (impératif ou alternative).

### 3.2.1. Notre procédure :

Nous décrivons notre procédure à travers les trois phases de VHO (Initiation, décision et exécution) comme représenté sur la figure 3.1, figure 3.2 et figure 3.3.

#### A. Phase d'initiation :

Bien que l'utilisateur mobile soit connecté à un réseau source, la procédure de Handover est déclenchée:

- Impérativement en raison de puissance du signal radio (RSS) va vers le bas ou
- Alternativement en fonction des préférences de l'utilisateur (par exemple, débit de données élevé, faible coût) [O. Khattab et al, Jun 2014], figure 3.1.

**B. Phase de décision :**

En conséquence de déclenchement de la phase d'initiation, MIIS requête / réponse RAT disponibles message sera responsable de passer la listes des RATs disponibles pour Utilisateur Mobile MU via le réseau source (PoA et PoS).

- dans le cas impératif et en raison de RSS descendre l'Utilisateur Mobile MU va sélectionner la liste des RATs de priorité basé sur notre algorithme de Selection proposé ANSEFi (Access Network Selection Function Impératif), puis le MU transmettre la liste des RATs de à ses point de service (PoS) de réseau source alors que dans,

- dans le cas alternative, le MU sélectionnera liste des RATs de priorité basé sur notre algorithme de selection proposé ANSFa (Access Network Selection Function Alternative) en raison de sa / son changement de profil, puis le MU transmettre la liste des RATs à ses point de service (PoS) de réseau source.

- Lorsque le premier choix de la liste des RATs de priorité ne pourrait pas être satisfait avec les ressources disponibles, le point de service de réseau source se passé automatiquement vers le deuxième choix de la liste des RAT de propriété pour satisfaire aux exigences de cette sélection de RAT et ainsi de suite

- Une fois le RAT de ressources suffisantes a été trouvé, il sera vérifié par ses points de service PoS de destination si elle est compatible avec les règles et les préférences des opérateurs. Si ce qui est disponible, l'MIIS / Home Agent (HA) sera informé de démarrer en mémoire tampon pour les nouveaux paquets de données qui sont envoyés par Correspondant Node (CN), comme représenté dans la figure 3.2.

**C. Phase d'exécution :**

Dans cette phase, l'utilisateur mobile sera connecté à le RAT cible pour commencer son authentification, autorisation et de comptabilité (AAA) avec la destination correspondent PoA et obtenir Care of address (CoA) du protocole de configuration dynamique de l'hôte (DHCP). Après cela, Update / Acknowledge un message de liaison informe HA sur la nouvelle CoA pour commencer à envoyer les données en mémoire tampon et de poursuite la session dans la cible RAT. Enfin, après de l'envoi des données en mémoire tampon les ressources utilisées sont libérées par MIH [O. Khattab et al, Jun 2014], comme représenté dans la figure 3.3

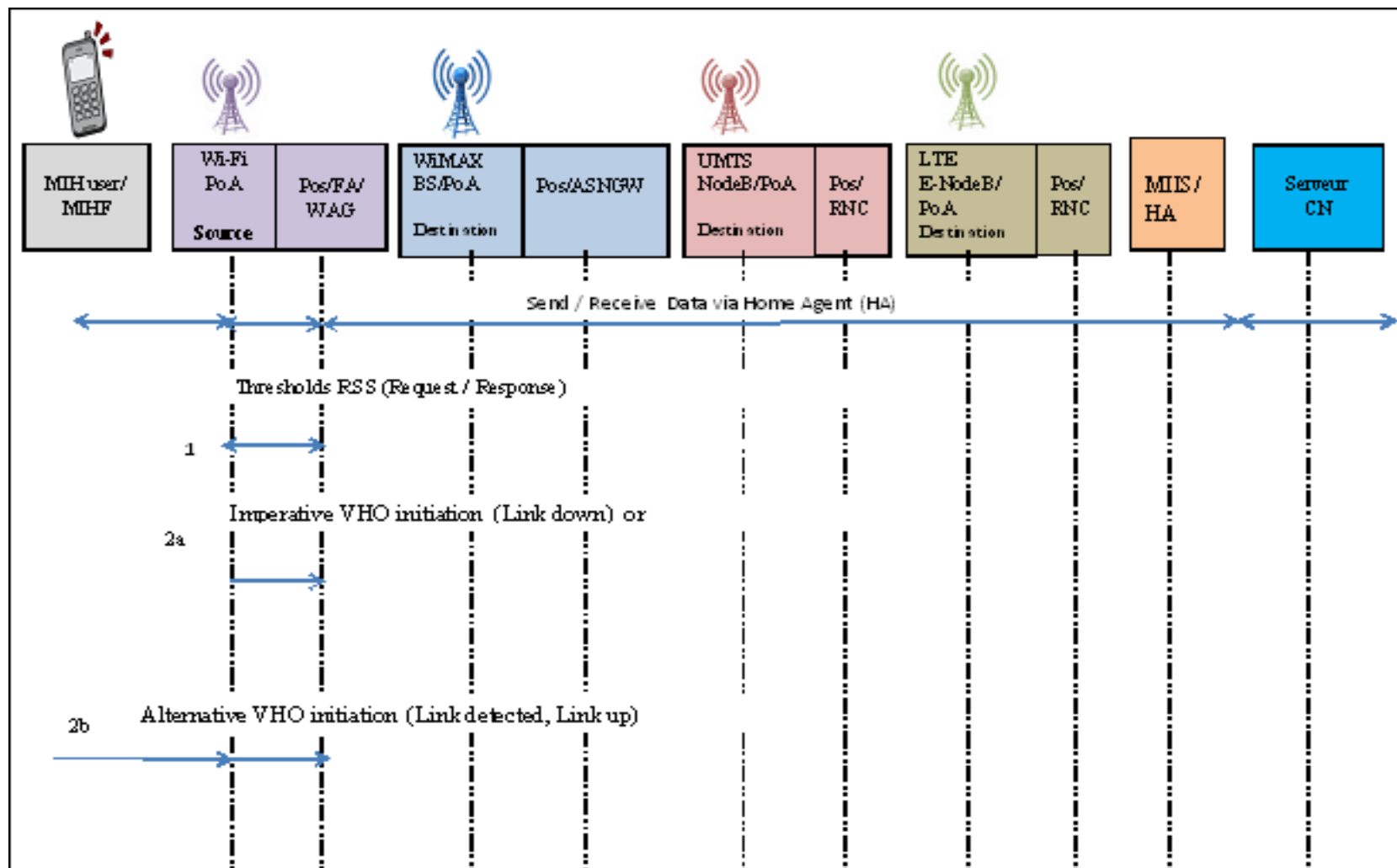


Figure 3.1 : Phase Initiation de notre Procédure Proposée

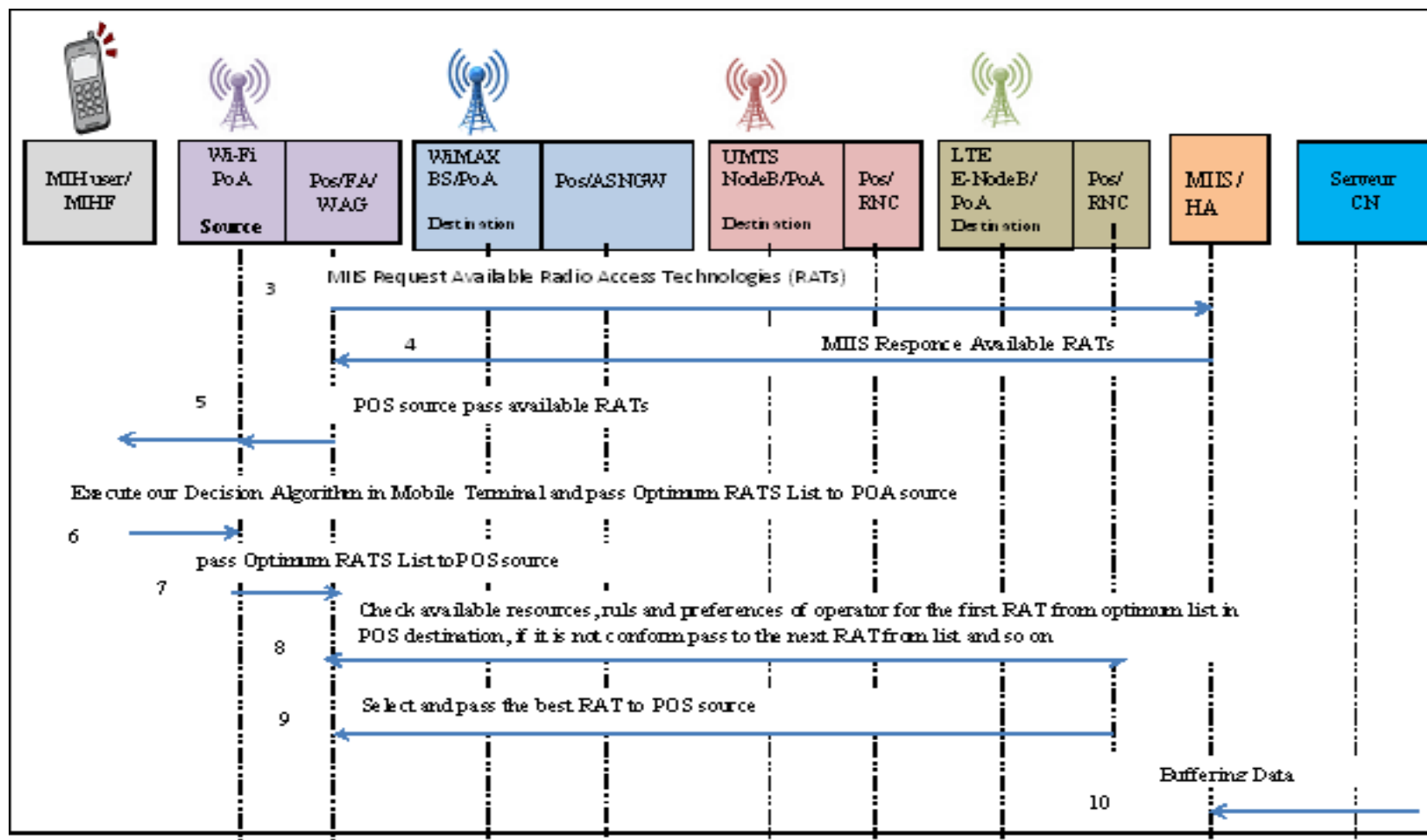


Figure 3.2 : Phase Decision de notre Procédure Proposée

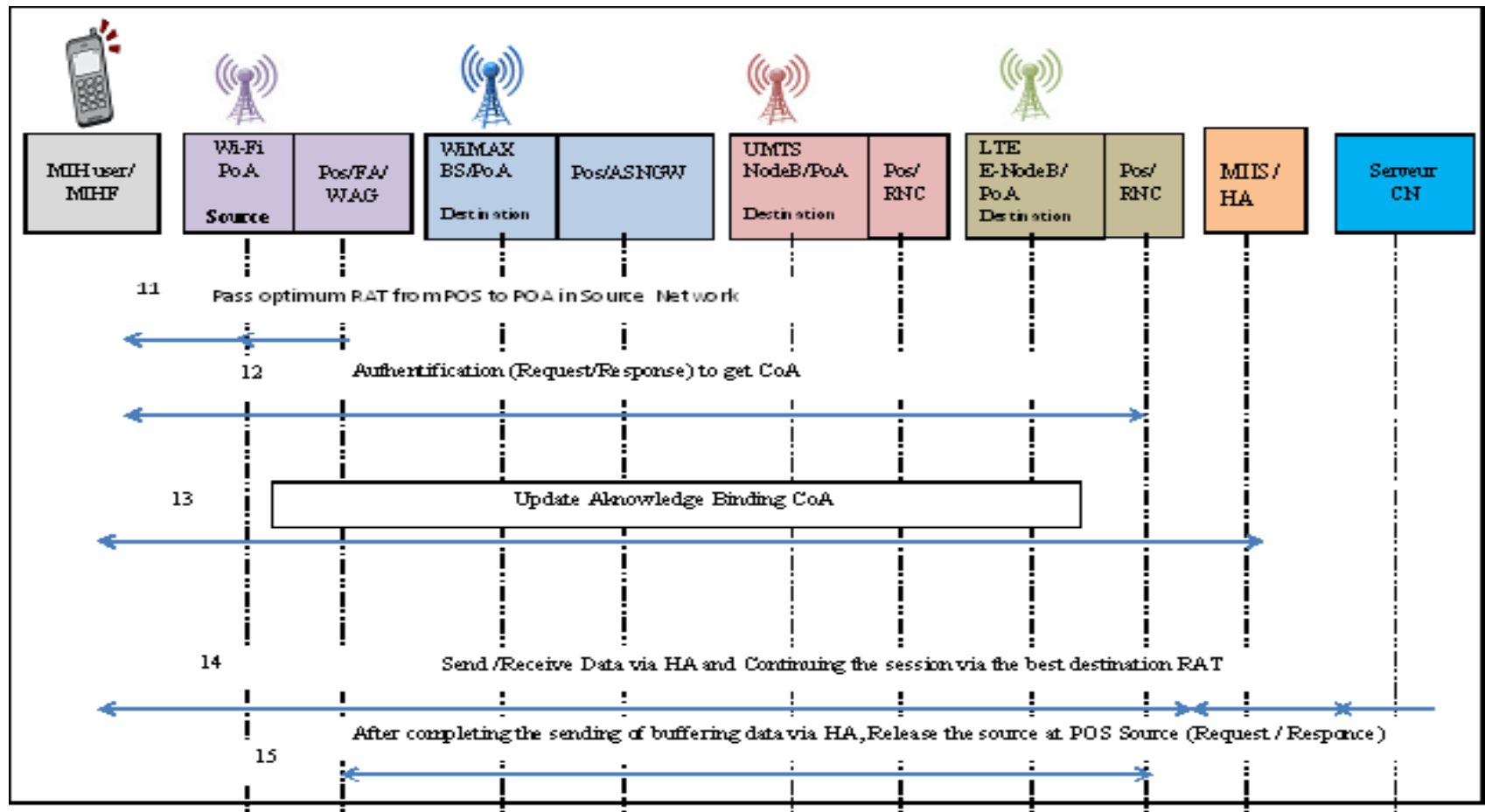


Figure 3.3: Phase Execution de notre Procédure Proposée

La procédure proposée prévoit ce qui suit:

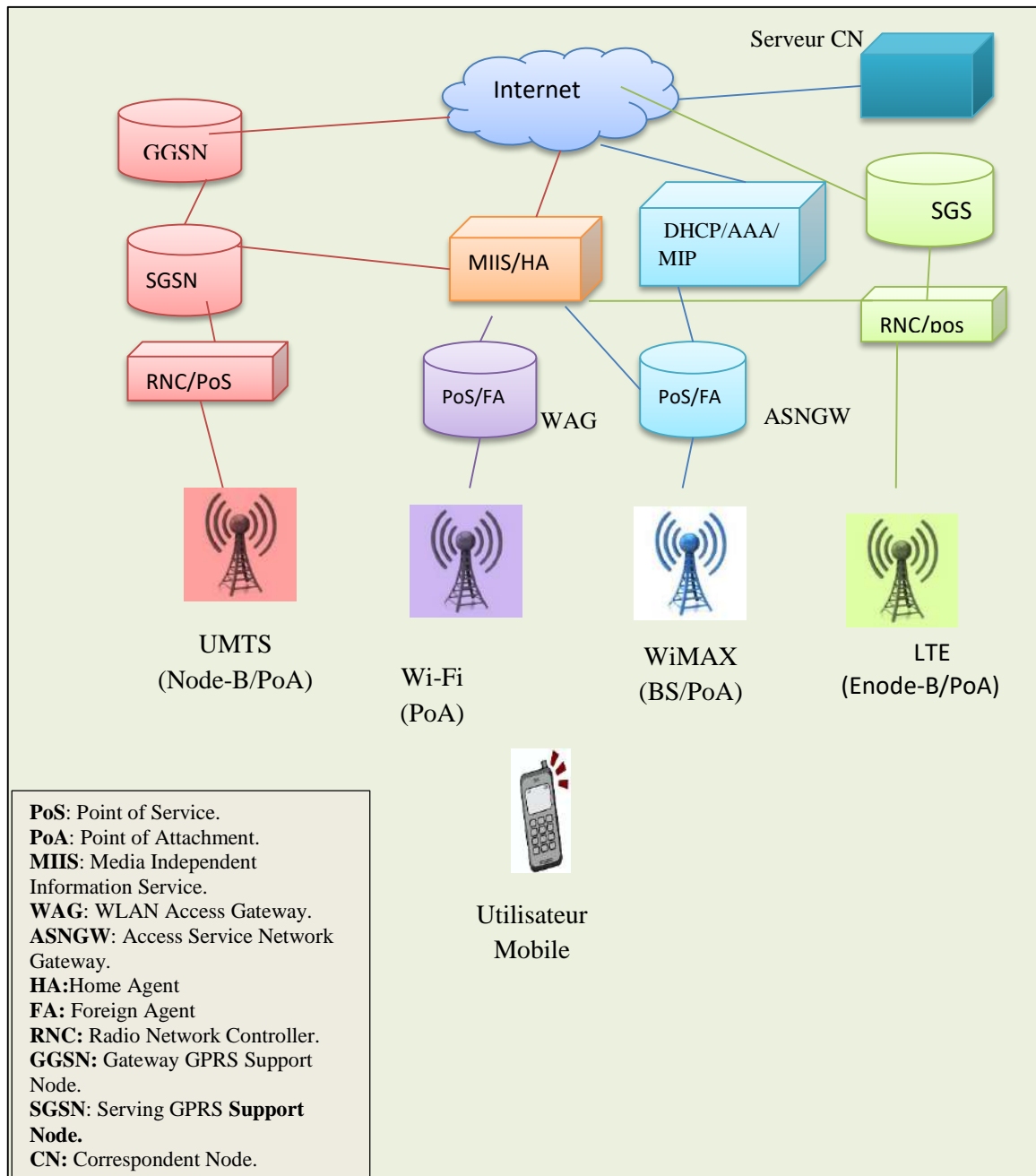
-Détails du fonctionnement du réseau en cas de transfert vertical initié impérativement en raison de la chute du flux RSS ou en fonction des préférences de l'utilisateur (par exemple, débit de données élevé et faible coût) en tenant compte d'une priorité plus élevée pour exécuter une session impérative.

- Meilleure performance de transfert vertical avec une plus grande souplesse (minimale perte de paquets) et plus rapide (minimale latence) grâce à la mise en mémoire tampon des nouveaux paquets de données provenant du serveur CN après RAT a été vérifié par POS destination.

-Le Serveur DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) pour distribuer le Care of Address (CoA) atténuer la charge sur les points de vente.

### **3.2.2. Modélisation analytique de la procédure proposée**

Nous suggérons que la procédure proposée soit appliquée avec le cadre MIH basé sur MIPv4, qui fournit une interopérabilité entre les différents réseaux existants tel que Wi-Fi, WiMAX, UMTS et LTE, et réduire la perte de paquets et la latence. Nous définissons également deux types principaux de handover vertical: le cas impératif et alternatif. Et donner la priorité aux sessions impératives sur les sessions alternatives. La figure.3.4 montre un diagramme pour la procédure suggérée. Le mobile terminal est équipé de quatre cartes d'interface réseau (NIC): réseau local sans fil basé sur IEEE 802.11 (Wi-Fi), WiMAX, UMTS et LTE et connecté au réseau local sans fil se déplace vers le réseau WiMAX.



**Figure 3.4 :** Schéma de la procédure de handover vertical proposé

Pour l'intégration entre ces différentes technologies d'accès radio (RAT), nous sélectionnons l'approche de couplage lâche car la gestion de la mobilité pour un couplage lâche est basée sur le protocole MIP, et la probabilité de perte de paquets est inférieure au couplage serré. Le Home Agent (HA) est Co-localisé avec le serveur MIIS [B. Angoma et al, 2011], [P. Neves et al, Dec2009] alors que les agents étrangers (AFs : Foreign Agents) sont déployés dans WLAN Access Gateway (WAG) et Access Service Network Gateway (ASN GW) dans les

réseaux Wi-Fi et WiMAX, respectivement. L'emplacement du point de service (PoS) est à l'intérieur du réseau d'accès pour chaque passerelle RAT (c'est-à-dire WAG en Wi-Fi, ASN GW en WiMAX et RNC en UMTS et en LTE).

Enfin, l'emplacement du point d'attachement (PoA) se trouve à l'intérieur de NodeB dans UMTS, AP dans Wi-Fi, BS dans WiMAX, Enode-B dans LTE. Chacun des réseaux sans fil d'accès existants (UMTS, Wi-Fi, WiMAX et LTE) est déployé de manière indépendante et les données Wi-Fi et WiMAX ne transitent pas par le réseau central 3GPP. La zone commune entre tous les RAT consiste en un serveur MIIS / HA. Le serveur MIIS est chargé de collecter toutes les informations nécessaires pour identifier le besoin de handover et de les fournir aux utilisateurs mobiles pour sélectionner la cible RAT, par ex. la disponibilité des PoAs, l'emplacement des PoAs, les capacités des PoAs tels que les services d'urgence, les coûts, etc.

Après avoir sélectionné la cible RAT (PoA WiMAX ou PoA UMTS ou PoA LTE) et que la disponibilité de ses ressources a été vérifiée au niveau du PoS de la cible RAT, les nouveaux paquets de données envoyés par le serveur de nœud correspondant (CN) seront mis en mémoire tampon par le serveur MIIS / HA.

Il y a deux périodes de latence dans notre procédure associées aux deux types de transfert vertical: Cas impératif dû à la chute du RSS et Alternative cas en raison des préférences de l'utilisateur. Nous les renvoyons à la figure, le tableau et le texte  $T_{im}$  (temps de latence cas impératif),  $T_{al}$  (temps de latence cas alternatif) respectivement. Ceci est montré dans la figure 3. 5 et les notations dans le tableau 3.1.

Dans notre analyse, nous considérons quatre procédures de handover vertical entre Wi-Fi et WiMAX: Proxy MIPv6 (PMIPv6), Proxy First MIPv6 (PFMIPv6), IEEE 802.21-enabled PMIPv6 (MIH-enabled PMIPv6) et I AM 4 VHO. Nous comparons notre procédure avec les procédures ci-dessus en termes de latence de handover.



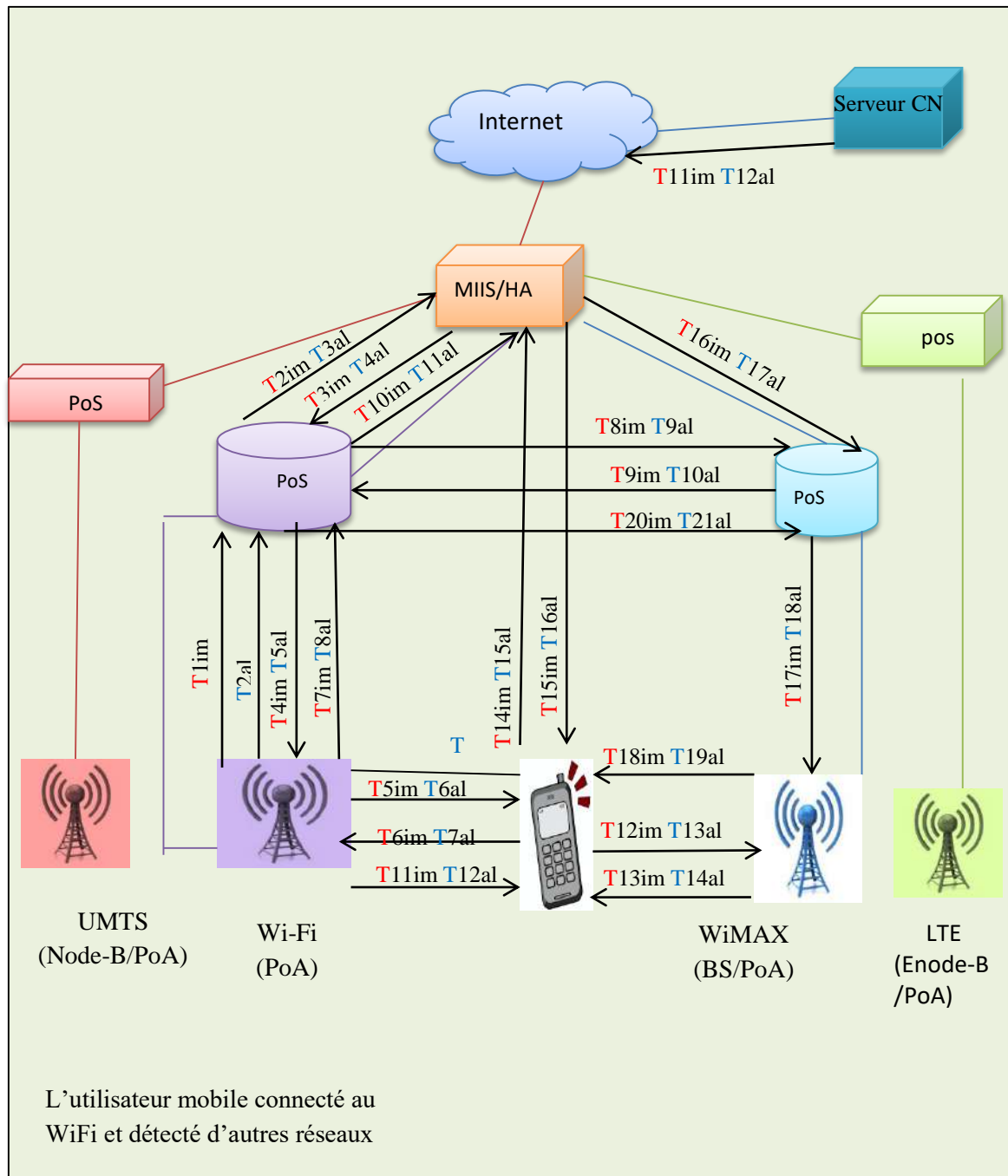


Figure 3.5 : Signalisation du temps pour notre procédure de handover vertical proposée

**Hypothèses :**

Avant de commencer à analyser la latence de procédure de handover vertical, certaines hypothèses devraient être données :

- Nous considérons que la procédure proposée de VHO est Contrôlée par le mobile Terminal.
- L'algorithme de décision est implémentée sous le mobile Terminal pour choisir le meilleur réseau parmi les disponibles et créer la liste des priorités des RATs.
- Nous considérons que le premier RAT optimal est : WiMAX puis le deuxième : UMTS et troisième : LTE et nous supposons que le premier atteint les ressources.
- S'il y a deux sessions de handover vertical (impératif et alternatif) simultanément la procédure de VHO proposée donne la priorité à la session impérative.

**Tableau 3.1 :** Notations de Signalisation du temps pour notre procédure proposée

Séquence de temps		séquence de signalisation		Événement
$T_{im}$	$T_{al}$			
1	1	$T1_{im}$		Déclenchement de Handover Vertical impératif
		$T1_{al}$		Déclenchement de Handover Vertical alternatif
<b>X</b>	2	<b>X</b>	$T2_{al}$	VHO alternatif déclenchement du passage au Wi-Fi PoA
2	3	$T2_{im}$	$T3_{al}$	Demande de RAT disponible pour MIIS.
3	4	$T3_{im}$	$T4_{al}$	Réponse de MIIS disponible pour les RAT.
4	5	$T4_{im}$	$T5_{al}$	Passez les RATs disponibles au Wi-Fi PoA (UMTS, WIMAX et LTE).

5	6	T5 <sub>im</sub>	T6 <sub>al</sub>	Transmettre les RAT's à l'utilisateur mobile.
6	7	T6 <sub>im</sub>	T7 <sub>al</sub>	Executer l'algorithme de selection sur les RAT's disponibles et Transmettez la liste des priorités RAT aux Wi-Fi PoA. (premier RAT cible : WIMAX, deuxième : UMTS, troisième : LTE)
7	8	T7 <sub>im</sub>	T8 <sub>al</sub>	Transmettez la liste des priorités RAT's aux Wi-Fi PoS (premier RAT cible : WIMAX, deuxième : UMTS, troisième : LTE)
8	9	T8 <sub>im</sub>	T9 <sub>al</sub>	Vérifier les ressources disponibles pour le premier RAT cible : WiMAX PoS
9	10	T9 <sub>im</sub>	T10 <sub>al</sub>	Sélectionner et passer le RAT optimal en fonction de la réponse négocié à la Wi-Fi PoS
10	11	T10 <sub>im</sub>	T11 <sub>al</sub>	Notifier le serveur MIIS pour démarrer la mise en mémoire tampon anticipée pour les nouveaux paquets de données qui sont envoyés par le serveur CN et transmettent le RAT cible au Wi-Fi PoA simultanément.
11	12	T11 <sub>im</sub>	T12 <sub>al</sub>	Démarrez la mise en mémoire tampon et transmettez la cible RAT (WiMAX) à l'utilisateur mobile.
12	13	T12 <sub>im</sub>	T13 <sub>al</sub>	Demande d'authentification avec WiMAX PoA.
13	14	T13 <sub>im</sub>	T14 <sub>al</sub>	Réponse d'authentification du PoA WiMAX.
14	15	T14 <sub>im</sub>	T15 <sub>al</sub>	Demande Binding message avec HA.
15	16	T15 <sub>im</sub>	T16 <sub>al</sub>	Réponse Binding message de HA.
16	17	T16 <sub>im</sub>	T17 <sub>al</sub>	Relâchez les nouveaux paquets de données (mise en mémoire tampon) sur WiMAX PoS.
17	18	T17 <sub>im</sub>	T18 <sub>al</sub>	Transmettez de nouveaux paquets de données au

				WiMAX PoA.
18	19	T18 <sub>im</sub>	T19 <sub>al</sub>	Transmettez les nouveaux paquets de données à l'utilisateur mobile.
19	20	T19 <sub>im</sub>	T20 <sub>al</sub>	Demande de libération avec Wi-Fi PoS.
20	21	T20 <sub>im</sub>	T21 <sub>al</sub>	Réponse libérer le PoA Wi-Fi.

### A. Latence de Handover

La latence de handover vertical (VHL) est le temps nécessaire à l'utilisateur mobile pour obtenir une nouvelle adresse IP à partir d'un réseau cible et s'enregistrer auprès de HA [S. Hasseb et al, 2007]. Au cours de ce processus, l'utilisateur mobile ne reçoit aucun paquet à la suite du transfert. La latence est la principale cause des pertes de paquets lors du transfert, il faut donc la minimiser [Z. Liyan et al, 2011].

#### Procédure PMIPv6

Dans la procédure PMIPv6, l'utilisateur mobile connecté à WiMAX en suite cet utilisateur mobile a été déconnecté du réseau Wi-Fi et la passerelle d'accès source-mobile (S-MAG) envoie simultanément une mise à jour de liaison de proxy (PBU : Proxy Binding Update) avec la valeur de durée de vie de zéro à l'ancre de mobilité locale (LMA). Le handover vertical de la procédure PMIPv6 (VHL<sub>PMIPv6</sub>) est donné par (3.1) [S. Heecheol et al, 2011]:

$$VHL_{PMIPv6} = 2(T_{MAG-LMA}) + T_{L2} + 4(T_{DOMAIN-AAA}) + T_{MU-AN} + T_{AN-MAG} \quad (3.1)$$

Où  $T_{MAG-LMA}$  est la latence entre MAG et LMA,  $T_{L2}$  est la latence à partir de laquelle l'utilisateur mobile est détaché d'AP à quand l'utilisateur mobile est attaché à BS,  $T_{DOMAIN-AAA}$  est la latence entre les entités du domaine PMIPv6 et du serveur AAA / MIIS,  $T_{MU-AN}$  est la latence entre l'utilisateur mobile et AP / BS et  $T_{AN-MAG}$  est la latence entre AP / BS et MAG.

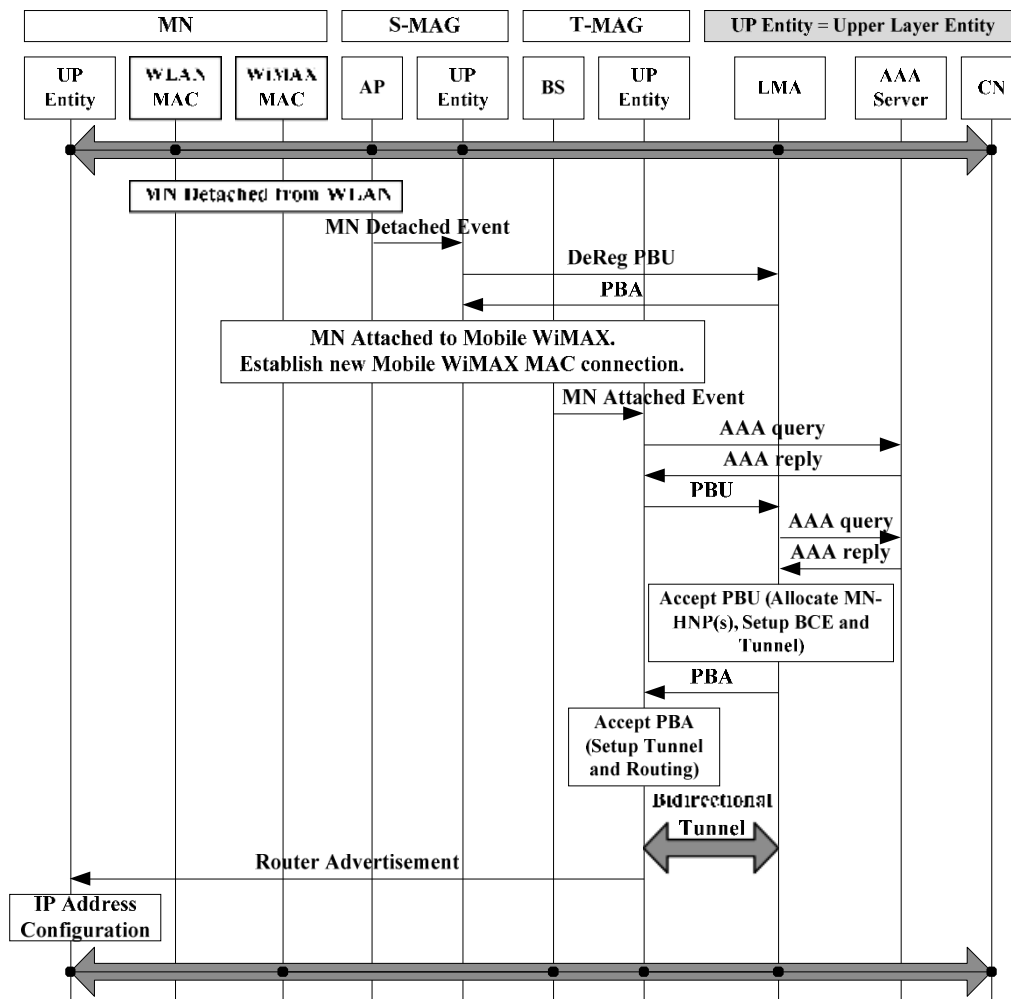


Figure 3.6 : Procédures de transfert PMIPv6 entre WLAN et Mobile WiMAX

### Procédure PFMIPv6

Dans la procédure PFMIPv6, le tunnel bidirectionnel entre S-MAG et Target-MAG (T-MAG) utilisé pour l'envoi et la réception de handover initialisation and handover acknowledge messages. Le transfert vertical de la procédure PFMIPv6 (VHLPFMIPv6) est indiqué (3.2) [S. Heecheol et al, 2011]:

$$VHLPFMIPv6 = 2(T_{MAG-LMA}) + T_{L2} + 2(T_{DOMAIN-AAA}) + T_{MU-AN} + T_{AN-MAG} \quad (3.2)$$

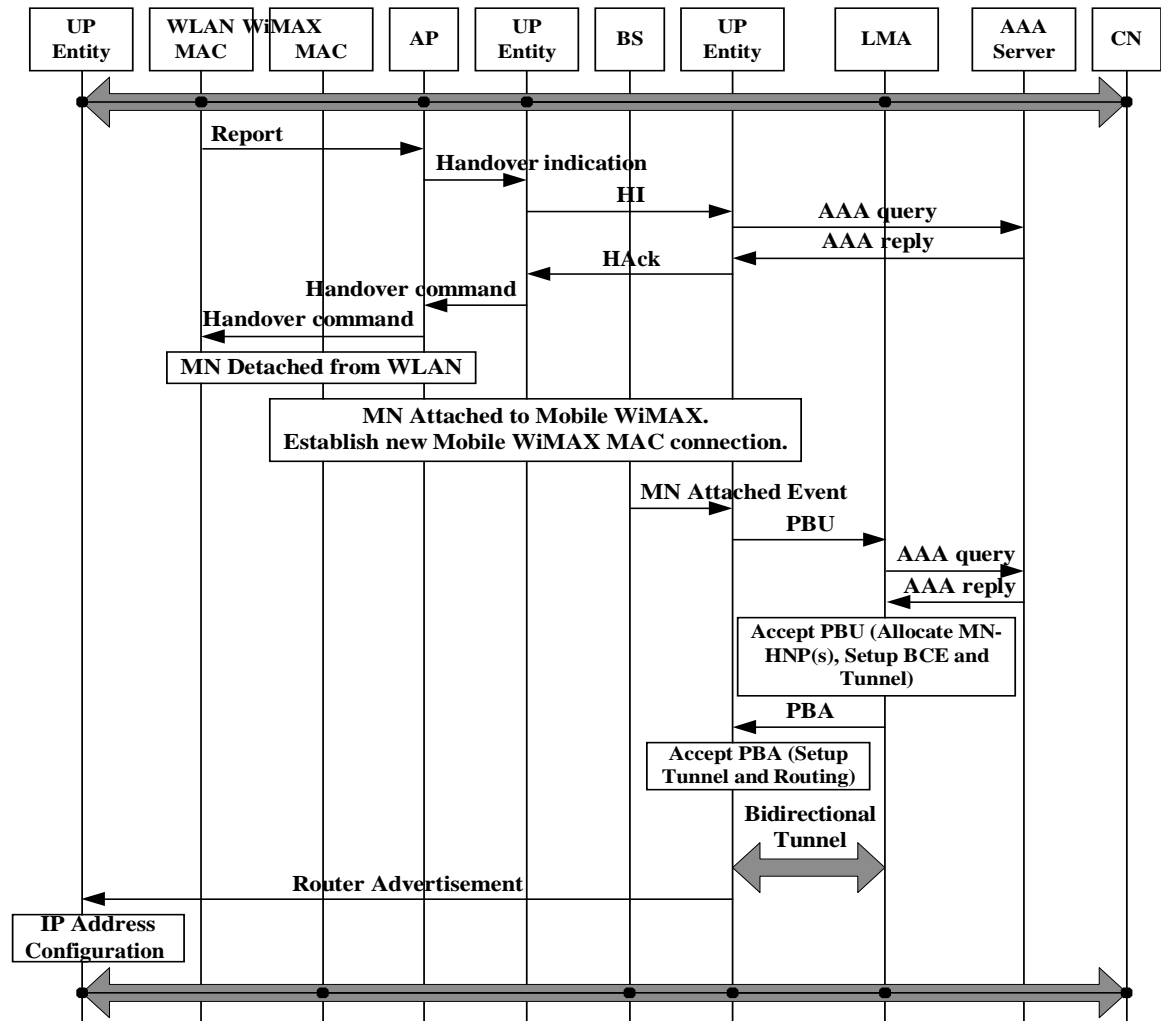


Figure 3.7 : Procédures de handover PFMIIPv6 entre WLAN et Mobile WiMAX

### Procédure PMIPv6 compatible IEEE 802.21

Dans la procédure PMIPv6 compatible IEEE 802.21, le handover vertical a été réduit par rapport aux procédures PMIPv6 et PFMIIPv6 car le processus d'attachement de couche 2 (L2) et AAA chez T-MAG et LMA s'est produit avant que l'utilisateur mobile se déconnecte du Wi-Fi. Le transfert vertical de la procédure PMIPv6 compatible IEEE 802.21 (VHL802.21) est donné par (3.3) [S. Heecheol et al, 2011]:

$$VHL_{802.21} = T_{AN-MAG} + T_{MU-AN} + 2(T_{MAG-LMA}) \quad (3.3)$$

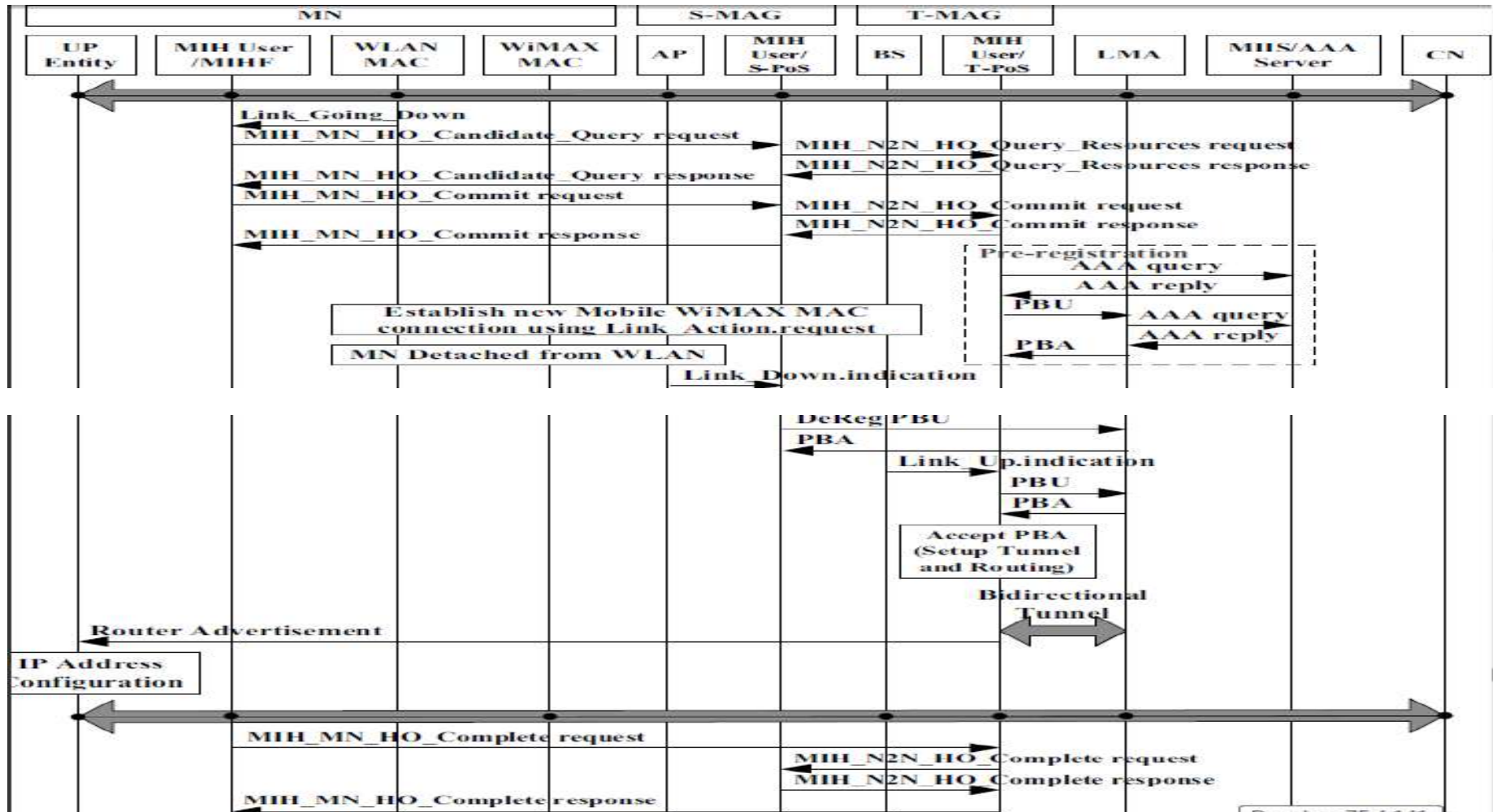


Figure 3.8: Procédures de handover PMIPv6-IETF 802.21 entre WLAN et Mobile WiMAX

### Procédure I AM 4 VHO

Après RAT a été vérifié par WiMAX PoS, la notification simultanée informe à la fois le serveur MIIS / HA de commencer à mettre en mémoire tampon et Wi-Fi PoS pour transférer le RAT cible sélectionné au PoA Wi-Fi. Après cela, le PoA Wi-Fi envoie le RAT cible à l'utilisateur mobile pour le transférer. L'utilisateur mobile utilise la période de mise en mémoire tampon pour envoyer démarre / termine les messages d'authentification avec le PoA WiMAX de destination. Alors que les anciens paquets de données sont toujours envoyés à l'utilisateur mobile à l'ancienne adresse IP pendant une période de double temps de signalisation. En d'autres termes, l'utilisateur mobile effectuera l'authentification avec le PoA WiMAX de destination avant que les derniers paquets de données ne soient reçus par l'utilisateur mobile [O. Khattab et al, Feb2013].

Le handover vertical dans la procédure I AM 4 VHO est donné par:

$$VHL_{IAM4VHO} = LTB + LTBA \quad (3.4)$$

Où LTB est la latence de binding update et LTBA est la latence de binding acknowledgment avec HA. Tel que le temps d'enregistrement avec HA dans MIPv4 [A. Stephane et al, 2001] qui prend en charge les handovers entre deux RAT adjacents:

$$VHL_{IAM4VHO} = 2(S_{ctrl} / B_{wl}) + 2(L_{wl}) + PP_x \quad (3.5)$$

Où Sctrl est la taille moyenne d'un message de contrôle, Bwl est la bande passante de la liaison sans fil, Lwl est la latence de la liaison sans fil et PPx est latence de routeur ou d'agent recherche de route et latence de traitement des paquets.



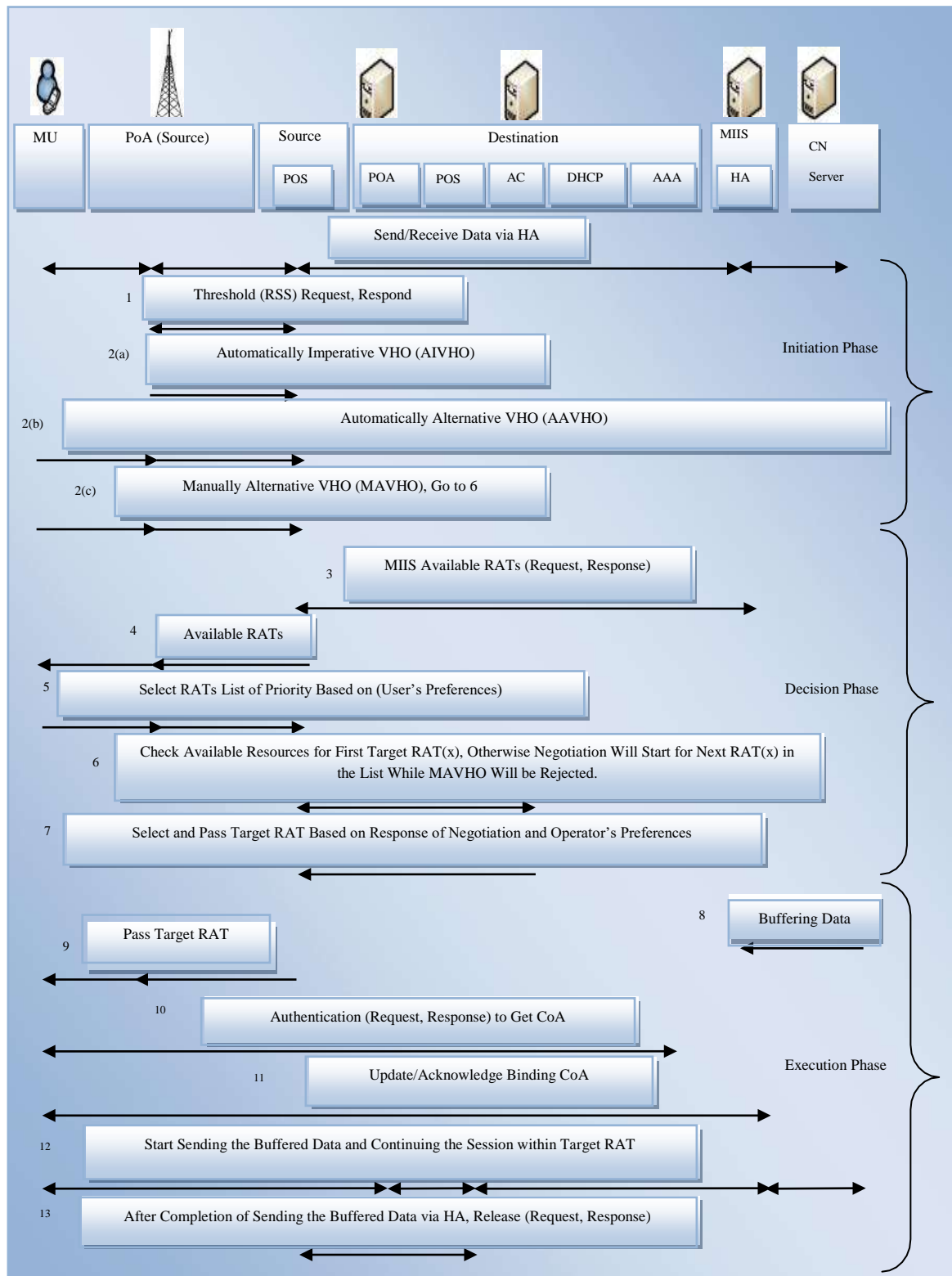


Figure 3.9 : Procédure I AM 4 VHO

### Notre procédure proposée

Dans notre procédure, après le premier RAT optimal a été vérifié par WiMAX PoS, la notification simultanée informe à la fois le serveur MIIS / HA de commencer à mettre en mémoire tampon et Wi-Fi PoS pour transférer le RAT cible sélectionné au PoA Wi-Fi (signalisation  $T_{10_{im}}$  ou  $T_{11_{al}}$ ). Après cela, le PoA Wi-Fi envoie le RAT cible à l'utilisateur mobile pour le transférer. L'utilisateur mobile utilise la période de mise en mémoire tampon pour envoyer démarre / termine les messages d'authentification avec le PoA WiMAX de destination (signalisation  $T_{12_{im}}$  ou  $T_{13_{al}}$ ) plus (signalisation  $T_{13_{im}}$  ou  $T_{14_{al}}$ ). Alors que les anciens paquets de données sont toujours envoyés à l'utilisateur mobile à l'ancienne adresse IP pendant une période de double temps de signalisation (signalisation  $T_{10_{im}}$  ou  $T_{11_{al}}$ ) plus (signalisation  $T_{11_{im}}$  ou  $T_{12_{al}}$ ). En d'autres termes, l'utilisateur mobile effectuera l'authentification avec le PoA WiMAX de destination avant que les derniers paquets de données ne soient reçus par l'utilisateur mobile (signalisation  $T_{11_{im}}$  ou  $T_{12_{al}}$ ). Puis demande / réponse Binding message avec HA (signalisation  $T_{14_{im}}$  ou  $T_{15_{al}}$ ) plus (signalisation  $T_{15_{im}}$  ou  $T_{16_{al}}$ ) pendant cette période l'utilisateur mobile ne reçoit aucun paquet. Donc latence de notre procédure proposée est la durée de demande / réponse Binding message avec HA indiqué comme suit :

$$LVHO_{pp} = (T_{14_{im}} + T_{15_{im}}) \text{ ou } \quad (3.6)$$

$$LVHO_{pp} = (T_{15_{al}} + T_{16_{al}})$$

Où  $LVHO_{pp}$  (Latence Handover Vertical de procédure proposée) est le temps de signalisation de binding update et de binding acknowledgment messages avec HA cas impératif ( $T_{14_{im}} + T_{15_{im}}$ ) ou ( $T_{15_{al}} + T_{16_{al}}$ ) alternatif. Tel que le temps d'enregistrement avec HA dans MIPv4 [A. Stephane et al, 2001] qui prend en charge les handovers entre deux RAT adjacents est calculés comme suit:

$$LVHO_{pp} = 2(S_{ctrl} / B_{wl}) + 2(L_{wl}) + PP_x \quad (3.7)$$

Où  $S_{ctrl}$  est la taille moyenne d'un message de contrôle,  $B_{wl}$  est la bande passante de la liaison sans fil,  $L_{wl}$  est la latence de la liaison sans fil et  $PP_x$  est latence de routeur ou d'agent recherche de route et latence de traitement des paquets.

## B. Perte de paquets

Nous devons calculer le nombre moyen de pertes de paquets en termes de taux de perte de paquets pendant la session de transfert intercellulaire (Handover Vertical) en tenant compte de la latence de transfert vertical de l'équation (3.1), (3.2), (3.3), (3.5) et (3.7).

L'équation (3.8) indique le pourcentage de perte de paquets lorsque l'utilisateur mobile reçoit des paquets IP en temps réel sur la liaison descendante [A. Stephane et al, 2001].

$$\text{Pkt\_loss} = (1/2 * T_{\text{agt\_adv}} + \text{VHL}) / t_{\text{cell}} \quad (3.8)$$

Cela ne dépend pas du débit de la liaison descendante ni de la durée de la session. Cela dépend plutôt du temps de résidence des cellules et du temps nécessaire pour découvrir et compléter un enregistrement IP mobile, où Pkt\_loss est le pourcentage de perte de paquets, T<sub>agt\_adv</sub> est la période moyenne à laquelle AP / BS envoie une annonce d'agent sur la liaison sans fil et t<sub>cell</sub> est le valeur du temps de résidence cellulaire [A. Stephane et al, 2001].

### 3.2.3. Résultats analytiques et discussions sur la procédure proposée

Sur la base de l'analyse ci-dessus, nous évaluons et comparons notre procédure à quatre autres procédures trouvées dans la littérature en termes de latence de handover et perte de paquets : PMIPv6, PFMIPv6, PMIPv6-enabled IEEE 802.21 et I AM 4 VHO. Les valeurs de paramètres utilisées dans cette évaluation sont adoptées à partir de [S. Heecheol et al, 2011] et [A. Stephane et al, 2001], cela est indiqué dans le tableau 3.2.

Les résultats des équations (3.1), (3.2), (3.3), (3.5) et (3.7) sont présentés dans la Figure 3.10 pour le handover vertical dans PMIPv6, PFMIPv6, PMIPv6-enabled IEEE 802.21, I AM 4 VHO et notre procédure, respectivement. Il montre que notre procédure proposée a une latence minimale par rapport aux procédures PMIPv6, PFMIPv6, PMIPv6-enabled IEEE 802.21 et I AM 4 VHO.

Les résultats de l'équation (3.8) indiquent le pourcentage du nombre de pertes de paquets, comme indiqué à la figure 3.11. Il illustre notre procédure avec une perte de paquets moyenne de (1x10<sup>-2</sup>) en raison de la latence réduite de la procédure proposée.

**Tableau 3.2** : Paramètres d'entrée pour l'évaluation des performances de la modélisation analytique

Paramètre	Valeur	Description
<b>Sctl</b>	400 bits.	Taille moyenne d'un message de contrôle (publicité de l'agent, demande / réponse d'enregistrement, path setup/acknowledgment)
<b>Lwl</b>	2 ms.	latence de la liaison sans fil (latence de propagation et latence de la couche de liaison).
<b>PPx</b>	$10^{-6}$ sec.	Latence routeur ou d'agent recherche de route et latence de traitement des paquets.
<b>Bwl</b>	1 Mps.	Bande passante du lien sans fil.
<b>TMAG-LMA</b>	20 ms.	Latence entre MAG et LMA.
<b>TMU-AN</b>	10 ms.	Latence entre l'utilisateur mobile et AP / BS.
<b>TAN-MAG</b>	2 ms.	Latence entre AP / BS et MAG.
<b>Tagt_adv</b>	1 sec	Période à laquelle AP / BS envoie une annonce d'agent sur la liaison sans fil.
<b>tcell</b>	Variable.	Temps de résidence cellulaire.

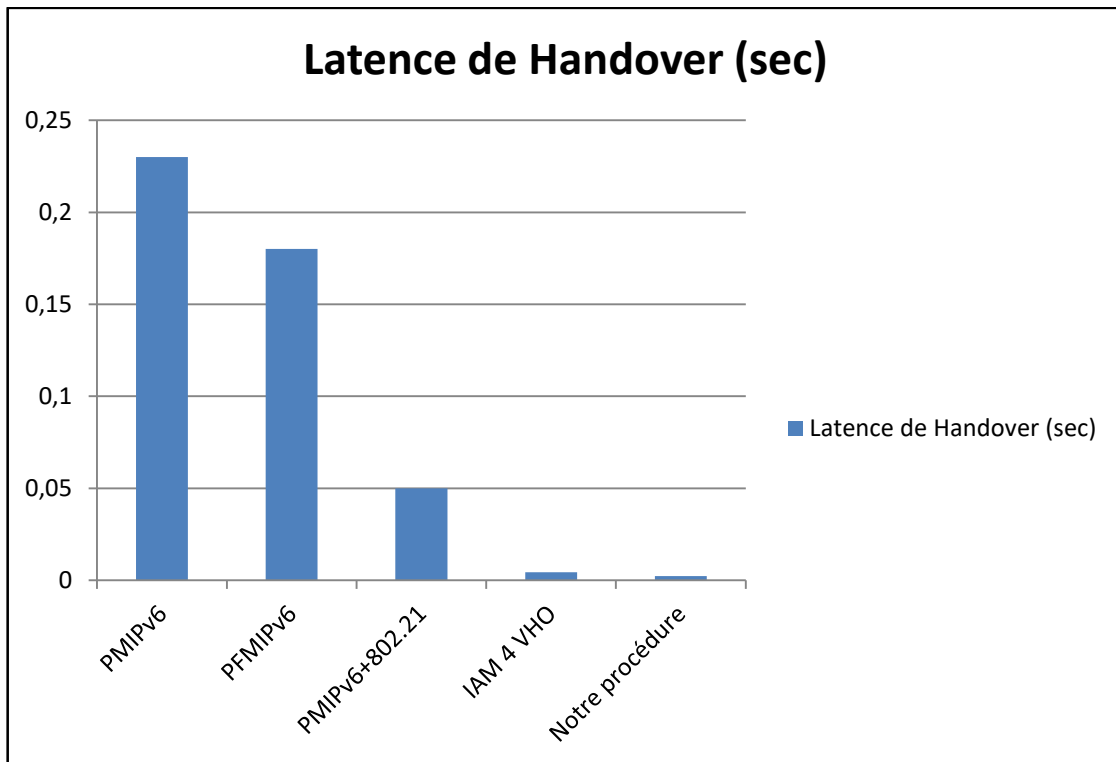


Figure 3.10 : comparaison de la latence des procédures de Handover Vertical

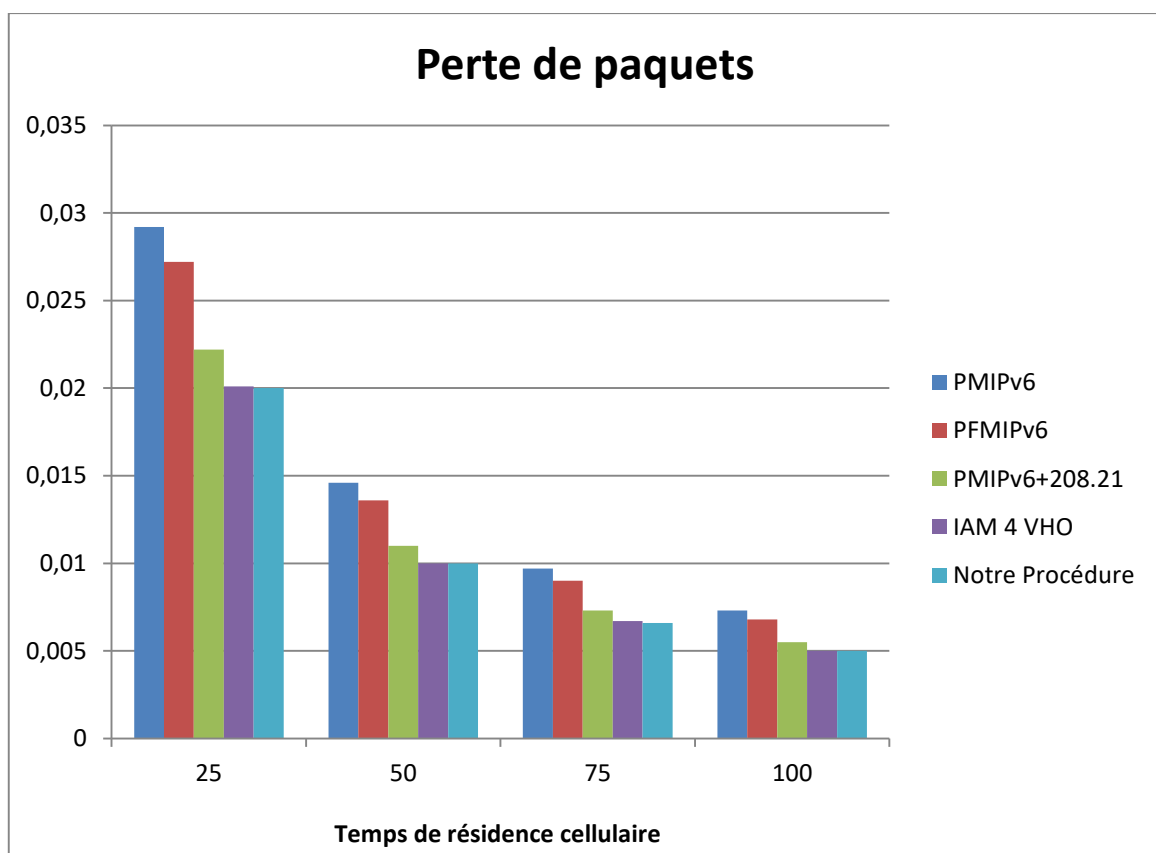


Figure 3.11: Comparaison de perte de paquets des procédures de Handover Vertical

### 3.3. Conclusion

Nous avons présenté notre approche basée sur les approches de transfert vertical étudiées dans la littérature. Dans ce chapitre, nous avons présenté la procédure proposée comme première partie de notre approche pour fournir un handover vertical transparent dans un environnement de réseau sans fil hétérogène. Notre procédure basée sur le cadre MIH, l'architecture de couplage lâche et MIPv4 fournit une mise en mémoire tampon précoce pour les nouveaux paquets de données pour minimiser la latence de handover vertical. Les résultats d'analyse de la modélisation analytique de la procédure proposée montrent que la latence de Handover et la perte de paquets de notre procédure sont considérablement réduite par rapport aux quatre procédures trouvées dans la littérature.

## **Chapitre 4 Proposition d'un algorithme de décision pour améliorer le VHO dans les réseaux NGN**

### **Contenu**

---

- 4.1. Introduction
  - 4.2. Algorithme de décision proposée
    - 4.2.1. Fonction de sélection de réseau d'accès
    - 4.2.2. Intégration de notre solution sous le mobile terminal
    - 4.2.3. Scénario et paramètres de simulation
    - 4.2.4. Résultats de simulation et discussion
  - 4.3. Conclusion
-

## 4.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons la deuxième partie de notre approche pour fournir une handover vertical transparente dans un environnement de réseau sans fil hétérogène. Cette partie présente l'algorithme de décision proposé. L'algorithme est conçu pour donner à l'utilisateur mobile la meilleure connexion n'importe où, n'importe quand.

Dans ce chapitre, nous présentons notre algorithme de décision de handover vertical qui se compose de deux fonctions de sélection d'accès réseau (ANSFi : cas impératif et ANSFa : cas alternatif). Scénario et paramètres de simulation de l'algorithme proposé est présenté et L'analyse des résultats de simulation démontrent que l'algorithme proposé réduit l'échec de la connexion du handover vertical suite à l'utilisation de la liste de priorité des RATs optimale et réduit la latence du handover vertical et la perte de paquets par rapport à celle trouvée dans la littérature.

## 4.2. Algorithme de décision Proposé

Notre algorithme de décision proposé définit deux fonctions de sélection du réseau d'accès (ANSFi et ANSFa) correspondant aux deux cas de handover vertical (Cas impératif et alternatif) avec une priorité élevée dans le cas impératif lorsqu'il y a deux sessions de Handover vertical dans le même temps (un impératif, une autre alternative). Par exemple, s'il y a deux sessions de VHO en même temps, une en raison de la chute de RSS (impératif) et l'autre en raison des préférences de l'utilisateur (alternative), la première demande sera traitée en priorité et la seconde demande ne sera considérée que s'il n'y a pas de session VHO impérative en cours, sinon il faudra attendre dans la file d'attente, ceci est montré à la figure 4.1

Dans le cas VHO impératif en raison de la chute de RSS, la liste des RATs de priorité basée sur la fonction ANSFi sera passée par mobile terminal à ses PoS de réseau source. Lorsque le premier choix de la liste des RATs de priorité ne peut pas être satisfait de ressources suffisantes (SoRs) vérifiées par le point de service de destination correspondent, le point de service du réseau



source de mobile terminal sera automatiquement passé vers la prochaine RAT dans la liste pour satisfaire la demande et ainsi de suite, une fois les ressources suffisantes a été trouvé, il sera vérifié par le PoS de destination si elle est conforme aux règles et aux préférences des opérateurs, si cela est disponible, la session sera accepté, sinon le demande sera retourné au point de service du réseau source pour sélectionner la prochaine RAT dans la liste. Enfin, la session sera rejetée s'il n'y a pas de ressources disponibles pour tout RAT dans la liste.

Dans le cas VHO alternatif et en raison des préférences de l'utilisateur, la liste des RATs de priorité basée sur la fonction ANSFa sera passé par mobile terminal à ses PoS de réseau source, et de prendre le même chemin de cas VHO impératif, comme décrit dans la figure 4.1

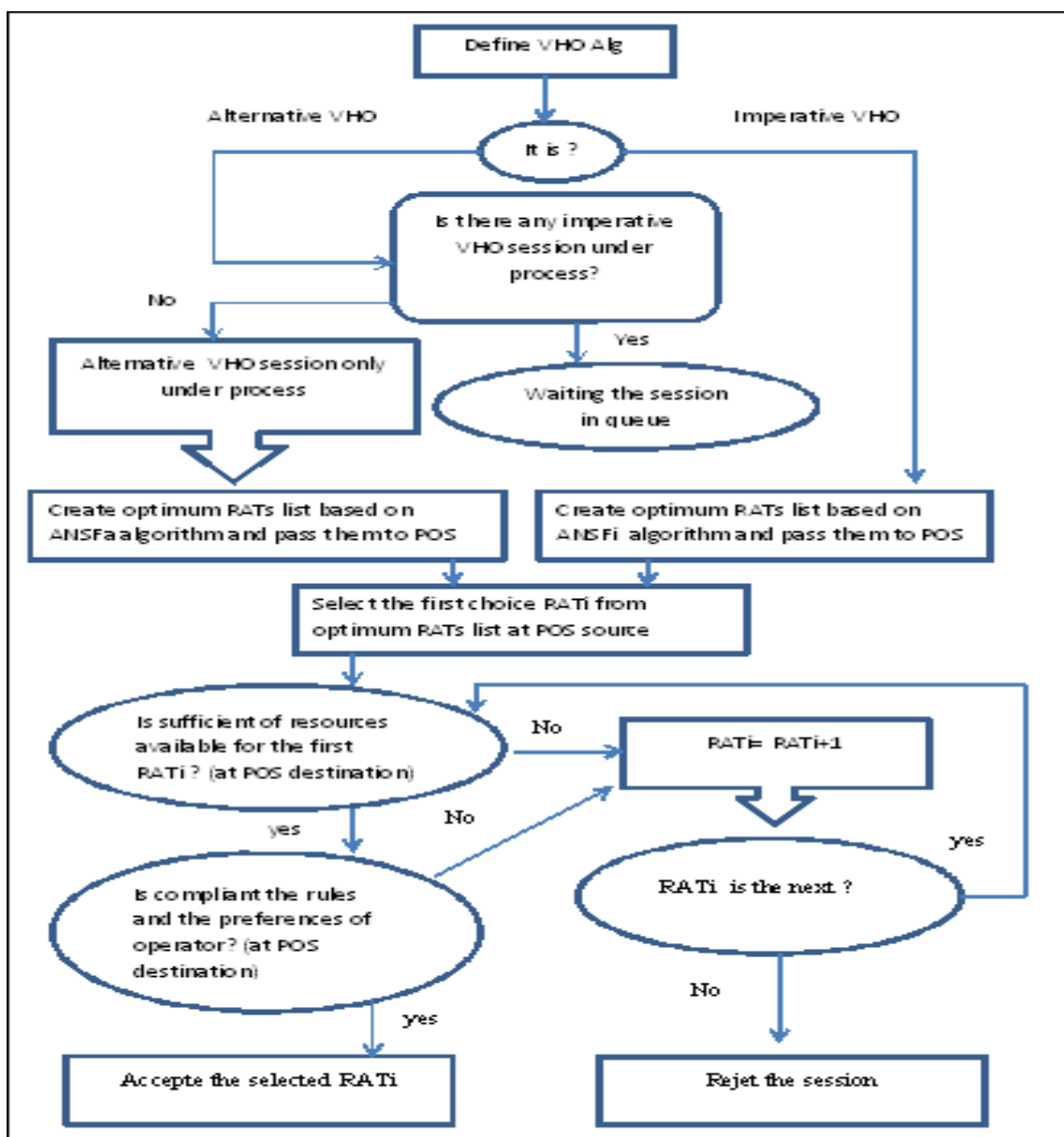


Figure 4.1: Notre Algorithme de décision Proposée

#### 4.2.1. Fonction de sélection de réseau d'accès :

La sélection du réseau est la fonction importante de la procédure de handover vertical (phase de décision), elle est appliquée lorsqu'un terminal mobile se déplace entre différents réseaux d'accès radio existants [I. Bisio et al, 2015].

Basé sur des informations recueillies lors de la phase d'initialisation de Vertical Handover qui est nécessaire pour la prise de décision en ce qui concerne la sélection du meilleur réseau d'accès. Les critères considérés prend en compte dans ANSF (Access Network Selection Function) sont les préférences de l'utilisateur et l'état du réseau.

Notre approche définit deux fonction de sélections de réseau d'accès ANSFi et ANSFa pour Impératif, Alternative cas respectivement. Dans le cas Impératif, la fonction ANSFi (en raison de la chute de RSS) sélectionné le meilleur réseau disponible en considérant un seul critère de sélection qui est le débit maximum réalisable d'un réseau (**r**) mesurée par le mobile terminal. Dans le cas Alternative, la fonction ANSFa sélectionné le meilleur réseau disponible en considérant plusieurs critères de selection (le coût monétaire (**c**), gains de consommation d'énergie (**ge**), débit maximum réalisable (**r**), la charge de réseau (**p**) et taux d'erreur de trame (**FER**)).

Le mobile terminal (MT) évaluée périodiquement les valeurs des paramètres de chaque réseau d'accès (La force de signal, le coût monétaire, la charge de réseau, etc.) et exécuter notre fonction de sélection de réseaux d'accès (ANSF) pour identifier le meilleur basé sur l'équation 1 (la fonction d'utilité multicritères). Par conséquent, le MT initie le transfert (le Vertical Handover) au premier meilleur réseau. Si le transfert échoue, le deuxième réseau meilleur disponible est sélectionné et ainsi de suite

$$U(X) = \prod_{i=1}^n [U_i(x_i)]^{w_i} \quad (1)$$

Où  $n$  est la taille du vecteur  $x$ ,  $w_i$  est le poids de préférence pour le critère  $i$  ( $\sum_{i=1}^n w_i = 1$ ), et  $U_i(x_i)$  est la fonction élémentaire d'utilité du critère  $I$  (équation 2) nous avons basé la sur fonction d'utilité proposé dans [Q. Nguyen-Vuong et al, 2013] car il satisfait toutes les propriétés requises dans la zone de sélection de réseau qui sont :

Une fonction d'utilité appropriée pour la sélection de réseau doit présenter les propriétés suivantes:

- 1) différentiable deux fois,
- 2) fonction monotone,
- 3) concave,
- 4) convexité.

$$u(x) = \begin{cases} 0 & x < x_\alpha \\ \frac{(\frac{x-x_\alpha}{x_m-x_\alpha})^\zeta}{1 + (\frac{x-x_\alpha}{x_m-x_\alpha})^\zeta} & x_\alpha \leq x \leq x_m \\ 1 - \frac{(\frac{x_\beta-x}{x_\beta-x_m})^\gamma}{1 + (\frac{x_\beta-x}{x_\beta-x_m})^\gamma} & x_m < x \leq x_\beta \\ 1 & x > x_\beta \end{cases} \quad (2)$$

Où :

$$\begin{aligned} \gamma &= \frac{\zeta(x_\beta - x_m)}{x_m - x_\alpha} \\ \zeta &\geq \max\left\{\frac{2(x_m - x_\alpha)}{x_\beta - x_m}, 2\right\} \end{aligned} \quad (3)$$

$\zeta$  and  $\gamma$  sont les paramètres de raideur accordés

Compte tenu d'une gamme d'un critère  $x$  vers le haut :  $x_\alpha \leq x \leq x_\beta < \infty$

et  $x_m$  un point milieu de la fonction d'utilité

Pour notre algorithme de décision, l'équation (1) ci-dessus s'écrit comme suite dans le cas alternatif de Handover Vertical (ANSFa):

$$U(\mathbf{X}) = (u(x_c)^{wc}) \cdot (u(x_{ge})^{wgc}) \cdot (u(x_r)^{wr}) \cdot (u(x_p)^{wp}) \cdot (u(x_{FER})^{wFER}) \quad (4)$$

Où  $U(X)$  est la fonction utilitaire multicritères d'un réseau disponible  $X$ . et le  $X$  c'est un des différents réseaux disponibles (WiFi, WiMAX, UMTS ou LTE). Et  $u(x_c)$  est la fonction élémentaire d'utilité (2) du critère  $c$  (le coût monétaire) d'un réseau  $X$ , et ainsi de suite pour tous les critères car dans le cas alternatif de VHO en considérant cinq critères :

$u(x_{ge})$  : la fonction élémentaire d'utilité (2) du critère  $ge$  (gains de consommation d'énergie).

$u(x_r)$  : la fonction élémentaire d'utilité (2) du critère  $r$  (débit maximum réalisable).

$u(x_p)$  : la fonction élémentaire d'utilité (2) du critère  $p$  (la charge de réseau).

$u(x_{FER})$  : la fonction élémentaire d'utilité (2) du critère **FER** (taux d'erreur de trame).

Dans le cas impératif de Handover Vertical (ANSFi) en considérant un seul critère, l'équation (1) ci-dessus s'écrit comme suite:

$$U(X) = (u(x_r)^{w_r}) \quad (5)$$

Et  $u(x_r)$  : la fonction élémentaire d'utilité (2) du critère  $r$  (débit maximum réalisable).

Lors de l'évaluation de l'utilité d'un réseau d'accès, nous distinguons les critères ascendants et descendants. Un critère  $i$  est classé comme étant ascendants si son utilité est une fonction croissante de sa valeur. Les critères ascendants incluent des paramètres tels que (débit maximum réalisable). Inversement, l'utilité d'un critère descendant  $i$  diminue en fonction de sa valeur. Les critères descendants incluent des paramètres tels que (le coût monétaire ( $c$ ), gains de consommation d'énergie ( $ge$ ), la charge de réseau ( $p$ ) et taux d'erreur de trame (**FER**)). Pour cela, la forme de la fonction d'utilité élémentaire pour un critère descendant est encore  $(1-u(x))$ .

C-a-d: la fonction élémentaire d'utilité du critère  $ge$  s'écrit comme suite :  $u(x_{ge}) = 1 - u(x_{ge})$  et ainsi de suite pour les autres critères descendants ( $c$ ,  $p$  et FER). Pour cela, l'équation (4) ci-dessus s'écrit comme suite dans le cas alternatif de Handover Vertical (ANSFa):

$$U(X) = (1 - u(x_c)^{w_c}) \cdot (1 - u(x_{ge})^{w_{ge}}) \cdot (u(x_r)^{w_r}) \cdot (1 - u(x_p)^{w_p}) \cdot (1 - u(x_{FER})^{w_{FER}}) \quad (6)$$

### 4.2.2. Intégration de notre solution sous le mobile terminal

Les fonctions de sélection de réseau d'accès proposées (ANSFi et ANSFa) sont utilisées dans le module ANS et intégrées au système d'exploitation du terminal mobile.

Le MIH (le standard 802.21) comprend un cadre de signalisation et des déclencheurs qui rendent les informations disponibles des couches inférieures (MAC et PHY) aux couches supérieures de la pile de protocoles (des couches réseau à application). MIH est responsable de l'unification des diverses informations technologiques de couche 2 (L2) utilisées par les algorithmes de décision de transfert intercellulaire de sorte que les couches supérieures puissent extraire les aspects d'hétérogénéité inhérents aux différentes technologies hétérogènes sous-jacentes.

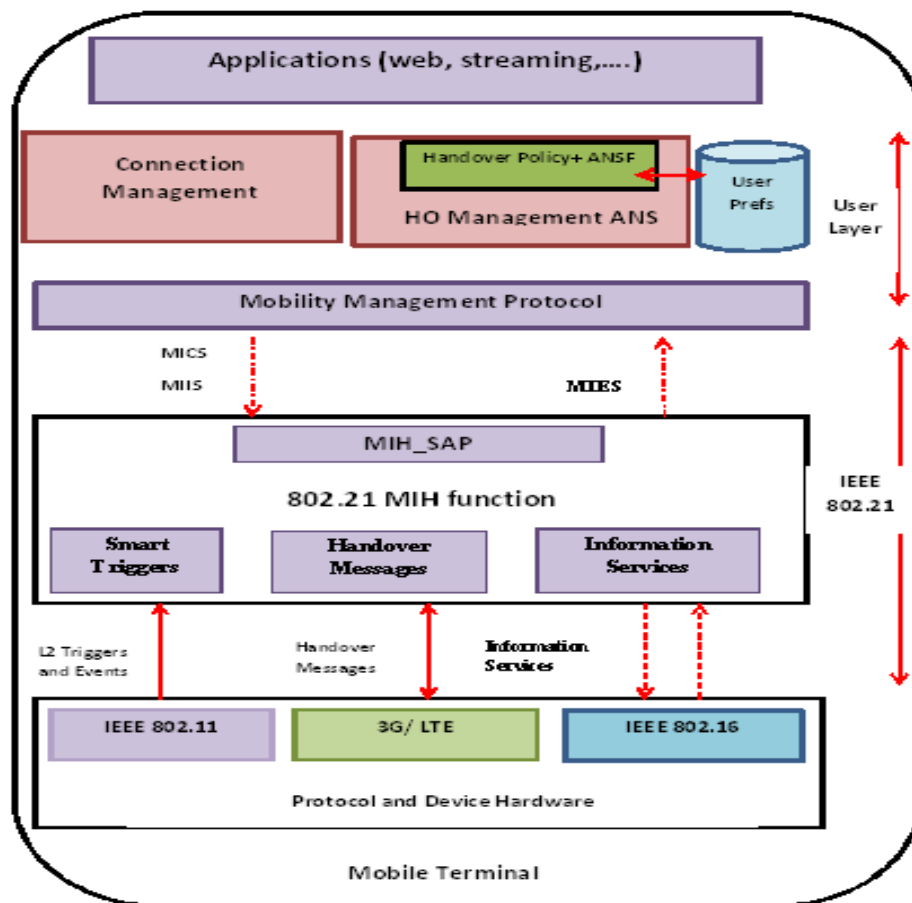


Figure 4.2: Le standard MIH sous le Terminal Mobile

La figure 4.2 décrit le composant principal du cadre MIH au terminal mobile. Les interfaces locales IEEE 802.21 ou distantes L2 transmettent des événements et des déclencheurs à la couche de MIH fonction (MIHF), appelée événements de liaison. Ces événements MIH sont mis à la disposition des couches supérieures via le MIH SAP (Service Access Point).

Le module de 'Handover management' qui inclut le mécanisme ANS utilise ces événements MIH pour découvrir les réseaux disponibles et sélectionner le meilleur réseau d'accès. Certains événements importants sont énumérés ci-dessous avec leur signification:

- 1) MIH Link Up: La connexion L2 est établie et le lien est disponible.
- 2) MIH Link Going Down: Les conditions de liaison se dégradent et la perte de connexion est imminente.
- 3) MIH Link Detected: Un nouveau lien a été détecté.

L'infrastructure MIH introduit un composant 'Handover Policy Control Function' situé au niveau de la couche utilisateur de l'infrastructure MIH. Il est mis en œuvre en tant qu'agent et utilise les services fournis par le MIHF via son MIH SAP afin d'optimiser le processus de transfert. Cet agent peut contrôler de manière homogène toutes les couches sous-jacentes physiques, de liaison de données ou de liaison logique. Il peut recevoir des événements et / ou des messages de toutes les interfaces sous-jacentes pour indiquer les changements d'état et les informations relatives à leur comportement.

Le mécanisme ANSF proposé est mis en œuvre dans cet agent. Les préférences de l'utilisateur concernant les critères sélectionnés (par exemple, débit binaire, coût, consommation d'énergie, etc.) sont collectées et stockées dans le terminal mobile dans la base de données de préférences utilisateur.

### **4.2.3. Scénario et paramètres de Simulation**

Nous considérons un scénario dans lequel plusieurs technologies de réseau sans fil sont déployées: IEEE 802.11 WLAN, IEEE 802.16 WiMAX, 3G et LTE. Nous considérons une zone qui est entièrement couverte par le signal 3G et partiellement par d'autres technologies, comme représenté dans la figure 4.3. Le tableau 4.1, il met en évidence les caractéristiques de chaque technologie.



**Figure 4.3:** Scenario de simulation

Dans cette zone, nous supposons initialement  $N$  utilisateurs actifs au hasard distribué dans la cellule 3G. Chaque utilisateur, équipé d'un terminal mobile, est capable de se déplacer à des vitesses aléatoires suivant des chemins aléatoires, cela signifie que les utilisateurs peuvent être presque statiques (piétons se déplaçant à basse vitesse) ou dynamiques (utilisateurs se déplaçant à grande vitesse avec tout moyen de transport possible). Nous supposons également que les utilisateurs peuvent commencer ou mettre fin à une connexion à tout moment et que, par conséquent, le nombre d'utilisateurs actifs peut se faire de manière aléatoire. Changer au fil du temps. Ainsi, les utilisateurs peuvent se déplacer dans les zones couvertes par des réseaux d'accès sans fil hétérogènes, et l'avantage du terminal mobile est de trouver le meilleur réseau d'accès, à tout moment et n'importe où.

Le terminal mobile est connecté par défaut, aux réseaux 3G (UMTS), au cours de ce mouvement, le MT reçoit IEEE 802.21 messages de contrôle, y compris les informations sur les réseaux d'accès disponibles, les conditions de couche de liaison, ainsi que d'autres informations utiles. La fonction de sélection ANSF proposée mise en œuvre dans le terminal mobile évalue périodiquement les valeurs des critères de chaque réseau d'accès pour choisir le meilleur réseau disponible basé sur la fonction ANSF<sub>i</sub> cas impératif de VHO ou basé sur ANSF<sub>a</sub> cas alternatif de VHO.

Nous avons porté à cinq le nombre de critères de décision : coût ( $c$ ), gains de consommation d'énergie ( $ge$ ), maximum débit de données réalisable ( $r$ ), charge du réseau ( $p$ ) et taux d'erreur de

trame (FER). Nous considérons dans cette simulation le coût par volume de données téléchargées (en cents / kbit) pour le streaming applications et le téléchargement de données. Le paramètre de gain de consommation d'énergie est défini comme le rapport entre le taux de consommation d'énergie  $e_i$  et le débit de données maximal pouvant être atteint  $r_i$ , c'est-à-dire

$$ge_i = \frac{e_i}{r_i} (J/Mb).$$

Les valeurs de taux de consommation d'énergie des interfaces UMTS et WiFi sont les valeurs moyennes extraites de la plage présentée dans [M. P. Michael, 2005] ainsi que dans la spécification de produits standard. En règle générale, le taux de consommation d'énergie de l'interface WiMAX est supérieur à celui de l'interface UMTS / LTE et peu inférieur à celui de l'interface WiFi [A. Yoon et al, 2007]. Le FER d'un réseau d'accès peut être estimé sur la base de la qualité de la liaison et du schéma de modulation et de codage correspondant. La plage de valeur des critères de sélection sont indiqués dans la table 4.2, tandis que les paramètres de réglage pour chaque utilitaire élémentaire utilisé dans la simulation sont donnés dans la table 4.3.

Dans ce travail, l'ANSF que nous proposons de concevoir est de type TCH (Terminal Controlled Handover) faisant partie du système d'exploitation de MT. Pour faciliter l'introduction du mécanisme proposé, nous supposons que certaines fonctions de gestion du Handover Vertical du média indépendantes, telles que la structure MIH, sont déployées dans tous les réseaux d'accès sans fil et fournissent les messages de contrôle. Nous avons implémenté notre algorithme proposée de Vertical Handover sous le simulateur NS2 (Network Simulator NS2 2.29) avec le standard NIST (IEEE 802.21 standard: Média indépendant Handover), comme indique dans le chapitre 2 (partie 2.6.3). Enfin, il convient de noter que cette solution proposée est un complémentaire à tout solution de gestion de la mobilité contrôlée par le réseau. Il offre aux utilisateurs finaux un certain niveau de contrôle sur la décision de Handover.

**Tableau 4.1 :** Les caractéristiques de chaque technologie utilisée dans le scénario de simulation

Paramètre	Valeur
<b>WiFi</b>	
<b>Coverage area/CelluleSize</b>	50 m - 100 m
<b>Trigger Link Going DownFactor</b>	1.2



<b>PHY Spec. PropagationModel</b>	Two-Ray Ground Model
<b>Antenna Type</b>	Omni Antenna
<b>Frequency Range</b>	2.4 Ghz
<b>RX Threshold</b>	$5.2 \times 10^{-10}$ W
<b>Peak Data Rate (DL)</b>	11 Mbps
<b>WiMAX</b>	
<b>Coverage area/Cellule Size</b>	500 m - 1000 m
<b>Trigger Link Going Down Factor</b>	1.1
<b>PHY Spec.</b>	OFDM and Two-Ray
<b>Propagation model</b>	Ground Model
<b>Antenna Type</b>	OmniAntenna
<b>Frequency Range</b>	3.4 Ghz
<b>RX Threshold</b>	$1.2 \times 10^{-9}$ W
<b>Peak Data Rate (DL)</b>	54Mps
<b>UMTS</b>	
<b>Coverage area/Cellule size</b>	1000 m
<b>Trigger Link Going Down factor</b>	Trigger Link Going Down is not used
<b>PHY Spec.</b>	Ray Tracing Model
<b>Propagation model</b>	
<b>Antenna Type</b>	Omni Antenna
<b>Frequency Range</b>	1.8 Ghz
<b>RX Threshold</b>	$1.0 \times 10^{-16}$ W

<b>Peak Data Rate (DL)</b>	384 Kbps
<b>LTE</b>	
<b>Coverage area/Cellule size</b>	500 m - 1000 m
<b>Trigger Link Going Down factor</b>	IEEE802.21 is not implemented
<b>PHY Spec. Propagation model</b>	OFDMA/MIMO/SCFDMA
<b>Antenna Type</b>	Omni Antenna
<b>Frequency Range</b>	2 Ghz
<b>RX Threshold</b>	HHO selection based on Position
<b>Peak Data Rate (DL)</b>	100 Mbps

**Tableau 4.2 :** Paramètres de simulation pour les cas d'utilisation

Critères de sélection	WiFi	WiMAX	UMTS R99	LTE
coût $c$ (cents/Kb)	1-40	1-50	20-60	20-50
consommation d'énergie $g_e(W)$ in active state	4.5	3.5	1.2	2.5
débit de données réalisable $r$ (Kbps)	100-1500	100-1800	100-1500	300-1800

Charge de réseau	0-0.5	0-0.5	0-0.5	0-0.5
<b>P</b>				
taux d'erreur de trame <b>FER</b>	0.0005-0.08	0.0005-0.08	0.0005-0.08	0.0005-0.08

Tableau 4.3 : paramètres pour les formes utilitaires élémentaires

Critères	$x_{\alpha}$	$x_{\beta}$	$x_m$	$\zeta$
<b>c (cents/Kb)</b>	5	70	35	2
<b>ge(J=Mb)</b>	1	50	15	2
<b>r(Kbps)</b>	10	3000	800	3
<b>P</b>	0	1	0.5	2
<b>FER</b>	0	0.2	0.1	3

#### 4.2.4. Résultats de simulation et discussion

Dans cette section, nous présentons les résultats de la simulation de notre algorithme de décision proposée pour le scénario représenté à la figure précédent, nous avons trouvé les valeurs suivantes : le débit, le débit moyen, le retard de bout en bout, la gigue, latence de Handover et la perte de paquet. Nous avons comparé notre algorithme de décision avec l'algorithme proposé par NIST (l'implémentation de standard IEEE 802.21 sous NS2), MIH2 Algorithme proposé par [B. Sahana et al, 2013] et DVHO Algorithme (Dynamic Vertical Handover) proposé par [P. Payaswini et al, Nov2014] en termes de lantece de Handover et perte de paquets qui sont deux facteurs importants qui affecte le Handover Vertical dont notre objective est de minimiser ces deux facteurs.

Le graphique de débit est montré dans la figure 4.4. Le débit est une mesure de combien d'unités d'information d'un système peut traiter dans un temps donné. Le débit est mesuré avec le temps montre que l'augmentation du débit avec le temps et rester à valeur fixe (82kb /s) au cours du temps de la simulation qui signifie que notre approche réaliser la poursuite de la session de communication lorsque le transfert intercellulaire d'utilisateur mobile entre différentes technologies disponibles. Et la mesure du débit moyen est 76.9996 (kbps).

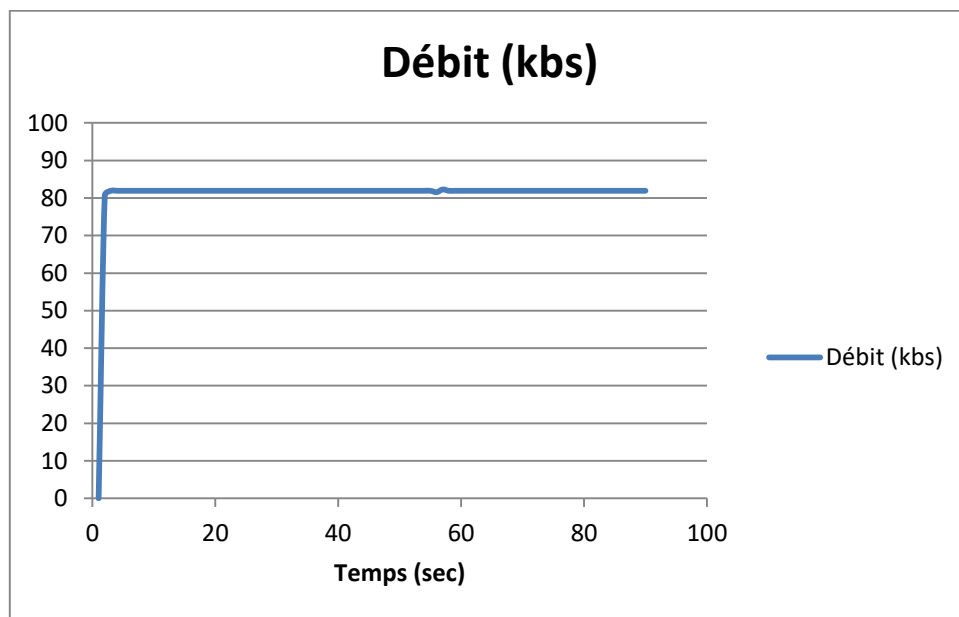
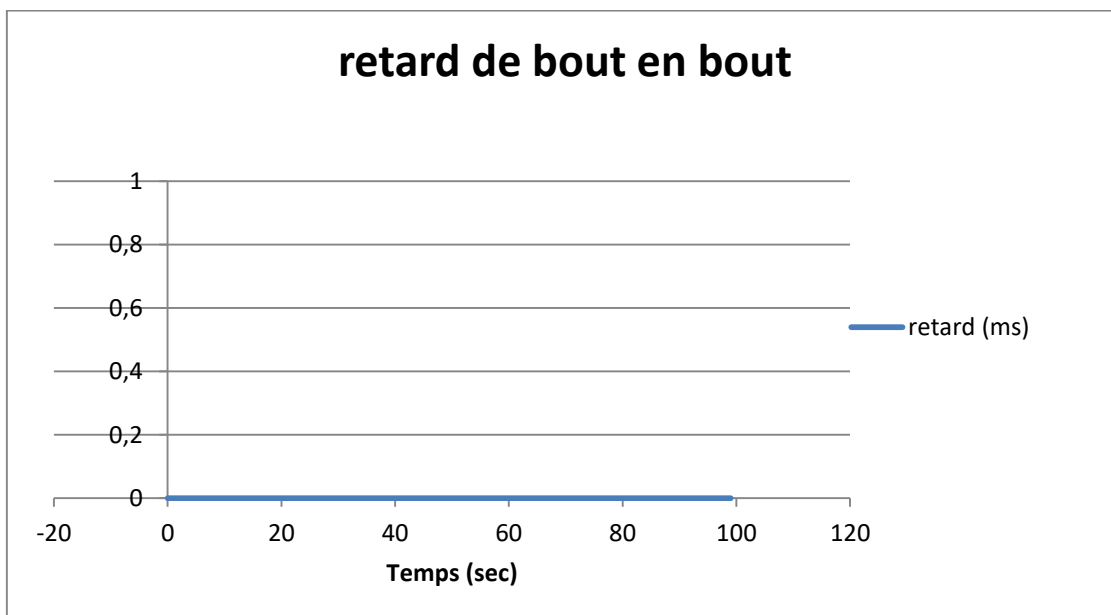


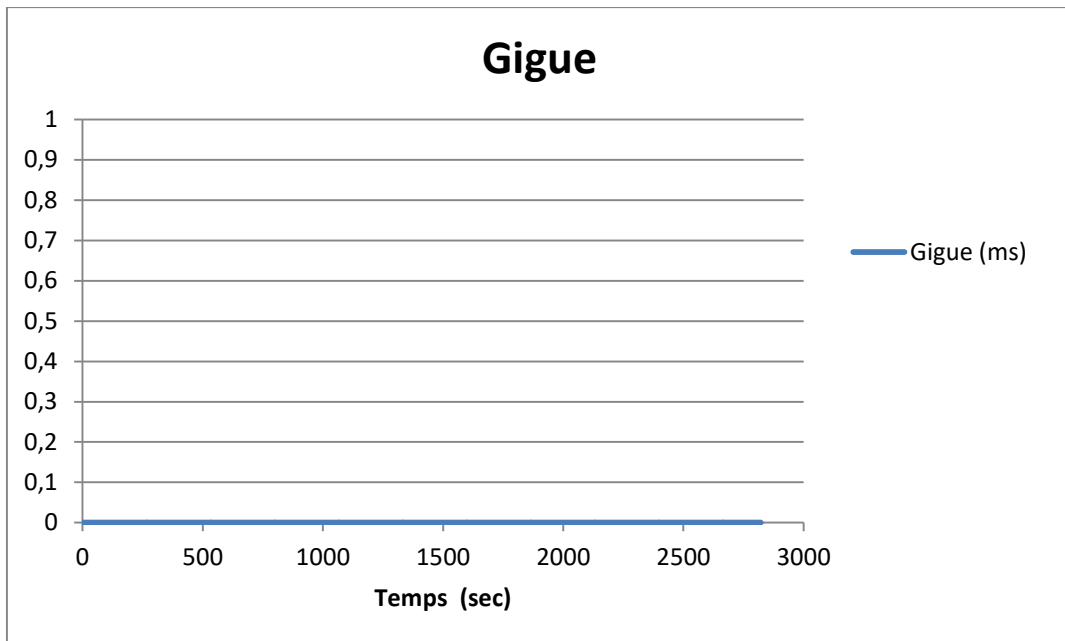
Figure 4.4: Graphe de débit sur le temps

Le délai de bout en bout peut être calculé comme le temps total mis par le paquet pour atteindre une source à une autre. Il est également défini comme la somme du délai de transmission, du délai de propagation et du délai de traitement. Le graphique du délai de bout en bout est celui présenté dans la figure 4.5. En raison de la continuité du réseau (Always Best Connect) offert par notre algorithme de décision, on voit très peu de retard de bout en bout.



**Figure 4.5** : Graphe de retard de bout en bout sur le temps

La gigue est une variation du délai de transit des paquets provoquée par les effets de mise en file d'attente, de contention et de sérialisation sur le chemin traversant le réseau. En général, des niveaux plus élevés de gigue sont plus susceptibles de se produire sur des liaisons lentes ou fortement encombrées. On voit très peu de gigue marqué sur le temps produit par notre algorithme de décision, comme indiqué dans la figure 4.6.



**Figure 4.6 :** Graphe de variation de latence de Handover sur le temps

Latence de Handover ou le retard est la quantité de temps entre le moment où le mobile est déconnecté de l'ancienne station de base lorsque le mobile reçoit le paquet de la nouvelle station de base. Nous comparons notre algorithme de décision avec l'algorithme proposé par NIST, MIH2 Algorithme proposé par [B. Sahana et al, 2013] et DVHO Algorithme (Dynamic Vertical Handover) proposé par [P. Payaswini et al, Nov2014] en termes de latence de Handover et perte de paquets, notre algorithme proposée marque une latence minimale (0.000413 sec) par rapport aux algorithmes NIST (2 sec), MIH2 algorithme (0.5 sec) et DVH algorithme (0.45 sec), comme représenter dans la figure 4.7. Aussi notre algorithme proposé marque zéro de perte de paquets à cause de la réduction de latence de Handover, comme indiquer dans la figure 4.8.

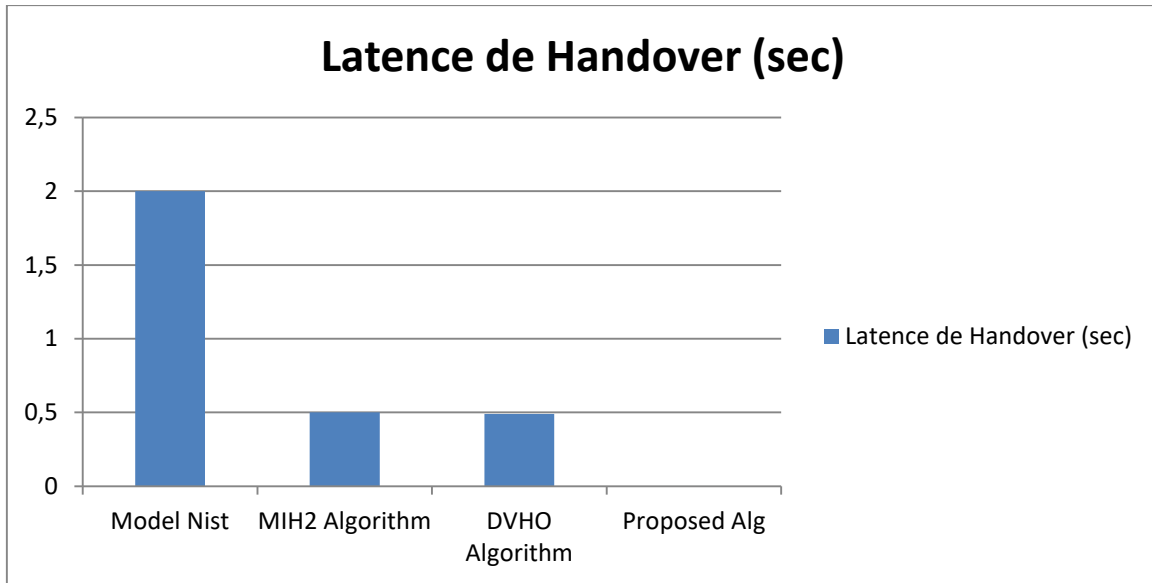


Figure 4.7 : Comparaison de notre algorithme avec les autres en termes de latence de Handover

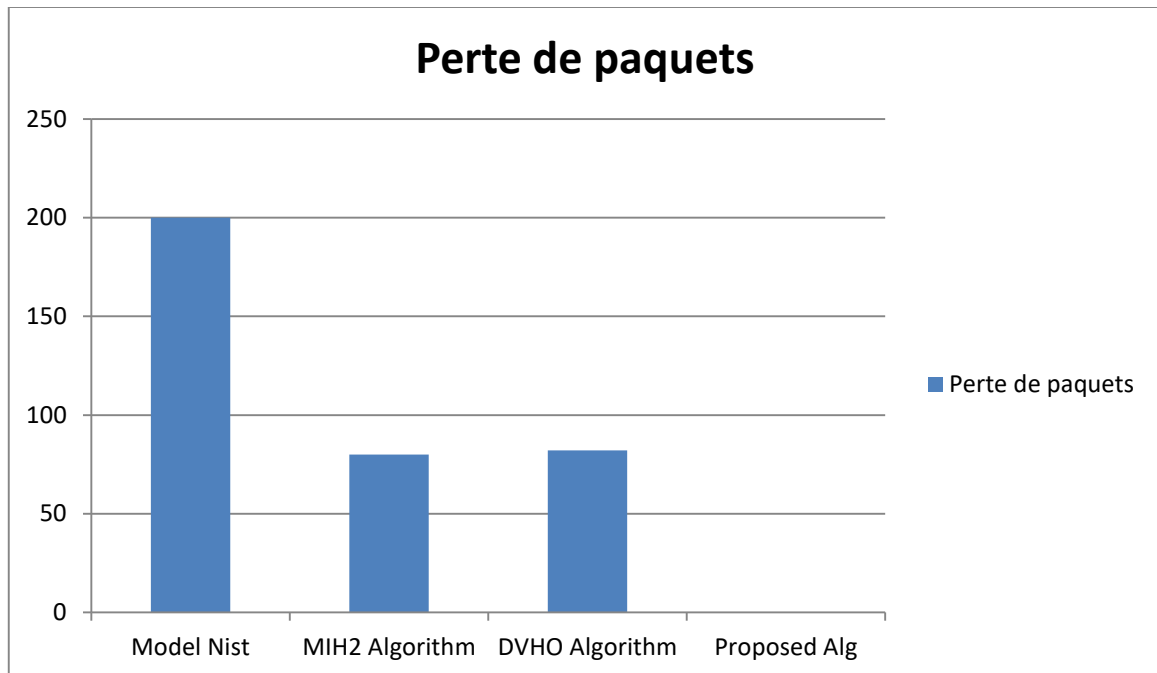


Figure 4.8 : Comparaison de notre algorithme avec les autres en termes de perte de paquets

### 4.3. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté l'algorithme de décision proposé qui fait partie de la phase de décision de notre procédure proposé de handover vertical. Notre algorithme est implémenté

sous le terminal mobile de l'utilisateur afin de sélectionner le meilleur réseau parmi les disponible par la fonction de sélection (ANSFi) dans le cas impératif de handover vertical ou appliquer la fonction de sélection (ANSFa) dans le cas alternatif de VHO. L'analyse des résultats de simulation démontrée que l'algorithme proposé surpasse les algorithmes traditionnels en termes de la latence de Handover et de perte de paquets.



# Chapitre 5 Proposition d'un modèle d'émulation de Handover Vertical dans les réseaux NGN

## Contenu

---

- 5.1. Introduction
  - 5.2. Expérimentation par émulation
  - 5.3. Niveaux d'émulation d'un réseau
    - 5.3.1. Emulation de niveau physique
    - 5.3.2. Emulation de niveau liaison
    - 5.3.3. Emulation de niveau réseau
  - 5.4. Modèle d'architecture d'émulation
    - 5.4.1. Type d'émulation
      - 5.4.1.1. Emulation distribuée
      - 5.4.1.2. Emulation centralisée
      - 5.4.1.3. Approche hybride
    - 5.4.2. Niveau conditionnement
    - 5.4.3. Niveau modèle
      - 5.4.3.1. L'émulation virtuelle
      - 5.4.3.2. Emulation conduit par de la simulation temps réel
      - 5.4.3.3. Emulation conduit par des traces
  - 5.5. Fonctionnalités nécessaires à l'émulation
    - 5.5.1. Reproduction d'expérience
    - 5.5.2. Précision des conditions
  - 5.6. Méthodologie d'émulation réseaux
  - 5.7. Proposition d'un modèle d'émulation de VHO
  - 5.8. Conclusion
-

## 5.1. Introduction

Le handover vertical est un problème majeur dans les réseaux d'accès sans fil hétérogènes. C'est un mécanisme qui permet aux utilisateurs mobiles de maintenir la connectivité réseau lors du déplacement et de choisir le meilleur réseau parmi les disponibles. Plusieurs approches dans la littérature ont été proposées pour assurer un handover vertical transparent. Mais la plupart de ces approches fait l'expérimentation par simulation cependant la simulation ne permet pas l'intégration des implémentations réelles du fait qu'elle fonctionne en temps logique et la modélisation implique parfois des hypothèses ou des simplifications qui peuvent éloigner le comportement simulé du comportement réel.

Dans ce chapitre, nous présentons l'expérimentation par émulation, les niveaux d'émulation d'un réseau, les fonctionnalités nécessaires d'émulation d'un réseau et méthodologies d'émulation réseaux. En fin nous proposons un modèle d'émulation de VHO afin d'évaluer notre approche avec la possibilité d'intégrer des trafics réel.

## 5.2. Expérimentation par émulation

L'émulation peut être vue comme étant une alternative à l'expérimentation en environnement réel et à la simulation c'est-à-dire qu'elle permet de reproduire le comportement d'un système donné sur un autre système. Pour cela, le système d'émulation doit être surdimensionné par rapport au système cible. Dans le pire des cas, il doit offrir des caractéristiques au moins équivalentes à celles des systèmes dont on veut reproduire le comportement [H. Thalmensy, 2007], [E. Conchon, 2006].

D'une manière générale, un émulateur reproduit les fonctionnalités offertes par un système cible sur un autre système pouvant être totalement différent du système cible (on entend par système cible, le système dont on veut reproduire le comportement). Le système obtenu aura en fin de compte, un comportement similaire au système cible.

Dans le cadre de l'émulation de réseaux sans fil (par exemple), le système considéré est un réseau sans fil offrant différents services de communication, basé sur un ensemble de protocoles de communication. Le principal objectif de l'émulation réseau est de proposer un environnement d'expérimentations réelles de protocoles ou d'application, de façon à pouvoir évaluer leurs propriétés fonctionnelles (le protocole ou l'application fonctionnent-ils ?) et non fonctionnelles (comment le protocole ou l'application se comportent ils dans une situation réseau particulière). Un émulateur « parfait » devrait donc offrir les mêmes services (propriétés fonctionnelles) et le même niveau de performances (propriétés non fonctionnelles) que le système reproduit.

L'émulation de réseau permet également de reproduire un comportement réseau donné sur un environnement contrôlable. Les comportements réseaux peuvent être relativement variés et basés sur des technologies réelles (lien satellite, ADSL, sans fil WiFi, WiMAX, LTE...).

Le tableau 5.1 résume les avantages et les désavantages des approches d'expérimentations:

**Tableau 5.1** : les avantages et les désavantages des approches d'expérimentations

approches expérimentations	Avantages	Inconvénient
Le test en environnement réel	-Obtenir les meilleurs résultats en termes de précision et réalisme au niveau des conditions d'expérimentation	-Peut s'avérer couteux à mettre en œuvre et ne permet pas toujours un contrôle précis des conditions d'expérimentation.  -L'expérimentateur n'a pas de contrôle sur les conditions réseau et de ce fait, la reproduction d'une même expérience s'avère être quasiment impossible.
	-Permet de mettre en œuvre des expérimentations dans un environnement contrôlable, et facilement reproductible en modélisant à la fois le support réseau considéré mais également les applications ou protocoles à tester.	-Ne permet pas l'intégration d'implémentations réelles du fait qu'elle fonctionne en temps logique.  -Cette modélisation implique parfois des hypothèses ou des simplifications qui peuvent éloigner le comportement simulé

La simulation		<p>du comportement réel et ainsi fausser les résultats de mesure.</p> <p>-elle fonctionne en temps logique.</p>
L'émulation	<p>-L'émulation permet d'avoir un contrôle équivalent à celui de la simulation sur les paramètres du réseau mais la différence avec la simulation se situe dans la possibilité d'utiliser des implémentations réelles d'applications ou de protocoles.</p> <p>- elle permet de tester un protocole aux conditions limites, ce qui est très difficile à faire dans le cadre de l'expérimentation en environnement réel, et surtout de reproduire une même expérience plusieurs fois.</p>	<p>- il faut disposer d'un support réseau sur-dimensionné par rapport au réseau à émuler</p> <p>-La principale difficulté sera donc de trouver un compromis entre complexité et réalisme des modèles.</p>

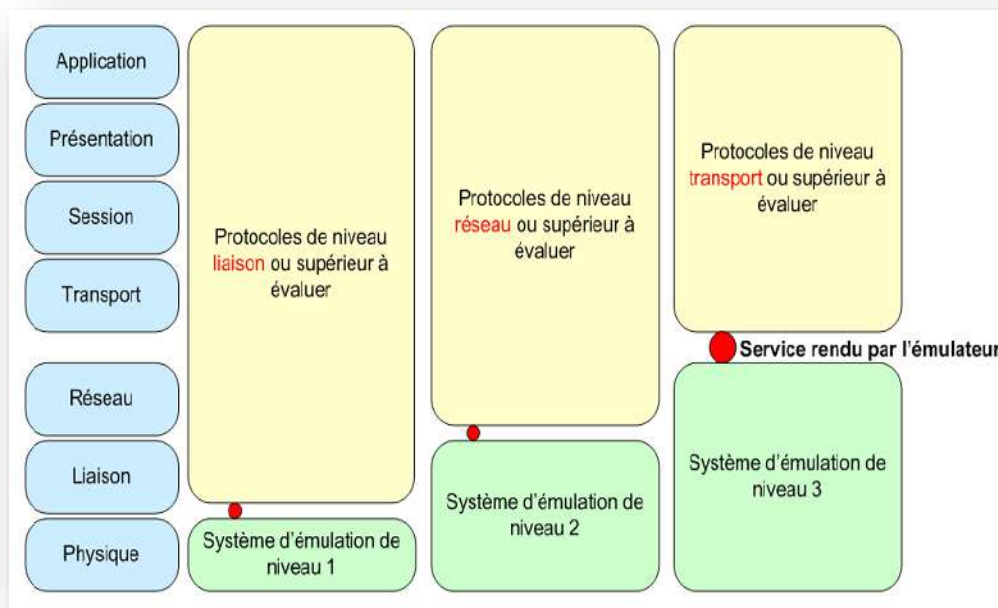
### 5.3. Niveaux d'émulation d'un réseau :

En fonction des besoins, il sera possible avec l'émulation de choisir le niveau d'abstraction (au sens OSI du terme) ou l'on veut se placer pour modéliser le réseau ou la condition réseau que l'on souhaite évaluer. Ainsi il sera donc possible de définir le niveau d'agrégation des différentes fonctions ou services réseau à émuler et permettre une mise en œuvre en fonction des besoins au sein de l'outil d'émulation [H. Thalmensy, 2007].

Supposons que l'on veuille évaluer un protocole de routage il faut modéliser et reproduire en temps réel le comportement des couches de niveau inférieur c'est-à-dire liaison et physique. L'émulateur doit donc rendre un service de niveau liaison. De même, pour évaluer une application, il est possible pour l'émulateur de rendre la encore un service de niveau liaison. Cependant, il faut disposer des implémentations réelles des protocoles de niveau transport et de

niveau réseau qui est utilisés dans le réseau à émuler, or, ce n'est pas toujours le cas. Si les implémentations réelles des protocoles de niveau réseau ne sont pas disponibles, il est préférable d'utiliser un émulateur rendant un service de niveau réseau, c'est-à-dire un émulateur qui va reproduire en temps réel le comportement des couches jusqu'au niveau de la couche réseau.

La figure suivante présente cette notion de niveau d'émulation et de service rendu par un émulateur.



**Figure 5.1:** Différents niveaux d'émulation réseau [H. Thalmensy, 2007]

Ainsi, l'émulation réseau peut être mise en œuvre à différents niveaux et ce, en fonction des besoins par rapport à l'émulation. Ces besoins permettront de définir le niveau d'abstraction. De ce niveau d'abstraction dépendra la mise en œuvre de mécanismes ou de protocoles réseau. Moins l'abstraction sera importante, plus le nombre de protocoles à déployer réellement sera important ainsi que le nombre de paramètres à manipuler.

### **5.3.1. Emulation de niveau physique :**

Une émulation de niveau physique, ou niveau 1, consiste à reproduire en temps réel les services et la qualité de services de la couche physique. Il s'agirait de reproduire, dans le cas de réseaux sans fil, les effets du signal reçu au niveau des cartes réseau. Ceci reviendrait à équiper les cartes réseau d'atténuateurs. Donc à moins de ne reproduire que des réseaux filaires, l'émulation de niveau physique est compliquée à mettre en œuvre. En effet, les couches physiques radio et Ethernet sont très différentes d'où la difficulté de les reproduire. Il faut noter qu'il existe très peu de plate-forme permettant de mettre en œuvre ce niveau d'émulation [H. Thalmensy, 2007].

### **5.3.2. Emulation de niveau liaison :**

L'émulation de niveau 2 (liaison de données) s'attache à reproduire les mécanismes des niveaux physiques et liaison de données, et fournit aux applications ou protocoles un service de niveau liaison de données. Ce type d'émulation est réaliste mais la contrepartie se situe au niveau des ressources (en termes d'équipements) qui peuvent être relativement importantes pour la mettre en œuvre. Ce niveau d'émulation apporte donc un certain niveau de réalisme et de précision mais est également associé à une complexité de mise en œuvre ainsi qu'à un besoin en ressources [H. Thalmensy, 2007].

### **5.3.3. Emulation de niveau réseau:**

Au niveau réseau, l'émulation rend un service de niveau IP et reproduire les mécanismes des couches physique, liaison de données et réseau. Elle permet l'expérimentation de protocoles de niveau transport ou supérieurs. Cette approche d'émulation propose une émulation à un cout moins important qu'une émulation de niveau 2. Elle ne reproduit pas tout le détail des mécanismes d'une émulation de niveau liaison mais elle prend en compte le comportement sur le trafic des technologies sous-jacentes. Ainsi seuls les effets des mécanismes de bas niveau seront répercutés au niveau IP. De plus, à ce niveau d'émulation, peu de paramètres sont nécessaires pour reproduire une condition réseau donnée et ce, de bout en bout. Ces paramètres sont les délais, les débits et les pertes d'informations [H. Thalmensy, 2007].

## 5.4. Modèle d'architecture d'émulation :

Trois niveaux de classification des systèmes d'émulation sont été proposés par les études antérieures, qui sont :

- Le type d'émulation : est basé sur les ressources physiques mises en jeu pour l'émulation. On distinguera deux types (les systèmes centralisés et les systèmes distribués)
- Type de conditionnement de trafic considéré.
- Le niveau modèle, s'intéresse à la façon dont est modélisé le comportement du réseau cible.

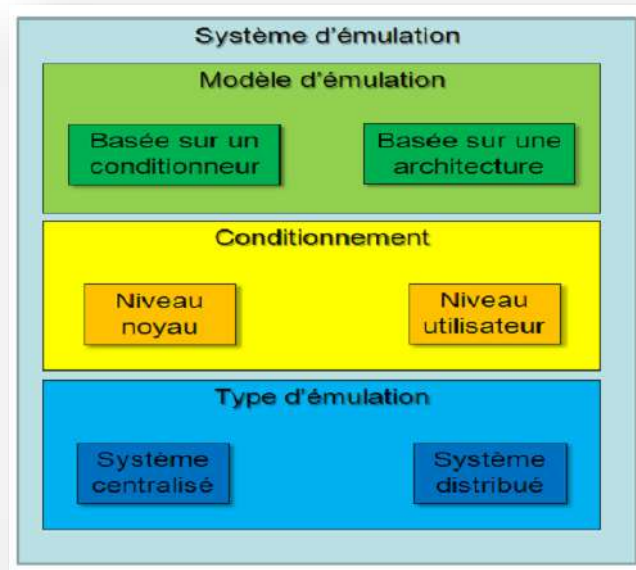


Figure 5.2: Classifications d'émulation d'un réseau

### 5.4.1. Type d'émulation :

L'émulation peut être réalisée de façon locale c'est-à-dire sur une plate-forme se trouvant dans la même pièce que l'expérimentateur. Par opposition on parle d'émulation à distance lorsque la plate-forme d'émulation se trouve déportée par rapport à l'utilisateur. L'émulateur peut être

également réalisé de manière réelle centralisée c'est-à-dire que les fonctionnalités d'émulation sont regroupées au sein d'un seul nœud d'émulation. Ainsi l'émulateur apparaît comme étant une « boîte noire » entre deux machines hôtes. A l'inverse l'émulation peut être réelle distribuée, à ce moment plusieurs nœuds d'émulation (machines ou routeurs par exemple) sont en charge de l'émulation [H. Thalmensy, 2007].

#### **5.4.1.1. Émulation distribuée :**

Une des approches possibles pour l'émulation consiste à représenter la topologie du réseau cible sur un support réseau distribué réel (plate-forme d'émulation distribuée). L'objectif ici est de pouvoir modéliser la topologie du réseau cible de façon précise. Cette approche implique de fait un niveau de réalisme et la possibilité de passer à l'échelle. Sur la plate-forme d'émulation distribuée, chaque composant de la topologie réelle (routeur,...) peut correspondre à un composant de la plate-forme [H. Thalmensy, 2007].

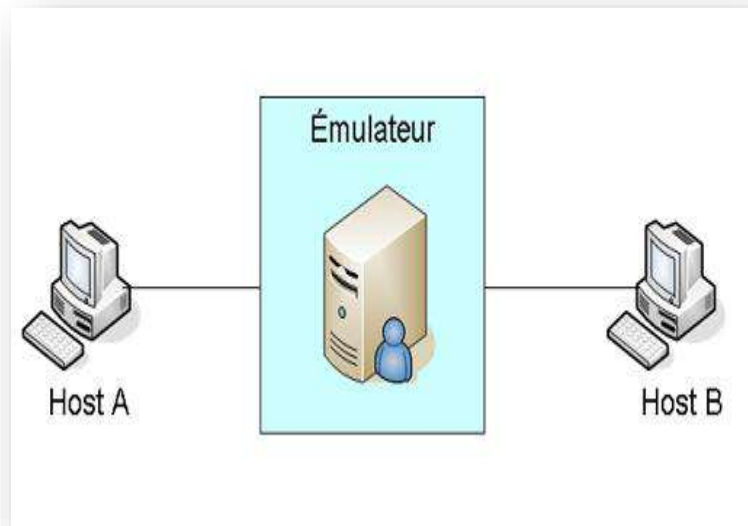
Le principe de cette approche d'émulation consiste donc à partager l'émulation entre différents nœuds faisant partie de plate-forme d'émulation. Ce type de plate-forme est généralement divisé en deux parties : un servant à l'administration et l'autre aux expérimentations.

En résumé, cette approche permet d'obtenir un niveau de réalisme au niveau de la modélisation de la topologie du réseau cible considéré. Il est possible de mettre en œuvre une émulation de niveau 2 mais ceci a un cout pouvant être rapidement très élevé.

#### **5.4.1.2. Émulation centralisée :**

Le principe de cette approche d'émulation est de pouvoir disposer d'une architecture comprenant un nœud central qui intègre les fonctionnalités d'émulation présenté sur la figure suivante. L'émulateur est alors vu comme une « boîte noire » entre deux machines hôtes. Il se contentera de rendre le service spécifié dans les modèles, l'émulation est donc transparente pour l'utilisateur [H. Thalmensy, 2007].





**Figure 5.3:** Architecture d'émulation centralisée [H. Thalmensy, 2007]

#### 5.4.1.3. Approche hybride :

L'émulation à distance est plus un mode d'émulation plutôt qu'un type d'émulation. En effet, l'émulation à distance peut être aussi bien centralisée que distribuée. Ici l'idée consiste à utiliser une plate-forme d'émulation qui serait délocalisée géographiquement par rapport à l'utilisateur [H. Thalmensy, 2007].

#### 5.4.2. Niveau conditionnement :

Le conditionnement de trafic est un aspect important d'un système d'émulation. En effet, il va permettre d'appliquer aux flux traversant le système d'émulation les modifications au niveau des paramètres des paquets, afin de reproduire le comportement du réseau cible. Le conditionnement peut être réalisé à différents niveaux : au niveau noyau et au niveau utilisateur [H. Thalmensy, 2007].

#### 5.4.3. Niveau modèle :

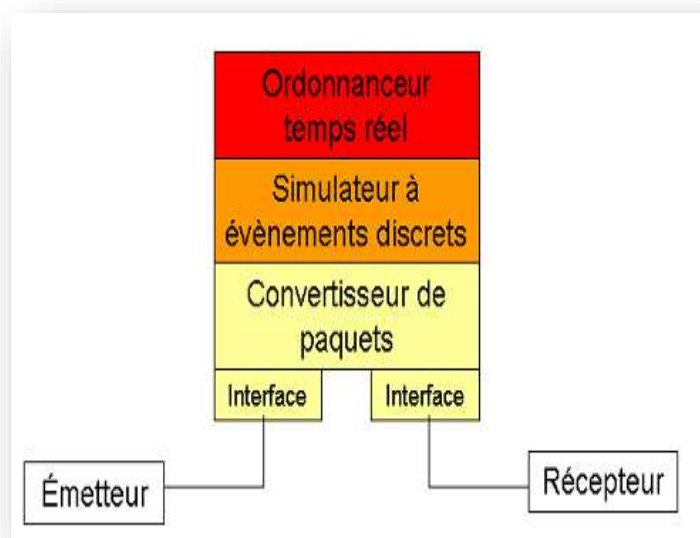
Afin de contrôler les conditionneurs de trafic, il faut disposer de modèles. Ces modèles sont de différents types et ainsi permettent de proposer plusieurs niveaux de précision.

#### 5.4.3.1. L'émulation virtuelle :

Consiste à utiliser des nœuds et des liens virtuels afin de reproduire le comportement d'un réseau donné. Tous les nœuds constituant la topologie du réseau à émuler sont implémentés soit sur une seule machine (approche centralisée) soit sur plusieurs composants (approche distribuée). Ils sont connectés entre eux par des liens à haut débit. Des liens virtuels sont utilisés pour connecter les nœuds virtuels en fonction de la topologie du réseau cible. Les nœuds virtuels ont l'avantage de pouvoir « embarquer » des implémentations réelles de protocoles (par exemple IP ou des protocoles de routage) [H. Thalmensy, 2007].

#### 5.4.3.2. Émulation conduit par de la simulation temps réel :

Cette approche consiste à utiliser un simulateur à événements discrets qui serait en charge de définir le modèle d'émulation. En y ajoutant un moyen de traiter les paquets comme des vrais paquets et non des événements, et en adaptant l'ordonnanceur de trafic et des modèles. Le simulateur fournit alors le modèle d'émulation et conduit le processeur d'émulation. La figure suivante présente l'architecture de ce type d'émulateurs. Le simulateur ns2 utilise cette approche [H. Thalmensy, 2007].



**Figure 5.4:** Architecture d'un émulateur par simulation temps réel [H. Thalmensy, 2007]

#### 5.4.3.3. Émulation conduit par des traces :

Cette approche permet d'obtenir un modèle de comportement du réseau cible. Ce modèle conduira par la suite le conditionneur de trafic. Dans ce cas, des traces sont récupérées,

analysées puis rejouées. Ce type d'émulation repose donc sur trois phases. Tout d'abord une phase de collecte des traces, puis une phase de distillation qui correspond en fait à l'analyse des traces (à ce stade, les informations pertinentes sont extraites des traces et permettent de construire le scénario d'émulation) ; enfin une phase de modulation où les traces seront rejouées. Ce type d'approche permet d'émuler des topologies réseau complexes tout en proposant un bon niveau de réalisme. Elle permet de spécifier de manière précise le réseau cible et d'obtenir des comportements réalistes. Néanmoins, le problème du passage à l'échelle se pose [H. Thalmensy, 2007].

## **5.5. Fonctionnalités nécessaires à l'émulation :**

Un système d'émulation doit être capable de reproduire une même expérience plusieurs fois dans le temps, et ce avec un minimum de précision. Nous allons présenter les caractéristiques à satisfaire pour garantir une émulation fiable, c'est-à-dire qui propose un résultat d'émulation conforme aux attentes de l'utilisateur. Deux caractéristiques d'émulation seront détaillées, puis une méthode d'émulation sera présentée [H. Thalmensy, 2007].

### **5.5.1. Reproduction d'expérience :**

Reproduire une expérience consiste à fournir les mêmes conditions de bande passante, de délai et de taux de pertes à un instant donné. Mais pourquoi a-t-on besoin de reproduire une expérience dans l'évaluation de protocoles ou d'applications ? Cela permet d'avoir des conditions d'expérimentation identiques, et spécifiques à des réseaux et des circonstances données c'est-à-dire de fixer les paramètres de Qualité de Service (QoS) tels que le délai, le modèle de pertes, ou encore la bande passante, et ainsi de se concentrer sur le fonctionnement effectif des applications ou du protocole à évaluer dans ces conditions [H. Thalmensy, 2007].

### **5.5.2. Précision des conditions:**

La précision de l'émulation, c'est-à-dire la capacité du système d'émulation à reproduire fidèlement une condition ou une situation réseau donnée est également un objectif principal d'émulation. Le niveau de précision est étroitement lié au niveau de réalisme final que souhaite obtenir l'utilisateur. De ce fait, pour disposer d'une émulation précise, il faut disposer de modèles d'émulation précis [H. Thalmensy, 2007].

Précision d'émulation s'avère donc être un élément très important dans le sens où elle a une influence significative sur la qualité de l'émulation rendue. Il faut donc trouver un compromis entre le besoin requis de réalisme et la complexité du modèle d'émulation à implémenter. Cet

objectif de précision peut être mis en œuvre de diverses façons grâce à des modèles analytiques, de l'analyse de traces réelles ou encore de la simulation.

## 5.6. Méthodologie d'émulation réseaux :

De nos jours, lorsque l'on veut émuler un réseau, il y a un enchaînement de tâches qui sont réalisées implicitement par les chercheurs. La méthode proposée pour émuler un réseau est la suivante :

- 1- Phase d'analyse qui permet d'identifier les caractéristiques du réseau cible ou de la condition à émuler,
- 2- Phase de modélisation servant à modéliser ces caractéristiques, mais également servant à identifier le comportement du réseau cible et à déduire un modèle de comportement,
- 3- Phase de vérification du modèle de comportement,
- 4- Phase d'implémentation du modèle de comportement sur un outil d'émulation.

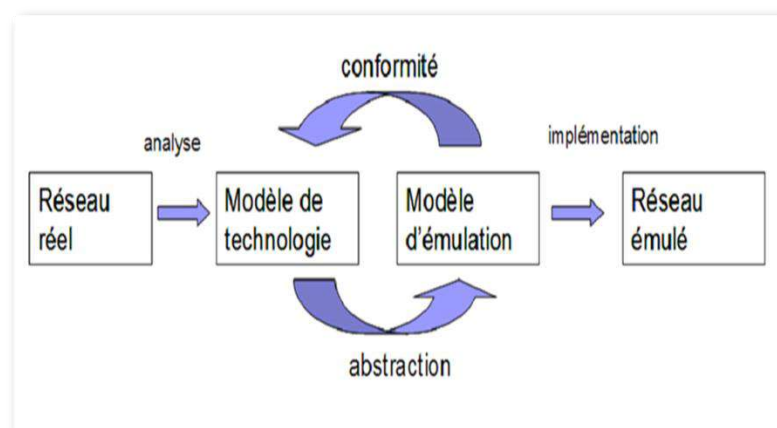


Figure 5.5 : Méthode d'émulation [H. Thalmensy, 2007]

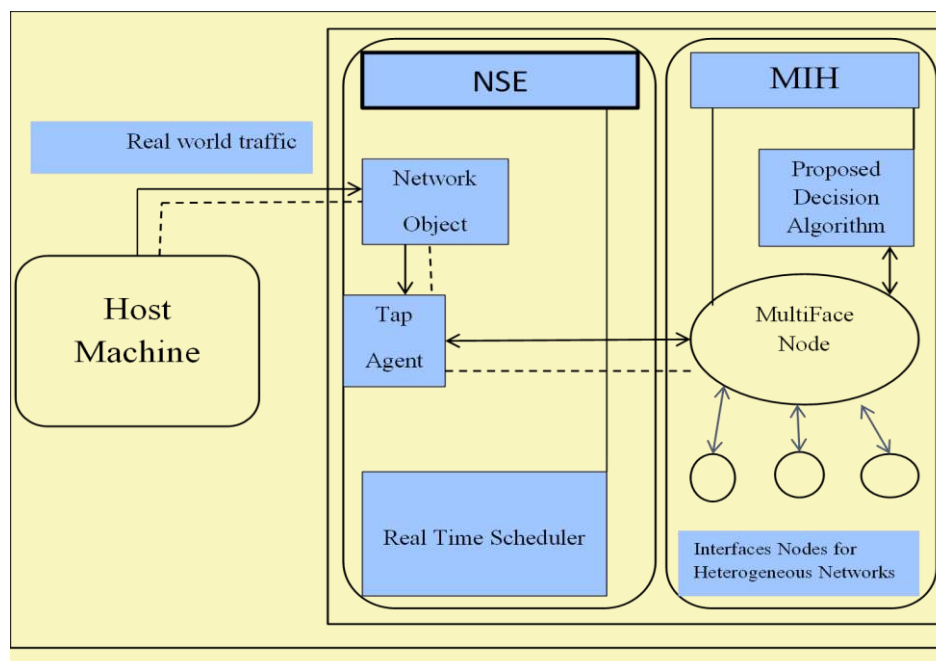
## 5.7. Proposition d'un modèle d'émulation de VHO :

Network Simulator 2 est un simulateur de réseau orienté objet, discret et ciblé sur la recherche en réseau. Et l'émulation fait référence à la possibilité d'introduire le simulateur dans un réseau en direct. L'NSE (Network Simulator Emulator) est le mode d'émulation de NS-2, qui fournit des interfaces pour la communication entre le réseau réel et le réseau de simulation en utilisant l'objet réseau (network object) et l'agent Tap (tap agent).

Tap Agent traduit et traite les données entre le réseau réel et le réseau simulé. Les objets réseau sont installés dans les agents Tap et fournissent un point d'entrée dans le réseau en direct à une couche de protocole particulière et avec un mode d'accès particulier (lecture seule, écriture seule ou lecture-écriture).

Trois objets réseau sont actuellement pris en charge: pcap / bpf, raw IP et UDP / IP. Chaque Tap agent peut avoir au plus un objet réseau associé, bien que plus d'un Tap agent peut être instancié sur un seul nœud de simulateur [K. Fall et al, 2007].

Dans la mise en œuvre du modèle d'émulation proposé pour l'optimisation du handover vertical, nous considérons le même scénario dans le chapitre précédent (chapitre 04, Figure 4.2) où plusieurs technologies de réseau sans fil et mobiles sont déployées: WLAN IEEE 802.11, WiMAX IEEE 802.16, 3G et LTE. Nous avons également choisi Network Simulator NS2 version 2.29 avec les modules additionnels NIST (IEEE 802.21 Standard: Media Independent Handover), Le module complémentaire 802.21 est une implémentation de MIHF basée sur le brouillon 3 de la spécification IEEE 802.21 [Q. Nguyen-Vuong et al, 2013]. L'algorithme de handover vertical implémenté par le NIST dans la version 2.29 de NS2 ne prend en compte que le RSS (Force de signal) pour la prise de décision. Nous avons modifié ce module pour prendre en charge notre algorithme de décision proposé.



---

**Figure 5.6** : Vue logique du modèle d'émulation de VHO à l'aide de cadre MIH

Dans le modèle d'émulation proposé, nous avons étendu le module complémentaire IEEE 802.21 (MIH) pour prendre en charge notre algorithme de décision (fonction de sélection de réseau d'accès: ANSF) implémenté dans le terminal mobile pour identifier les meilleurs réseaux d'accès parmi les disponibles. Et nous avons utilisé le module MultiFace Node (MFN), qui est un nœud virtuel qui considère les autres nœuds des réseaux hétérogènes comme des interfaces car la prise en charge des nœuds avec plusieurs interfaces n'est pas intuitive dans le NS-2.

Nous avons étendu le MFN (MultiFace) pour prendre en charge le mode d'émulation de NS-2 et exécuter l'algorithme de décision proposé avec un trafic réel. L'objet réseau pcap / bpf est utilisé pour capturer des paquets réseau réels dans le modèle proposé. Dans les travaux futurs, nous prévoyons d'exécuter le modèle d'émulation proposé et d'évaluer les performances de notre solution avec des mesures en temps réel.

## 5.8. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté l'expérimentation par émulation qui donne la possibilité d'utiliser des implémentations réelles d'applications ou de protocoles. Nous avons proposé un modèle d'émulation de Handover Vertical qui est une extension de modèle de simulation de notre approche proposée. Nous avons étendu le module complémentaire IEEE 802.21 (le cadre MIH) et le module MultiFace Node pour prendre en charge le mode d'émulation de NS-2 et pour exécuter l'algorithme de décision proposé avec un trafic réel. Dans un avenir proche, nous avons l'intention de terminer la mise en œuvre du module proposé avec une simulation en temps réel.

## Chapitre 6 Conclusion et perspectives

### Contenu

---

- 6.1. Conclusion générale
  - 6.1.1. Bilan de l'étude réalisé
  - 6.1.2. Perspectives
-

## 6.1. Conclusion générale

Dans ce dernier chapitre, nous faisons le bilan de l'étude réalisée. Nous résumons les apports, les limitations de ce travail et nous dégagons certaines perspectives de recherche pour étendre notre approche proposée.

### 6.1.1. Bilan de l'étude réalisé

Un environnement de réseaux NGN (Next Generation Network) est caractérisé par la coexistence de plusieurs technologies d'accès offrant des caractéristiques différentes en termes de couverture radio et de paramètres de qualité de service (débit, bande passante, sécurité, etc.) et par des utilisateurs de plus en plus mobiles pouvant se connecter via différents terminaux multi-interfaces. Un des challenges major dans la prochaine génération des réseaux sans fil (NGWN) est la réalisation sans faille du « Vertical HandOver » (VHO) en itinérance entre les différentes technologies comme, le WiFi (Wireless Fidelity), WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access), Universal Mobile Telecommunications System (UMTS) and Long Term Evolution (LTE). Etc. Le mécanisme du handover est un ensemble d'opérations mises en œuvre afin de permettre à un terminal mobile de changer de point d'attachement sans interruption du service. C'est le concept de base de la mobilité, qui consiste à établir un lien au niveau de chaque nouveau point d'attachement au réseau.

Dans ce contexte, l'objectifs principal du travail présenté dans cette thèse vise l'étude les approches de gestion de mobilité dans les réseaux sans fil de dernier génération d'une façon générale et plus particulièrement l'étude les techniques de gestion de handover vertical et les algorithmes de décision pour les réseaux NGN. Notre objectif est de permettre à l'utilisateur de se connecter au réseau le plus adapté au service demandé, en tenant compte des performances du réseau (état du lien, ressources disponibles, etc.), des préférences de l'utilisateur.

Dans ce cadre, nous avons tout d'abord etudier les différentes techniques de gestion de Handover Vertical (les architectures d'intégration et d'interopérabilité, les protocoles de gestion de la mobilité, et les algorithmes de décision) au sein des réseaux NGN. Un état de l'art des travaux de recherches relatifs à notre objectif dans le domaine des réseaux NGN est établis en focalisons sur les défis de la gestion de mobilité des utilisateurs. En conclusion, cette étude nous a



---

permis de faire un bilan de synthèse des orientations des recherches dans le domaine de gestion de handover dans les réseaux NGN d'une manière générale et dans les algorithmes des décisions en particulier.

En se basant sur les résultats de la première partie de cette étude, nous avons proposé une nouvelle approche de Vertical Handover (VHO) qu'il consiste d'une procédure de VHO compose de trois phases (Handover Initiation, Handover Décision et Handover Exécution) et repose sur standard « Media Independent Handover (MIH), le couplage lâche en conjonction avec le Mobile IPv4 (MIPv4) qui fournit une mise en mémoire tampon précoce pour les nouveaux paquets de données pour minimiser la latence de handover vertical. Les résultats d'analyse de la modélisation analytique de la procédure proposée montrent que la latence de notre procédure est considérablement réduite par rapport procédures trouvées dans la littérature.

En suit, nous avons proposé un algorithme de sélection de réseau d'accès est implémenté sous le terminal mobile de l'utilisateur pour choisir le meilleur réseau parmi les disponible dans la phase de Décision de Handover. Elle est composée de deux fonctions de sélection de réseau : ANSFi (Acces Network Selection Function impérative case) appliqué dans le cas impératif de VHO, sélectionner le meilleur réseau disponible en considérant un seul paramètre qui est la force du signal (RSS) mesurée par Mobile Terminal (MT), et ANSFa (Acces Network Selection Function alternative case) est appliqué dans le cas alternative de VHO, sélectionner le meilleur réseau disponible en considérant plusieurs paramètres (énergie, le coût monétaire, débit, taux d'erreur de frame, la charge de réseau).

Nous avons proposé un modèle de simulation de notre approche VHO proposé sous le simulateur « Network Simulator NS2 version 2.29 » basé sur le standard IEEE 802.21 (MIH) où chaque utilisateur mobile équipé par un terminal mobile (MT) multi-interfaces et capable de se déplacer long d'un chemin où plusieurs réseaux d'accès sont déployés (WiFi, WiMAX, UMTS et LTE). Le terminal mobile (MT) évaluée périodiquement les valeurs des paramètres de chaque réseau d'accès (La force de signal, le coût monétaire, la charge de réseau, etc.) et exécuter notre fonction de sélection de réseaux d'accès (ANSF) pour identifier le meilleur réseau disponible parmi plusieurs. L'analyse des résultats de simulation démontrer que l'algorithme de décision proposé surpasse les algorithmes traditionnels en termes de la latence et de l'échec de la connexion du handover vertical suite à l'utilisation de la liste de priorité des RATs optimale.

---

En fin, nous avons proposé un modèle d'émulation qui est un modèle étendu de modèle précédent de simulation à fin d'évaluer notre approche proposée avec des tarffic réel. Nous prévoyons d'exécuter le modèle d'émulation proposé avec le NSE (Network Simulator Emulator) et le comparer avec les résultats de modèle de simulation proposé.

### 6.1.2. Perspectives

Comme nous l'avons montré dans les conclusions précédentes de nos en quêtes, diverses questions n'ont pas encore été abordées. En outre, de nouvelles opportunités fascinantes pour améliorer les activités de recherche au sein de VHO ont été créées. Certains des problèmes les plus intéressants sont discutés ci-dessous.

- L'architecture d'interfonctionnement VHO à couple lache est plus appropriée pour travailler avec MIH et améliorer son rôle vital dans un environnement de réseau sans fil hétérogène en raison de ses caractéristiques tandis que le couplage serré nécessite des améliorations futures en termes de probabilité de perte de paquets, d'encombrement, de complexité, de surcharge, de modification supplémentaire et de coût supplémentaire.
- Le cadre MIH est la dominante plate-forme pour l'exécution de VHO, tandis que l'IMS nécessite d'autres améliorations en termes de deux paramètres essentiels qui rendent VHO transparent (perte de paquets et latence), critères de décision VHO, entités supplémentaires, complexité, diversité des RAT et évaluation à l'aide de travaux empiriques sur l'environnement réel.
- Le protocole MIPv4 sous le cadre MIH permet aux opérateurs de diversifier leurs réseaux d'accès Alors que le protocole MIPv6 sous MIH nécessite des améliorations de travail futures sur ses caractéristiques et ses problèmes de performances.

## Liste des Publication

### Revue internationale

1. Safia Gueziz and Dris Korichi. "Handover Optimization based on Media Independent Handover In New Networks NGWN", The International Journal of Computer Networks & Communications (IJCNC), ISSN: 0975 – 2293, e-ISSN : 0974 9322, DOI: 10.5121/ijcnc

### Conférence internationale

1. Safia Gueziz and Dris Korichi. "A New Approach for Optimized Vertical Handover in NGWN", The 2nd International Conference on Information and Communication Technologies for Disaster Management (ICT-DM'2015), on Rennes France, from 30 November to 2 December 2015, DOI: 10.1109/ICT-DM.2015.7402019, Publisher: IEEE
2. Safia Gueziz and Dris Korichi. "Performance Analysis of Handover Optimization Based on Media Independent Handover In New Networks NGWN", The International Symposium on Networks, Computers and Communications (ISNCC) May 11-13, 2016, Hammamet, Tunisia.

## Références Bibliographiques

[F. Lemainque, 2009] Lemainque Fabrice, 'Tout sur les Réseaux sans fil. France', DUNOD, 2009, page 13-27

[P. Guy, 2008] Guy Pujolle, 'Les réseaux', Paris : EYROLLES, 2008, page 461-599

[D.B. Van, 2007] Van Den Bossche Adrien, 'Proposition d'une nouvelle méthode d'accès déterministe pour un réseau personnel sans fil à fortes contraintes temporelles', Thèse Doctorat Spécialité : Génie Informatique, Automatique et Traitement du Signal, Toulouse, UNIVERSITÉ de TOULOUSE II, juillet 2007, page 19-22

[B. Badr et al, 2012] Benmammam Badr et Amraoui Asma, 'Réseaux de radio cognitive Allocation des ressources radio et accès dynamique au spectre', Archive Ouvert, 2012, no86, page 19-20

[B. Tarek, 2010] Bchini Tarek, 'Gestion de la Mobilité, de la Qualité de Service et Interconnexion de Réseaux Mobiles de Nouvelle Génération', Thèse Doctorat spécialité : Réseaux et Télécoms, Toulouse, Université de Toulouse, juin 2010, page 09-21

[P. Guy, 2011] Guy Pujolle, 'Les réseaux' Paris : EYROLLES, 2011, page 403-510

[D. Khaled, 2011] Drid Khaled, 'Spécification du Protocole MAC pour les Réseaux IEEE 802.11e à différentiation de Services sous Contrainte de Mobilité 2011', Thèse Doctorat en Informatique Spécialité : Réseaux & Télécoms, Paris, L'Université Paris Est, Décembre 2011, page 17

[I. Khalil, 2009] Ibrahim Khalil, 'Gestion des ressources des réseaux mobiles de nouvelle génération par rapport à la mobilité des utilisateurs', Thèse Doctorat en Informatique, Avignon, Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse France et Université Mohammed V-Agdal Rabat-Maroc, novembre 2009, page 27-32

[P. Jérôme, 2010] Pons Jérôme, 'Réseaux de transport par paquets pour les systèmes radio-mobiles', Technique de l'ingénieur, 2010, no35, page

[P. Jérôme, 2007] Pons Jérôme, 'Réseaux cellulaires - Évolutions du système UMTS', Technique de l'ingénieur, 2007, no29, page

[P. Jérôme, 2011] Pons Jérôme, 'Réseaux cellulaires - Évolution du système UMTS vers HSPA+', Technique de l'ingénieur, 2011, no 30, page

[M.Chalouf, 2009] Chalouf Mohamed Aymen, 'Offre de service dans les réseaux de nouvelle génération : Négociation sécurisée d'un niveau de service de bout en bout couvrant la qualité de service et la sécurité', Thèse Doctorat Spécialité : Informatique, Université BORDEAUX I, ÉCOLE DOCTORALE DE MATHÉMATIQUES ET D'INFORMATIQUE, Décembre 2009

**[S. Boussen, ]** Boussen Sanda, ‘Gestion de la mobilité et de la Qualité de service dans les Réseaux IP de Nouvelle Génération’, Thèse de Doctorat Spécialité : Informatique, L’université de Cartage l’école supérieure des communications de Tunis (SUP’COM) et L’université Bordeaux I école Doctorale de Mathématiques et d’Informatique.

**[O. Khattab, 2014]** Khattab Omar, ‘Improving Initiation, Decision and Execution Phases for Vertical Handover In Heterogeneous Wireless Mobile Networks’, Thèse de Doctorat Spécialité : Informatique, École de l’informatique, des sciences et de l’ingénierie Collège des sciences et de la technologie de l’Université de Salford, Salford, Royaume-Uni.

**[C.W. Lee et al, 2005]** C.W. Lee, Li M. Chen, M.C. Chen et Y.S. Sun, ‘A framework of handoffs in wireless overlay networks based on mobile IPv6’, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications* 23 (11) (2005) 2118–2128.

**[C. Chi et al, 2007]** C. Chi, X. Cai, R. Hao et F. Liu, ‘Modeling and analysis of handover algorithms’, in: *Proceedings of the 2007 IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM’07)*, Washington, DC, USA, November 2007, pp. 4473–4477.

**[K. Yang et al, 2007]** K. Yang, I. Gondal, B. Qiu et L.S. Dooley, ‘Combined SINR based vertical handoff algorithm for next generation heterogeneous wireless networks’, in: *Proceedings of the 2007 IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM’07)*, Washington, DC, USA, November 2007, pp. 4483–4487.

**[F. Bari et al, 2007]** F. Bari et V. Leung, ‘Multi-Attribute Network selection by Iterative TOPSIS for heterogeneous Wireless Access’, In *Consumer Communications and Networking Conference (CCNC 2007)*, pages 808- 812, 2007.

**[Q. Song et al, 2005]** Q. Song et A. Jamalipour, ‘Network selection in an integrated wireless LAN and UMTS environment using mathematical modeling and computing techniques’, *IEEE Personal Communications*, vol. 12 :pp. 42-48, 2005.

**[E. Stevens-Navarro et al, 2006]** E. Stevens-Navarro et V. W. S. Wong, ‘Comparison between Vertical Handover Decision Algorithms for Heterogeneous Wireless Networks’, In *IEEE Vehicular Technology Conference*, pages 947-951. IEEE Computer Society Press, 2006.

**[A.K. Dey et al, 2000]** A.K. Dey et Gregory D. Abowd, ‘Towards a Better Understanding of context and contextawareness’, *Proceedings of the workshop on the what, who, where, when and how of contextawareness*, ACM Press, New York, 2000.

**[O. Khattab et al, Jun 2014]** Khattab Omar. et Alani Omar, ‘Simulation of Performance Execution Procedure to Improve Seamless Vertical Handover in Heterogeneous Networks’, In: *International Journal of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA)*, pp. 109-113, vol. 5, no. 6, Jun 2014.

**[O. Khattab et al, Jul 2014]** Khattab Omar. et Alani Omar, ‘The Design and Calculation of Algorithm for Optimising Vertical Handover Performance’, In: *9th IEEE/IET International Symposium on Communication Systems, Networks and Digital Signal Processing 2014 (CSNDSP 2014)*, pp. 421-426, 23-25 Jul 2014.

- [G. Lampropoulos et al, 2008]** G. Lampropoulos, A.K Salkintzis et N. Passas, ‘Media Independent Handover for Seamless Service Provision in Heterogeneous Networks’, *IEEE Communication Magazine*, vol. 46, no. 1, pp. 64-71, Jan. 2008.
- [S. Frei et al, 2011]** S. Frei, W. Fuhrmann, A. Rinkel et B. V Ghita, ‘Improvements to Inter System Handover in the EPC Environment’, In: 4th IFIP International Conference on New Technologies, Mobility and Security 2011 (NTMS 2011), pp. 1-5, 7- 10 Feb 2011.
- [X. Yan et al, 2010]** X. Yan, Y. Ahmet Şekercioğlu et S. Narayanan, ‘A Survey of Vertical Handover Decision Algorithms in Fourth Generation Heterogeneous Wireless Networks’, *Computer Networks*, vol. 54, no. 11, pp. 1848-1863, 2 Aug 2010.
- [J. Rodriguez et al, 2009]** J. Rodriguez, M. Tsagaropoulos, I. Politis, S. Kotsopoulos et T. Dagiuklas, ‘A Middleware Architecture Supporting Seamless and Secure Multimedia Services Across an Intertechnology Radio Access Network’, *IEEE Wireless Communications*, vol. 16, no. 5, Oct 2009, pp. 24-31.
- [M. Johann et al, 2011]** M.B. Johann, T.C. Carlos, C. Juan-Carlos et M. Pietro, ‘Review: An Overview of Vertical Handover Techniques: Algorithms, Protocols and Tools’, *Computer Communication*, vol. 34, no. 8, 1 Jun 2011, pp. 985-997.
- [P. Neves et al, Dec2009]** P. Neves, J. Soares et S. Sargento, ‘Media Independent Handovers:LAN, MAN and WAN Scenarios’, *IEEE GLOBECOM Workshops*, 30 Nov 2009–4 Dec 2009, pp. 1-6.
- [IEEE Draft Standard, Apr 2008]** IEEE Draft Standard for Local and Metropolitan Area Networks: Media Independent Handover Services, *IEEE Unapproved Draft Std P802.21/D10.0*, Apr 2008.
- [A. Pontes et al, 2008]** A. Pontes, D. Dos Passos Silva, J. Jailton, O. Rodrigues et K.L Dias, ‘Handover Management in Integrated WLAN and Mobile WiMAX Networks’, *IEEE Wireless Communications*, vol. 15, no. 5, Oct 2008, pp. 86-95.
- [D. Corujo et al, 2011]** D. Corujo, C. Guimaraes, B. Santos et R.L Aguiar, ‘Using an Open-Source IEEE 802.21 Implementation for Network-Based Localized Mobility Management,’ *IEEE Communications Magazine*, vol. 49, no. 9, Sep 2011, pp. 114-123.
- [R. Tamijetchelvy et al, 2012]** R. Tamijetchelvy et G. Sivaradje, ‘An Optimized Fast Vertical Handover Strategy for Heterogeneous Wireless Access Networks Based on IEEE 802.21 Independent Handover Standard’, *4th International Conference on Advanced Computing 2012 (ICoAC 2012)*, 13-15 Dec 2012, pp. 1-7.

**[M. Kassab et al, 2010]** M. Kassab, J.M Bonnin et A. Belghith, ‘Technology Integration Framework for Fast and Low Cost Handovers-Case Study:WiFi–WiMAX Network’, *Journal of Computer Systems, Networks, and Communications*, vol. 2010, no. 9, Jan 2010, pp. 1-21.

**[P. Vetrivelan et al, 2012]** P. Vetrivelan et P. Narayanasamy, ‘SMIRT with Call Admission Control (CAC) Based Vertical Handover Decision for Seamless Mobility in Multi-Access 4G Heterogeneous Wireless Overlay Networks’, *International MultiConference of Engineers and computer Scientists (IMECS 2012)*, vol. 1, 14-16 Mar 2012, pp. 345.

**[T. Miriam et al, 2009]** T. Miriam, D. Ahutosh, C. Yuu-Heng, D. Subir, B. Donald, Y. Maya, F. David, O. Yoshihiro, F. Victor et T. Kenichi, ‘Realization of IEEE 802.21 Services and Preauthentication Framework,’ *5th International Conference on Testbeds and Research Infrastructures for the Development of Networks & Communities and Workshops*, Apr 6-8 2009, pp. 1-10.

**[IEEE 802.21 Tutorial, 2006]** IEEE 802.21 Tutorial. (2006). IEEE 802.21. visiter le 04 aout 2018 de <http://www.ieee802.org/21/>.

**[P. Payaswini et al, 2014]** P. Payaswini et D.H Manjaiah, ‘Simulation and Performance analysis of Vertical Handoff between WiFi and WiMAX using Media Independent Handover Services’, *International Journal of Computer Applications*, Volume 87 – No.4, February 2014.

**[S. Sengar et al, 2011]** S.S Sengar, N. Tyagi et A.P Singh, ‘A Survey on WiMAX-3G interworking’, *3rd International Conference on Communication Software and Networks 2011 (ICCSN 2011)*, 27-29 May 2011, pp. 54-58.

**[X. Fangmin, 2007]** X. Fangmin, Z. Luyong et Z. Zheng, ‘Interworking of Wimax and 3GPP Networks Based on IMS [IP Multimedia Systems (IMS) Infrastructure and Services]’, *IEEE Communications Magazine*, vol. 45, no. 3, Mar 2007, pp. 144-150.

**[M. Lin et al, 2008]** M. Lin et R. Lanlan, ‘An End-to-End QoS Frame in Multimedia Provision for Tight-Coupled Interworking of IMS and WiMAX’, *International Conference on Networking, Sensing and Control 2008 (ICNSC 2008)*, 6-8 Apr 2008, pp. 1153-1157.

**[B. Bakmaz, 2007]** B. Bakmaz, Z. Bojkovic et M. Bakmaz, ‘Internet Protocol Multimedia Subsystem for Mobile Services’, *14th International Workshop on Systems, Signals and Image Processing and 6th EURASIP Conference Focused on Speech and Image Processing, Multimedia Communications and Services*, 27-30 Jun 2007, pp. 339-342.

**[L. Youngsuk et al, 2007]** L. Youngsuk, K. Namhi, K. Seokkap et K. Younghan, ‘An Efficient QoS Control Mechanism for IMS Based Convergence Network’, *2nd International Workshop on Broadband Convergence Networks 2007 (BcN 2007)*, 21-21 May 2007, pp. 1-12.

**[M. Qadeer et al, 2009]** M.A Qadeer, A.H Khan, J.A Ansari, S. Waheed, ‘IMS Network Architecture’, *International Conference on Future Computer and Communication 2009 (ICFCC 2009)*, 3-5 Apr 2009, pp. 329-333

- [O. Khattab et al, Jun2013]** O. Khattab et O. Alani, ‘A Survey on Media Independent Handover (MIH) and IP Multimedia Subsystem (IMS) in Heterogeneous Wireless Networks’, In: *International Journal of Wireless Information Networks (IJWIN)*, Springer, vol. 20, no. 2, pp. 215-228, Jun 2013.
- [J. Marquez-Barja et al, 2011]** J. Marquez-Barja, C.T Calafate, J.C Cano et P. Manzoni, ‘Evaluation of a Technology-Aware Vertical Handover Algorithm Based on the IEEE 802.21 Standard’, *Wireless Communications and Networking Conference 2011 (WCNC 2011)*, 28-31Mar 2011, pp. 617-622.
- [O. Khattab et al, Apr2013]** O. Khattab et O. Alani, ‘Survey on Media Independent Handover (MIH) Approaches in Heterogeneous Wireless Networks’, In: *19th European Wireless 2013 (EW 2013)*, pp. 1-5, 16-18 Apr 2013.
- [J. Kim et al, 2007]** J.M Kim et J.W Jang, ‘Low Latency Vertical Handover Using MIH L2-Trigger Algorithm in Mobile IP Networks’, In Stojmenovic, I, Thulasiram, R, Yang, L, Jia, W, Guo, M & De Mello, R (Eds.), *Parallel and Distributed Processing and Applications* (pp. 707-718). Berlin: Springer.
- [H. Kim et al, 2009]** H.H Kim, S.C Park et M. KYU YI, ‘Fast-Handover Mechanism between 802.11 WLAN and 802.16 WiMax with MIH in PMIPv6’, *4th International Conference on Ubiquitous Information Technologies & Applications 2009 (ICUT 2009)*, 20-22 Dec 2009, pp. 1-6.
- [P. Neves et al, 2009]** P. Neves, F. Fontes, S. Sargento, M. Melo et K. Pentikousis, ‘Enhanced Media Independent Handover Framework’, Proc. IEEE 69th Vehicular Technology Conference (VTC2009-Spring), Barcelona, Spain.
- [A. Gomes et al]** A. Gomes, N. Carapeto, P. Neves et al, ‘HURRICANE: D2.1: Handover reference scenarios, requirements specification and performance metrics’.
- [L. Eastwood et al, 2008]** L. Eastwood, et al, ‘Mobility Using IEEE 802.21 in a Heterogeneous IEEE 802.16/802.11-Based IMT-Advanced (4G) Network’, *IEEE Wireless Communications Magazine*, pp. 26-34, 2008.
- [V. Alexandru et al, 2011]** V. Alexandru, et F. Octavian, ‘A MIH-Enabled Emulated Network for Streaming Applications’, Serbia, Nis, October 5 - 8, TELSIS 2011.
- [A. Sgora et al, 2010]** A. Sgora et D.D Vergados, ‘IMS Mobility Management in Integrated WiMAX-3G Architectures’, *14th Panhellenic Conference on Informatics 2010 (PCI 2010)*, 10-12 Sep 2010, pp. 170-174.
- [K. Munasinghe et al, 2008]** K. Munasinghe et A. Jamalipour, ‘Interworking of WLAN-UMTS Networks: an IMS-Based Platform for Session Mobility’, *IEEE Communications Magazine*, vol. 46, no. 9, Sep 2008, pp. 184-191.
- [A. Munir et al, 2010]** A. Munir, A. Gordon-Ross, ‘SIP-Based IMS Signaling Analysis for WiMax-3G Interworking Architectures’, *IEEE Mobile Computing, Transactions*, vol. 9, no. 5, May 2010, pp. 733-750.



**[Rapport technique: ETSI]** ETSI TR 101 957, *Technical Report on Broadband Radio Access Networks (BRAN); HIPERLAN Type 2; Requirements and Architectures for Interworking between HIPERLAN/3 and 3rd Generation Cellular Systems* (pp. 1-56). France: ETSI.

**[A. Salkintzis et al, 2002]** A.K Salkintzis, C. Fors et R. Pazhyannur, 'WLAN-GPRS Integration for Next-Generation Mobile Data Networks', *IEEE Wireless Communication*, vol. 9 ,no. 5, Oct 2002, pp. 112-124.

**[B. Ronald, 2009]** B. Ronald, 'Integration of Heterogeneous Wireless Access Networks', In Ekram, H (Ed), *Heterogeneous Wireless Access Networks Architectures and Protocols* (pp. 1-18). US: Springer.

**[X. Fangmin et al, 2009]** X. Fangmin, Z. Luyong et Z. Zheng, 'Interworking of Wimax and 3GPP Networks Based on IMS [IP Multimedia Systems (IMS) Infrastructure and Services]', *IEEE Communications Magazine*, vol. 45, no. 3, Mar 2007, pp. 144-150.

**[S. Benoubira et al, 2011]** S. Benoubira, M. Frikha, S. Tabbane, 'Hierarchical Mobile IPv6 Based Architecture for Heterogeneous Wireless Networks Interworking', *3rd International Conference on Communication Software and Networks 2011 (ICCSN 2011)*, 27-29 May 2011, pp. 422-426.

**[E. Stevens et al, 2006]** E. Stevens-Navarro, V.W.S Wong, 'Comparison between Vertical Handoff Decision Algorithms for Heterogeneous Wireless Networks', *63rd Vehicular Technology Conference (VTC 2006)*, vol. 2, 7-10 May 2006, pp. 947-951.

**[O. Khattab et al, 2014]** O. Khattab et O. Alani, 'An Overview of Interworking Architectures in Heterogeneous Wireless Networks: Objectives', Features and Challenges. In: *10th International Network Conference 2014 (INC 2014)*, pp. 71-79, 8-10 Jul 2014

**[J. Madaan et al, 2015]** J. Madaan et I. Kashyap, ' Vertical Handoff Decision Strategies in Heterogeneous Wireless Networks', *Communications on Applied Electronics (CAE) ;Volume 2 ,No.1, June 2015; ISSN : 2394-4714 ; Foundation of Computer Science FCS, New York, USA*

**[J. Marquez-Barja et al, Jun2011]** J. Marquez-Barja, C.T. Calafate, J. Carlos Cano et P. Manzoni, 'An overview of vertical handover techniques: Algorithms, protocols and tools', *Computer communication; Volume 34; issue 8; 1 June 2011; ISSN: 01403664*

**[K. Rajender et al, 2010]** K. Rajender et S. Brahmjit, 'Comparison of Vertical Handover Mechanisms Using Generic QOS Trigger For Next Generation Network', *International Journal of Next-Generation Networks (IJNGN) Vol.2, No.3, September 2010*

**[R. Marriswamy et al, 2014]** R. Marriswamy et H. Ravikumar Roogi, 'Packet Loss in Wireless Network', *International Journal of Engineering Research and Technology (IJERT)*, Vol 3,issue 1, 2014.

[K. Fall et al, 2009] K. Fall et K. Varadhan, 'Ns Notes and Documents'. The VINT Project. UC Berkeley, LBL, USC/ISI, and Xerox PARC, June 2009. visiter le 01/01/2016 de <http://www.isi.edu/nsnam/ns/ns-documentation.html>

[T. OPNET] OPNET Technologies, OPNET Modeler. Visiter le 13/08/2018 de [http://www.opnet.com/solutions/network\\_rd/modeler.html](http://www.opnet.com/solutions/network_rd/modeler.html)

[N. Baldo et al, 2007] N. Baldo, F. Maguolo, M. Miozzo, M. Rossi et M. Zorzi, 'ns2-MIRACLE: a modular framework for multi-technology and cross-layer support in network simulator 2', in: Proceedings of the 2nd International Conference on Performance Evaluation Methodologies and Tools, ICST, Brussels, Belgium, 2007, pp. 1–8.

[A. Bazzi et al, 2006] A. Bazzi, G. Pasolini et C. Gambetti, 'Shine: simulation platform for heterogeneous interworking networks, in: IEEE International Conference on Communications, 2006, pp. 5534–5539.

[G. Mapp et al, 2007] G.E. Mapp, F. Shaikh, D. Cottingham, J. Crowcroft et J. Baliosian, 'Y+Comm: a global architecture for heterogeneous networking', in: 3rd ICST/ACM International Conference on Wireless Internet, Belgium, 2007, pp. 1–5.

[L. Chen et al, 2004] L.J. Chen, T. Sun, B. Chen, V. Rajendran et M. Gerla, 'A smart decision model for vertical handoff', in: 4th International Workshop on Wireless Internet and Reconfigurability, Athens, Greece, 2004.

[L. Chen et al, 2006] L.J. Chen, T. Sun, G. Yang et M. Gerla, 'USHA: a simple and practical seamless vertical handoff solution', in: IEEE Consumer Communications and Networking Conference, vol. 2, 2006.

[Q. Nguyen-Vuong et al, 2013] Q. Nguyen-Vuong, N. Agoulmine, E. cherkaoui et L. Toni, 'Multi-criteria Optimization of Access Selection to Improve the Quality of Experience in Heterogeneous Wireless Access Networks', IEEE Transaction on Vehicular Technology, vol. 62,no. 4, pp. 1785-1800, May 2013.

[M. P. Michael, 2005] M. P. Michael, 'Energy awareness for mobile devices', in Research Seminar on Energy Awareness, University of Helsinki, Helsinki, 2005.

[A. Yoon et al, 2007] A. Yoon-Young et J. Junghoon, 'Multi-radio power management consideration', presented at IEEE 802.21, Session No.23, 2007.

[B. Sahana et al, 2013] B. Sahana, et D. Rohin, 'Investigations on IEEE 802.21 based Media Independent Handoff Algorithm for Access Network Selection between WiFi and WiMAX', International Journal of Scientific & Engineering Research, Volume 4, Issue 5, May-2013

**[P. Payaswini et al, Nov2014]** P. Payaswini et D.H Manjaiah, 'Dynamic Vertical Handoff Algorithm Using Media Independent Handover Service for Heterogeneous Network', *I.J. Information Technology and Computer Science*, 2014, 12, 46-52

**[B. Angoma et al, 2011]** B. Angoma, M. Erradi, Y. Benkaouz, A. Berqia et M.C Akalay, 'HaVe-2W3G: A Vertical Handoff Solution between WLAN, WiMAX and 3G Networks', *7th International Wireless Communications and Mobile Computing Conference 2011 (IWCMC 2011)*, 4-8 Jul 2011, pp. 101-106.

**[Z. Liyan et al, 2011]** Z. Liyan, Z. Li Jun et P. Samuel, 'Performance Analysis of Seamless Handover in Mobile IPv6-Based Cellular Network', In Agassi, M (Ed), *Cellular Networks - Positioning, Performance Analysis and Reliability* (pp. 305-330). Croatia: InTech.

**[S. Haseeb et al, 2007]** S. Haseeb, A.F Ismail, 'Handoff Latency Analysis of Mobile IPv6 Protocol Variations', *Computer Communications*, vol. 30, no. 4, 26 Feb 2007, pp. 849-855.

**[S. Heecheol et al, 2011]** S. Heecheol, K. Jongjin, L. Jaeki et S.L Hwang, 'Analysis of Vertical Handover Latency for IEEE 802.21-Enabled Proxy Mobile IPv6', *13th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT 2011)*, 13-16 Feb 2011, pp. 1059-1063.

**[O. Khattab et al, Feb2013]** O. Khattab, et O. Alani, 'Mobile IPv4 Based Procedure for Loose Coupling Architecture to Optimise Performance in Heterogeneous Wireless Networks', *International Journal of Computer Networks and Wireless Communications (IJCNWC)*, vol. 3, no. 1, Feb 2013, pp. 56-61.

**[A. Stephane et al, 2001]** A. Stephane, et A.H Aghvami, 'Fast Handover Schemes for Future Wireless IP Networks: a Proposal and Analysis', *Vehicular Technology Conference*, 2001. vol. 3, May 2001, pp. 2046-2050.

**[I. Bisio et al, 2015]** I. Bisio, S. Delucchi, F. Lavagetto et M. Marchese, 'Performance Comparison of Network Selection Algorithms in the Framework of the 802.21 Standard', *JOURNAL OF NETWORKS*, VOL. 10, NO. 1, JANUARY 2015.

**[P. Rastin et al, 2008]** P. Rastin, S. Dirk et G. Thorsten, 'A Seamless Vertical Handover Approach', conference paper, January 2008, DOI:10.1007/978-3-540-89183-3\_14

**[F. Abdessadeq et al, 2013]** F. Abdessadeq, E. Najib et E. Abdelaziz, ‘Improving Vertical Handover Performance of Real Time Applications over Heterogeneous Wireless Networks’, International Journal of Computer Applications, Volume 62– No.21, January 2013

**[H. Thalmensy, 2007]** Thalmensy Hervé, ‘Emulation de réseaux au niveau IP pour l’expérimentation de services et protocoles de communication. Application aux réseaux satellites’, Thèse Doctorat Spécialité : Réseaux et Télécommunications, Toulouse, École doctorale : Mathématiques, Informatique et Télécommunications de Toulouse, Novembre 2007

**[E. Conchon, 2006]** Conchon Emmanuel, ‘Définition et mise en œuvre d’une solution d’émulation de réseaux sans fil’, Thèse Doctorat Spécialité : Réseaux, Télécommunications, Système et Architecture, Toulouse, École doctorale : Informatique et Télécommunications, Octobre 2006

**[K. Fall et al, 2007]** K. Fall et K. Varadhan, ‘The NS Manual’, visiter le 01/01/2016 de <http://www.isi.edu/nsnam/ns/doc/index.html>