

ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE
UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

MÉMOIRE PRÉSENTÉ À
L'ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE

COMME EXIGENCE PARTIELLE
À L'OBTENTION DE LA
MAÎTRISE EN GÉNIE
CONCENTRATION RÉSEAU TÉLÉCOMMUNICATIONS
M.Ing.

PAR
Abderrahmane BENMIMOUNE

HANDOFF VERTICAL ENTRE RÉSEAU UMTS ET WLAN

MONTRÉAL, LE 6 MAI 2010

© Tous droits réservés, Abderrahmane Benmimoune, 2010

PRÉSENTATION DU JURY
CE MÉMOIRE A ÉTÉ ÉVALUÉ
PAR UN JURY COMPOSÉ DE :

M. Michel Kadoch, directeur de mémoire
Département de génie électrique à l'École de technologie supérieure

M. Christian Gargour, président du jury
Département de génie électrique à l'École de technologie supérieure

M. David Bensoussan, membre de jury
Département de génie électrique à l'École de technologie supérieure

IL A FAIT L'OBJET D'UNE SOUTENANCE DEVANT JURY ET PUBLIC

LE 27 AVRIL 2010

À L'ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE

REMERCIEMENTS

Tout d'abord, je remercie *DIEU* le tout puissant de m'avoir donné la force et la volonté pour mener ce travail.

Je remercie sincèrement Monsieur Michel Kadoch, Professeurs à l'École de Technologie Supérieure (Université de Québec), d'avoir accepté la responsabilité de diriger ce projet. J'exprime ma profonde gratitude aux différents membres du jury : Monsieur Christian Gargour, Professeur à l'École de Technologie Supérieure, pour l'honneur qu'il m'a fait honneur en acceptant de présider ce jury, Monsieur David Benssousan, Professeur à l'École de Technologie Supérieure, qui a bien voulu accepter la charge d'examiner ce travail. Je les remercie pour leurs remarques pertinentes qui ont permis de compléter ce mémoire.

J'aimerais enfin exprimer toute ma gratitude à mes parents et ma famille, mes amis pour avoir toujours été présents.

HANDOFF VERTICAL ENTRE RÉSEAU UMTS ET WLAN

Abderrahmane BENMIMOUNÉ

RÉSUMÉ

Un des principaux défis majeurs des prochaines générations des systèmes de communication sans fil serait d'utiliser les ressources limitées des réseaux de communications d'une manière efficace à l'effet d'obtenir une qualité et une capacité qui soient suffisantes pour faire face à des demandes sans cesse croissante de services.

En effet, les besoins en bande passante des utilisateurs ont augmenté en raison des résultats satisfaisants relevés des différentes applications telles que la vidéo et la navigation sur Internet. Ceci a permis à plusieurs technologies de voir le jour et qui ne cessent de s'améliorer afin de répondre aux besoins des utilisateurs. C'est notamment le cas des réseaux hétérogènes qui servent à interconnecter les réseaux WIFI, GSM/UMTS et Satellitaires. Ce progrès va permettre de répondre à la demande des utilisateurs en leurs offrant une très grande mobilité dans le monde et une connexion n'importe où et n'importe quand.

L'objectif de ce présent mémoire de maîtrise est d'étudier la problématique de gestion de mobilité entre les deux réseaux et de combiner ces techniques afin d'exploiter au mieux les avantages inhérents à ces deux réseaux : cellulaire (UMTS) et local sans fil (WLAN) et de pouvoir intégrer ces deux technologies de telle sorte que le changement de technologie soit transparent.

Dans le cadre de la première partie de ce mémoire, nous avons traité particulièrement les aspects de gestion de mobilité. Les deux différentes architectures d'interconnexion au contexte des réseaux hétérogènes UMTS/WLAN sont relatées ainsi que différents algorithmes sont également mis en évidence principalement l'algorithme RSS, SNR et SINR.

La plupart des contributions faites dans ce contexte prennent en considération juste la maximisation du débit à travers les deux réseaux. Par contre la minimisation de nombre de handoff durant un appel ou transfert de données joue un rôle très prépondérant, afin d'éviter tout handoff inutile et d'éliminer par voie de conséquence l'effet ping-pong qui dégrade la qualité de service.

C'est pourquoi, dans la seconde partie de notre mémoire, nous avons proposé une nouvelle stratégie intégrant pour la réalisation d'un handoff vertical des utilisateurs mobiles entre les deux réseaux tout en minimisant le nombre de handoff, la probabilité de perdre des paquets et d'atteindre un débit plus élevé avec meilleur prix correspondant. Dans ce cadre nous avons présenté et nous avons testé plusieurs algorithmes de handoff, et nous avons comparé ces algorithmes avec notre solution proposée. Tous les algorithmes entrepris ont été validés et évalués par des simulations.

Mots- clés: Réseau hétérogène, UMTS, WLAN, handoff vertical, effet ping-pong.

VERTICAL HANDOFF BETWEEN UMTS AND WLAN

Abderrahmane BENMIMOUNE

ABSTRACT

One of the major challenges for next generation for the wireless communication systems is to use the limited resources of communication networks effectively to provide quality and capacity that are sufficient for the growing need of bandwidth and the ability to provide all sorts of value added services.

The bandwidth requirements of users have increased due to new applications such as video and Internet browsing. This has enabled many emerging technologies that are constantly improving to meet the needs of users. This is particularly the case of heterogeneous networks used to interconnect various networks such as WiFi, GSM/UMTS and Satellite. These networks will help meet user's needs by offering them cheaper bandwidth, higher mobility, and more reliable networks.

The objective of this Master thesis is to study and combine techniques of mobility management to exploit the advantages of both networks: cellular (UMTS) and wireless LAN (WLAN) and can integrate these two technologies so that the change in technology is transparent.

The first part of this thesis, particular aspects of mobility management will be discussed. Heterogeneous UMTS/WLAN network can be interconnected in three different ways; two particular architectures will be discussed. Furthermore, different hand-off algorithms will be discussed, such as RSS algorithm, SNR and SINR.

Most contributions in this context take into account just the maximization of throughput across both UMTS and WLAN networks, but not much research was done on minimizing the number of handoffs during a call or data transfers. This plays an important role to avoid unnecessary handoffs and eliminate the ping-pong effect which degrades the quality of service.

Hence, in the second part of the thesis, a new integrated strategy for achieving vertical handoffs is proposed for mobile users between the two networks while minimizing the number of handoffs. This solution will lower the packets lost in the network. It will also achieve greater throughput and transfer rates, while the cost remains lower. In this context we present and we test several handoff algorithms, and we compare these algorithms with our proposed solution. All algorithms have been validated and evaluated by simulations.

Keywords: Heterogeneous networks, UMTS, WLAN, vertical handoff, ping-pong effect.

TABLE DES MATIÈRES

	Page
CHAPITRE 1 INTRODUCTION	14
1.1 Introduction :.....	14
1.2 Problématique :.....	19
1.3 Objectifs de recherche:	21
1.4 Méthodologie et solution :.....	21
CHAPITRE 2 LES TECHNOLOGIES WLAN ET UMTS	25
2.1 Introduction :.....	25
2.2 Les standards des réseaux locaux sans fil (WLAN) :	25
2.2.1 Présentation de la technologie IEEE802.11 :.....	25
2.2.2 Architecture d'un réseau WLAN IEEE802.11 :	27
2.2.3 La couche Physique de 802.11:	29
2.2.4 La couche MAC de 802.11 :.....	32
2.2.5 La norme du réseau Cellulaire 3G (UMTS) :	34
2.2.6 Présentation de la technologie UMTS :.....	34
2.2.7 L'architecture d'UMTS :.....	36
2.2.8 La couche physique d'UMTS	40
2.3 Les architectures d'interconnexion du réseau UMTS/WLAN :	44
2.3.1 Architecture Tight Coupling :.....	44
2.3.2 Architecture Loose Coupling :.....	46
2.4 Conclusion :.....	48
CHAPITRE 3 MOBILITÉ ET HANDOFF DANS LE RÉSEAU WLAN/UMTS	49
3.1 Introduction :.....	49
3.2 La gestion de mobilité :.....	49
3.2.1 Le handoff :.....	49
3.2.2 L'algorithme de handoff vertical:	51
3.2.3 La procédure de handoff vertical:.....	52
3.3 Les algorithmes de handoff vertical existants.....	55
3.3.1 Handoff vertical basé sur la puissance du signal (RSS) :	55
3.3.2 Handoff vertical basé sur la charge du réseau (ressources) et la QoS :	57
3.3.3 Handoff vertical basé sur connaissance du réseau UMTS/WLAN :.....	58
3.3.4 Handoff vertical basé sur le SNR :	59
3.3.5 Handoff vertical basé sur le SINR :	61
3.4 Conclusion :.....	63
CHAPITRE 4 ALGORITHME DE HANDOFF PROPOSÉ ET SA PERFORMANCE.....	64
4.1 Introduction :.....	64
4.2 Caractéristiques de la technique de handoff proposée	64
4.2.1 Condition de déclenchement :.....	65
4.2.2 Mesure du rapport SINR :.....	65

4.2.3	Estimation des débits :	67
4.2.4	La latence :	67
4.2.5	Le temporisateur :	68
4.3	Algorithme de décision proposé	71
4.4	Simulation et performance d'algorithme Handoff proposé :	72
4.4.1	Contexte de simulation (Modèle de simulation) :	72
4.4.2	Modèle de mobilité:	76
4.5	Résultats de simulation et discussions :	79
4.5.1	Service non temps réel :	80
4.5.2	Service temps réel :	85
4.5.3	Le délai de handoff :	90
4.6	Conclusion :	93
CONCLUSION ET RECOMMANDATION		94
ANNEXE I Code Source MATLAB		97
BIBLIOGRAPHIE		110

LISTE DES TABLEAUX

		Page
Tableau 1.1	Caractéristiques des systèmes d'accès de technologie filaire et sans fil....	16
Tableau 1.2	Principales différences entre le réseau UMTS et WLAN.....	18
Tableau 2.1	Normes IEEE802.11	26
Tableau 2.2	Les principales évolutions de l'UMTS par rapport au GSM.....	35
Tableau 4.1	Paramètres des réseaux UMTS et WLAN	75
Tableau 4.2	Paramètres de l'application Vidéo.....	77
Tableau 4.3	Sens de variation des métriques dans le cas idéal.....	79

LISTE DES FIGURES

		Page
Figure 1.1	Architecture d'un réseau hétérogène.	15
Figure 1.2	l'architecture Tight Coupling d'interconnexion UMTS/WLAN.	18
Figure 2.1	Architecture d'un réseau WLAN.	28
Figure 2.2	Principe de fonctionnement de MIMO.	31
Figure 2.3	Le protocole CSMA/CA.	33
Figure 2.4	Architecture du réseau UMTS.	37
Figure 2.5	Le réseau cœur de l'UMTS.	38
Figure 2.6	Architecture de l'UTRAN.	41
Figure 2.7	Représentation de la CDMA.	42
Figure 2.8	L'architecture Tight Coupling d'interconnexion UMTS/WLAN.	45
Figure 2.9	L'architecture Tight Coupling avec les couches associées.	46
Figure 2.10	L'architecture Loose Coupling d'interconnexion UMTS/WLAN.	46
Figure 2.11	L'IP Mobile dans une architecture Loose coupling UMTS/WLAN.	47
Figure 3.1	Le handoff horizontal et vertical.	50
Figure 3.2	Délais et informations nécessaires pour les classes de handoff.	53
Figure 3.3	Le débit reçu pour le hard (a) et le soft handoff (b).	54
Figure 3.4	Détérioration du signal en fonction de la distance.	56
Figure 3.5	Les débits en fonction de SNR basé sur la courbe WLAN.	60
Figure 3.6	Le signal utile et d'interférence.	62
Figure 4.1	L'effet ping-pong.	69
Figure 4.2	Terrain de simulation.	73
Figure 4.3	Carte du réseau hétérogène.	74

Figure 4.4	Puissance et débit reçus d'UMTS.....	75
Figure 4.5	Puissance et débit reçus de WLAN.....	76
Figure 4.6	Carte hétérogène UMTS/WLAN avec trajectoire mobile.	77
Figure 4.7	Le débit reçu par l'algorithme proposé et RSS.....	80
Figure 4.8	Le débit reçu par l'algorithme proposé et SNR.	81
Figure 4.9	Le débit moyen reçu pour chaque algorithme.....	82
Figure 4.10	Le nombre de handoff moyen.	83
Figure 4.11	Probabilité d'utilisation de réseau UMTS et WLAN.....	84
Figure 4.12	Les paquets perdus par l'algorithme proposé et RSS.	85
Figure 4.13	Les paquets perdus par l'algorithme proposé et SINR.	86
Figure 4.14	Nombre moyen de paquets perdus pour chaque algorithme de handoff....	87
Figure 4.15	Nombre moyen de handoff pour chaque algorithme.	88
Figure 4.16	Probabilité d'utilisation de réseau UMTS et WLAN.....	89
Figure 4.17	Le débit reçu pour différents délais de handoff.	91
Figure 4.18	Le débit moyen reçu pour différents délais de handoff.	91
Figure 4.19	Le nombre de paquets moyen perdus.....	92

LISTE DES ABRÉVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES

3GPP	3rd Generation Partnership Project.
AP	Access Point.
Auc	Authentication Centre.
BTS	Base transceiver station.
CDMA	Code Division Multiple Access.
CSMA/CA	Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance.
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum.
EIR	Equipment Identity Register.
FDD	Frequency Division Duplex.
GGSN	Gateway GPRS Support Node.
GMSC	Gateway Mobile Switching Centre.
GPRS	General Packet Radio Service.
GSM	Global System for Mobile Communications.
HLR	Home Location Register.
IEEE802.11	Institute of Electrical & Electronics Engineers Local Area Network Standards.
IUR	Interface between two RNCs
MAC	Media Access Control.
MAHO	Mobile Assisted Handoff.
MCHO	Mobile-Controlled Handoff.
MIMO	Multiple-Input Multiple-Output.
MMS	Multimedia Messaging Service
MSC	Mobile Switching Centre.
NCHO	Network-Controlled Handoff.
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing.
PDA	Personal Digital Assistant.
QoS	Quality of Service.
RNC	Radio Network Controller.

RSS	Received Signal Strength.
SF	Spread Factor
SGSN	Serving GPRS Support Node.
SINR	Signal to Interference plus Noise Ratio.
SNR	Signal-to-Noise Ratio
TDD	Time Division Duplexing.
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System.
UTRAN	UMTS Terrestrial Radio Access Network.
VLR	Visitor Location Register.
WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access.
WIFI	Wireless Fidelity.
WIMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access.

LISTE DES SYMBOLES ET UNITÉS DE MESURE

dB	Décibel.
dBm	Décibels au-dessus d'un milliwatt (1 mW).
GHz	Giga hertz
Kbps	Kilo bit par seconde.
Km	kilomètre.
Mcps	Méga chip par seconde
Mbps	Méga bit par seconde.
MHz	Méga hertz.
ms	milliseconde
pps	Paquet par seconde.
Sec	Seconde.
Tb	Temps d'un bit.

CHAPITRE 1

INTRODUCTION

1.1 Introduction :

Les technologies employées aujourd'hui dans le domaine des télécommunications nous permettent d'avoir une vision globale de ce que représentent réellement les réseaux hétérogènes. En effet, les réseaux de télécommunications permettent à un utilisateur quelconque de communiquer en utilisant une grande variété de moyens et de satisfaire la plupart des besoins audio visuels.

Aujourd'hui, un utilisateur peut avoir plusieurs outils de communication : téléphones mobiles, PDA, ordinateurs portables et autres outils qui sont capables de satisfaire un ou plusieurs besoins en communication.

Ces différents besoins obligent généralement les utilisateurs à acquérir plusieurs appareils qui leur permettent de communiquer dans divers scénarios. Une autre raison à cette multiplicité d'appareils est le fait que les technologies utilisées pour les différents réseaux sont différents, ce qui oblige l'utilisateur à posséder plusieurs outils.

En plus de cela, les besoins en bande passante des utilisateurs ne cessent d'augmenter en raison des nouvelles applications telles que la vidéo conférence. Ceci a permis à plusieurs technologies de voir le jour et qui s'améliorent et se développent afin de répondre aux besoins des utilisateurs. C'est notamment le cas des réseaux hétérogènes qui servent à interconnecter des réseaux de différentes technologies tel que les technologies WI-FI, Wi-Max, UMTS, Cdma2000 et Satellite. Ceci va permettre de répondre à la demande des utilisateurs en leur offrant une très grande mobilité dans le monde et une connexion n'importe où et n'importe quand.

L'intérêt d'avoir des réseaux hétérogènes est d'offrir un meilleur service aux abonnés qui se résume comme suivant :

- Offrir une très grande mobilité aux abonnés dans le monde et une connexion n'importe où et n'importe quand, aussi bien en milieu urbain que rural et milieu indoor que milieu outdoor.
- Offrir une grande bande passante afin de satisfaire les besoins des abonnés et leurs applications qui ne cessent d'exiger plus de bande passante tel quel la vidéo conférence, Peer to Peer...etc.
- Un autre intérêt et non des moindres, est d'offrir une solution complète aux abonnés par exemple, un abonné utilisant le WiMax peut basculer facilement en Wifi, en UMTS selon sa zone géographique ou sa couverture.

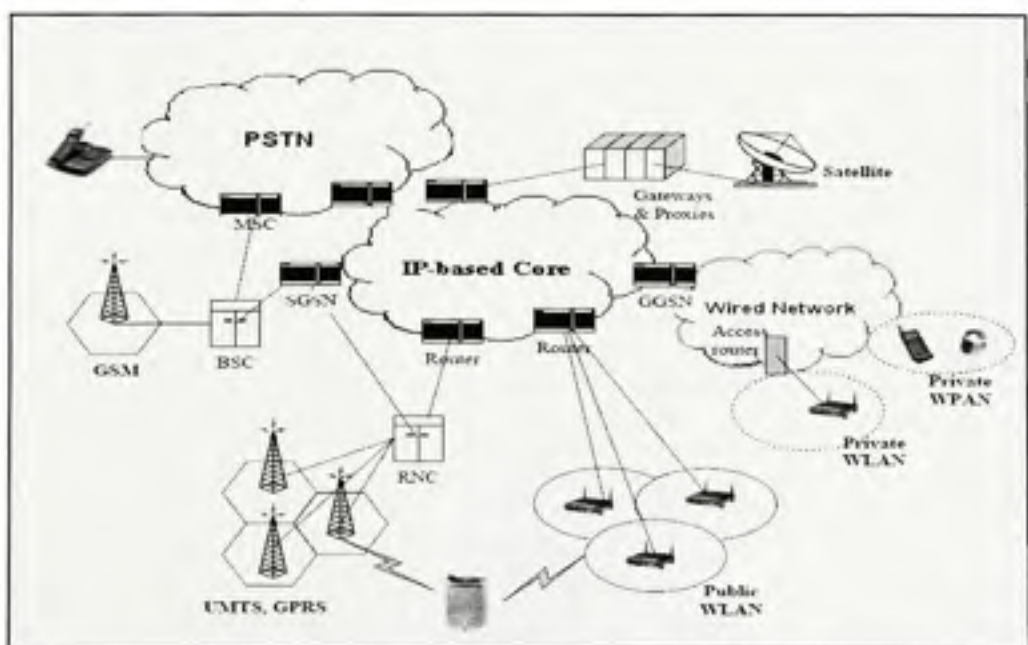


Figure 1.1 : Architecture d'un réseau hétérogène.
Tirée de Mobility Management Techniques for Heterogeneous
Wireless Networks (2007, Phd)

En effet, on assiste actuellement à l'émergence de différents réseaux cellulaires, informatiques et satellitaires qui s'interconnectent à travers un protocole capable de relier toutes ces technologies. Bien évidemment, il s'agit du protocole IP qui a fait ses preuves dans ce domaine comme illustré dans la Figure 1.1.

Le tableau ci-dessous présente quelques technologies avec leurs caractéristiques qui peuvent composer un réseau hétérogène.

Tableau 1.1 : Caractéristiques des systèmes d'accès de technologie filaire et sans fil
Tiré de Mobility Management Techniques for Heterogeneous Wireless Networks (2007, Phd)

	Type d'accès au réseau	Fréquences	Débit	Couverture	coût	Technologie
Technologies sans fil	Bluetooth	2.4 GHz	Max 721 Kbps	0. - 10m	Faible	DSSS-FHSS
	IEEE 802.11g	2.4 GHz	54 Mbps	30 - 150m	Faible	OFDM
	IEEE 802.11b	2.4 GHz	11 Mbps	Plus 100 m	Faible	DSSS
	IEEE 802.11a	5 GHz	20 Mbps	50 - 300 m	Faible	OFDM/TDD
	HiperLAN2	5 GHz	54 Mbps	150 Mètres max	Faible	OFDM
	IMT2000, UMTS	2 GHz	Max 2 Mbps	30mètre- 20Km	Élevé	FDD/TDD
	IEEE 802.20	Mois de 3.5 GHz	Plus 9 Mbps	20 Km	Élevé	OFDM
	IEEE 802.16	10 à 66 GHz	Max 70 Mbps	Plus 50 Km	Faible	OFDM
	GSM, GPRS, EDGE	900, 1800, 1900 MHz	9.6- 384 Kbps	Plus 35 Km	Élevé	TDMA/FDD
	Satellite	Plus que 14 GHz	Max 144 Kbps	Plusieurs Km	Élevé	
	DAB	176-230 MHz 1452-1476.5MHz	1.5 Mbps	Plus 100 Km	Faible	OFDM
	DVB-T	Moins de 860 MHz	5-31 Mbps	Plus 100 Km	Faible	OFDM
	DECT	1880-1900MHz	Plus 2 Mbps	Plus 50 Mètres	Faible	TDMA/TDD
Technologies filaires	ADSL	Bande de base	8.14Mbps(Down) 0.64Mbps (Up)	2-6 Km	Faible	DMT
	Modem Câble	60-860Mhz(Down) 10-40 Mhz (Up)	40Mbps(Down) 10Mbps (Up)	5-20 Km	Faible	FDD/QAM/QPSK

Dans le cadre du projet de recherche envisagé, et m'étant intéressé de l'émergence de deux technologies : UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*) et WLAN (*wireless local area networks*) qui représentent deux technologies complémentaires étant donné que l'UMTS est un système cellulaire de communications mobiles de troisième génération qui fait partie de la famille **IMT-2000** (*International Mobile Telecommunications-2000*) et dont les spécifications techniques sont développées au sein du **3GPP** (*3rd Generation Partnership Project*). Il est capable d'offrir des bénéfices significatifs à l'utilisateur tel que des services multimédias sans fil de haute qualité. Il proposera à l'utilisateur des applications et des services nouveaux et innovants. Il offrira des services de communications mobiles personnalisés à un marché grand public indépendamment de l'endroit, du réseau et du terminal utilisé.

Parmi les caractéristiques les plus connues des réseaux cellulaires de troisième génération est sans doute la grande couverture du service permettant ainsi une mobilité assez importante aux abonnés mobiles. Et la possibilité d'offrir aux utilisateurs des débits de 384 Kbps jusqu'à 2Mbps que ceux de la deuxième génération. Le réseau UMTS avait pour objectif primitif la téléphonie sans fil, même si effectivement il essaie d'intégrer les différents médias.

En ce qui concerne les réseaux locaux sans fil (WLAN) où la distance géographique limitée permet de penser à une mise en place de réseaux hertziens. Pour couvrir une entreprise par exemple, la taille du réseau ne dépasse pas quelques centaines de mètres et une cellule peut être suffisante dans ce cas. La solution la plus admise pour réaliser un réseau local sans fil est donnée par la normalisation de fait du groupe de travail IEEE802.11. Les réseaux locaux sans fils (WLAN) sont en plein développement de par la flexibilité de l'interface qui permet à un utilisateur de changer de place dans la cellule tout en restant connecté. Ces réseaux atteignent des débits de plusieurs Mbit/s voire plusieurs dizaines de Mbit/s dans le cas d'une mobilité très réduite. Le Tableau 1.2 résume les principales différences entre le réseau UMTS et WLAN :

Tableau 1.2 : Principales différences entre le réseau UMTS et WLAN

	UMTS	WLAN
Environnement	Outdoor	Indoor
Couverture	Grande	Petite
Mobilité	Grande/ Illimitée	Limitée
Bande passante	Limité	Large
Coût	Élevé	Faible
Qualité de service temps réel	Excellente	Inferieure
Qualité de service non temps réel	Inferieure	Excellente

Afin de pouvoir intégrer ces deux technologies et de les interconnecter de telle sorte que le changement de technologie soit transparent, plusieurs architectures ont été proposées dans le cadre de notre travail. On s'intéresse donc, à l'architecture d'interconnexion de type « Tight coupling » tel que présenté dans la figure 1.2. Il s'agit alors d'interconnecter les deux réseaux UMTS et WLAN généralement au niveau du SGSN (*Serving GPRS Support Node*) ou le RNC (*Radio Network Controller*) d'UMTS, où le réseau WLAN est considéré comme une simple cellule de réseau d'UMTS.

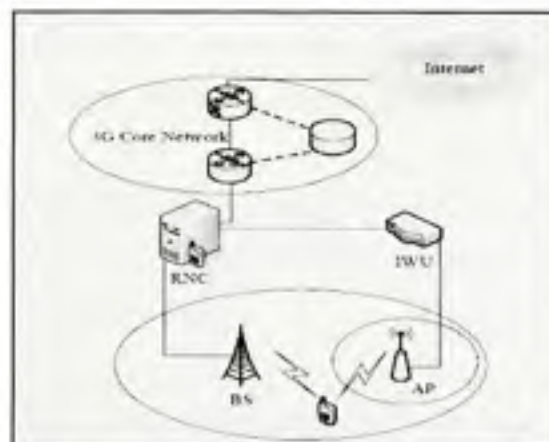


Figure 1.2 : l'architecture Tight Coupling d'interconnexion UMTS/WLAN.
Tirée de Combined SINR Based Vertical Handoff Algorithm for Next Generation Heterogeneous Wireless Networks (2007, GLOBECOM)

Les problèmes majeurs rencontrés dans ce contexte sont de trois natures: la réservation des ressources, le contrôle d'admission et la gestion de mobilité. Nous concentrons donc notre étude sur ce dernier problème qui est la gestion de mobilité pour le support de QoS (Qualité of Service) dans le réseau hétérogène UMTS/WLAN.

Pour qu'un terminal mobile puisse supporter les services offerts par les deux réseaux UMTS et WLAN, il doit nécessairement posséder deux interfaces différentes (Yong G. Hong, 2005) (interface UMTS, interface WLAN). La nécessité d'un mécanisme de commutation s'impose entre ces deux interfaces dans le cas de mobilité entre les deux réseaux.

Le **Handoff Vertical** ou le passage intercellulaire est considéré comme un transfert d'une technologie d'accès sans fil à une autre (Pahlavan, 2000; Zhu, 2004). A titre d'exemple et dans le cadre de ce projet, nous sommes intéressés au handoff vertical établi entre les technologies UMTS et WLAN. Le terme handoff sera utilisé dans ce mémoire à fin d'alléger le texte.

1.2 Problématique :

Pour réussir un bon inter fonctionnement entre les réseaux cellulaires UMTS et les réseaux locaux sans fils WLAN, on prend avantage des deux réseaux :

UMTS : la grande couverture et l'importante mobilité supportée dans le cas du réseau UMTS ainsi que la meilleure qualité offerte pour les services en temps réel, en particulier la voix (Wei Song, 2005).

WLAN : le grand débit offert et le meilleur support des services non temps réel et le prix offerts par les réseaux WLANs (Wei Song, 2005).

Le problème majeur rencontré dans ce contexte est la gestion de mobilité et le support de QoS dans le réseau hétérogène UMTS/WLAN.

En effet, lorsque les abonnés se déplacent, d'un réseau à l'autre la dégradation de la qualité de service au niveau des terminaux mobiles sont sujets aux éléments suivants :

L'abaissement du débit : Dans les services non temps réel (exemple : Données), le mobile peut décider à tout moment de libérer la connexion avec un réseau lors du handoff. Cette décision ne doit pas être trop rapide. Si le mobile oscille entre les deux réseaux, la dégradation du débit deviendrait sévère et produirait l'effet ping-pong (Belghoul, 2005) . Le débit doit être maintenu pendant le Handoff en vue de conserver les performances des applications d'utilisateurs (Kemeng Yang, 2007b).

L'interruption de service : Dans les services temps réel (exemple : VoD), une interruption de service peut générer automatiquement un taux élevé de blocage (Call Block Rate) ainsi que la perte des paquets (Packet Error Rate).

Consommation d'énergie : chaque handoff effectué entraîne une augmentation de la consommation d'énergie et réduit en conséquence la durée de vie de la batterie (Wowra).

Le coût : la préférence du choix de réseau se situe dans l'adoption du WLAN par rapport à UMTS dû au coût élevé de ce dernier (Hyeyeon Kwon, 2007).

Ainsi l'un des défis majeurs du problème de handoff vertical est de développer une stratégie pour atteindre un débit plus élevé dans les réseaux UMTS et WLAN, et de minimiser le nombre de Handoff en évitant l'effet « Ping-Pong » qui dégrade la performance du terminal mobile et, d'une manière certaine, la qualité de service.

1.3 Objectifs de recherche:

Les objectifs fixés dans le cadre de ce présent mémoire, s'articulent autour des aspects suivants :

1. La conception d'un algorithme de handoff vertical qui permet le passage entre les deux réseaux UMTS et WLAN en se basant sur les propriétés de ces réseaux et offrir à travers une grande mobilité dans le réseau hétérogène.
2. Le développement d'une technique de handoff basé sur SINR entre UMTS et WLAN qui offre une meilleure qualité de service :
 - Maximiser le débit reçu surtout pour service non temps réel
 - Minimiser le nombre de handoff pour réguler l'effet ping-pong et l'interruption de service sur tout pour les services temps réel.
 - Minimiser le coût en utilisant plus possible le réseau WLAN.
 - Conserver en terme de durée le plus possible la vie de la batterie.
3. Analyse des performances et de l'efficacité de la technique de handoff vertical proposé et la comparaison de ces résultats avec les techniques existantes.

1.4 Méthodologie et solution :

Nous pensons qu'à l'avenir avec le développement de réseaux sans fil, il est essentiel de gérer en même temps le débit et le nombre de handoff.

Les caractéristiques du débit et le nombre de handoff entre les systèmes non homogènes, tels que 802.11 WLAN et les réseaux cellulaires (UMTS) sont analysés par des simulations. Ce mémoire met l'accent spécifique sur la situation de handoff vertical quand les utilisateurs mobiles sont dans une région de transition où la force du signal reçu varie d'un réseau à un autre. Cette analyse de handoff fournit des informations sur les paramètres clés qui affectent l'exécution d'algorithme comme la force du signal reçu par un seul utilisateur, la sensibilité au délai de handoff et le type de service.

La première partie des travaux de recherche portant sur la création d'un environnement d'intégration pour les réseaux WLAN et UMTS a été réalisée à l'aide de MATLAB R2007b. MATLAB est un simulateur très puissant permettant d'exécuter des tâches nécessitant une grande puissance de calcul et dont la mise en œuvre sera plus rapide qu'avec des langages de programmation traditionnels tels que le C et le C++, il est capable de supporter la simulation et l'évaluation des performances des réseaux de communication et des systèmes distribués. L'environnement de simulation consistait en une carte de réseau hétérogène composé de réseau UMTS connecté à un réseau WLAN. Le réseau UMTS est composé de cinq stations de base qui supporte un débit jusqu'à 2 Mbits/sec. Afin de simplifier le processus de simulation, le réseau UMTS couvre tout l'environnement de mobilité et on utilise juste un seul utilisateur mobile. Le réseau WLAN a à son tour, il est composé de vingt points d'accès sans fil 802.11b répartis sur toute la zone de mobilité de manière aléatoire et qui supporte un débit jusqu'à 11 Mbits/sec.

Pour pouvoir concentrer notre étude sur le handoff vertical, nous avons supposé que les handoffs horizontaux entre les cellules d'UMTS ainsi que entre les cellules WLAN, sont transparentes.

Les déplacements d'utilisateur mobile s'effectuent par pas de cinq Mètres (5m) avec une vitesse de 0.5 Mètres/sec et les données sont ainsi échangées entre le mobile et le réseau hétérogène pour une durée équivalente à 5000 déplacements. Le trafic est généré soit pour les

services en temps réel tel que les applications de Video sur Demande (VoD) soit les services non temps réel tel que les applications de transfert de données (Peer to Peer).

Un modèle analytique est développé en vue d'inclure les deux technologies sans fil hétérogènes qui se chevauchent. La validité des résultats sera évaluée par rapport aux limites du modèle de simulation utilisé puisque un modèle de simulation est toujours une approximation d'un système réel, exprimant seulement une partie de la réalité toute entière du phénomène étudié. Les prévisions de performance des résultats de simulation ont, au moins, une valeur théorique. Sachant que cette étude de simulation peut être étendue pour des zones qui sont difficiles à mesurer dans un environnement réel.

La deuxième partie des travaux de recherche se propose à développer une solution pour la gestion de la mobilité dans le réseau hétérogène, et pour cela il est important de comprendre les caractéristiques des deux réseaux 802.11 WLAN et les réseaux cellulaires (UMTS) et leurs performances pour des services en temps réel tel que le service vidéo sur demande (VoD) et non temps réel tel que les données (Data).

La finalité recherchée étant de fournir une stratégie intégrée pour la réalisation d'un Handoff vertical des utilisateurs mobiles entre les deux réseaux tout en minimisant le nombre de handoff, la probabilité de perdre des paquets (Packet Error Rate) et d'atteindre un débit plus élevé avec meilleur prix correspondant.

Les mesures quantitatives telles que le débit moyen reçu, le nombre de handoff effectué, le taux de pertes de paquets et le prix (défini par le taux d'utilisation des deux réseaux) sont utilisés comme une base pour l'analyse. Pour la validité des sources d'erreur, les résultats ont été minimisés et le débit moyen a été maximisé. Compte tenu de cette problématique, notre mémoire est organisé comme suit :

Dans le Chapitre 2, nous présentons quelques standards intégrant des généralités sur les technologies des réseaux 802.11 WLANs et les réseaux cellulaires (UMTS), nous décrivons par la suite et cela brièvement leurs architectures et leurs caractéristiques utilisées dans notre

travail. Les réseaux hétérogènes et les principales architectures d'interconnexions de ces deux réseaux sont également introduits.

La mobilité et le Handoff vertical font l'objet du développement du Chapitre 3. Nous traitons particulièrement l'interfonctionnement du réseau hétérogène WLAN/UMTS. De ce fait des modèles de mobilité existants sont mis en relief ainsi que les détails de quelques algorithmes de handoff vertical.

Quant au Chapitre 4, il sera consacré à détailler le concept général du nouvel algorithme proposé et à présenter les résultats des différentes simulations ainsi obtenues, et en même temps évaluer les performances des différents contextes simulés.

Nous terminons notre travail de recherche par le Chapitre 5 qui mettra en relief d'une part les conclusions de notre travail de recherche ainsi que les résultats obtenus et d'autre part les perspectives envisagés au cours des prochaines années et cela compte tenu de l'évolution croissante des technologies de communication.

CHAPITRE 2

LES TECHNOLOGIES WLAN ET UMTS

2.1 Introduction :

Depuis l'existence des technologies sans-fil et celle-ci ne cesse de chercher des moyens ou des techniques afin d'augmenter leurs débits et de servir efficacement les nombres d'utilisateurs croissant.

Dans ce chapitre, nous allons voir en détail les réseaux locaux sans fil (WLAN), les réseaux cellulaires de troisième génération (UMTS) et les différentes architectures de réseaux hétérogènes. Dans un premier point, on présentera la technologie IEEE802.11 désormais connue par tout le monde.

2.2 Les standards des réseaux locaux sans fil (WLAN) :

Au cours des dernières années, on relève que les réseaux sans fils sont devenus une technologie abordable qui peut substituer les réseaux câblés classiques. Une de ces technologies est le réseau WIFI avec ces trois versions 802.11a, b et g et 802.11n depuis peu. Dans cette section, nous allons présenter quelques aspects théoriques de ce type de réseaux.

2.2.1 Présentation de la technologie IEEE802.11 :

Les réseaux locaux sans fil nommés souvent WLANs pour (Wireless Local Area Networks) sont en plein développement afin de répondre à différents besoins concernant la mobilité, le déplacement de matériels, la communication temporaire et la couverture des lieux difficiles d'accès. Comme son nom l'indique, un WLAN est un réseau local sans fil qui utilise un support de transmission sans fil, plusieurs solutions peuvent être envisagées : soit la communication hertzienne qui s'effectue sur l'ensemble du site, et tous les terminaux sont

connectés directement entre eux ou par une seule borne, soit les communications qui s'effectuent à l'intérieur de microcellules déterminées en général par les murs et utilisent pour cela l'infrarouge (Pujolle, 1999).

Les spécifications des WLANs les plus importantes ont été développées par le groupe de travail 802.11 de l'IEEE (l'Institute of Electrical and Electronics Engineers). Exactement en 1990, le comité IEEE802 a formé un nouveau groupe de travail (groupe 11) dédié aux WLAN, avec pour mission de développer des spécifications de protocole MAC de la couche liaison et de la couche physique (Stallings, 2005). En 1997 le premier standard 802.11 a vu jour qui promettait des débits théoriques de 1 à 2 Mbits/sec, par la suite les besoins en matière de déploiement de réseaux sans fil opérant à différentes fréquences et différents débits n'ont cessé de croître. Le tableau 2.1 illustre les principales normes de la technologie IEEE802.11 :

Tableau 2.1 : Normes IEEE802.11
Adapté de Wifi déploiement et sécurité (2e éd, 2006)

	IEEE802.11a	IEEE802.11b	IEEE802.11g	IEEE802.11n
Fréquence	Bande 5 Ghz	Bande 2.4 Ghz	Bande 2.4 Ghz	Bande 2.4 et 5 Ghz
Technologie	OFDM	DSSS	OFDM ou DSSS	MIMO-OFDM
Débit maximal	54 Mbps	11 Mbps	54 Mbps	Plus que 100 Mbps
Canaux	19	3	3	3 ou 19
Portée maximale (Outdoor)	120 m	140 m	140 m	250 m

Actuellement, la norme IEEE802.11 la plus répandue est la 802.11b. IEEE 802.11b (Standard, 1999) a été largement déployée dans les bureaux, les foyers et les hotspots publics comme les aéroports et les hôtels étant donné son faible coût, de bande passante raisonnable de 11Mbps/s, et la facilité de déploiement. Toutefois, un grave inconvénient de 802.11 est la zone de couverture de petite taille jusqu'à 250 mètres (Luo H., 2002). D'autres normes de 802.11 comprennent 802.11a et 802.11g, qui permet des débits allant jusqu'à 54 Mbps/sec et la norme 802.11n qui utilise la technologie MIMO (Multiple Input Multiple Output) et permet donc des débits très élevés dépassant le 100 Mbps/sec (Erik Dahlman, 2007).

Le comité formé en 1999 par le WIFI Alliance est une association internationale à but non lucratif qui certifie l'interopérabilité des réseaux sans fils. Parmi les normes que regroupent le 802.11, il y a le 802.11a, b, g et n. Le nom WIFI souvent rencontré est la contraction de deux mots anglais, Wireless et Fidelity, qui désignait uniquement le label de qualité, mais par extension, il est à présent employé pour désigner la technologie elle-même (Géron, 2006).

2.2.2 Architecture d'un réseau WLAN IEEE802.11 :

L'architecture d'un réseau IEEE802.11 est cellulaire. Un groupe de terminaux munis d'une interface réseau 802.11, s'associent pour établir des communications directes et forment un BSS (Basic Set Service).

Comme le montre la Figure 2.1, le standard 802.11 offre deux modes de fonctionnement, le mode infrastructure et le mode ad-hoc (Stallings, 2005).

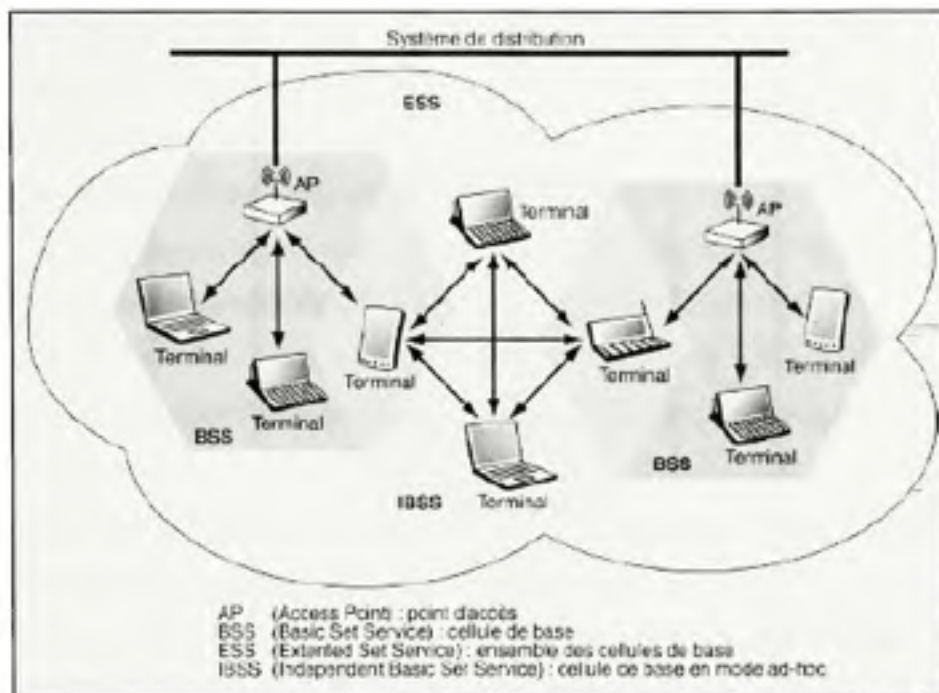


Figure 2.1 : Architecture d'un réseau WLAN.

Tirée de <http://egyblack.com/wifitut.aspx> (Consulté le 5 Janvier 2009)

Le mode infrastructure : est défini pour fournir aux différentes stations des services spécifiques sur une zone de couverture déterminée par la taille du réseau. Les réseaux d'infrastructure sont établis en utilisant des points d'accès (AP, Access point) qui jouent le rôle de station de base.

Le réseau peut comporter une ou plusieurs cellules (BSS, Basic Service Set) autonomes ou être le prolongement d'un réseau Ethernet traditionnel. Dans ce dernier cas, les différents points d'accès sont reliés à un réseau de distribution (DS, Distribution System). L'ensemble forme un seul réseau 802.11 désigné sous le terme d'ESS (Extended Service Set) (Stallings, 2005).

Le mode Ad-hoc : est un groupe de terminaux formant BSS indépendant ou IBSS (Independent Basic Set Service), dont le rôle consiste à permettre aux stations de communiquer sans l'aide d'une quelconque infrastructure, telle qu'un point d'accès ou une connexion au système de distribution.(Stallings, 2005).

2.2.3 La couche Physique de 802.11:

Le IEEE802.11 a défini (Géron, 2006) initialement trois couche physique :

- La couche IEEE802.11 a étalement de spectre à séquence directe ou DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) qui a connu plus de succès.
- La couche IEEE802.11 a étalement de spectre par saut de fréquence ou FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum) qui a été plus ou moins abandonnée.
- La couche IEEE802.11 Infrarouge qui na jamais connu le succès espéré, offre des débits de 1 à 2Mbits/sec opérant sur une longueur d'onde variant entre 850 et 950nm.

Dans la norme 802.11a, on utilise le système de multiplexage OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), qui utilise une division du signal numérique en 52 canaux de sous porteuses avec un débit théorique maximal de 54 Mbps (en pratique, 30 Mbps seulement). Le type de modulation utilisé par cette technique est le saut de phase (BPSK, Binary Phase Shift Keying ou QPSK, Quadrature Phase Shift Keying) soit par modulation d'amplitude en quadrature (16-QAM ou 64-QAM).

Cependant, la norme 802.11b utilise la technique d'étalement de spectre par séquence directe (DSSS) et c'est pour ca que le débit maximal est de 11 Mbps. Les types de modulation utilisés par la couche physique de cette norme sont les modulations BPSK et DQPSK pour les débits de 1 et 2 Mbps, alors que la modulation CCK (Complementary Code Keying) pour les débits de 5 à 11 Mbps.

Plusieurs techniques sont utilisées dans la couche physique de la norme IEEE802.11, notamment DSSS, l'OFDM et le MIMO. Dans ce qui suit, on va donner une brève description de ces techniques.

A. La technique DSSS :

La modulation DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) est une technique d'étalement de spectre contrairement au FHSS, aucun saut de fréquence n'est effectué. Le DSSS provoque des transitions d'état très rapides qui tendent à étaler le spectre du signal. Pour ce faire, l'émetteur envoie une séquence de plusieurs bits appelés chips, pour chaque bit d'information à transmettre (Stallings, 2005).

Cette technique offre une grande résistance au bruit du fait que le spectre de fréquences du signal est étalé, ainsi que le fait d'émettre plusieurs chips pour chaque bits d'information signifie que l'on peut avoir une redondance, qui permet de corriger des erreurs de transmission.

B. La technique OFDM :

L'OFDM est réputé pour offrir un débit très élevé et une bonne efficacité spectrale dans les transmissions par radio. L'OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), est une technique qui se base sur l'utilisation de multiple fréquence sous-porteuse afin de pouvoir envoyer simultanément le signal (Erik Dahlman, 2007).

Ces sous-porteuses, de par leur multiplicité, offrent une meilleure résistance aux obstacles qui peuvent se dresser entre un émetteur (une station de base radio) et un récepteur (terminal équipé de son antenne). Elles sont dites orthogonales au sens où elles ne génèrent pas d'interférences entre elles en dépit de leur juxtaposition. Apriori OFDM gère mieux les distorsions et autres parasitages (liés en partie aux phénomènes d'échos) que subit le signal dans le monde radio (Erik Dahlman, 2007). La technologie évite de recourir à de complexes

algorithmes d'égalisation corrigeant, à la réception, les distorsions dont souffre habituellement le signal émis puis transmis par les ondes hertziennes.

C. La technique MIMO :

Le MIMO est un protocole de la couche physique et permet d'envoyer plusieurs signaux différents sur des antennes différentes à des fréquences proches pour augmenter le débit ou la portée du réseau comme montrée à l'aide de la figure suivante :

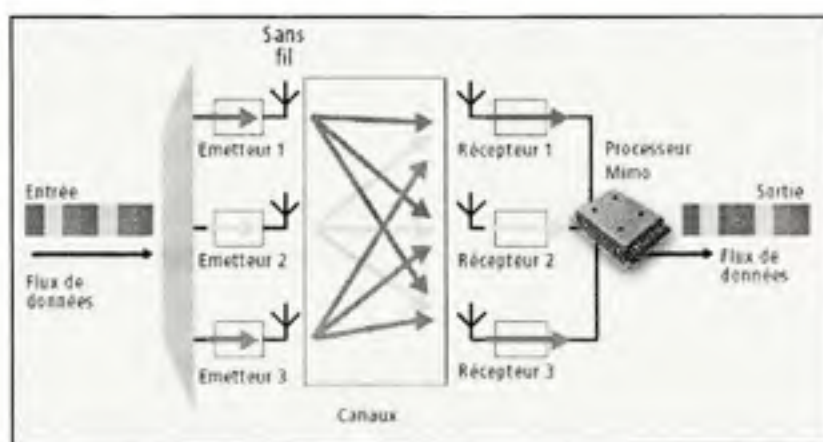


Figure 2.2 : Principe de fonctionnement de MIMO.

Tirée de <http://id-reseaux.info/blog/index.php?category/Old-post>
(Consulté le 15 Avril 2009)

Sa particularité passe par l'utilisation simultanée de plusieurs antennes, émettrices et réceptrices. Ainsi il permet d'améliorer les performances des appareils, qui aujourd'hui connaissent des problèmes liés à la nature des ondes et à leur comportement suivant l'environnement, ce qui diminue la qualité de transmission et donc le débit ainsi que la portée (Erik Dahlman, 2007).

C'est donc en remédiant à ces problèmes que le MIMO se place en tête des technologies d'avenir pour les communications mobiles.

2.2.4 La couche MAC de 802.11 :

Principe :

Le principe de base de la couche MAC pour la norme 802.11 est simple, il suffit que les terminaux mobiles écoutent la porteuse avant d'émettre. Si la porteuse est libre, le terminal émet, sinon, il se met en attente.

La couche MAC 802.11 intègre beaucoup de fonctionnalités que l'on ne trouve pas dans la version MAC des réseaux locaux avec fil.

La particularité de ce standard est la définition de deux méthodes d'accès fondamentalement différentes au niveau de la couche MAC : DCF et PCF(Tanenbaum, 2003).

- **DCF** : (Distributed Coordination Function) C'est un accès au médium avec évitement de collision. Cette méthode d'accès, assez similaire au réseau traditionnel supportant le best effort, a été conçue pour prendre en charge le transport de données asynchrones. Tous les utilisateurs qui veulent transmettre ont une chance égale d'accéder au support.
- **PCF** : (Point Coordination Function) Les terminaux sont interrogés à tour de rôle (polling). C'est le point d'accès qui gère les communications. La technique PCF a été conçue pour la transmission de données sensibles (temps réel) telle que la voix, vidéo...etc.

Méthode d'accès dans 802.11 : le protocole CSMA/CA :

L'algorithme d'accès ou DCF est une version adaptée du CSMA, le CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance), signifiant prévention de collision (Tanenbaum, 2003).

Une station qui veut émettre écoute le support (CSMA). Si le support est occupé, elle diffère son émission. Si le support est libre, elle émet un petit paquet (RTS, Request To Send) qui contient les adresses source et destination ainsi qu'une durée correspondant au temps d'émission des données et au délai d'acquittement (réservation d'une tranche de canal). Si le support est libre, la station destination répond (CTS, Clear to Send), le message comporte les mêmes informations que le RTS (Tanenbaum, 2003). Tel qu'illustré dans la Figure suivante :

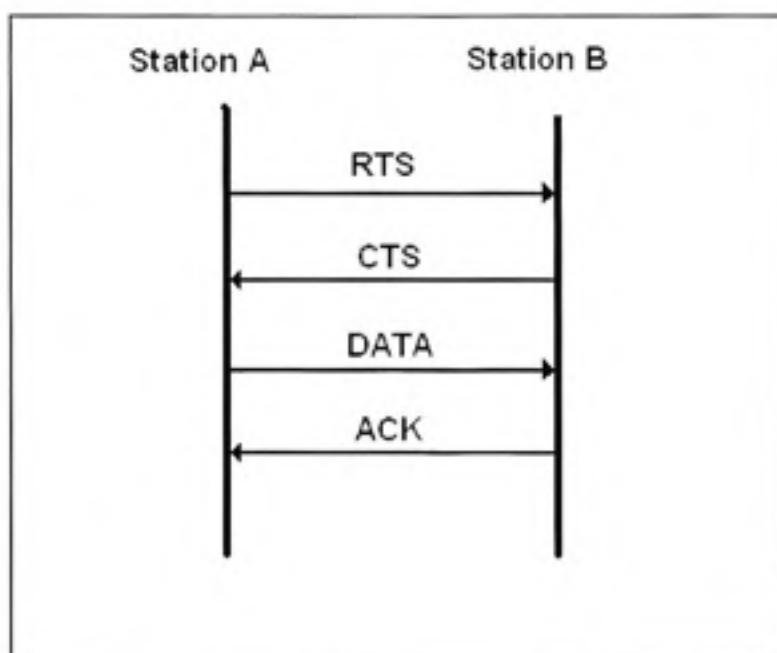


Figure 2.3 : Le protocole CSMA/CA.
Adaptée de Tanenbaum (4^e éd, 2003)

En résumé, l'accès au médium par le CSMA/CA permet :

- l'évitement de collision nécessaire car une station en train d'émettre ne peut pas détecter une collision.
- l'acquittement des données reçues correctement sans collision et erreurs.

2.2.5 La norme du réseau Cellulaire 3G (UMTS) :

Dans cette section nous allons voir en détail la théorie des diverses technologies utilisées pour la téléphonie mobile et nous allons en particulier nous focaliser sur la technologie : UMTS, la norme de troisième génération.

2.2.6 Présentation de la technologie UMTS :

L'UMTS est un système cellulaire de communications mobiles de troisième génération qui fait partie de la famille IMT-2000 et dont les spécifications techniques sont développées au sein du 3GPP. Il est capable d'offrir des bénéfices significatifs à l'utilisateur tel que des services multimédias sans fil de haute qualité pouvant converger vers les réseaux fixes, cellulaires et par satellites. Il propose à l'utilisateur des applications et des services nouveaux et innovants. Il offre des services de communication mobiles personnalisés à un marché grand public indépendamment de l'endroit, du réseau et du terminal utilisé.

L'UMTS a remplacé progressivement les standards précédents afin d'offrir des débits importants en mobilité. Ils représentent l'aboutissement de travaux techniques, réglementaires et économiques, amorcés dès le début des années 1990 dans des organismes internationaux.

Le tableau suivant présente les caractéristiques de la deuxième et troisième génération cellulaire :

Tableau 2.2 : Les principales évolutions de l'UMTS par rapport au GSM
Adapté de UMTS les origines, l'architecture et la norme (2e éd, 2002)

Domaine		GSM/GPRS	UMTS (3G)
Cellules Radio	Taille max	30 km	N x km
	Fréquences (Mhz)	900 et 1800	1920-1980 et 2110-2170
	Multiplexage	FDMA et TDMA	WCDMA (FDD et TDD)
	Données IP	Encapsulé	Natif
Cœur de réseau	Téléphone	Circuit RNIS	ATM/IP v6 unifié
	Data IP	Intranet IP	
Débit données max théoriques	Zones rurales	115kbps	144 kbps
	Villes		384 kbps
	Zones denses, mobilité faible		2 Mbps

Les objectifs de la norme UMTS :

Afin de répondre aux besoins croissants des utilisateurs, les différents objectifs suivants ont été fixés pour l'UMTS dans le cadre des travaux d'étude et de normalisation sur le plan mondial.

- **Transmissions à haut débit** : un minimum de 144 kbps dans tout type d'environnement, 384 kbps dans des microcellules à une vitesse maximale de 120 km/h et 2Mbps dans des environnements intérieurs et proches de la nodeB.
- **Transmission de données symétriques et asymétriques**, permettant d'adapter les débits en amont et en aval selon le service utilisé.
- **Services à commutations de circuits (circuit-switched) et à commutations de paquets (packet-switched)**, permettant d'acheminer aussi bien la parole que les données.
- **Qualité de la parole comparable à celle des réseaux câblés.**

- **Capacité et efficacité spectrale supérieures à celles des systèmes cellulaires de 2^{ème} génération** : cela permettra à l'UMTS de répondre à l'augmentation du trafic et de palier aux phénomènes de saturations apparus dans les grandes villes.
- **Possibilité d'offrir de manière simultanée des services « multimédia »** lors d'une même connexion et ayant une qualité différente en terme de débit, taux d'erreur, délai.
- **Compatibilité avec le système GSM et ses évolutions (HSCSD, GPRS et EDGE).**
- **Itinérance (roaming) internationale et d'interconnexion** avec d'autres systèmes de 3^{ème} génération ayant aussi le label IMT-2000.

2.2.7 L'architecture d'UMTS :

Un travail considérable de modélisation a permis de définir clairement le système UMTS. Fortement inspiré du GSM, il propose cependant une architecture et un découpage fonctionnel plus ouvert en séparant les fonctions liées à la technologie d'accès de celles qui ne dépendent pas du mode d'accès. Ce concept de séparation de la couche d'accès du reste du réseau accroît l'évolutivité de la norme UMTS. Cela permettra de faire évoluer l'interface radio en minimisant les impacts sur les équipements du réseau.

La Figure 2.4 présente l'architecture générale d'un réseau UMTS composé de réseau d'accès et coeur.

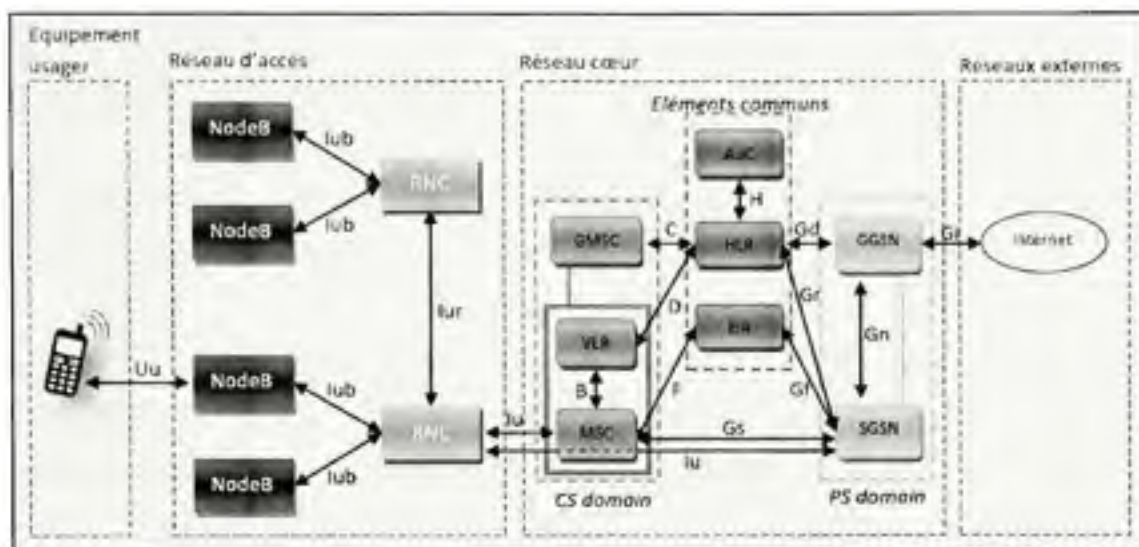


Figure 2.4 : Architecture du réseau UMTS.

Tirée de http://www-igm.univ-mlv.fr/~dr/XPOSE2006/eric_meurisse/umts.php
(Consulté le 15 Janvier 2009)

En comparant ce schéma à son équivalent GSM, on voit que les réseaux cœur GSM et UMTS sont en réalité très similaires. L'ensemble des constituants et des interfaces du réseau cœur GSM a été repris dans l'architecture du réseau cœur UMTS. Cependant, nous verrons par la suite qu'il existe des différences fonctionnelles entre certains éléments du GSM et d'UMTS, en particulier en ce qui concerne les nœuds SGSN et MSC du réseau.

Le réseau d'accès se compose quant à lui du RNC (Radio Network Controller), équivalent du BSC des réseaux GSM, et du NodeB, équivalent de la BTS. Une nouvelle interface apparaît : l'Iur qui interconnecte deux RNC adjacents.

Cette interface a été définie d'une manière aussi générique que possible afin d'être capable de connecter, en plus de l'UTRAN, des réseaux d'accès de technologies différentes au réseau cœur de l'UMTS. Ainsi pourront se connecter par exemple le SRAN (*Satellite Radio Access Network*) ou le BRAN (*Broadband Radio Access Network*), qui est un réseau d'accès large bande utilisant une technologie d'accès de type WLAN (*Wireless Local Area Network*).

Le réseau cœur d'UMTS : Le réseau cœur d'UMTS est scindé en 2 domaines de service :

- **CS :** domaine de commutation circuit (Circuit Switched).
- **PS :** domaine de commutation paquet (Packet Switched).

Le domaine CS est utilisé pour la téléphonie tandis que le domaine PS permet la commutation de paquets (utilisé pour les données, Internet...). Ainsi, les téléphones de 3^e génération peuvent gérer simultanément une communication paquet et circuit. Cette notion de domaine permet de modéliser la notion de service dans le réseau cœur et donne la possibilité de créer ultérieurement d'autres domaines de service.

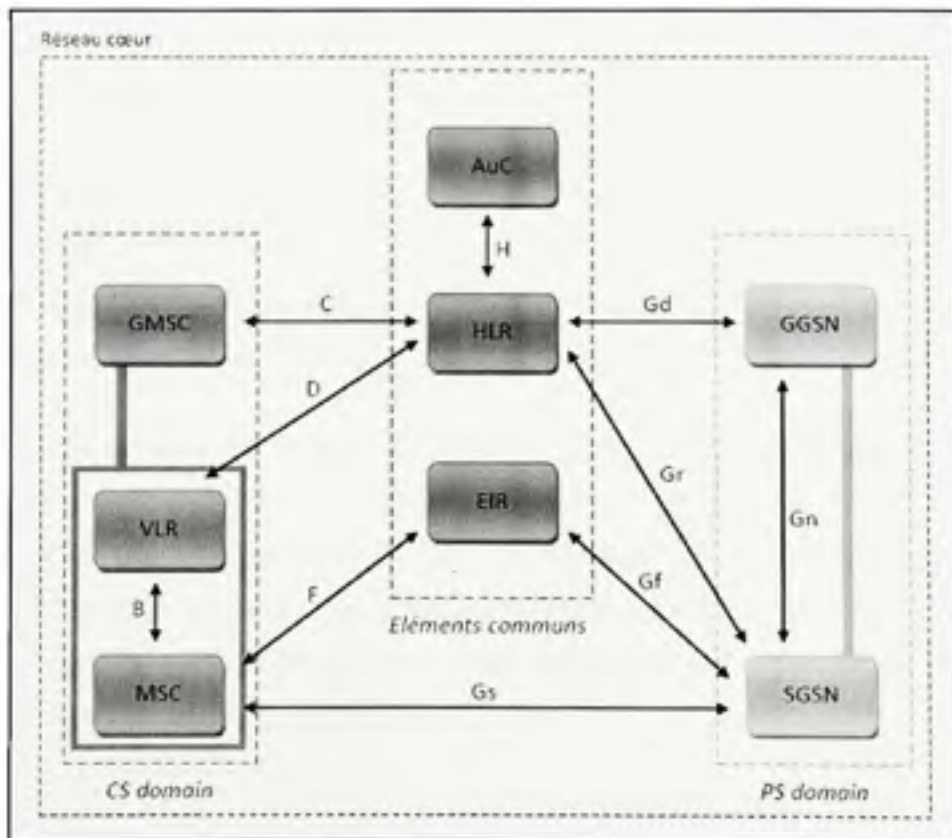


Figure 2.5 : Le réseau cœur de l'UMTS.

Tirée de http://www-igm.univ-mlv.fr/~dr/XPOSE2006/eric_meurisse/umts.php
(Consulté le 15 Janvier 2009)

Les éléments du réseau cœur sont répartis en 3 groupes, comme l'illustre la Figure 2.5. Le domaine CS comprend le MSC, le GMSC et le VLR. Le domaine PS comprend le SGSN et le GGSN. Le dernier groupe comprend les éléments communs aux domaines PS et CS, le HLR, l'EIR, et l'AuC.

Il faut savoir que la notion de domaine est reprise dans un grand nombre de spécifications de l'UMTS. Elle permet de modéliser la notion de service dans le réseau cœur et donner la possibilité de créer ultérieurement d'autres domaines de services dans le réseau.

Les principaux composants du réseau cœur sont représentés par un groupe d'éléments communs composé de :

Le HLR (*Home Location Register*) est la base de données contenant les informations relatives à l'abonné gérées par l'opérateur. Pour chaque abonné, le HLR mémorise les informations suivantes :

- Les informations de souscription (abonnement, souscription à tel service, débit maximal autorisé, etc...).
- L'identité du mobile, ou IMSI (*International Mobile Station Identity*).
- Le numéro d'appel de l'abonné.

Le AuC (*Authentication Center*) est un élément permettant au réseau d'assurer certaines fonctions de sécurité, telles que l'authentification de l'abonné, le chiffrement de la communication. Ces 2 fonctions de sécurité sont activées au début de l'établissement de l'appel avec l'abonné. En cas d'échec d'une d'entre elles, l'appel est rejeté. L'AuC est couplé au HLR et contient pour chaque abonné une clé d'identification lui permettant d'assurer les fonctions d'authentification et de chiffrement.

L'EIR (*Equipment Identity Register*) est un équipement optionnel destiné à lutter contre le vol des terminaux mobiles. L'EIR est en fait une base de données contenant la liste des mobiles interdits (*black list*). L'identification du mobile se fait grâce à son IMEI (*International Mobile Station Equipment Identity*).

Le domaine CS comprend :

Le MSC (*Mobile-services Switching Center*) est un commutateur de données et de signalisation. Il est chargé de gérer l'établissement de la communication avec le mobile.

Le GMSC (*Gateway MSC*) est un MSC un peu particulier servant de passerelle entre le réseau UMTS et le RTCP (*Réseau Téléphonique Commuté Public*). Lorsqu'on cherche à joindre un mobile depuis un réseau extérieur à l'UMTS, l'appel passe par le GMSC, qui effectue une interrogation du HLR avant de router l'appel vers le MSC dont dépend l'abonné.

Le VLR (*Visitor Location Register*) est une base de données attachée à un ou plusieurs MSC. Le VLR est utilisé pour enregistrer les abonnés dans une zone géographique appelée LA (*Location Area*). Le VLR contient des données assez similaires à celles du HLR. Le VLR mémorise pour chaque abonné plusieurs informations telles que l'identité temporaire du mobile (pour limiter la fraude liée à l'interception et à l'utilisation frauduleuse de l'IMSI) ou la zone de localisation (LA) courante de l'abonné.

Le domaine PS comprend :

Le SGSN (*Serving GPRS Support Node*) qui joue le même rôle que le VLR, c'est à dire la localisation de l'abonné mais cette fois sur une RA (*Routing Area*).

Le GGSN (*Gateway GPRS Support Node*) a une fonction identique au GMSC pour la partie paquet du réseau, en jouant le rôle de passerelle vers les réseaux à commutation de paquets extérieurs (Internet public, un intranet privé, etc...).

2.2.8 La couche physique d'UMTS

Le réseau d'accès (UTRAN) :

L'UTRAN est le réseau d'accès de l'UMTS (UMTS Terrestrial Radio Access Network). Il est constitué d'un ou plusieurs RNCs (Radio Network Controller) dont dépendent des NodesB.

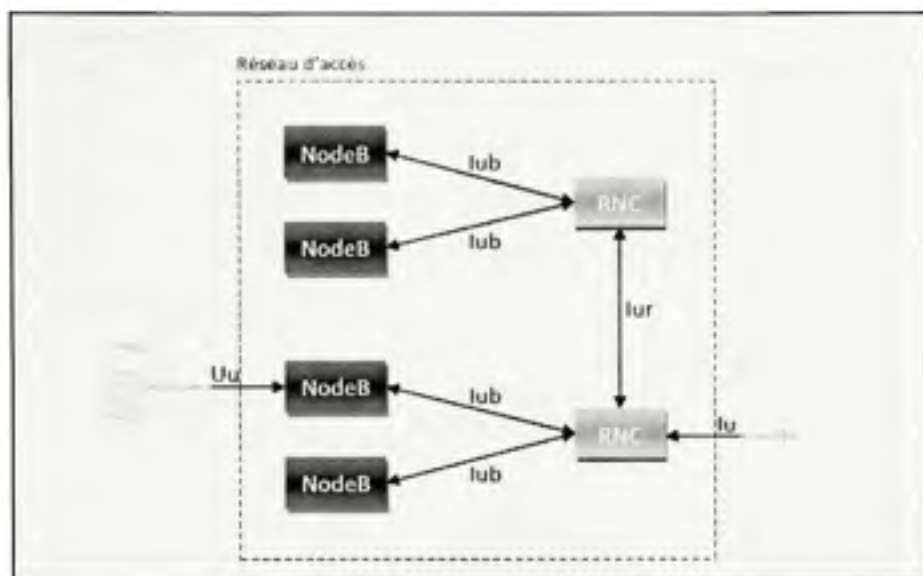


Figure 2.6 : Architecture de l'UTRAN.

Tirée de http://www-igm.univ-mlv.fr/~dr/XPOSE2006/eric_meurisse/umts.php
(Consulté le 15 Janvier 2009)

L'UTRAN est un ensemble de stations de base (nodes B) et de contrôleurs de bases (RNC). Les nodes B sont chargés en outre de gérer la macro diversité (éloignement par rapport à la BS). Le RNC a pour rôle de router les communications entre les nodes B et le réseau cœur.

La technique d'accès multiple CDMA et WCDMA :

Le concept d'accès multiple est le concept de tout système de radiocommunication mobile. Il convient de partager un ensemble limité de canaux, de telle sorte que plusieurs utilisateurs puissent y avoir accès pour communiquer simultanément. Rentabiliser au maximum cette ressource est le souhait de tout opérateur de téléphonie mobile.

Il existe trois grandes méthodes de partage des ressources : le partage en fréquence, le partage en temps et le partage par code. L'interface radio (aussi nommée interface air) de l'UMTS est basée sur le WCDMA (Wideband Code Distributed Multiple Access), qui elle-même se base sur le concept CDMA.

Un code PN est propre à chaque utilisateur. La séquence du code (constituée de N éléments appelés "chips") est unique pour un utilisateur donné, et constitue la clef de codage ; elle est conservée si un bit de donnée (Symbole) valait 1, inversée sinon. On appelle facteur d'étalement SF (Spreading Factor) la longueur L du code (Stallings, 2005).

Si chaque symbole a une durée T_b , on a 1 chip toutes les T_b/N secondes. Le nouveau signal modulé a un débit N fois plus grand que le signal initialement envoyé par l'utilisateur et utilisera donc une bande de fréquences N fois plus étendue.

La relation entre le débit initial et final est donc comme suite :

$$\text{Débit Chip} = \text{Débit Bit} * \text{SF} \quad (2.1)$$

Ainsi, plus SF est grand, plus le débit chip (de l'ordre de 3.84 Mcps pour le WCDMA) est grand, et plus le débit de données du canal sera élevé. Cela permet de dégager des canaux à débits variables selon les besoins des utilisateurs (bandwidth on demand).

B. Le concept du WCDMA

Le WCDMA se base largement sur le CDMA, utilisant une plus large bande passante ce qui permet d'accroître le débit. Pour optimiser les ressources radio, il propose deux modes de fonctionnement, selon le type de multiplexage (Lescuyer, 2002) :

- **FDD-WCDMA** (Frequency Division Duplex) qui utilise deux bandes passantes de 5 Mhz, l'une pour le sens montant (Aval), l'autre pour le sens descendant (Aval). Le débit maximal supporté par un seul code est de 384 kbps. Pour les services à haut débit, plusieurs codes sont nécessaires pour supporter un débit de 2 Mbps.

- **TDD-WCDMA** (Time Division Duplex) n'utilise qu'une bande passante de 5 Mhz divisée en portions de temps (time slot) ; elle est utilisée pour les deux sens. Elle comprend donc une composante AMRT (Accès Multiple à Répartition dans le Temps) fondée sur la trame GSM (qui fait appel au TDMA) en plus de la séparation par code. Ce concept offre une large gamme de débits de service en allouant plusieurs codes ou plusieurs intervalles de temps à un utilisateur. Le débit de 2 Mbps peut également être obtenu, mais des raisons techniques et complexes (dues par exemple au déplacement ou au déphasage) limitent le bon fonctionnement de ce système aux bâtiments ou aux petites cellules.

Dans un premier temps, ces deux modes ont été développés sans souci d'harmonisation, mais par la suite ils étaient plus intéressants de cohabiter dans un même terminal et dans un même service, afin de couvrir l'ensemble des services d'UMTS.

2.3 Les architectures d'interconnexion du réseau UMTS/WLAN :

L'exploitation des réseaux locaux sans fil (WLAN) comme une technologie complémentaire à des réseaux cellulaires (UMTS) ne cesse de se développer, tandis que plusieurs efforts sont axés sur la standardisation des différentes architectures d'intégration des réseaux UMTS et WLAN. Les organismes de télécommunication ont proposé deux principaux types d'architecture d'interconnexion UMTS/WLAN (3GPP, 2002a; 2002b).

2.3.1 Architecture Tight Coupling :

L'architecture tight coupling est une architecture où le réseau WLAN est considéré comme une simple cellule de réseau d'UMTS, la connexion entre les deux réseaux s'effectue généralement au niveau du SGSN ou le RAN UMTS (Radio Access Networks d'UMTS) tel que présenté dans la Figure 2.8.

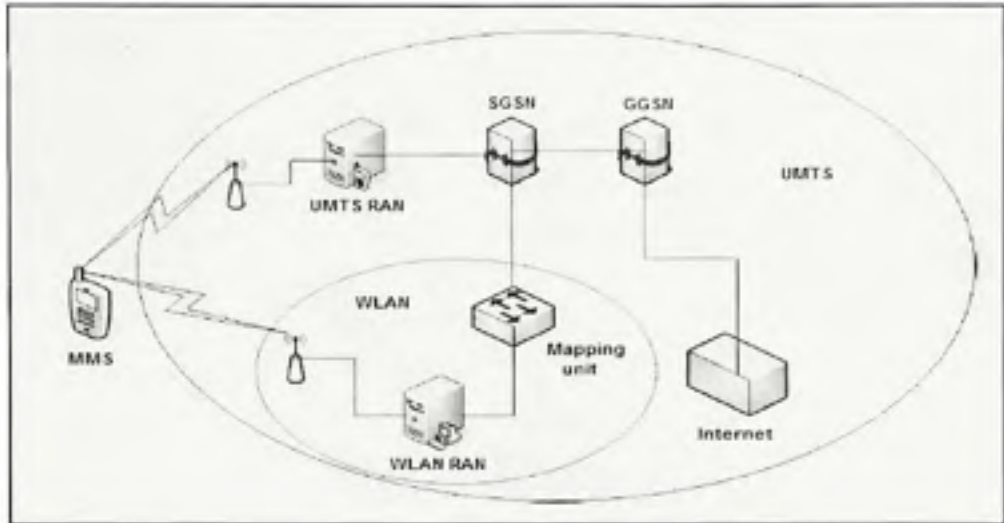


Figure 2.8 : L'architecture Tight Coupling d'interconnexion UMTS/WLAN.
Tirée de Dynamic Vertical Handover Control Algorithm for WLAN and UMTS
(2006, WCNC)

Cette architecture est très complexe et coûteuse au niveau d'interconnexion qui nécessite un autre équipement qui jouera le rôle d'une interface entre les deux réseaux ce qui va empêcher le développement indépendant des deux technologies, par contre le passage entre les deux réseaux est très rapide en raison du court chemin de signalisation lors d'un passage inter cellule (Jee Y Song, 2003).

Le majeur inconvénient de cette architecture est que le réseau WLAN dépendant du réseau UMTS. Alors la défektivité du réseau UMTS implique la perte de connexion Internet au réseau WLAN. La Figure 2.9 illustre l'architecture tight coupling avec les différentes couches protocolaires.

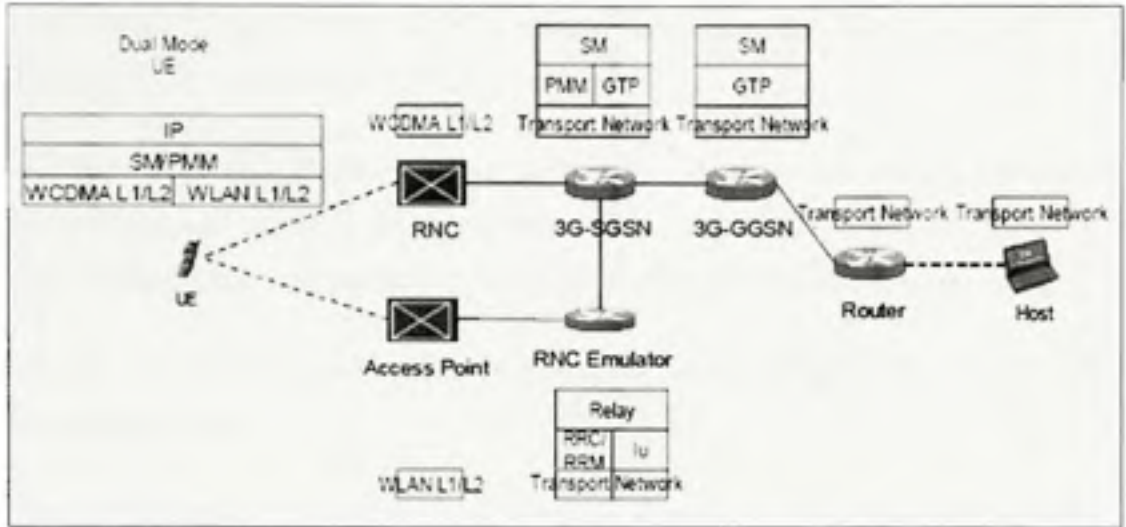


Figure 2.9 : L'architecture Tight Coupling avec les couches associées.
Tirée de WLAN-3G Interworking for Future High Data Rate Networks (2006, MSc)

2.3.2 Architecture Loose Coupling :

- Dans l'architecture loose coupling, les deux réseaux sont indépendants et l'interconnexion se fait dans un réseau IP extérieur tel que présenté sur la figure 2.10.

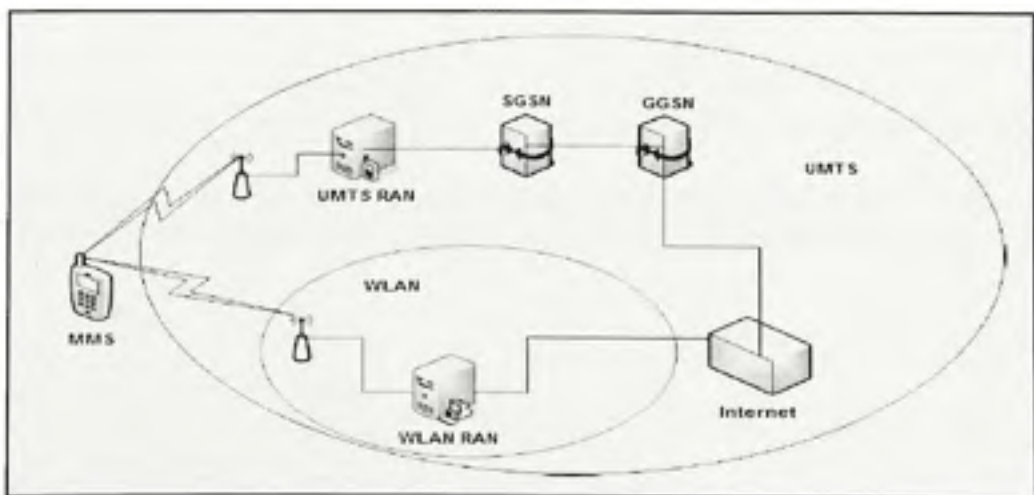


Figure 2.10 : L'architecture Loose Coupling d'interconnexion UMTS/WLAN.
Adaptée de Dynamic Vertical Handover Control Algorithm for WLAN and UMTS.
(2006, WCNC)

Les réseaux UMTS et WLAN sont indépendants et donc la défectuosité du réseau UMTS n'influe pas sur la connexion WLAN.

L'indépendance entre les deux réseaux UMTS et WLAN rend l'architecture plus simple et moins coûteuse par contre le passage entre les deux réseaux est très lent à cause du long chemin de signalisation qui passera par le réseau Internet (Jee Y Song, 2003).

La figure suivante illustre l'architecture loose coupling avec les différentes couches protocolaires utilisées :

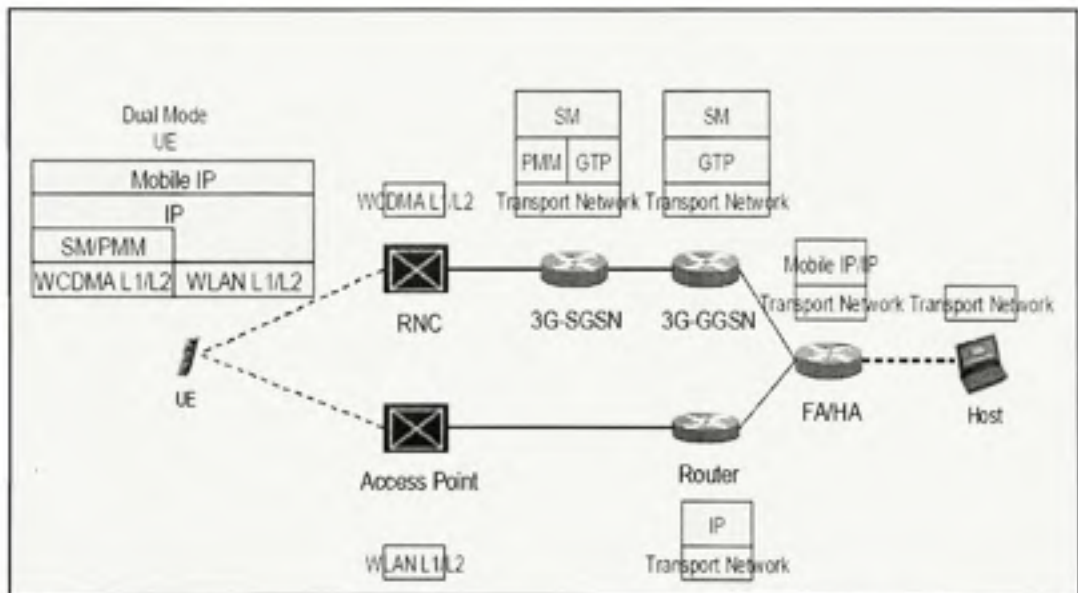


Figure 2.11 : L'IP Mobile dans une architecture Loose coupling UMTS/WLAN.
Tirée de WLAN-3G Interworking for Future High Data Rate Networks (2006, MSc)

2.4 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons rappelé les différents standards des technologies de réseau local sans fil WLAN et réseau cellulaire UMTS couramment utilisées dans les communications sans fil. Ainsi, les architectures d'interconnexion des deux réseaux UMTS et WLAN ont été exposés. La gestion de mobilité dans le réseau hétérogène UMTS/WLAN sera abordée en détails dans le chapitre suivant dans le quel nous allons présenter différents étapes de handoff et ainsi la présentation de quelques algorithmes de handoff vertical associés au réseau hétérogène UMTS/WLAN à savoir les algorithmes RSS, SNR et SINR.

CHAPITRE 3

MOBILITÉ ET HANDOFF DANS LE RÉSEAU WLAN/UMTS

3.1 Introduction :

Le support de la mobilité dans le réseau UMTS/WLAN est primordial afin d'offrir une meilleure qualité de service aux terminaux mobiles désirant garder une connexion constante au réseau, tout en se déplaçant librement. Ainsi que le passage entre les deux réseaux (Handoff) devrait être exécuté dans un délai minimum et sans interruption de service.

3.2 La gestion de mobilité :

La gestion de la mobilité est un aspect important de ces architectures hétérogènes, où le principal objectif est d'intégrer WLAN et UMTS de manière à assurer la continuité de service durant le handoff.

3.2.1 Le handoff :

Le handoff ou le passage inter cellule est le point sensible dans cette convergence. Cette transition est censée d'être homogène et transparente aux utilisateurs et donc le terminal mobile devant être auto configuré de nouveaux paramètres sans l'intervention de l'utilisateur.

Le transfert inter cellule peut être soit :

- **Handoff horizontal** : dans le cas où le réseau est changé, mais pas la technologie, par exemple un transfert à partir d'une cellule WLAN1 à un WLAN2.
- **Handoff vertical** : dans le cas d'un changement de réseau ainsi que le type de technologie, par exemple un transfert d'une cellule WLAN à une cellule UMTS (Stallings, 2005; Tanenbaum, 2003).

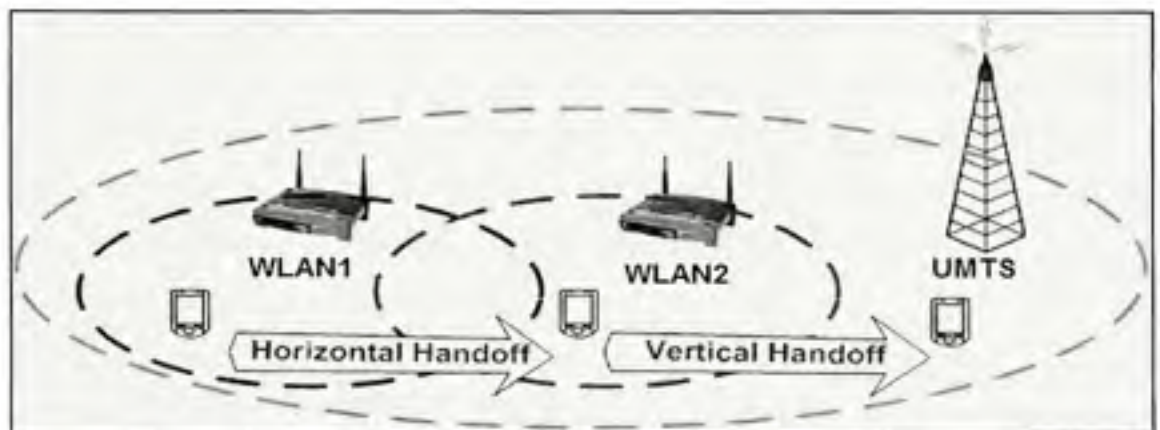


Figure 3.1 : Le handoff horizontal et vertical.

Tirée de <http://www.cs.ucla.edu/ST/research.html> (Consulté le 20 Septembre 2009)

Un terminal mobile avec deux différentes interfaces réseaux sans fil UMTS et WLAN doit supporter un mécanisme de continuité de service durant la commutation entre les différentes technologies d'accès (WLAN à UMTS ou UMTS à WLAN), le service ne doit pas être interrompu et le temps de commutation doit être suffisamment court de façon qu'il soit transparent aux utilisateurs et applications. Cette commutation de la connexion réseau apporte non seulement le changement de l'adresse IP du réseau, mais aussi le changement d'interface réseau (Zhu, 2004). Pour résoudre le problème du changement d'adresse IP du réseau, des mécanismes de mobilité tels qu'IPv4 mobile et IPv6 mobile ont été proposés.

Le mécanisme de l'IP mobile prend en considération les nouveautés de la couche 3 (réseau). En effet l'adresse IP assure traditionnellement les deux fonctions d'identification et de localisation tandis que le principe de la mobilité est de séparer ces deux fonctions.

Lorsque le mobile se déplace, il doit changer d'adresse IP puisque celle-ci le localise dans le réseau. De ce fait, il perd son identité et n'est plus directement joignable à l'adresse connue de ses correspondants puisque l'adresse IP du mobile change et les connexions en cours sont donc rompues. Pour éviter cela, l'IP mobile permet au terminal mobile de conserver l'adresse (*home adresse*) utilisée dans son réseau d'attachement (*home network*). Par ailleurs, il acquiert une nouvelle adresse temporaire (*care-of address*) dans chaque réseau qu'il visite. Le *care-of address* est utilisé à des fins de localisation. Du point de vue de la couche réseau, le mobile communique toujours avec l'adresse temporaire sauf dans le cas où il se trouve dans le *home network* mais du point de vue des couches protocolaires supérieures, le mobile communique toujours avec son *home adresse*.

3.2.2 L'algorithme de handoff vertical:

L'algorithme de Handoff vertical devrait prendre en considération des critères pour assurer une meilleure qualité de service tels que le type de service avec une différenciation de service, puisque le trafic circulant dans le réseau hétérogène composé des deux réseaux WLAN et UMTS peut être de type trafic en temps réel tel que la voix et la vidéo ainsi qu'un trafic non temps réel dans le cas des données. Il faut établir une préférence de service étant donné que le réseau WLAN peut servir mieux le trafic non temps réel que le réseau UMTS. Par contre le trafic temps réel est mieux servi dans le réseau cellulaire que le WLAN.

En plus du type de service, l'algorithme de handoff doit aussi prendre en considération le coût d'opération, le choix d'utilisateurs, leurs mobilités et enfin l'état des réseaux UMTS et WLAN.

3.2.3 La procédure de handoff vertical:

La procédure de handoff vertical passe par trois principales phases :

A. Décision de handoff :

Durant cette phase, une décision est prise afin d'initier le handoff. La décision est basée principalement sur les mesures de la qualité de liaison. Le handoff vertical peut être classé dans l'un des classes suivantes qui diffèrent principalement dans l'initiateur et le contrôleur du processus de handoff :(Anna M Vegni, 2008; Nishith D. Tripathi, 2001)

- **Handoff contrôlé par le réseau :** (NCHO : Network-Controlled Handoff) : est l'approche typique d'opérateur pour une meilleure optimisation de ressource du réseau ainsi qu'une gestion de trafic qui préserve le meilleur niveau de QoS. Dans le cas de cette stratégie, c'est le réseau qui mesure périodiquement les métriques (dans le sens montant) et initie le processus du handoff suivant les mesures effectuées. Les avantages de cette méthode sont la signalisation réduite et la faible complexité du terminal.
- **Handoff contrôlé par le terminal mobile :**(MCHO: Mobile Terminal-Controlled Handoff) : c'est la classe de handoff la plus utilisée où le terminal mobile mesure les métriques (dans le sens descendant) pour la cellule à laquelle est connectée ainsi que pour les cellules adjacentes. Compte tenu des mesures effectuées, le mobile décide s'il doit effectuer le handoff ou non. La stratégie MCHO garantit l'établissement du handoff en un temps optimal et réduit la complexité des terminaux mobiles.
- **Handoff assisté par le terminal mobile :**(MAHO: Mobile Terminal- Assisted Handoff) : Dans ce cas, le réseau et le mobile effectuent conjointement des mesures de métriques dans le sens montant et descendant. Les mesures effectuées sur la liaison descendante par le terminal mobile sont envoyées périodiquement au réseau. La décision du handoff est prise alors par le réseau. L'avantage de cette technique est que la décision est basée sur

les mesures effectuées sur les liaisons descendantes et montantes qui permettent d'optimiser le processus de handoff.

La figure suivante illustre les différentes stratégies de handoff par rapport au délai et les informations nécessaires :

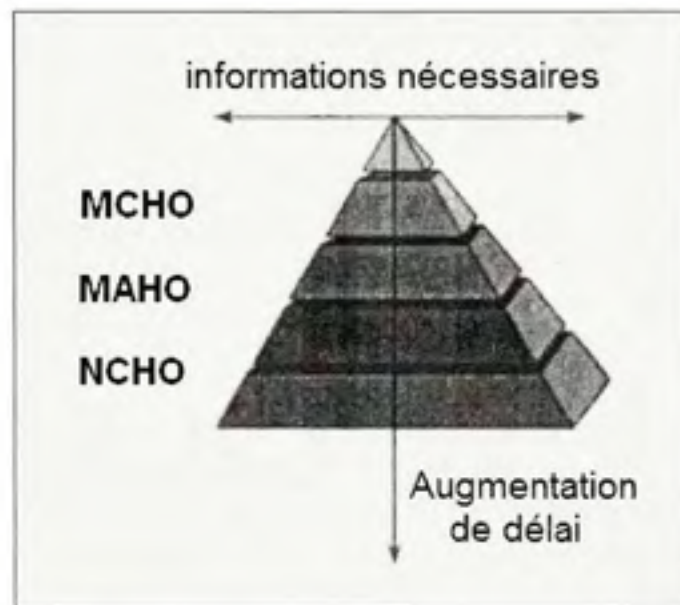


Figure 3.2 : Délais et informations nécessaires pour les classes de handoff.
Adaptée de Radio resource management in cellular systems (2001, SECS)

B. Déclenchement de handoff :

Lorsque la décision de handoff est effectuée, cette phase permet de cibler le réseau et la cellule à laquelle le handoff va s'exécuter afin de réserver les ressources nécessaires (canal, fréquences, etc...).

C. Exécution de handoff :

Dans le cas de l'exécution de handoff, on distinguera deux principales techniques inhérentes au handoff (HyangDuck Cho, 2005). L'algorithme de handoff peut être de type:

- **Hard Handoff** : dans cette technique, le mobile se déconnecte d'abord de la cellule à laquelle est connectée pour se connecter à la cellule cible.
- **Soft Handoff** : dans ce cas, le mobile reste connecté à l'ancienne cellule et se déconnecte jusqu'à après avoir été connecté à la cellule cible.

La figure suivante présente le débit reçu pour les techniques hard et soft handoff.

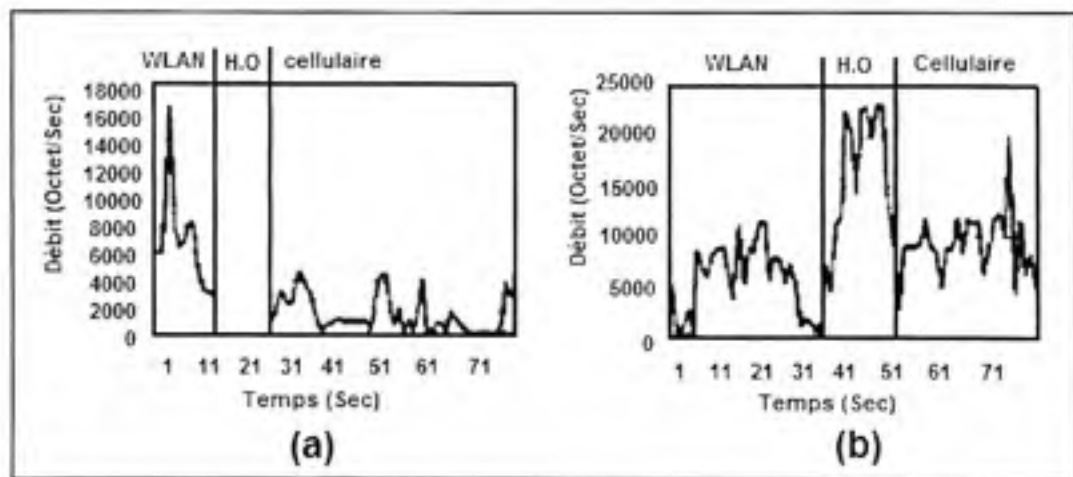


Figure 3.3 : Le débit reçu pour le hard (a) et le soft handoff (b).

Tirée de A study on the MCHO method in Hard handover and Soft handover between WLAN and CDMA (2005, ICCE)

On remarque dans la Figure 3.3, le terminal mobile dans le cas du hard handoff possède une durée de blocage pendant le transfert qui représente le temps où le terminal se déconnecte de l'ancienne cellule jusqu'à ce qu'il se connecte à la nouvelle cellule, cette période peut avoir des effets catastrophiques sur la QoS. Tandis que le soft handoff ne possède pas cette période et on remarque que les données reçues sont doublées puisque les mêmes données prennent deux chemins différents et donc les ressources utilisées sont doublées (HyangDuck Cho, 2005).

3.3 Les algorithmes de handoff vertical existants

En effet, plusieurs pistes de recherches ont été développées juste sur la maximisation du débit à travers les deux réseaux par contre la minimisation du nombre de handoff durant un appel ou transfert de données joue un rôle très important afin d'éviter tout handoff inutile et d'éliminer l'effet ping-pong qui dégrade la QoS.

A ce titre, on présentera ci-dessous quelques algorithmes de handoff vertical qui se caractérise par la décision en se basant sur différentes métriques tels que : la préférence d'utilisateur, le coût, les ressources des deux réseaux, la puissance du signal, la vitesse et enfin le déplacement du mobile.

3.3.1 Handoff vertical basé sur la puissance du signal (RSS) :

C'est l'algorithme traditionnel le plus utilisé pour gérer le handoff dans le réseau cellulaire. La décision du transfert est basée principalement sur la puissance du signal (RSS: Received Signal Strength) dans la région frontalière de deux cellules. L'utilisateur mobile déclenche le transfert vers la station de base (B) qui offre un meilleur signal en termes de puissance (exemple on choisit B_{nouveau} , Si $RSS_{\text{nouveau}} > RSS_{\text{ancien}}$).

En effet, plusieurs stratégies de handoff ont été définies en se basant sur la métrique de puissance du signal reçu (RSS) comme un indicateur de disponibilité de service à partir d'un point d'accès. Voici quelques algorithmes proposés dans les recherches précédentes (Pollhi, 1996).

- **RSS:** Le handoff est déclenché dans le cas où la puissance du signal reçu de l'antenne candidate est supérieure à celle de l'antenne attachée présentement: ($RSS_{\text{nouveau}} > RSS_{\text{actuel}}$).

- **RSS avec un seuil:** Le handoff est déclenché si la puissance du signal reçu de l'antenne candidate est supérieure à celle de l'antenne attaché actuellement et la puissance de cette dernière est inférieure au seuil minimum T ($RSS_{\text{nouveau}} > RSS_{\text{actuel}}$ et $RSS_{\text{actuel}} < T$).
- **RSS avec latence :** Le handoff est déclenché si la puissance du signal reçu de l'antenne candidate est supérieure à celle de l'antenne attachée actuellement avec une marge prédéfinie H ($RSS_{\text{nouveau}} > RSS_{\text{actuel}} + H$).
- **Un temporisateur de déclenchement :** On peut ajouter à l'un des précédents algorithmes un temporisateur (Timer) qui joue le rôle d'une horloge qui commence quand une des conditions ci-dessus est satisfaisante, et donc le handoff est déclenché si la condition est satisfaisante pour une durée prédéfinie.

Le plus grand inconvénient d'algorithme RSS est le nombre non nécessaire de handoff engendré par, l'affaiblissement de propagation (Path Loss) et l'évanouissement de signal causé par les obstacles (shadow fading) ainsi que les multi-trajets (Multipath) tel que présenté sur la Figure 3.4.

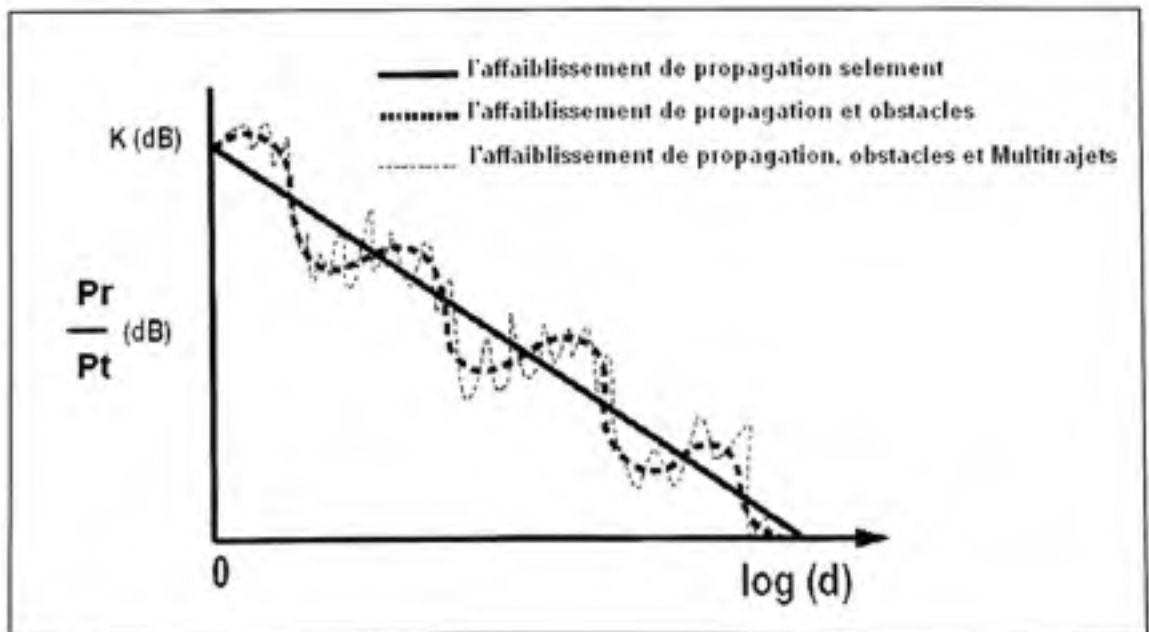


Figure 3.4 : Détérioration du signal en fonction de la distance.

Adaptée de Vertical handoff between 3G networks and WLANs (2005, MSc)

D'autres recherches dans (Hongyan Bing, 2003; Jiping Lv, 2008), ont essayé d'éviter les inconvénients d'algorithme RSS en combinant ce dernier avec d'autres métriques tels que la distance entre l'utilisateur mobile et l'antenne (point d'accès ou station de base) ou l'indicateur de coût de service dans les deux réseaux UMTS et WLAN.

Dans (Fang Zhu, 2006), l'utilisation du coût et/ou la vitesse de déplacement d'utilisateur mobile comme des indicateurs principaux et l'algorithme RSS comme une métrique secondaire, cette approche a fourni de meilleurs résultats en terme de débits, de coût et de probabilité de blocage.

Les algorithmes de handoff RSS combinés à d'autres métriques tels que la distance, le coût et la vitesse présentent des meilleurs résultats dans les réseaux cellulaires UMTS ou WLAN, par contre dans le cas du handoff vertical, la situation est plus complexe ainsi dans le réseau hétérogène qui inclut deux différents types de réseaux sans fil, la comparaison de puissance du signal n'est pas une métrique significative puisque la puissance du signal reçu de deux technologies différentes n'est pas du même ordre (A. H. Zahran, 2006; Kemeng Yang, 2007b). Par ailleurs, le calcul de la vitesse d'utilisateur mobile, le coût du service et la distance rendent les algorithmes beaucoup plus complexes en terme d'énergie et de délai.

3.3.2 Handoff vertical basé sur la charge du réseau (ressources) et la QoS :

D'autres recherches sont concentrées en plus des métriques précédentes sur d'autres facteurs tels que, les ressources réseau et les exigences de qualité de service des applications qui doivent être prises en considération.

Dans l'inter fonctionnement UMTS/WLAN, les ressources des deux réseaux peuvent être considérées comme des ressources partagées et la gestion de partage de ces ressources dans le réseau intégré est très importante pour une meilleure qualité de service. Quelques recherches effectuées dans (Cheng, 2007; Zhang, 2007) ont été les plus proposées qui prennent en compte les exigences de la qualité de service des applications ainsi que les

ressources réseau disponible afin d'éviter la surcharge de réseau hétérogène en appliquant une politique de contrôle d'admission qui évitera tout handoff non nécessaire ainsi la réduction de probabilité de blocage.

D'autres recherches dans (Wei Song, 2005), prennent en considération le multiservice ce qui fait que le trafic circulant dans le réseau hétérogène composé des deux réseaux WLAN et cellulaires, peut être de type trafic en temps réel tel que la voix et la vidéo ainsi qu'un trafic non temps réel dans le cas des données. Dans ce cas l'algorithme déclenche (coté réseau) le handoff suivant le type de service, en prenant en considération que le réseau WLAN peut servir mieux le trafic de type DATA (Non temps réel) que le réseau cellulaire à cause du support de liaison asymétrique où la capacité en aval est plus importante qu'en amont ce qui n'est pas valable dans le cas du réseau cellulaire, de même que pour le débit, cependant le trafic de type Voix est mieux servi dans le réseau UMTS que le WLAN.

L'avantage de ces algorithmes c'est la proposition d'une solution souple pour la sélection de réseau, qui prend en compte les ressources réseau, les exigences de la qualité de service des applications, la mobilité des utilisateurs et enfin le coût du service (Zhang, 2007).

Les principaux inconvénients de ces algorithmes étant la génération d'une charge importante de signalisation dans le réseau et les grands délais liés aux services temps réel qui nécessitent des traitements supplémentaires (Wei Song, 2005).

3.3.3 Handoff vertical basé sur connaissance du réseau UMTS/WLAN :

Cet algorithme est de type handoff aveugle (Blind Handoff) qui se base sur une connaissance a priori du réseau hétérogène. Dans (Mylène Pischella, 2006; Pischella, 2005), L'algorithme tente d'utiliser une méthode de handoff qui évite d'effectuer plusieurs mesures sur le réseau UMTS/WLAN et qui se base juste sur des mesures simples et rapides ainsi que sur une base de données de probabilité de handoff.

Le principe de cet algorithme est donc d'utiliser l'information préalable sur les réseaux et les mesures de force du signal du réseau UMTS courant, afin d'effectuer des handoffs. La probabilité d'effectuer un handoff vertical entre chaque cellule d'UMTS et WLAN dans les deux sens est stockée dans une base de données, et quand le handoff vertical devient nécessaire, l'information de base de données de probabilité de handoff est combinée avec les valeurs de puissance du signal des cellules que le terminal mobile avait mesuré lors de ces connexions ultérieures. La probabilité combinée présente la probabilité d'effectuer un handoff vers la cellule cible, et dans ce cas c'est la probabilité de handoff la plus élevée qui peut être choisie pour identifier la nouvelle cellule.

Avantage de ce type d'algorithme est la rapidité de déclenchement et décision du handoff sans nécessité de d'autres mesures sur le réseau hétérogène. Par contre, cet algorithme nécessite une période d'exploitation en vue d'établir la base de données relative aux probabilités de handoff et dans le cas où le terminal mobile se situe dans un nouveau réseau, les résultats seront complètement erronés ce qui rend l'application d'algorithme difficile est aléatoire.

3.3.4 Handoff vertical basé sur le SNR :

Cet algorithme de handoff vertical basé sur une métrique importante qui est le rapport signal sur bruit SNR (Signal to Noise Ratio), le principe est d'effectuer des mesures de SNR des différentes bornes d'accès d'UMTS et WLAN, par la suite un traitement est nécessaire afin de prendre la décision de handoff.

La handoff vertical peut être déclenché suivant la politique utilisée comme le cas pour l'algorithme RSS tels que :

- Le rapport signal sur bruit de l'antenne candidate est supérieure a celle de l'antenne attachée présentement: $(SNR_{\text{nouveau}} > SNR_{\text{actuel}})$.

- Le rapport signal sur bruit de l'antenne candidate est supérieure a celle de l'antenne attachée actuellement et la puissance de cette dernière est inférieure au seuil minimum T ($SNR_{nouveau} > SNR_{actuel}$ et $SNR_{actuel} < T$).
- Le rapport signal sur bruit reçu de l'antenne candidate est supérieure a celle de l'antenne attachée actuellement avec une marge prédéfinie H ($SNR_{nouveau} > SNR_{actuel} + H$).
- déclenchement par un temporisateur (Timer).

L'algorithme handoff basé sur SNR est avantageux par rapport à l'algorithme RSS puisque le SNR est calculé en se basant sur RSS et les caractéristiques de bruit qui fournissent ainsi une évaluation plus précise du signal efficace reçu.

Par contre dans différents réseaux, le même SNR pourrait avoir différents débits correspondants et donc une comparaison directe des valeurs de SNR causera une fausse décision de handoff. Pour résoudre le problème, un SNR adapté pourrait être utilisé comme mentionnent **Chie Ming Chou** et **ChingYao Huang** dans leur article intitulé : "Dynamic Vertical Handover Control Algorithm for WLAN and UMTS" dans la section (2.A) et tel que présenté dans la Figure 3.5.

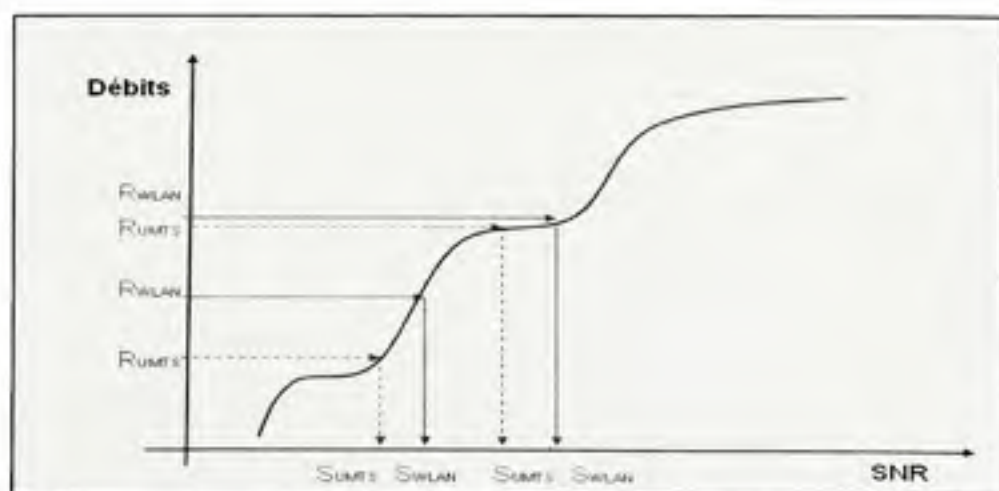


Figure 3.5 : Les débits en fonction de SNR basé sur la courbe WLAN.
Tirée de Dynamic Vertical Handover Control Algorithm for WLAN and UMTS
(2006, WCNC)

Pour pouvoir comparer deux SNR de deux réseaux différents, Le principe est basé sur la courbe du réseau WLAN qui présente le débit en fonction de SNR. Au début, des mesures réelles de SNR, le S_{UMTS} et le S_{WLAN} des deux réseaux UMTS et WLAN respectivement sont effectuées, par la suite à travers ces mesures les débits correspondants R_{UMTS} et R_{WLAN} peuvent être déduits.

La courbe de performance WLAN dans la figure 3.6 sera utilisée par un mappage pour trouver des nouvelles valeurs SNR adaptés qui peuvent être comparés afin de prendre des décisions corrects de handoff (Chie Ming Chou, 2006).

Avec cette technique, l'algorithme est très puissant et permet d'atteindre des bon résultats surtout par rapport au nombre de handoff (éviter tout handoff non nécessaire) par contre par rapport à la maximisation des débits, celui-ci n'est pas optimale puisque la métrique SNR ne permet pas d'avoir les vrais valeurs des débits reçus (Kemeng Yang, 2007b).

3.3.5 Handoff vertical basé sur le SINR :

L'algorithme basé sur la métrique SINR (Signal to Interference and Noise Ratio), tel que dans (Kemeng Yang, 2007b) est parmi les meilleures métriques à l'effet de maximiser les débits à travers le réseau hétérogène UMTS/WLAN.

La Figure 3.6 présente le signal utile et d'interférence dans le réseau hétérogène UMTS/WLAN.

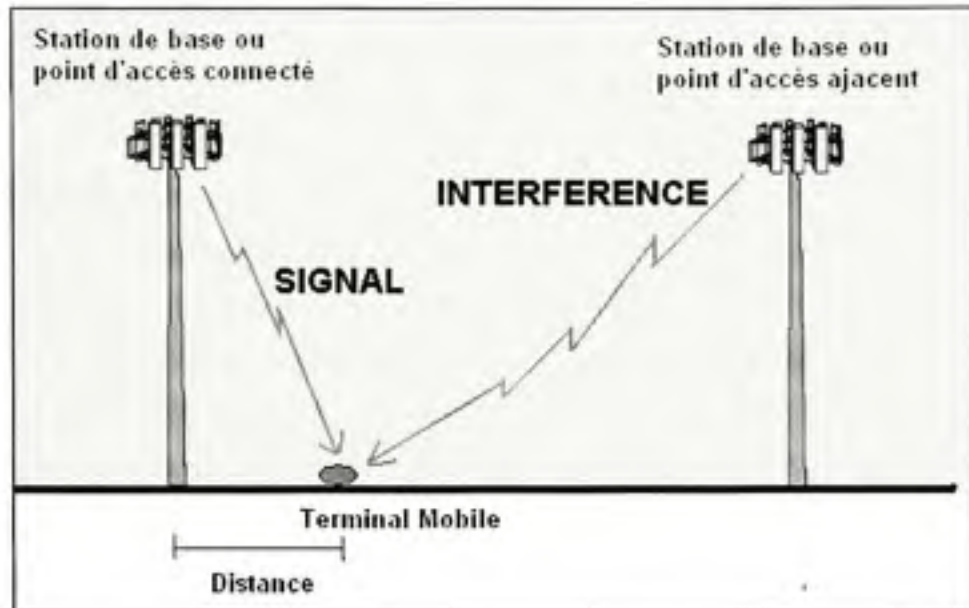


Figure 3.6 : Le signal utile et d'interférence.

Adaptée de <http://mathdemos.gcsu.edu/mathdemos/cellsir/cellsir.html>
(Consulté le 11 Janvier 2010)

Les travaux de recherche réalisés par **Kemeng Yang, Iqbal Gondal, Bin Qiu et Laurence S. Dooley** dans l'article intitulé : "Combined SINR Based Vertical Handoff Algorithm for Next Generation Heterogeneous Wireless Networks" prouvent que l'algorithme de handoff basé sur SINR est un algorithme qui combine plusieurs métriques à la fois présenté ci-dessus: (Kemeng Yang, 2007a)

1. la puissance du signal reçu (RSS)
2. le niveau du bruit dans le terminal mobile
3. le niveau d'interférence reçu par d'autres cellules adjacentes qui souvent dégrade le débit dans le réseau.
4. La distance entre le terminal mobile et l'antenne (station de base ou point d'accès) puisqu'elle est proportionnelle au SINR.

Contrairement aux algorithmes RSS et SNR l'algorithme basé sur SINR permet de fournir une évaluation plus exacte du débit reçu. Afin d'avoir la meilleure décision de handoff.

3.4 Conclusion :

Dans ce chapitre, on a présenté les différentes caractéristiques d'un algorithme de handoff et ses procédures d'exécution, on a couvert aussi la plupart des algorithmes de handoff réalisables dans les réseaux hétérogènes UMTS/WLAN qui se basent sur différents métriques principales ou combinées. Ils incluent les techniques de handoff basées sur la puissance du signal reçu (RSS) et/ou la vitesse du mobile, la distance, le coût ...etc. on a vu aussi le handoff basé sur la qualité de service pour les applications du terminal mobile et la charge du réseau ainsi que le handoff basé sur le rapport signal sur bruit (SNR) qui offre des performances assez significatives au niveau du débit et le nombre de handoff, on a vu aussi l'algorithme de handoff basé sur SINR qui prend en considération les interférences générées par les cellules adjacentes ce qui lui permet d'atteindre une meilleure performance pour maximiser le débit avec une complexité plus avantageuse.

Notre algorithme de handoff proposé sera abordé en détails dans le chapitre suivant dans le quel nous allons préciser notre contexte d'application et ainsi que la modélisation du problème posé dans notre cas. Une étude des caractéristiques et propriétés de cet algorithme sera aussi donnée afin de conclure ces performances ainsi que les limitations de notre proposition.

CHAPITRE 4

ALGORITHME DE HANDOFF PROPOSÉ ET SA PERFORMANCE

4.1 Introduction :

Ce présent chapitre est consacré aux propriétés et aux caractéristiques de l'algorithme de handoff proposé, Nous avons jugé qu'avant d'implémenter un algorithme de handoff vertical, l'évaluation de sa performance s'avèrent nécessaires. La méthode la plus judicieuse pour effectuer cette évaluation est l'approche analytique, où tous les paramètres sont calculés rigoureusement en adoptant une démarche mathématique. Toutefois, cette approche n'est souvent pas privilégiée en raison de sa complexité. Elle demeure par contre assez bien adaptée pour des modèles mathématiques simplifiés qui sont généralement loin de la réalité physique. La simulation est alors un recours efficace qui épargne aux concepteurs la manipulation de formules mathématiques, afin de prêter attention qu'aux résultats.

Les performances d'un algorithme de handoff sont surtout évaluées par son aptitude à résister à différentes perturbations, c'est-à-dire à assurer un nombre de handoff aussi faible que possible, la réduction de paquets perdus, et à fournir un maximum débit. Pour pouvoir comparer les différents algorithmes étudiés, nous allons donc avoir recours à des simulations de mobilité et d'échange de données. Ces simulations ont été réalisées sur l'environnement MatLab version 7.5. Les tests ont été effectués sur une machine dotée d'un processeur AMD Athlon, 1.80 GHz.

4.2 Caractéristiques de la technique de handoff proposée

Pour la simplicité d'implémentation sur les terminaux mobiles et le délai minimal d'établissement de handoff, l'algorithme de handoff proposé est contrôlé par le terminal mobile et donc l'algorithme est de type MCHO (Mobile Terminal controlled Handoff).

4.2.1 Condition de déclenchement :

Différemment des algorithmes traditionnels basés sur RSS et SNR, le déclenchement de notre algorithme de handoff prend en considération le rapport reçu SINR en dB avec une latence (H) et un temporisateur (ΔT) tels que présentés dans (1) et (2) :

Pour le handoff en aval (UMTS vers WLAN) :

$$SINR_{WLAN} - SINR_{UMTS} > H \quad \text{pour une durée } \Delta T_{aval} \quad (4.1)$$

Pour le handoff en amont (WLAN vers UMTS) :

$$SINR_{WLAN} - SINR_{UMTS} < H \quad \text{pour une durée } \Delta T_{amont} \quad (4.2)$$

Avec H : la marge définit en dB suivant le type de service. (Temps réel ou non temps réel).
 ΔT_{aval} , ΔT_{amont} : les périodes durant lesquelles les équations devront être vérifiées pour pouvoir déclencher le handoff vertical.

A travers les équations (1) et (2), l'algorithme peut prendre la bonne décision du Handoff qui va permettre d'atteindre des débits plus élevés en aval ainsi que la minimisation du nombre de handoff effectués.

4.2.2 Mesure du rapport SINR :

La stratégie de l'algorithme de handoff vertical proposé est basée sur le rapport reçu SINR (*Signal to Interference Noise Ratio*) des deux différents accès aux réseaux (UMTS et WLAN) comme un critère principal de décision de Handoff.

Tel que décrit dans (Kemeng Yang, 2007b), les rapports reçus SINR des deux différents réseaux est calculé comme suite :

Pour le réseau UMTS :

$$SINR_{BSj,i} = \frac{G_{BSj,i} P_{BSj}}{P_B + \sum_{k \in BS} (G_{BSk,i} P_{BSk}) - G_{BSj,i} P_{BSj}} \quad (4.3)$$

Avec : P_B : La puissance de bruit au niveau du terminal mobile

P_{BSk} : La puissance totale transmis par la station de base BSk

$P_{BSj,i}$: La puissance transmis par la station de base BSj au terminal mobile (i)

$G_{BSj,i}$: Le gain du canal entre la station de base BSj et le terminal mobile

Pour le réseau WLAN :

$$SINR_{APj,i} = \frac{G_{APj,i} P_{APj}}{P_B + \sum_{\substack{k \in AP \\ k \neq j}} G_{APk,i} P_{APk}} \quad (4.4)$$

Avec :

P_{APj} : La puissance de transmission du point d'accès APj

$G_{APj,i}$: Gain du canal entre le point d'accès APj et le terminal mobile (i)

Comme expliqué dans le chapitre précédent, la comparaison entre deux métriques de deux différents réseaux peut engendrer des fausses décisions à cause des natures des réseaux UMTS et WLAN. Afin d'éviter ce problème, on a utilisé dans notre algorithme un SINR adapté en se basant sur les performances du réseau WLAN.

4.2.3 Estimation des débits :

Afin d'atteindre des débits les plus élevés, l'algorithme de handoff nécessite une estimation du débit reçu des deux réseaux, pour ce faire, l'algorithme se base sur la formule de capacité de Shannon. Les débits maximaux peuvent être calculés en fonction des bandes passantes et les rapports SINR mesurés comme suite :

$$R_{UMTS} = W_{UMTS} \log_2 \left(1 + \frac{SINR_{UMTS}}{\Gamma_{UMTS}} \right) \quad (4.5)$$

$$R_{WLAN} = W_{WLAN} \log_2 \left(1 + \frac{SINR_{WLAN}}{\Gamma_{WLAN}} \right) \quad (4.6)$$

Avec : R_{WLAN} , $SINR_{WLAN}$ et R_{UMTS} , $SINR_{UMTS}$ les débits maximaux reçus et les rapports SINR des réseaux WLAN et UMTS respectivement.

W_{UMTS} , W_{WLAN} : les bandes passantes respectivement des réseaux UMTS et WLAN ($W_{WLAN} = 1\text{MHz}$, $W_{UMTS} = 5\text{MHz}$).

Γ_{UMTS} , Γ_{WLAN} : la différence d'encodage QAM avec la capacité du canal et le gain du codage pour les réseaux UMTS et WLAN ($\Gamma_{UMTS} = 16\text{dB}$, $\Gamma_{WLAN} = 3\text{dB}$).

4.2.4 La latence :

En effet, l'algorithme de handoff à son tour, doit prendre en considération le type de service (temps réel ou non temps réel) pour pouvoir offrir une meilleure qualité de service, par exemple maximiser le débit dans le cas de service non temps réel tel que les données et minimiser le nombre de handoff pour les services temps réel tel que vidéo sur demande.

Pour ce faire, la marge H est calculée dynamiquement en fonction de type de service comme suite :

$$H = \alpha - m \times \left(\frac{R_{WLAN}}{R_{UMTS}} \right)_{dB} + n \times \beta + k \times \left(1 + \frac{\Delta T_{amont}}{\Delta} \right)_{dB} \quad (4.7)$$

Avec α et β : coefficients pour ajustement de la marge H.

Le service non temps réel : $m=1, n=0$.

Le service temps réel : $m=0, n=1$.

$k=0$ pour handoff en aval (UMTS vers WLAN)

$k=1$ pour handoff en amont (WLAN vers UMTS).

Pour les services non-temps réel, les paquets viennent brusquement et ne sont pas sensibles aux délais. Et donc dans ce cas, le débit de transmission devient la métrique de décision la plus prioritaire pour le handoff. D'autre part, pour les services temps réel, les paquets sont très sensible au retard. La dégradation de performances peut être causée par le délai de handoff qui doit être pris en considération. Dans le handoff en amont puisque le WLAN a une petite couverture, la connectivité continue devient un handicap qui doit être pris en considération afin de garantir une meilleur QoS.

4.2.5 Le temporisateur :

En plus des objectifs visés à savoir l'atteinte des débits plus élevés, l'algorithme de Handoff vertical devra aussi minimiser le nombre non nécessaire de Handoff entre les deux réseaux UMTS et WLAN pour ce faire, l'idée de base est de comparer la performance des débits avant d'effectuer le Handoff et ceci afin d'exécuter juste les transferts qui engendrent pas un effet ping-pong. Un handoff engendre un effet ping-pong si le débit reçu depuis la décision

de handoff jusqu'au retour au même réseau, est inférieur ou égal au débit dans le cas du non handoff tel que illustrer sur la Figure 4.1.

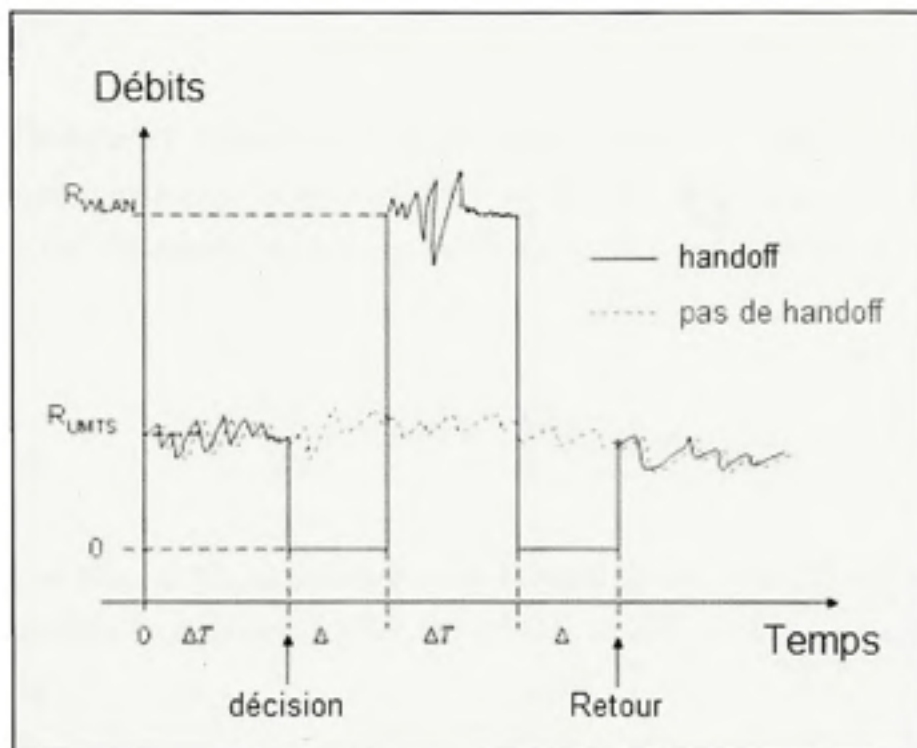


Figure 4.1 : L'effet ping-pong.

Tirée de Dynamic Vertical Handover Control Algorithm for WLAN and UMTS (2006, WCNC)

En supposant que les débits dans les deux réseaux sont stables. Dans le cas de la ligne continue, lorsque le handoff se produit, le terminal mobile peut bénéficier du débit de réseau WLAN pendant au moins ΔT secondes (Delta T), et il va perdre également le débit du réseau UMTS pendant 2Δ secondes (2 Delta).

Le ΔT (Delta T) est la durée sur laquelle la décision du déclenchement du Handoff se base pour s'exécuter, et Δ (Delta) représente le temps de traitement du Handoff (lors d'un Handoff, aucun débit ne peut être acquis).

En effet, si la durée ΔT (Delta T) est assez grande pour compenser la perte du débit durant la période 2Δ , alors nous pensons que ce Handoff est favorable (le Débit après le Handoff est supérieure). En conséquence, on peut vérifier l'équation (8) et obtenir la valeur du temps ΔT (Delta T).

$$\int_{\Delta+\Delta T}^{\Delta+2\Delta T} R_{WLAN}(t)dt > \int_{\Delta T}^{2\Delta+2\Delta T} R_{UMTS}(t)dt \quad (4.8)$$

Ainsi donc les ΔT_{aval} et ΔT_{amont} qui représentent le temps de déclenchement dans le sens aval (UMTS vers WLAN) et amont (WLAN vers UMTS) respectivement peuvent être calculés comme suit :

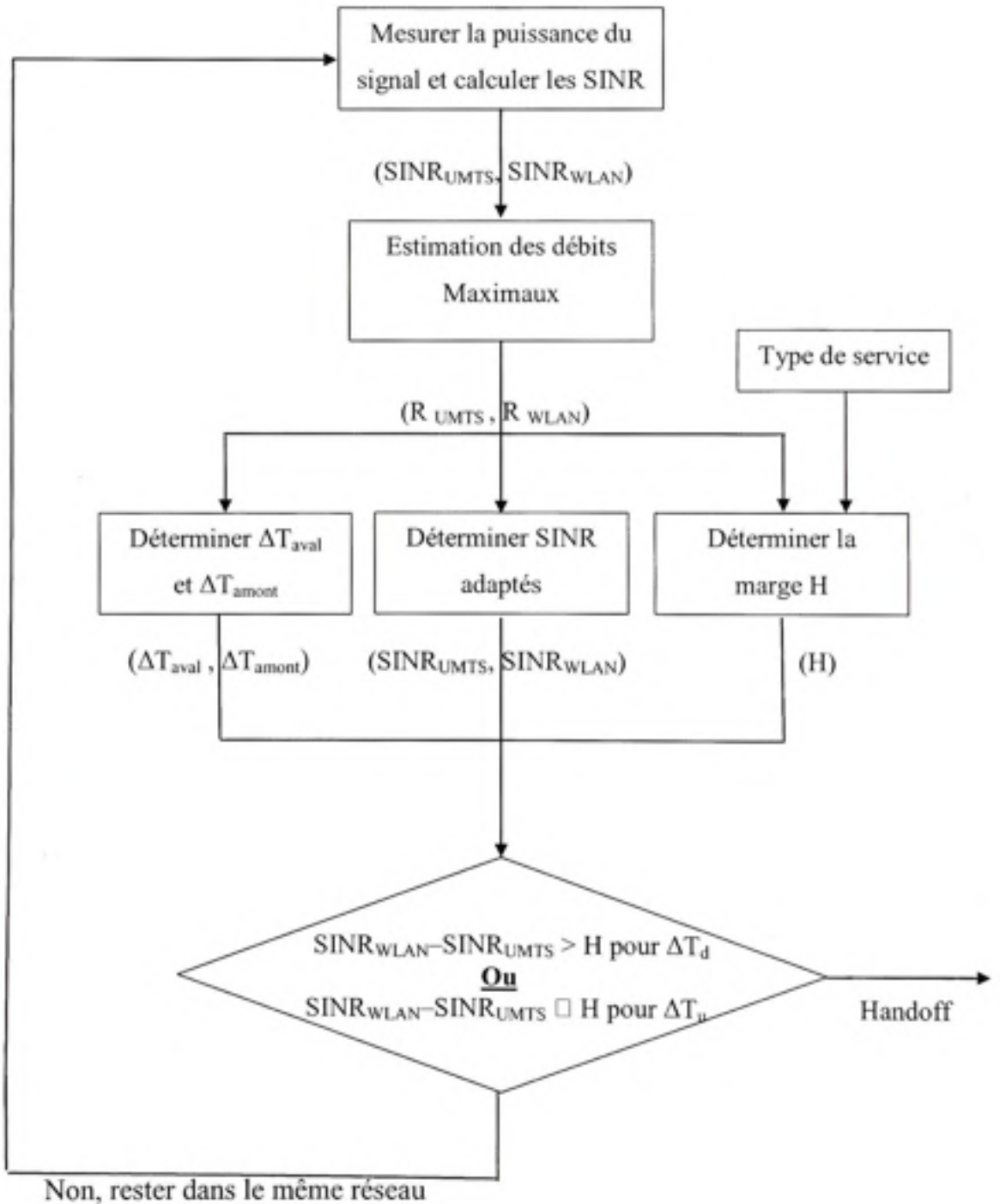
$$\Delta T_{aval} \geq \frac{2\Delta}{r-1} \quad \text{et} \quad \Delta T_{amont} \geq \frac{2\Delta}{1-\frac{1}{r}} \quad \text{avec} \quad r = \frac{R_{WLAN}}{R_{UMTS}} \quad (4.9)$$

Avec : Δ est la durée d'exécution de handoff et les débits R_{WLAN} et R_{UMTS} sont supposés stables durant cette période.

En effet, les temps de déclenchement ΔT (ΔT_{aval} ou ΔT_{amont}) sont des périodes dynamiques qui se calculent à chaque période suivant les nouvelles mesures SINR des deux réseaux.

4.3 Algorithme de décision proposé

L'algorithme de handoff vertical à implémenter est comme suite :



4.4 Simulation et performance d'algorithme Handoff proposé :

Cette section est consacrée à l'analyse par le modèle de simulation des différents mécanismes que nous avons conçus. Cette analyse nous permettra d'effectuer une vérification formelle de notre algorithme afin de nous assurer de sa fiabilité et de la cohérence de ses fonctionnalités. Nous pourrions également vérifier que le comportement d'algorithme est bien conforme à celui attendu et qu'il possède bien les propriétés prévues dans les spécifications. Cependant, avant de commencer cette analyse, intéressons-nous à l'environnement de simulation et le modèle utilisé.

4.4.1 Contexte de simulation (Modèle de simulation) :

On s'intéresse donc, à la mobilité au réseau UMTS/WLAN, dont l'architecture d'interconnexion est de type Tight coupling où il s'agit d'interconnecter les deux réseaux UMTS et WLAN au niveau de RNC (*Radio Network Controller*) d'UMTS. Ainsi que le passage entre les deux réseaux (Handoff) qui devrait être exécuté dans un délai minimum et sans interruption de service.

Pour analyser l'aspect critique qui concerne la dégradation de la qualité de service (QoS) au niveau des terminaux mobiles du fait en particulier de l'abaissement du débit qui devrait être maintenue et réduire le taux de paquets perdus afin de conserver les performances des applications d'utilisateurs, le terminal mobile possède deux interfaces réseau. La première pour le réseau WLAN 802.11 et la deuxième pour le réseau cellulaire UMTS. Le terminal change d'interface suivant l'algorithme de handoff proposé. L'interface réseau par défaut est l'interface du réseau cellulaire UMTS.

Paramètres de simulation :

Dans cette partie, nous allons présenter les paramètres de nos simulations : le modèle d'environnement, la propagation du signal radio, la mobilité du terminal et les propriétés du trafic.

Description du modèle :

Afin de simuler sur un environnement inspiré de la réalité, un environnement outdoor a été imaginé pour faire l'objet de notre cadre expérimental.

Notre modèle de simulation est composé d'un terrain de $2 \times 2 \text{Km}$ où le terminal mobile peut se déplacer dans un carré de $1 \times 1 \text{Km}$ centré sur ce terrain.

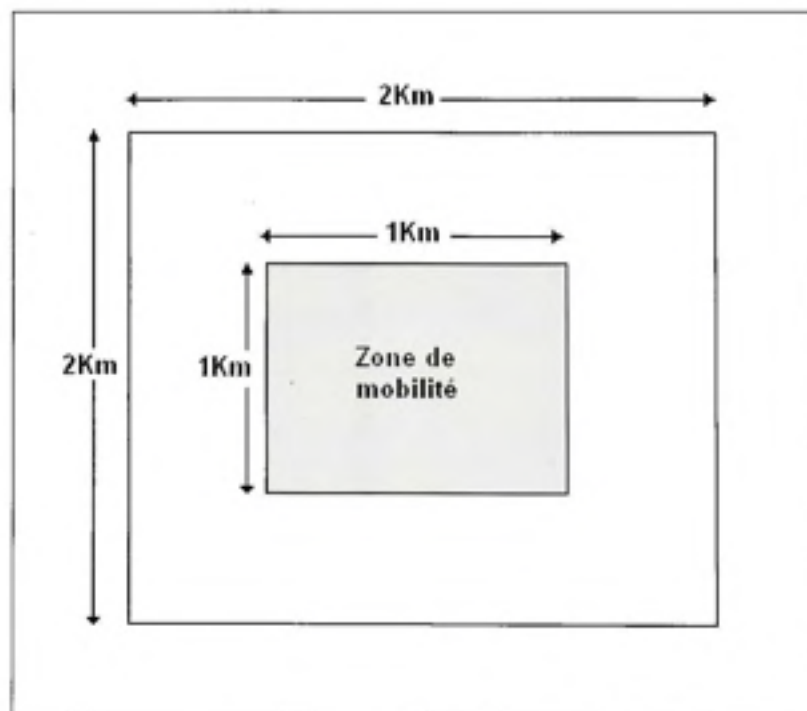


Figure 4.2 : Terrain de simulation.

Le terrain de simulation est composé des éléments suivants :

- 5 cellules de réseau UMTS qui couvrent toute la zone de mobilité. Le rayon d'une cellule UMTS est 600 mètres.
- 20 cellules de réseau WLAN, distribuées aléatoirement sur la zone de mobilité. Le rayon d'une cellule WLAN est 120 mètres.

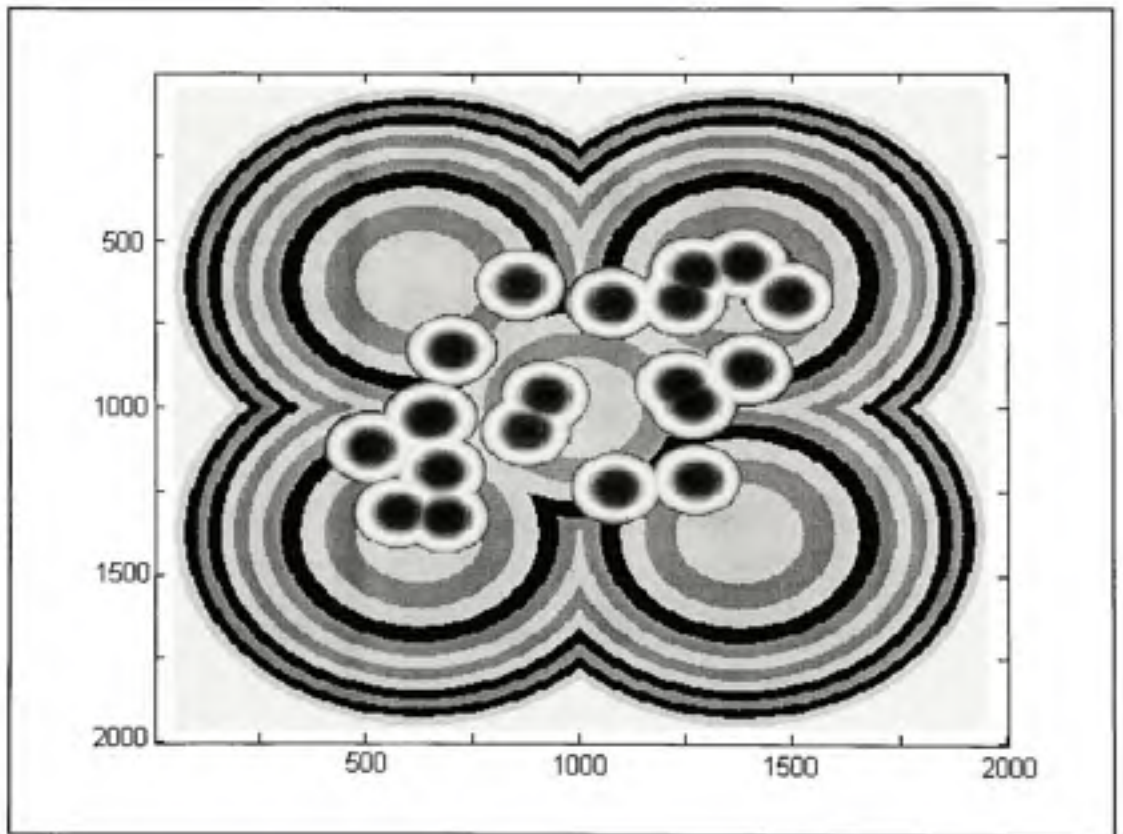


Figure 4.3 : Carte du réseau hétérogène.

Modèle de propagation :

Le modèle de propagation utilisé est un modèle pour des zones outdoor, avec un affaiblissement de puissance :

$$\text{Pathloss} = 32.4 + 20 \log (F) + 20 \log (D) \quad (4.10)$$

Avec : F : la fréquence (Mhz), D : distance entre le terminal et l'antenne (Km).

Les paramètres de simulation des réseaux UMTS et WLAN sont présentés sur le tableau suivant :

Tableau 4.1 : Paramètres des réseaux UMTS et WLAN

Paramètres	UMTS	WLAN
Puissance de transmission	43dBm	30dBm
Gain de transmission	20 dB	2 dB
Gain de réception	2 dB	2 dB
Fréquence	2.2Ghz	2.4Ghz
Atténuation supplémentaire	20 dB	20 dB
sensibilité	-100dBm	-100dBm
Bande de passante	5MHz	1MHz

Les figures ci-dessous présentent la puissance reçue ainsi que le débit associé pour un terminal mobile qui traverse une cellule UMTS et WLAN respectivement.

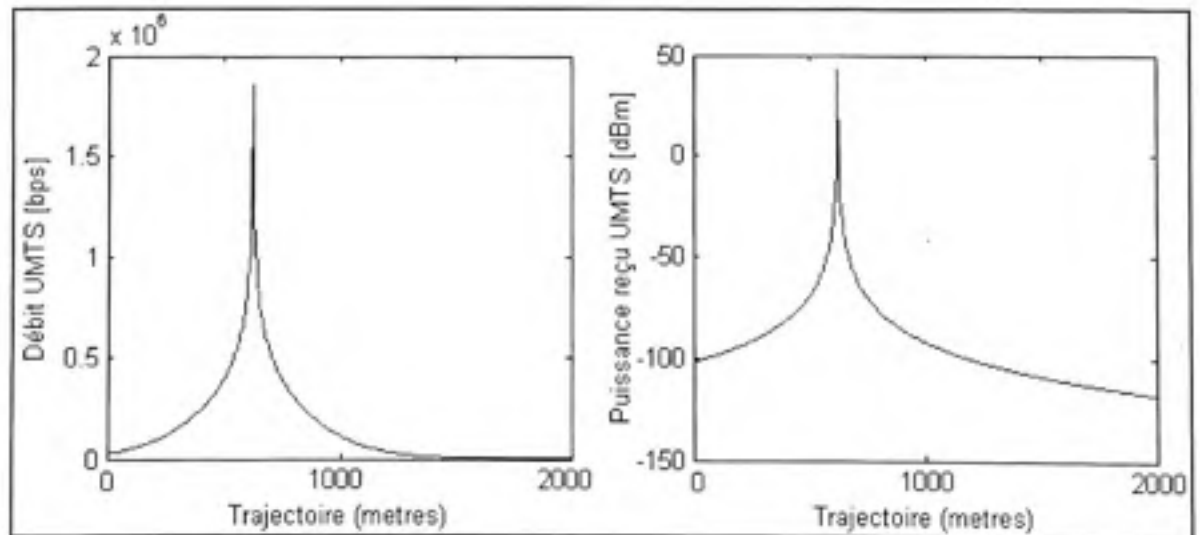


Figure 4.4 : Puissance et débit reçus d'UMTS.

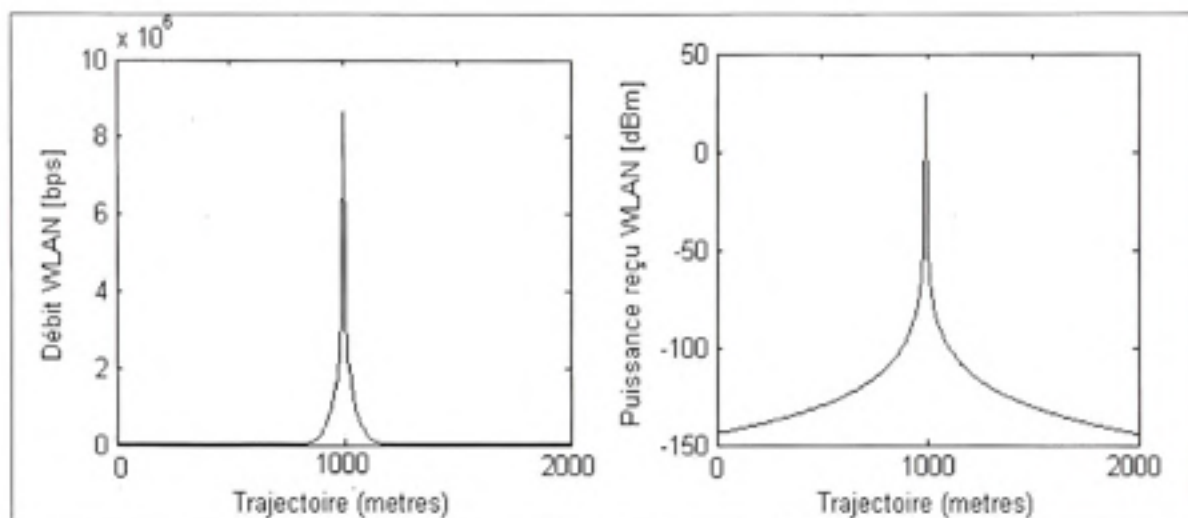


Figure 4.5 : Puissance et débit reçus de WLAN.

4.4.2 Modèle de mobilité:

Le modèle de mobilité utilisé donne le droit au terminal mobile de se déplacer aléatoirement dans la zone de mobilité avec une vitesse fixe de 0.5 mètres par seconde qui correspond à la vitesse moyenne d'une personne qui marche à pied. La trajectoire du terminal mobile est aléatoire. La figure suivante présente la carte hétérogène du réseau UMTS/WLAN avec la trajectoire du terminal mobile.

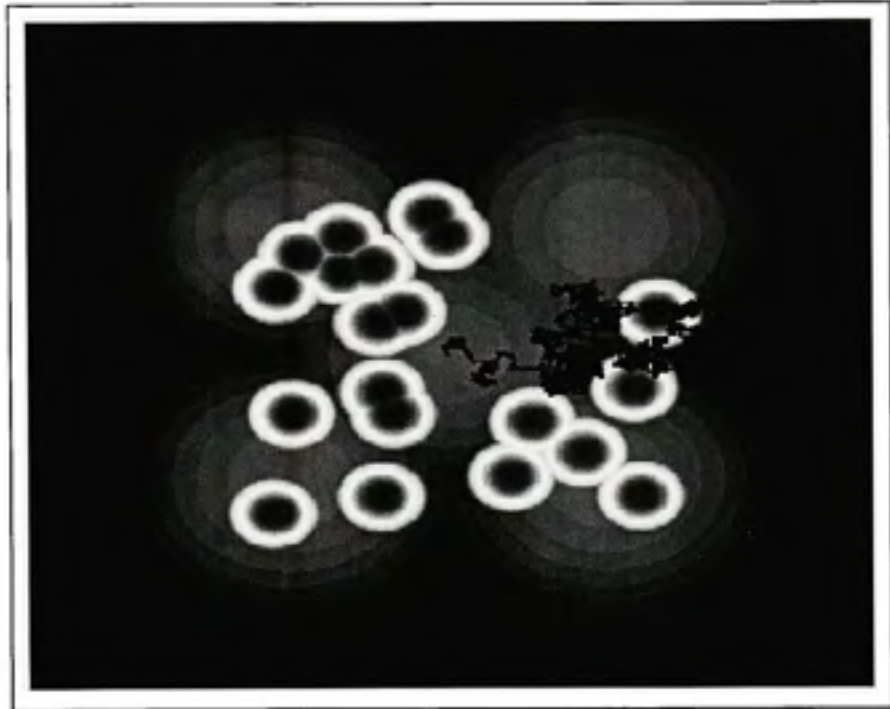


Figure 4.6 : Carte hétérogène UMTS/WLAN avec trajectoire mobile.

Modèle de trafic:

Le modèle de trafic utilisé est soit de type temps réel ou non temps réel. Donc on suppose avoir deux applications :

- Application transfert de données (non temps réel)
- Application transfert de vidéo (temps réel) caractérisée par les paramètres suivants :

Tableau 4.2 : Paramètres de l'application Vidéo

Paramètres	Valeurs
Flux vidéo (BR)	128 kbps
Délai maximum toléré (D)	50 ms
Paquet vidéo par seconde (I/T)	25Pps
Taux maximum de paquets perdus accepté (B)	4%

Métriques de simulation :

Chacune des métriques que nous avons calculées dans nos simulations, nous aide à mieux vérifier les performances des algorithmes de handoff vertical étudiés. Un niveau de bruit ou d'interférence très élevés peuvent affaiblir l'un des algorithmes mais pas un autre dans les mêmes conditions. De ce fait, nous avons utilisé quatre métriques qui nous aident à trouver les écarts de performance entre l'algorithme proposé et les algorithmes existants déjà.

Le débit reçu : Cette métrique est calculée dans le cas d'un service de type non temps réel (Données). La métrique détermine le débit que le terminal mobile peut recevoir dans le réseau pour lequel il est connecté. A l'aide de cette métrique, nous pouvons vérifier et trouver lequel algorithme de handoff qui permet d'atteindre des débits plus élevés.

Le nombre de handoff : Détermine le nombre de handoff effectué entre les réseaux UMTS et WLAN. Le nombre élevé de handoff engendre un effet ping-pong qui a son tour dégrade la qualité de service.

Les paquets perdus : Cette métrique est calculée dans le cas d'un service de type temps réel (vidéo), la métrique détermine le nombre de paquets perdus dans le réseau UMTS/WLAN. Ces pertes sont issues de débit faible reçu ou de nombre de handoff assez élevé. Le terminal mobile perd des paquets quand le débit reçu du réseau pour lequel est connecté est inférieur à l'intensité de flux d'application vidéo ($BR > R_{UMTS}$ ou $BR > R_{WLAN}$). Lors d'exécution d'un handoff le terminal mobile passe par une durée morte (Δ) ou le débit reçu est nul qui générera aussi des paquets perdus.

Le taux d'utilisation de chaque réseau : Le taux d'utilisation des réseaux UMTS et WLAN détermine le coût. On suppose que le réseau WLAN est un réseau à faible coût ou gratuit, par rapport au réseau UMTS. Donc le coût est faible lorsque le taux d'utilisation du réseau WLAN est très élevé.

Afin d'analyser les différents écarts entre les algorithmes simulés, Nous avons imaginé un algorithme idéal qui répond positivement à toutes les exigences techniques et fonctionnelles. Le tableau suivant présente les variations idéales des métriques que nous avons utilisées pour cet algorithme vers la hausse ▲ ou vers la baisse ▼.

Tableau 4.3 : Sens de variation des métriques dans le cas idéal

Métriques	Sens de variation
Le débit reçu	▲
Le nombre de handoff	▼
Les paquets perdus	▼
Taux d'utilisation d'UMTS	▼
Taux d'utilisation de WLAN	▲

L'algorithme idéal imaginé doit en effet : maximiser le débit reçu avec un minimum de handoff et de paquets perdus, tout en assurant un coût plus faible possible par une utilisation minimale du réseau UMTS et maximale pour le réseau WLAN.

4.5 Résultats de simulation et discussions :

Cette section a pour but de présenter tous les résultats des simulations effectuées dans le cadre de cette étude. Ces résultats sont présentés sous forme de courbes et histogrammes en fonction de quatre métriques. Ces métriques sont en fonction de deux variables le type de service et le délai de handoff. Une comparaison des résultats de notre algorithme avec quelques algorithmes de la littérature sera effectuée tels que RSS, l'algorithme SNR présenté dans (Chie Ming Chou, 2006) et SINR présenté dans (Kemeng Yang, 2007a).

4.5.1 Service non temps réel :

Pour ce scénario, nous utilisons une application non temps réel pour transférer des données. On analysera les trois métriques suivantes : le débit reçu, le nombre de handoff et le taux d'utilisation des réseaux.

A. Débit reçu :

Nous avons deux courbes. La première illustre le débit reçu en fonction de temps pour deux algorithmes : RSS et l'algorithme proposé et la deuxième entre l'algorithme SNR et l'algorithme proposé.

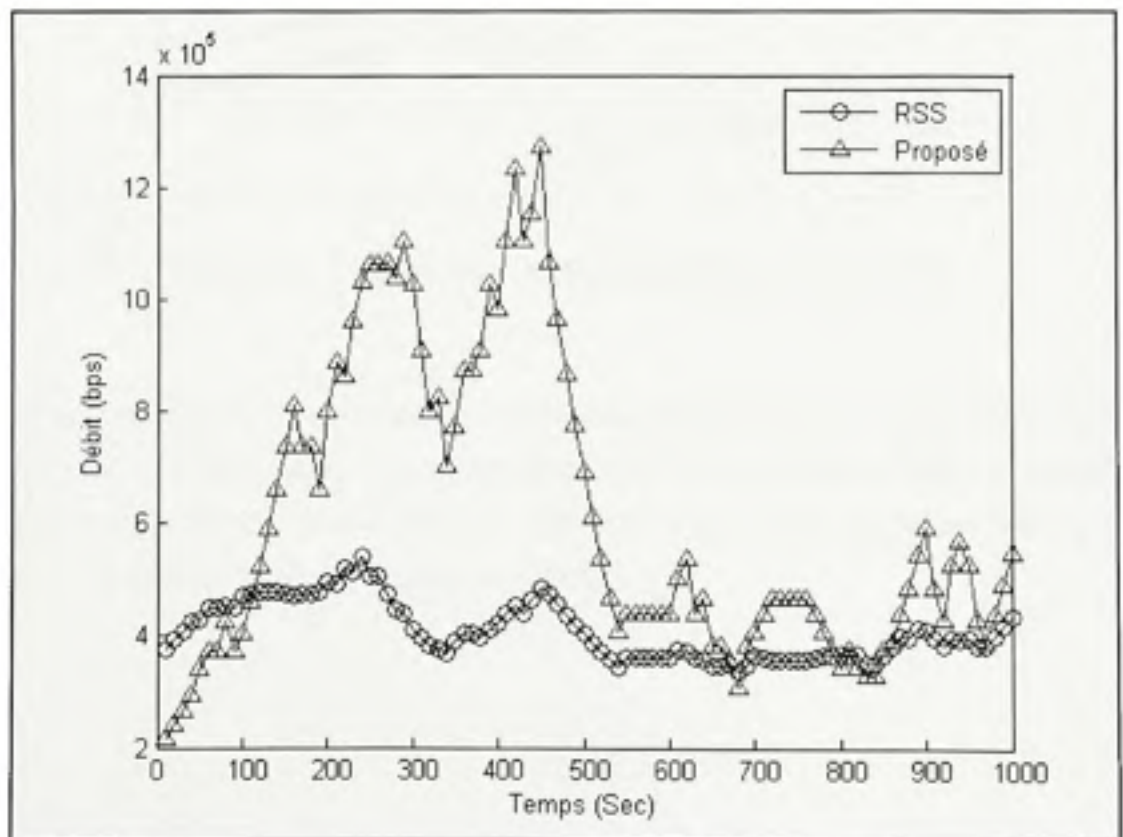


Figure 4.7 : Le débit reçu par l'algorithme proposé et RSS.

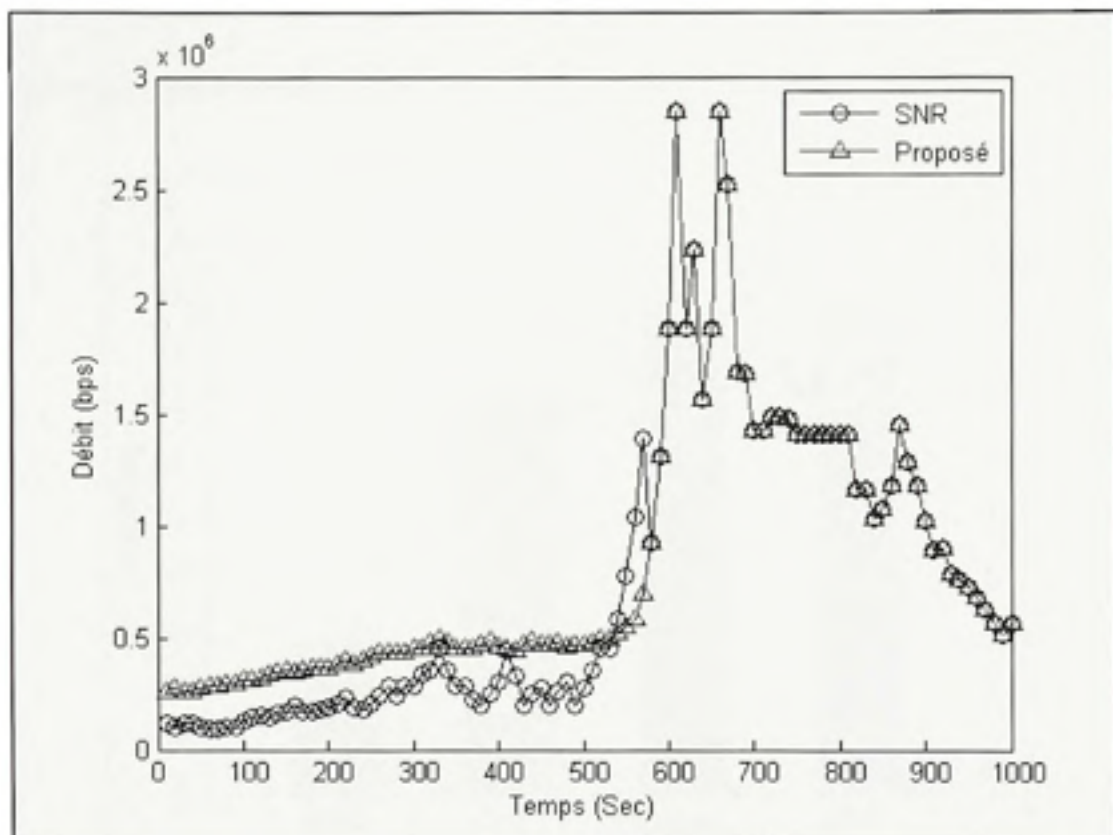


Figure 4.8 : Le débit reçu par l'algorithme proposé et SNR.

Nous remarquons sur les deux figures précédentes que la courbe de l'algorithme proposé positionnée généralement au dessus des deux autre courbes RSS et SNR. L'algorithme proposé permet d'atteindre des débits plus élevés par rapport aux algorithmes RSS et SNR dans les mêmes conditions de bruit et d'interférence.

La figure suivante présente le débit moyen reçu pour chacun des algorithmes

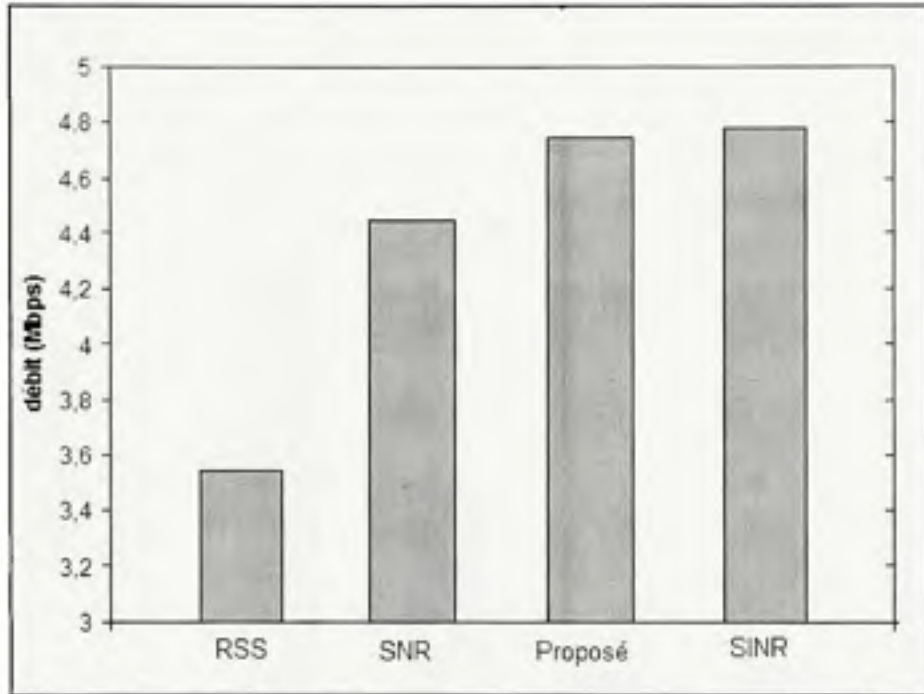


Figure 4.9 : Le débit moyen reçu pour chaque algorithme.

Dans cette figure, l'algorithme SINR maintient la barre haute. L'algorithme proposé reste proche de SINR et permet ainsi d'atteindre des débits plus élevés par rapport aux algorithmes RSS et SNR.

La logique théorique prévoit une maximisation de débit reçu pour l'algorithme proposé qui repose sur le même principe (paramètre SINR) que l'algorithme SINR. Le paramètre SINR permet de fournir une évaluation plus exacte du débit reçu pour choisir le meilleur réseau. La maximisation du débit est due à la considération des niveaux de bruit et d'interférence pour l'algorithme proposé et SINR. L'algorithme SNR à son tour prend en considération juste le niveau de bruit sans interférence ce qui explique son faible débit reçu. L'algorithme traditionnel RSS présente le débit le plus faible due à son principe de base qui néglige les niveaux de bruit d'interférence.

B. Nombre de Handoff :

Pour cette métrique nous avons la figure suivante qui présente le nombre de handoff moyen pour chacun des algorithmes analysés.

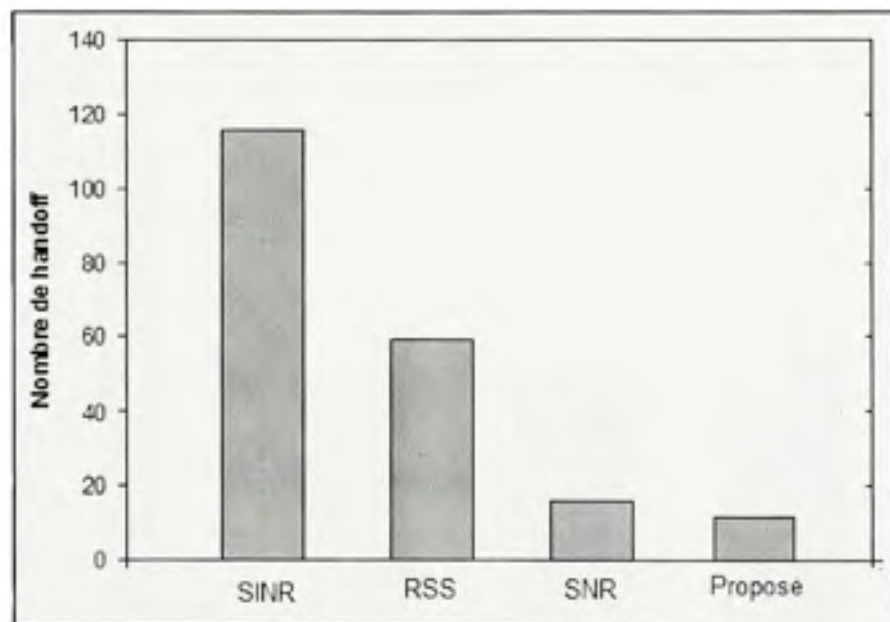


Figure 4.10 : Le nombre de handoff moyen.

On remarque que chacun des quatre algorithmes a un nombre différent de handoff. L'algorithme proposé, présente les meilleurs résultats en termes de nombre de handoff moyen suivi de l'algorithme SNR, RSS et enfin SINR.

La logique théorique prévoit une réduction de nombre de handoff moyen pour l'algorithme proposé qui utilise le même principe d'algorithme SNR à l'effet de minimiser le nombre de handoff et évitera en par voie de conséquence l'effet ping-pong. Les algorithmes RSS et SINR génèrent un nombre de handoff plus élevé causé par leur nature de maximisation de débit sans prendre en considération de nombre effectué de handoff dans le réseau hétérogène UMTS/WLAN.

C. Taux d'utilisation des réseaux

La troisième métrique relative au taux d'utilisation des réseaux présente le coût dans le réseau hétérogène UMTS/WLAN. La figure ci-dessous illustre le taux d'utilisation de chaque réseau pour les différents algorithmes analysés.

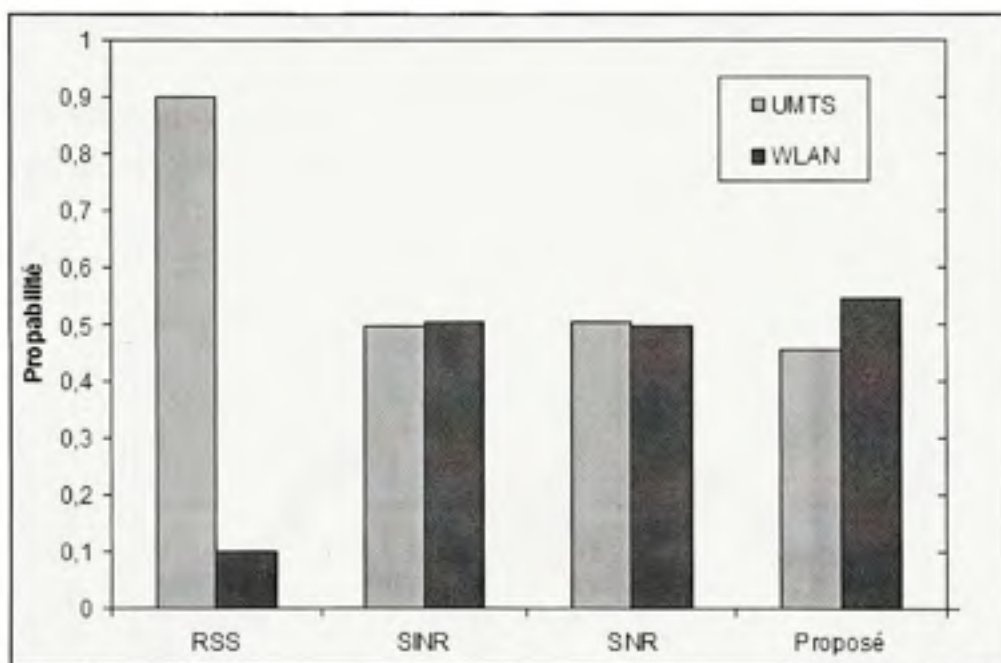


Figure 4.11 : Probabilité d'utilisation de réseau UMTS et WLAN.

On remarque que l'utilisation de l'algorithme proposé permet d'utiliser le réseau WLAN le plus possible et donc minimiser les coûts associés au réseau hétérogène. Avec l'utilisation des algorithmes SNR et SINR nous aurions les mêmes résultats en terme de taux d'utilisation des réseaux UMTS et WLAN (50% chacun) et qui offrent toujours un coût beaucoup plus intéressant par rapport à l'algorithme RSS.

4.5.2 Service temps réel :

Pour ce scénario, nous utilisons une application temps réel pour transférer de la vidéo. On analysera les trois métriques suivantes : les paquets perdus, le nombre de handoff et le taux d'utilisation des réseaux.

A. Paquets perdus :

Pour cette métrique nous avons deux courbes qui illustrent la comparaison de nombre de paquets perdus de chaque algorithme RSS et SINR avec l'algorithme proposé.

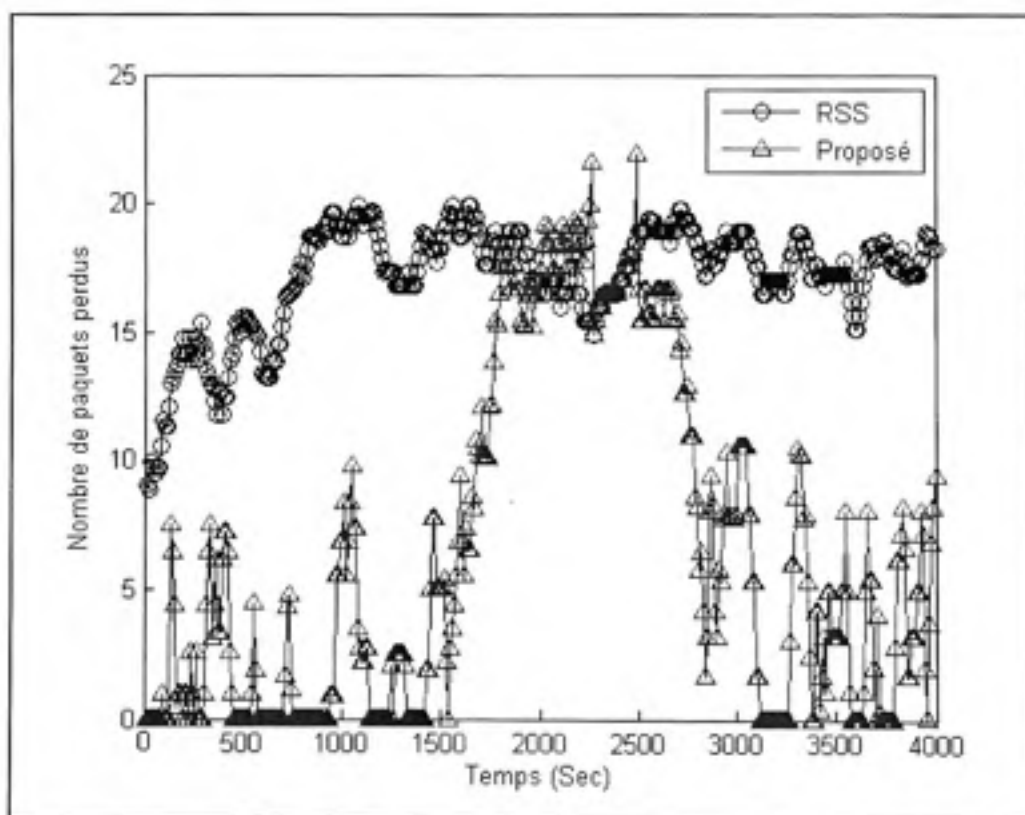


Figure 4.12 : Les paquets perdus par l'algorithme proposé et RSS.

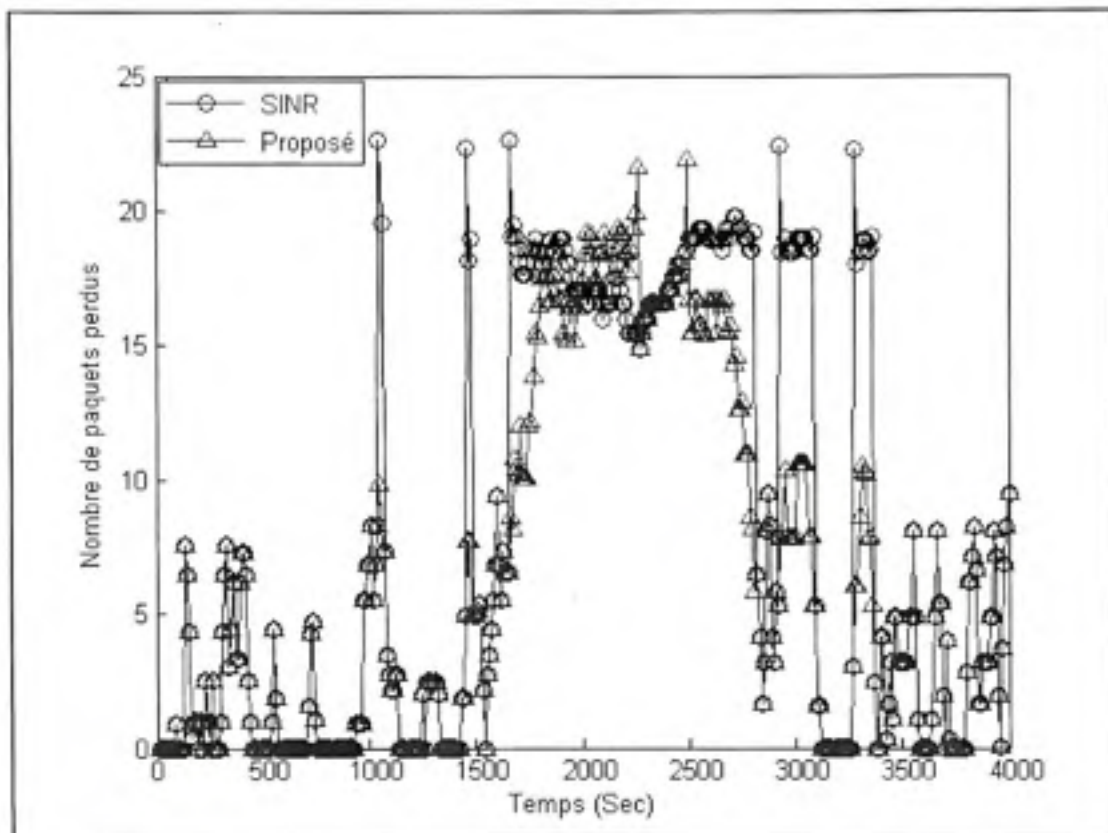


Figure 4.13 : Les paquets perdus par l’algorithme proposé et SINR.

Sur la première figure la différence est bien visible entre les deux courbes. L’algorithme proposé permet de minimiser les paquets perdus par rapport à l’algorithme RSS. Par contre dans la deuxième figure les deux courbes qui présentent l’algorithme proposé et SINR sont fortement corrélées avec des pertes de paquets plus élevés pour l’algorithme SINR.

La figure suivante présente le nombre moyen de paquets pour chacun des quatre algorithmes analysés.

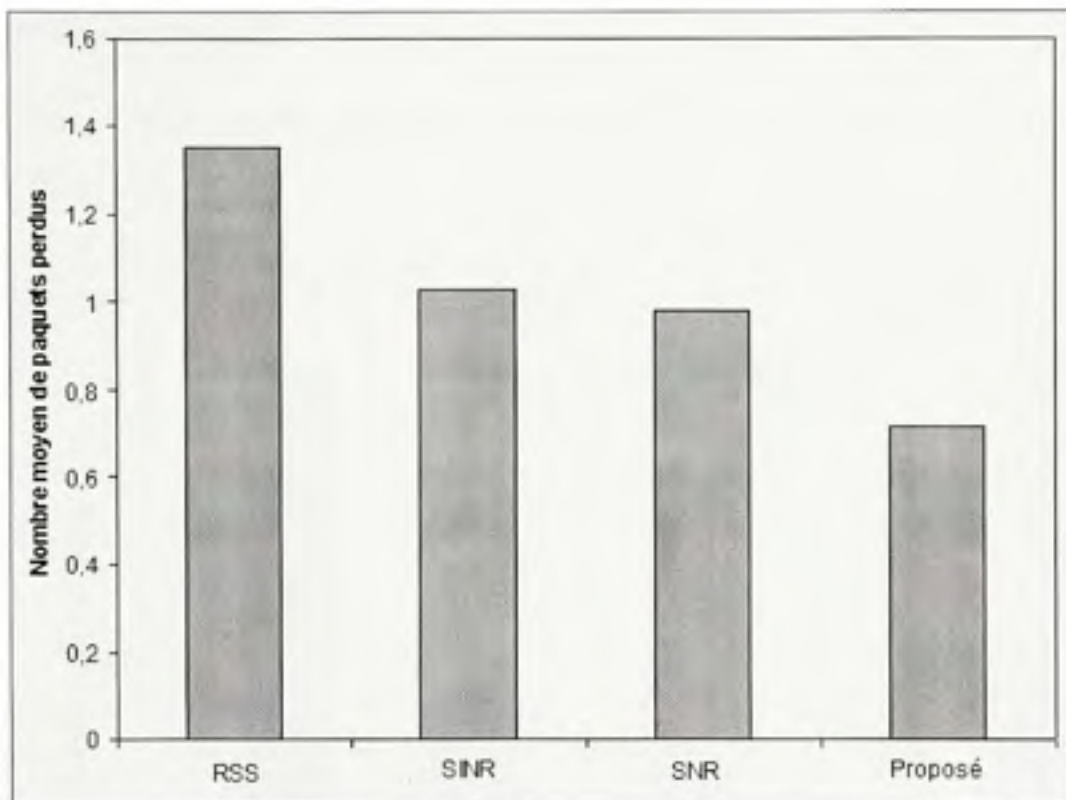


Figure 4.14 : Nombre moyen de paquets perdus pour chaque algorithme de handoff.

On remarque que l'algorithme proposé engendre un nombre de paquets perdus très faible presque négligeable. Les deux algorithmes SNR et SINR qui engendrent une perte moyenne d'un paquet par seconde ont un comportement presque identique. Pour l'algorithme RSS, sa moyenne de perte est nettement supérieure à celle des deux autres algorithmes.

La logique théorique s'attend à une perte élevée pour l'algorithme RSS engendré par le débit très faible reçu par rapport au débit nécessaire (BR) de l'application vidéo ainsi que le nombre de handoff plus au moins élevé. Par contre l'algorithme proposé donne des meilleurs résultats dus à la stabilité de débit nécessaire pour l'application vidéo ainsi que la faiblesse du nombre de handoff illustré sur la figure suivante,

B. Nombre de Handoff :

La figure suivante présente le nombre de handoff moyen pour chacun des algorithmes analysés.

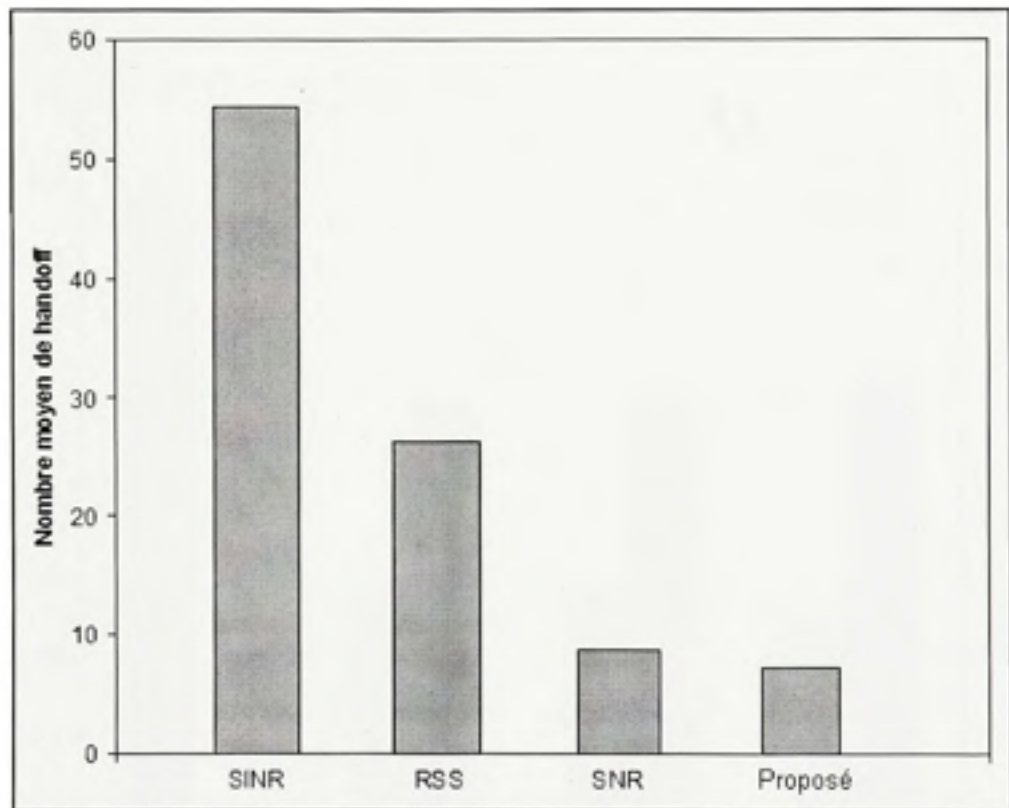


Figure 4.15 : Nombre moyen de handoff pour chaque algorithme.

Nous pouvons appliquer la même analyse à cette figure qui représente les mêmes résultats que la Figure 4.10. L'algorithme proposé et SNR donnent les meilleurs résultats en termes de nombre moyen de handoff dans le réseau hétérogène.

C. Taux d'utilisation des réseaux :

Les performances des différents d'algorithmes en termes de coût sont présentées par la figure suivante :

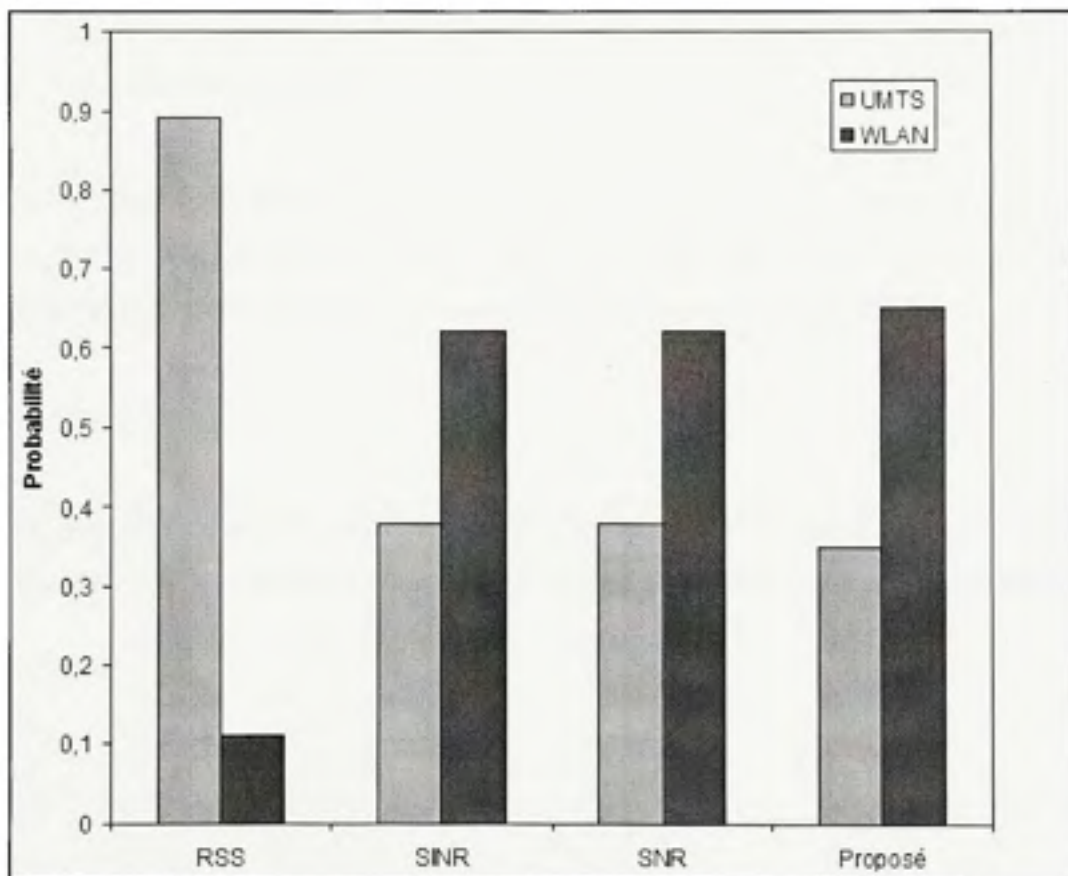


Figure 4.16 : Probabilité d'utilisation de réseau UMTS et WLAN.

D'après cette figure, nous pouvons noter que l'algorithme proposé, SNR et SINR donnent des bons résultats. En utilisant le réseau WLAN avec des taux élevés de plus que 60%, et donc le coût sera minimisé par rapport à l'algorithme RSS lequel utilise le réseau WLAN avec un taux moins que 10%.

D'après ces figures, l'algorithme proposé présente les meilleures performances par rapport aux autres algorithmes. Cela est dû à la prise en considération du bruit et d'interférence d'un côté et la minimisation de nombre de handoff de l'autre côté, ce qui rend le modèle utilisé à savoir l'algorithme proposé comme modèle idéal. En conclusion, les quatre métriques analysées précédemment pour les services temps réel et non temps réel sont améliorés avec l'algorithme proposé.

4.5.3 Le délai de handoff :

Dans ce qui suit, nous allons fixer le type d'algorithme en utilisant l'algorithme proposé et faire varier le délai de handoff. D'après les figures suivantes, l'augmentation du délai va influencer négativement sur les performances d'algorithme de handoff proposé.

A. Le débit reçu :

Dans la première simulation, nous avons varié le délai et mesuré les débits reçus associés à chaque délai. Les figures suivantes Figure 4.17 et Figure 4.18 illustrent les résultats obtenus.

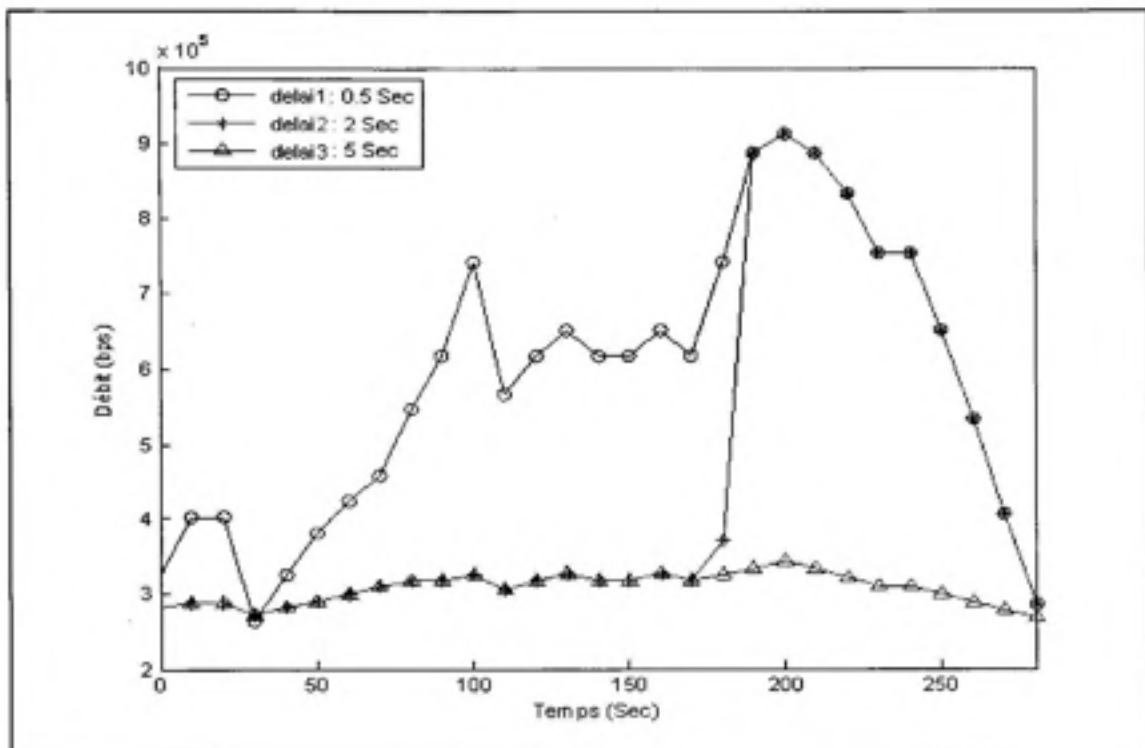


Figure 4.17 : Le débit reçu pour différents délais de handoff.

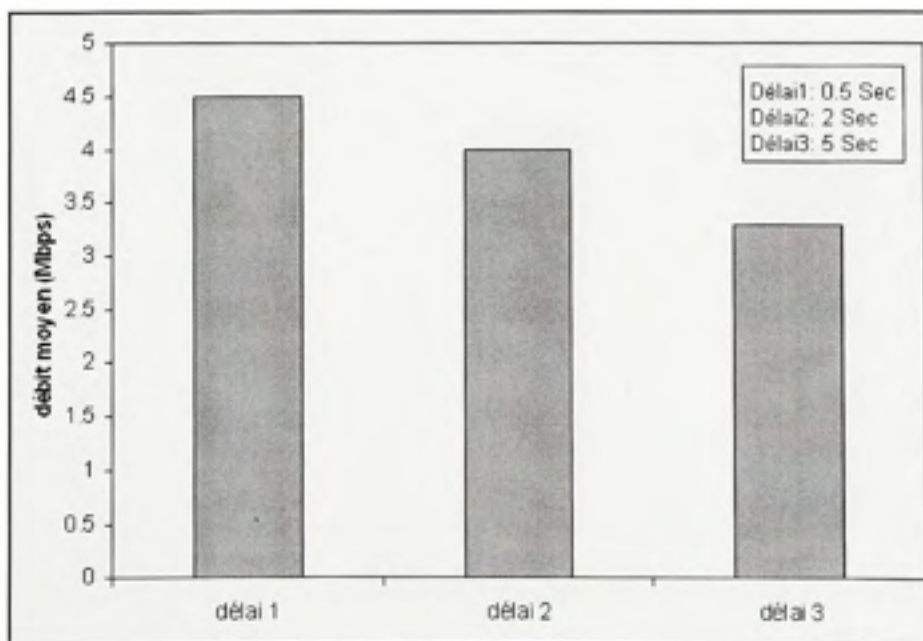


Figure 4.18 : Le débit moyen reçu pour différents délais de handoff.

Les résultats obtenus dans les figures précédentes démontrent que le débit reçu est dégradé en fonction de l'augmentation du délai de handoff.

Les résultats sont en accord avec la logique théorique qui s'attend à une dégradation de débit reçu en augmentant le délai de handoff. En effet la marge (H) utilisée pour le handoff se base sur le délai de handoff (Δ), et donc l'augmentation du délai influence inversement la marge qui se réduit et engendre en conséquence un nombre plus élevé de handoff qui dégradera à son tour le débit reçu.

B. Les paquets perdus :

La simulation suivante pour le service temps réel illustre la moyenne des paquets perdus pour différents délais. D'après la Figure 4.19, mêmes remarques pouvant être reformulées concernant la moyenne des paquets perdus qui a été dégradée en augmentant le délai de handoff.

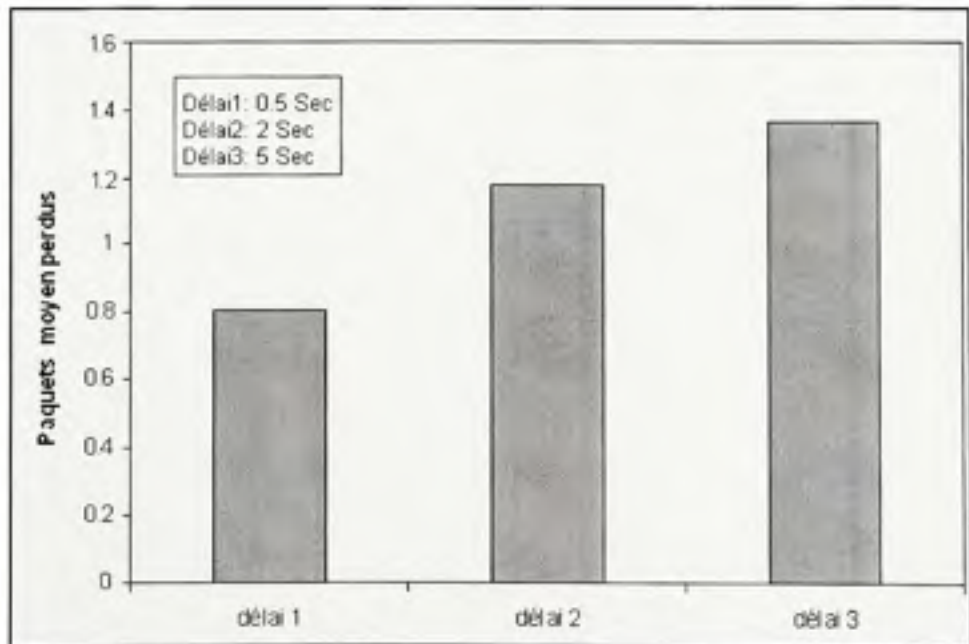


Figure 4.19 : Le nombre de paquets moyen perdus.

4.6 Conclusion :

Dans un premier temps, nous avons étudié particulièrement les aspects théoriques de notre solution proposée et nous avons présenté l'organigramme de notre algorithme de handoff. Ce dernier a été simulé et a donné des bonnes performances en termes de débit reçu, nombre de paquets perdus et de handoff ainsi que du faible coût. Vu les résultats obtenus, nous pouvons avancer que les différentes conditions de réseau tel que le niveau du bruit et d'interférence affectent substantiellement les performances de chacun des algorithmes étudiés, mais avec des degrés différents. L'algorithme proposé est globalement meilleur que les algorithmes considérés surtout qu'il résiste au bruit et les interférences. Le mécanisme de déclenchement de handoff utilisé contribue à la réduction du nombre de handoff et des paquets perdus tout en maximisant le débit reçu.

Dans un second temps, nous nous sommes intéressés à l'application de notre algorithme proposé avec différents délai de handoff. Les résultats obtenus démontrent que l'augmentation du délai de handoff dégrade de manière certaine les performances de notre algorithme. Le délai de handoff doit être réduit pour avoir de bons résultats.

CONCLUSION ET RECOMMANDATION

Ce mémoire a été consacré essentiellement à un problème crucial se rapportant à la gestion de mobilité dans un réseau hétérogène UMTS/WLAN. C'est ainsi qu'il a été relaté dans une première étape, les différentes technologies et leurs caractéristiques composant un réseau hétérogène, notamment ce qui caractérise au mieux les communications radio – mobiles.

Après le premier chapitre qui situe le contexte de notre travail, une présentation de l'évolution et les standards des technologies cellulaires de troisième génération (UMTS), les réseaux locaux sans fil (WLAN), ont fait l'objet du deuxième chapitre. Les différentes architectures d'interconnexion du réseau hétérogène UMTS/WLAN, c'est – à – dire l'architecture Tight coupling et loose coupling, ont été présentées. Par ailleurs, nous avons exposé les avantages et inconvénients des différentes architectures d'interconnexions inhérents aux deux technologies. Si l'architecture loose coupling est la plus simple à mettre en œuvre, ses performances, cependant, ne sont pas satisfaisantes dû au long délai de handoff. L'architecture tight coupling qui est considéré plus coûteuse offre ainsi des perspectives plus intéressantes.

La gestion de mobilité a été étudiée et commentée dans le troisième chapitre. Nous avons présenté le principe de handoff, ces différentes caractéristiques, ainsi que ses procédures d'exécution. Nous avons présenté suivant un certain détail quelques algorithmes de handoff existants lesquels envisageables pour les réseaux hétérogènes. Quant à l'algorithme basé sur RSS, il est le plus simple à implémenter, cependant, ces performances sont faibles au regard de la présence du bruit. Enfin en ce qui concerne l'algorithme handoff basé sur SNR, il demeure qu'il n'est performant que lorsque la puissance d'interférence est faible ou négligeable. Le handoff basé sur SINR s'est avéré le plus adéquat pour donner des meilleures performances.

Nous avons proposé dans le cadre du quatrième chapitre, un nouveau mécanisme capable voire apte à maximiser le débit pour les services non temps réel et réduire le nombre de paquets perdus pour les services temps réel tout en minimisant le nombre de handoff non nécessaire. Le succès de ce mécanisme repose sur deux éléments pertinents.

Le premier est relatif à son principe de base : contrairement aux algorithmes RSS et SNR, l'algorithme proposé utilise le SINR comme métrique principale qui inclut à son tour la puissance du signal reçu, le niveau du bruit et l'interférence ainsi que la distance permettant donc d'atteindre des débits plus élevés. Le système de déclenchement est adapté au type de service. Le second élément qui remet en cause la réduction de paquets perdus ainsi que le nombre de handoff non nécessaire.

L'algorithme de handoff vertical proposé a été modélisé grâce au simulateur MATLAB. Nous avons ainsi pu valider les propriétés de notre algorithme qui a traité sa manière de réagir face à certaines situations indésirables ou non, à sa serviabilité et à son intégrité. D'un point de vue formel, l'algorithme possède le comportement que nous souhaitons.

Une analyse de performance a permis de mettre en évidence les performances ciblées à partir de notre solution proposée, ainsi, cette dernière a atteint bel et bien notre objectif principal à savoir : maximiser les débits reçus et réduire les paquets perdus tout en minimisant le nombre de handoff non nécessaire. Nous avons également déterminé que cette performance est fortement reliée au délai de handoff vertical, le niveau de puissance du bruit et d'interférence ainsi que le type de service. C'est pour cela, qu'il est extrêmement nécessaire comme exemple que le délai de handoff soit faible pour garantir une meilleure performance à notre algorithme au détriment de ceux basés sur RSS ou SNR.

Comme perspective à notre recherche, nous nous envisageons d'abord de résoudre le problème relatif à la consommation d'énergie, du fait que cette problématique reste encore ouverte dans la littérature.

En effet, il est souhaitable qu'on utilise l'une des deux interfaces du terminal mobile à l'effet d'éviter de laisser les deux en tout temps opérationnel. Or, ceci n'est pas le cas, malheureusement, avec l'algorithme de handoff qui utilise une première interface pour la transmission de trafic et la deuxième pour mesurer le niveau du signal reçu de l'autre réseau.

Ensuite, comme deuxième perspective, nous essayons d'utiliser un scénario multiutilisateur en considérant le mode infrastructure ainsi que le mode Ad hoc. En effet si les réseaux opèrent en mode Ad hoc, le terminal mobile peut établir une connexion directe à travers les terminaux voisins. Donc une création d'un nouveau mécanisme de handoff distribué est nécessaire.

ANNEXE I

Code Source MATLAB

Code pour la simulation de l'algorithme de handoff.

```
%% Paramètres géométriques du rectangle
DimRT = 2000;           % largeur et hauteur du rectangle, [m]
M = 400;               % nombre zones du rectangle
DimZN = DimRT/M;      % largeur et hauteur d'une zone du rectangle, [m]
D_max = sqrt(2*(M*DimZN/1000)^2); % la plus grande distance parmi deux
                                % points du rectangle (deux point à la
                                % diagonal), [Km]
NZ_per_Km = 1000/DimZN; % nombre de zones par kilometre

%% Paramètres relatifs aux déplacements d'un usager sur le rectangle
V_move = 0.5;          % vitesse de déplacement, [m/s]
ZN_time = DimZN/V_move; % temps de permanence dans une zone, [s]
N_move = 2500;        % nombre de déplacements sur le réseau
x_move_1 = round(M/2); % abscisse de départ des déplacements
y_move_1 = round(M/2); % l'ordonné de départ des déplacements

spostamenti = zeros(1,N_move); % vecteur des déplacements aléatoire de 0 à
15
for i = 1 : N_move
spostamenti(i) = round((rand()*16)-0.5); % il prend des valeurs de 0 à
15 avec une distribution uniforme
end

direzione = zeros(1,N_move); % vecteur de direction il sélectionne une
trajectoire principale pour les déplacements
cambioDirezione = N_move*20/100; % la variable cambioDirezione = 1000
utilisé pour changé la direction
for i = 1 : N_move-1
    if (mod(i, N_move/cambioDirezione) == 1) % il change de la direction
chaque 5 pas de
déplacements (il y a de 0 a
4 direction possible)
direzione(i) = round((rand()*5)-0.5); % génère une direction de 0 à 4
else direzione(i) = direzione(i-1); end
end

%% Paramètres auxiliaires
Intorno = M/200; % la largeur des places de graphe de mouvements
à un deux centième de la taille de la grille

n_campioni = 15; % vecteur contenant des valeurs différentes pour
les échantillons de la moyenne mobile
camp = length(n_campioni);
```

```

weights= [0.1 0.4 0.5];
dim_w = length(weights); % nombre des lignes de la matrice des poids,
                          % Chaque ligne représente un vecteur des poids

Pk_Sz = 10^5; % dimension d'un paquet (Bits)
          % (gros paquets pour réduire le temps de simulation)
BiteRate= 256000; % débit de l'application video 25Frame/Sec equivalent
                  % a combien en kbps (BiteRate),
Delai_handoff = 0.5; % Le délai de handoff [Sec], le débit durant
                    % cette période est nulle.

%% Les paramètres Géométrique de la cellule UMTS
r_UMTS = 600/DimZN; % rayon d'une cellule UMTS de 600 m, le nombre
                   % de zones
hotspot_UMTS = 5; % UMTS nombre de cellules sur la grille

% Les positions des centre des 5 BTS_UMTS
x_U = [round(M/4)+25 round(3*M/4)-25 round(M/2) round(M/4)+25
round(3*M/4)-25];
y_U = [round(M/4)+25 round(M/4)+25 round(M/2) round(3*M/4)-25
round(3*M/4)-25];

%% Les paramètres du réseau UMTS
capacitaUMTS = 2*10^6; % débit au centre des cellules UMTS [bit/s]
Gr_UMTS = 2; % Gain en réception du terminal UMTS, db
Gt_UMTS = 20; % Gain en transmission de la station de base UMTS, db
fp_UMTS = 2200; % porteuse UMTS, [MHz]
Pbs_UMTS = 43; % La puissance dans une cellule UMTS, [dbm] (43dbm=20 Watt)
Sens_UMTS = -100; % Sensibilité de l'UMTS, [dbm]
att_supp_UMTS = 20; % atténuation UMTS, [db]
Noise_UMTS = -100; % Bruit au niveau du récepteur UMTS, [dbm]
W_UMTS=5*10^6; % La largeur de bande UMTS [Hz]
I_UMTS=16; % Difference entre le codage QAM et la
           % capacité du canal [db]

%% Les paramètres Géométrique de cellules WIFI
r_WIFI = 120/DimZN; %rayon d'une cellule WIFI de 120m, en nombre de zones
hotspot_WIFI = 20; % nombre de hot-spot WIFI
for i = 1 : hotspot_WIFI
    x_W(i) = M/4 + round(rand()*M/2);
    y_W(i) = M/4 + round(rand()*M/2);
end
clear i

%% Les paramètres du réseau WIFI
capacitaWIFI = 10*10^6; % débit au cœur des cellules WIFI, [bit/s]
Gr_WIFI = 2; % gain en réception du terminal WIFI, [dB]
Gt_WIFI = 2; % gain en transmission de la station de base WIFI, [dB]
fp_WIFI = 2400; % porteuse WIFI, [MHz]
Pbs_WIFI = 30; % Puissance du WIFI dans le centre de la
               % cellule, [dBm] (30dbm=10 Watt)
Sens_WIFI = -100; % Sensibilité WIFI, [dBm]
att_supp_WIFI = 20; % atténuation WIFI, [dB]
Noise_WIFI = -100; % Bruit au niveau du récepteur WIFI, [dbm]

```

```

W_WIFI=10^6;           % La largeur de bande WIFI [Hz]
I_WIFI=3;             % Difference entre le codage QAM et la capacité
                    % du canal [db]

% Initialisation de la matrice des puissances à la valeur minimale calculé
% avec une atténuation de distance de la diagonal du rectangle (D_max)

for k = 1 : M
    for l = 1 : M
        potenzeWIFI(k,l) = 30 + Pbs_WIFI + Gr_WIFI + Gt_WIFI -
att_supp_WIFI - (32.4 + 20*log(fp_WIFI) + 20*log(D_max));
    end
end

% Création aléatoire des centres de chaque cellule WLAN
for i = 1 : hotspot_WIFI
    x_c = x_W(i);
    y_c = y_W(i);

    zona_corrente = 0;           %variable escalader auxiliaire pour
engendrer des matrices de zones

% (la probabilité égale a 1 Pour les zones pas couvertent du réseau WIFI et
% dans le cercle est <1)
for k = 1 : M
    for l = 1 : M
        zona_corrente = ((k-x_c)^2 + (l-y_c)^2)/(r_WIFI^2);
        if (zona_corrente < zoneWIFI(k,l))
            zoneWIFI(k,l) = zona_corrente;
        end
    end
end

% calcule les puissances de chaque centre cellule
for k = 1 : M
    for l = 1 : M
        if ((k == x_c) && (l == y_c))
            potenzeWIFI_corrente(k,l) = Pbs_WIFI;
        else
            potenzeWIFI_corrente(k,l) = 30 + Pbs_WIFI + Gr_WIFI +
Gt_WIFI - att_supp_WIFI - (32.4 + 20*log(fp_WIFI) + 20*log(sqrt((k-
x_c)^2+(l-y_c)^2)/NZ_per_Km));
        end
        if (potenzeWIFI_corrente(k,l) > potenzeWIFI(k,l))
            PuissInterf_WIFI(k,l) = PuissInterf_WIFI(k,l) +
10^((potenzeWIFI(k,l)-30) /10) ; % PuissInterf en Watt
            potenzeWIFI(k,l) = potenzeWIFI_corrente(k,l);
        else
            PuissInterf_WIFI(k,l) = PuissInterf_WIFI(k,l) +
10^((potenzeWIFI_corrente(k,l)-30) /10) ; % PuissInterf en Watt
        end
    end
end

```

```
end
```

```
%% création de la carte SINR de WLAN (choisir le maximum SINR de toute les BS)%%
```

```
for k = 1 : M
```

```
    for l = 1 : M
```

```
        Noise_Interf =( 10^(-13) + PuissInterf_WIFI(k,l)); %en lineaire
```

```
(WATT)
```

```
        SINR_WIFI(k,l) = 10^((potenzeWIFI(k,l)-30)/10) / Noise_Interf; %
```

```
        SNR_WIFI(k,l) = 10^((potenzeWIFI(k,l)-30)/10) / 10^(-13);
```

```
    end
```

```
end
```

```
%% création de la carte Rate de WLAN (choisir le maximum SINR de toute les BS)%%
```

```
for k = 1 : M
```

```
    for l = 1 : M
```

```
        Rate_WIFI(k,l) = W_WIFI * log2( 1+ SINR_WIFI(k,l))/5;
```

```
        Rate_WIFI2(k,l) = W_WIFI * log2( 1+ SNR_WIFI(k,l))/5;
```

```
    end
```

```
end
```

```

% Initialisation de la matrice des puissances à la valeur minimale calculé
avec une atténuation de distance de la diagonal du rectangle (D_max)

for k = 1 : M
    for l = 1 : M
        potenzeUMTS(k,l) = 30 + Pbs_UMTS + Gr_UMTS + Gt_UMTS -
att_supp_UMTS - (32.4 + 20*log(fp_UMTS) + 20*log(D_max)); %pathloss
    end
end

zona_corrente = 0; % variable escalader auxiliaire pour engendrer des
matrices de zones

% Création aléatoire des centres de chaque cellule UMTS
for i = 1 : hotspot_UMTS
    x_c = x_U(i);
    y_c = y_U(i);

% centre de chaque cellule, le calcul de la probabilité d'erreur dans le
mode d'accueil
% (la probabilité égale a 1 Pour les zones pas couvertent du réseau UMTS et
dans le cercle est <1)
    for k = 1 : M
        for l = 1 : M
            zona_corrente = ((k-x_c)^2+ (l-y_c)^2)/(r_UMTS^2);
            if (zona_corrente < zoneUMTS(k,l))
                zoneUMTS(k,l) = zona_corrente;
            end
        end
    end
end
% calcule les puissances de chaque centre cellule

for k = 1 : M
    for l = 1 : M
        if((k==x_c)&& (l==y_c))
            potenzeUMTS_corrente(k,l) = Pbs_UMTS;
        else
            potenzeUMTS_corrente(k,l) = 30 + Pbs_UMTS + Gr_UMTS +
Gt_UMTS - att_supp_UMTS - (32.4 + 20*log(fp_UMTS) + 20*log(sqrt(((k-
x_c)^2+ (l-y_c)^2)/NZ_per_Km));
        end
        if (potenzeUMTS_corrente(k,l) > potenzeUMTS(k,l))
            PuissInterf_UMTS(k,l) = PuissInterf_UMTS(k,l) +
10^((potenzeUMTS(k,l)-30) /10) ; % PuissInterf en Watt
            potenzeUMTS(k,l) = potenzeUMTS_corrente(k,l);
        else
            PuissInterf_UMTS(k,l) = PuissInterf_UMTS(k,l) +
10^((potenzeUMTS_corrente(k,l)-30) /10) ; % PuissInterf en Watt
        end
    end
end

```

```

        end

    end
end

%% création de la carte SINR d'UMTS (choisir le maximum SINR de toute les
BS)%%
for k = 1 : M
    for l = 1 : M
        Noise_Interf =( 10^(-13) + PuissInterf_UMTS(k,l)); %en lineaire
(WATT)
        SINR_UMTS(k,l) = 10^((potenzeUMTS(k,l)-30)/10) / Noise_Interf; %
        SNR_UMTS(k,l) = 10^((potenzeUMTS(k,l)-30)/10) / 10^(-13);
    end
end

%% création de la carte Rate d'UMTS (choisir le maximum SINR de toute les
BS)%%
for k = 1 : M
    for l = 1 : M
        %SINR_Lin=(SINR_UMTS(k,l)/39.81); % SINR_Lin respresente le SINR en
Lineaire
        Rate_UMTS(k,l) = W_UMTS * log2( 1+ SINR_UMTS(k,l))/128;
        Rate_UMTS2(k,l) = W_UMTS * log2( 1+ SNR_UMTS(k,l))/128;
    end
end
end

```

```

%% Initialisation des variables pour le réseau UMTS WIFI

% constant temporel pour limiter VHO, dans le réseau WIFI une
% incrémentation du nombre de pas du parcours, ex. 5m/s * 1s = 5m.
% on reçoit 20 frame par seconde, délais maximal accepté 0,05sec, et la
% marge de perte des paquets est 5% (1 frame par sec)

reseau =0; % reseau =0 : le mobile est connecté au UMTS
           % reseau =1 : le mobile est connecté au WIFI
res_RSS=0; res_REF1=0; res_REF2=0;
Nbre_Handoff_RSS = 0; % le nombre de handoff effectué pour Algo RSS
Nbre_Handoff_REF1 = 0; % le nombre de handoff effectué pour Algo REF1
Nbre_Handoff_REF2 = 0; % le nombre de handoff effectué pour Algo REF2
Nbre_Handoff_Algo =0; % le nombre de handoff effectué pour Algo proposé

D_WIFI=0;
D_UMTS=0;
UMTS_RSS=0; WLAN_RSS=0; UMTS_Algo=0; WLAN_Algo=0;UMTS_REF1=0;
WLAN_REF1=0;UMTS_REF2=0; WLAN_REF2=0;
delaïs=1;
Alpha = 5; % Alpha paramètre pour calcule de la marge [dB]

for i = 1 : N_move

%% Algo de RSS %%:-----

    if (potenzeWIFI(x_move(i),y_move(i))>potenzeUMTS
(x_move(i),y_move(i)))
        WLAN_RSS = WLAN_RSS + 1;
        if (res_RSS == 0)
            res_RSS=1; Nbre_Handoff_RSS= Nbre_Handoff_RSS+1;
            Debit_VHO_RSS(i) = Rate_WIFI(x_move(i),y_move(i))*0.5;
        else
            Debit_VHO_RSS(i) = Rate_WIFI(x_move(i),y_move(i));
        end
    else
        UMTS_RSS = UMTS_RSS +1;
        if (res_RSS == 1)
            res_RSS=0; Nbre_Handoff_RSS = Nbre_Handoff_RSS + 1;
            Debit_VHO_RSS(i) = Rate_UMTS(x_move(i),y_move(i))*0.5;
        else
            Debit_VHO_RSS(i) = Rate_UMTS(x_move(i),y_move(i));
        end
    end

end

%%-----

```

```

%%Algo de referencel(Article1):-----
    if ( Rate_WIFI(x_move(i),y_move(i))>
Rate_UMTS(x_move(i),y_move(i))) % passage au reseau WIFI et si on
est dans WIFI deja alors on reste
        WLAN_REF1 = WLAN_REF1 + 1;
        if (res_REF1 == 0)
            res_REF1=1; Nbre_Handoff_REF1= Nbre_Handoff_REF1+1;
            Debit_VHO_REF1(i) = Rate_WIFI(x_move(i),y_move(i))*0.5;
        else
            Debit_VHO_REF1(i) = Rate_WIFI(x_move(i),y_move(i));
        end

    else % soit resté ou passage au reseau UMTS
        UMTS_REF1 = UMTS_REF1 +1;
        if (res_REF1 == 1)
            res_REF1=0; Nbre_Handoff_REF1 = Nbre_Handoff_REF1 + 1;
            Debit_VHO_REF1(i) = Rate_UMTS(x_move(i),y_move(i))*0.5;
        else
            Debit_VHO_REF1(i) = Rate_UMTS(x_move(i),y_move(i));
        end
    end

%%-----
%Algo de reference2(Article2):-----

    % Throughput-Based Mapping Function:(Based on WLAN performance)

    min= abs(Rate_UMTS2(x_move(i),y_move(i))-Rate_WIFI2(1,1));
minj=1;
    for j = 1 : i
        if (abs(Rate_UMTS2(x_move(i),y_move(i))-
Rate_WIFI2(x_move(j),y_move(j)))< min)
            min=abs(Rate_UMTS2(x_move(i),y_move(i))-
Rate_WIFI2(x_move(j),y_move(j))); minj=j; end
        end
        SNR_UMTS_eff(i)= SNR_WIFI(x_move(minj),y_move(minj));

        R= Rate_WIFI2(x_move(i),y_move(i))/
Rate_UMTS2(x_move(i),y_move(i));

        if (res_REF2==0) %cas où le Mobile dans le reseau UMTS
(reseau=0)

            Temps_dl = 2*Delai_handoff / (R-1);

            % Calcule de H:la marge definit pour le service Data;
            H = Alpha- 10*log10(R); %en dB

```



```

% Calcule combien de déplacement est équivalent au Temps_dl:
if (Temps_dl >= 1) deplacement_dl = floor(Temps_dl)+1;
else deplacement_dl = 1;
end
    indice=0;
    while((indice<=
deplacement_dl*delais)&&(deplacement_dl*delais<i))
        if ((SNR_WIFI(x_move(i-indice),y_move(i-indice))-
SNR_UMTS_eff(i-indice))< H) break;
        end
        indice=indice+1;
    end

WLAN
    if (indice==(deplacement_dl*delais)+1) %passage au réseau
        Nbre_Handoff_REF2 = Nbre_Handoff_REF2 + 1;
        Debit_VHO_REF2(i) = Rate_WIFI(x_move(i),y_move(i))*0.5;
        res_REF2=1;
        WLAN_REF2 = WLAN_REF2 + 1;
    else % rester au réseau UMTS
        Debit_VHO_REF2(i) = Rate_UMTS(x_move(i),y_move(i));
        UMTS_REF2 = UMTS_REF2 + 1;
    end

    else %cas où le Mobile dans le réseau WIFI (reseau=1)

    Temps_up = 2*Delai_handoff / (1-(1/R));

    % Calcule de H:la marge définit pour le service Data;
    H = Alpha- 10*log10(R)+ res_REF2 * 10 *
log10((Temps_up+Delai_handoff)/Delai_handoff); %en dB

    % Calcule combien de déplacement est équivalent au Temps_up:
    if (Temps_up >= 1) deplacement_up = floor(Temps_up)+1;
    else deplacement_up = 1;
    end
        indice=0;
        while((indice<=
deplacement_up*delais)&&(deplacement_up*delais<i))
            if ((SNR_UMTS_eff(i-indice)-SNR_WIFI(x_move(i-
indice),y_move(i-indice)))< H) break;
            end
            indice=indice+1;
        end

UMTS
    if (indice==(deplacement_up*delais)+1) %passage au réseau
        Nbre_Handoff_REF2 = Nbre_Handoff_REF2 + 1;
        Debit_VHO_REF2(i) = Rate_UMTS(x_move(i),y_move(i))*0.5;
        res_REF2=0;
        UMTS_REF2 = UMTS_REF2 + 1;
    else % rester au réseau WIFI
        Debit_VHO_REF2(i) = Rate_WIFI(x_move(i),y_move(i));
        WLAN_REF2 = WLAN_REF2 + 1;
    end

```

```

end

end

%%-----
%%Algo Proposé: (non temps réel)-----

    min= abs(Rate_UMTS(x_move(i),y_move(i))-Rate_WIFI(1,1)); minj=1;
    for j = 1 : i
        if (abs(Rate_UMTS(x_move(i),y_move(i))-
Rate_WIFI(x_move(j),y_move(j)))< min)
            min=abs(Rate_UMTS(x_move(i),y_move(i))-
Rate_WIFI(x_move(j),y_move(j))); minj=j; end
        end
        SINR_UMTS_eff(i)= SINR_WIFI(x_move(minj),y_move(minj));

R= Rate_WIFI(x_move(i),y_move(i))/Rate_UMTS(x_move(i),y_move(i));

if (reseau==0)    %cas où le Mobile dans le réseau UMTS (reseau=0)

Temps_dl = 2*Delai_handoff / (R-1);

% Calcule de H:la marge définit pour le service Data;
H = Alpha- 10*log10(R); %en dB

% Calcule combien de déplacement est équivalent au Temps_dl:
if (Temps_dl >= 1) deplacement_dl = floor(Temps_dl)+1;
else deplacement_dl = 1;
end

    indice=0;
    while((indice<=
deplacement_dl*delais)&&(deplacement_dl*delais<i))
        if (SINR_WIFI(x_move(i-indice),y_move(i-indice))-
SINR_UMTS_eff(i-indice)< H) break;
        end
        indice=indice+1;
    end

    if (indice==(deplacement_dl*delais)+1)    %passage au réseau
WLAN
        Nbre_Handoff_Algo = Nbre_Handoff_Algo + 1;
        Debit_VHO_Algo(i) = Rate_WIFI(x_move(i),y_move(i))*0.5;
        reseau=1;
        WLAN_Algo = WLAN_Algo + 1;
    else
        % rester au réseau UMTS
        Debit_VHO_Algo(i) = Rate_UMTS(x_move(i),y_move(i));
        UMTS_Algo = UMTS_Algo + 1;
    end
end

```

```

else      %cas où le Mobile dans le réseau WIFI (reseau=1)

Temps_up = 2*Delai_handoff / (1-(1/R));

% Calcule de H:la marge définit pour le service Data;
H = Alpha- 10*log10(R)+ reseau * 10 *
log10((Temps_up+Delai_handoff)/Delai_handoff); %en dB

% Calcule combien de déplacement est équivalent au Temps_up:
if (Temps_up >= 1) deplacement_up = floor(Temps_up)+1;
else deplacement_up = 1;
end

        indice=0;
        while((indice<=
deplacement_up*delais)&&(deplacement_up*delais<i))
                if (SINR_UMTS_eff(i-indice)-SINR_WIFI(x_move(i-
indice),y_move(i-indice))< H) break;
                end
                indice=indice+1;
        end

        if (indice==(deplacement_up*delais)+1) %passage au réseau
UMTS
                Nbre_Handoff_Algo = Nbre_Handoff_Algo + 1;
                Debit_VHO_Algo(i) = Rate_UMTS(x_move(i),y_move(i))*0.5;
                reseau=0;
                UMTS_Algo = UMTS_Algo + 1;
        else % rester au réseau WIFI
                Debit_VHO_Algo(i) = Rate_WIFI(x_move(i),y_move(i));
                WLAN_Algo = WLAN_Algo + 1;
        end

        end

%-----
%%Algo Proposé: (temps reel)-----
        min= abs(Rate_UMTS(x_move(i),y_move(i))-Rate_WIFI(1,1)); minj=1;
        for j = 1 : i
                if (abs(Rate_UMTS(x_move(i),y_move(i))-
Rate_WIFI(x_move(j),y_move(j)))< min)
                        min=abs(Rate_UMTS(x_move(i),y_move(i))-
Rate_WIFI(x_move(j),y_move(j))); minj=j; end
                end
                SINR_UMTS_eff(i)= SINR_WIFI(x_move(minj),y_move(minj));

        R= Rate_WIFI(x_move(i),y_move(i))/Rate_UMTS(x_move(i),y_move(i));

        if (reseau==0) %cas où le Mobile dans le réseau UMTS (reseau=0)

                Temps_dl = 2*Delai_handoff / (R-1);

```

```

% Calcule de H: la marge définit pour le service video;
H = Alpha- 10*log10(R); %en dB

% Calcule combien de déplacement est équivalent au Temps_dl:
if (Temps_dl >= 1) déplacement_dl = floor(Temps_dl)+1;
else déplacement_dl = 1;
end

    indice=0;
    while((indice<=
deplacement_dl*delais)&&(deplacement_dl*delais<i))
        if (SINR_WIFI(x_move(i-indice),y_move(i-indice))-
SINR_UMTS_eff(i-indice)< H) break;
        end
        indice=indice+1;
    end

    if (indice==(deplacement_dl*delais)+1) %passage au réseau
WLAN
        Nbre_Handoff_Algo = Nbre_Handoff_Algo + 1;
        Debit_VHO_Algo(i) = Rate_WIFI(x_move(i),y_move(i))*0.5;
        if (Debit_VHO_Algo(i)< BiteRate)
            Paquet_perdus_Algo(i)= ((BiteRate -
Debit_VHO_Algo(i))/BiteRate)*12.5 + 11.5;
        else Paquet_perdus_Algo(i)= 12;
        end

        reseau=1;
        WLAN_Algo = WLAN_Algo + 1;
    else % rester au réseau UMTS
        Debit_VHO_Algo(i) = Rate_UMTS(x_move(i),y_move(i));
        UMTS_Algo = UMTS_Algo +1;
        if (Debit_VHO_Algo(i)< BiteRate)
            Paquet_perdus_Algo(i)= ((BiteRate -
Debit_VHO_Algo(i))/BiteRate)*25;
        else Paquet_perdus_Algo(i)= 0;
        end

    end

#
    else %cas où le Mobile dans le réseau WIFI (reseau=1)

        Temps_up = 2*Delai_handoff / (1-(1/R));

        % Calcule de H:la marge définit pour le service Data;
        H = Alpha- 10*log10(R)+ reseau * 10 *
log10((Temps_up+Delai_handoff)/Delai_handoff); %en dB

        % Calcule combien de déplacement est équivalent au Temps_up:
        if (Temps_up >= 1) déplacement_up = floor(Temps_up)+1;
        else déplacement_up = 1;
        end
    end

```

```

        indice=0;
        while((indice<=
deplacement_up*delais)&&(deplacement_up*delais<i))
            if (SINR_UMTS_eff(i-indice)-SINR_WIFI(x_move(i-
indice),y_move(i-indice))< H) break;
            end
            indice=indice+1;
        end

        if (indice==(deplacement_up*delais)+1) %passage au réseau
UMTS
            Nbre_Handoff_Algo = Nbre_Handoff_Algo + 1;
            Debit_VHO_Algo(i) = Rate_UMTS(x_move(i),y_move(i))*0.5;
            if (Debit_VHO_Algo(i)< BiteRate)
                Paquet_perdus_Algo(i)= ((BiteRate -
Debit_VHO_Algo(i))/BiteRate)*12.5 +11.5;
            else Paquet_perdus_Algo(i)= 12;
            end

            reseau=0;
            UMTS_Algo = UMTS_Algo +1;
        else % rester au réseau WIFI
            Debit_VHO_Algo(i) = Rate_WIFI(x_move(i),y_move(i));
            WLAN_Algo = WLAN_Algo + 1;
            if (Debit_VHO_Algo(i)< BiteRate)
                Paquet_perdus_Algo(i)= ((BiteRate -
Debit_VHO_Algo(i))/BiteRate)*25;
            else Paquet_perdus_Algo(i)= 0;
            end

        end

    end

%-----
end

```

BIBLIOGRAPHIE

- 3GPP. 2002a. *3GPP system to Wireless Local Area Network (WLAN) Interworking: Functional and architectural definition (Release 6)*. 3GPP TR 23.934 V1.0.0. Sophia Antipolis Valbonne - FRANCE, 37 p.
<http://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/23_series/23.934/23934-100.zip>. Consulté le 10 Janvier 2009.
- 3GPP. 2002b. *Feasibility study on 3GPP system to Wireless Local Area Network (WLAN) interworking (Release 6)*. 3GPP, TR 22.934 V6.1.0. Sophia Antipolis Valbonne - FRANCE, 30 p. <http://www.3gpp.org/ftp/Specs/2002-12/Rel-6/22_series/22934-610.zip>. Consulté le 10 Janvier 2009.
- A. H. Zahran, B. Liang et A. Saleh. 2006. « Signal Thresholds Adaptation for Vertical Handoff in Heterogenous Wireless Networks ». *Mobile Networks and Applications*, vol. 11, n° 4 (Aout 2006), p. 625-640.
- Anna M Vegni, Tiziano Inzerilli. 2008. « A reactive vertical handover approach for WiFi-UMTS dual-mode terminals ». *IEEE International Symposium on Consumer Electronics, 2008. ISCE 2008*. 14-16 April 2008, p. 1-4.
- Belghoul, Farouk; Moret, Yan et Bonnet, Christian 2005. « Mécanismes de handover pour les réseaux IP sans-fil ». *Technique et Sciences Informatiques, Revue des sciences et technologies de l'information*, vol. 24, n° 1, p. 7-37.
- Cheng, Wei Song; Weihua Zhuang et Yu. 2007. « Load Balancing for Cellular/WLAN Integrated Networks ». *Network. IEEE* vol. 21, n° 1 (Jan.-Fev 2007), p. 27-33.
- Chie Ming Chou, ChingYao Huang. 2006. « Dynamic Vertical Handover Control Algorithm for WLAN and UMTS ». *Wireless Communications and Networking Conference, 2006. WCNC 2006. IEEE*, vol. 1, (Avril 2006), p. 606-610.
- Erik Dahlman, Stefan Parkvall, Johan Skold et Per Beming. 2007. *3G Evolution HSPA and LTE for Mobile Broadband*, 1er éd. San Diego (California): Elsevier, 448 p.
- Fang Zhu, JaniseMcNair 2006. « Multiservice Vertical Handoff Decision Algorithms ». *Journal on Wireless Communications and Networking EURASIP*, vol. 2006, n° 2 (Avril 2006), p. 1-13.
- Géron, Aurélien. 2006. *Wifi déploiement et sécurité : la Qos et leWPA* 2e éd. Paris: Dunod, 396 p.

- Hongyan Bing, Chen He et Lingge Jiang 2003. « Performance Analysis of Vertical Handover in a UMTS-WLAN Integrated Network ». *The 14th IEEE 2003 International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communication Proceedings*, vol. 1, (Sept 2003), p. 187-191.
- HyangDuck Cho, JaeKyun Park, Wadin KO, Keumsang Lim et Wooshik Kim. 2005. « A study on the MCHO method in Hard handover and Soft handover between WLAN and CDMA ». *Proc on International Conference on Consumer Electronics, ICCE 2005*, (Jan 2005), p. 391-392.
- Hyeyeon Kwon, Kyung-yul Cheon et Aesoon Park. 2007. « Analysis of WLAN to UMTS Handover ». *Vehicular Technology Conference, 2007. VTC-2007 Fall. 2007 IEEE 66th*, (Sept. 30-Oct. 3 2007), p. 184-188.
- Jee Y Song, Sung-won Lee et Dong-ho Cho. 2003. « Hybrid coupling scheme for UMTS and wireless LAN interworking ». *Proc. VTC-Fall*, vol. 4, (Oct 2003), p. 2247-2251.
- Jiping Lv, Yuanchen Ma et Satoshi Yoshizawa. 2008. « Intelligent Seamless Vertical Handoff Algorithm for the next generation wireless networks ». *Proceedings of the 1st international conference on MOBILE Wireless MiddleWARE, Operating Systems, and Applications* (Bruxelles), 2008.
- Kemeng Yang, Bin Qiu; Laurence S. Dooley. 2007a. « USING SINR AS VERTICAL HANDOFF CRITERIA IN MULTIMEDIA WIRELESS NETWORKS ». *Multimedia and Expo, 2007 IEEE International Conference on*, (Juillet 2007), p. 967-970.
- Kemeng Yang, Iqbal Gondal, Bin Qiu et Laurence S. Dooley. 2007b. « Combined SINR Based Vertical Handoff Algorithm for Next Generation Heerogeneous Wireless Networks ». *IEEE, Global Telecommunications Conference, 2007. GLOBECOM apos:07.*, (26-30 Nov 2007), p. 4483-4487.
- Lescuyer, Pierre. 2002. *UMTS les origines, l'architecture, la norme*, 2e éd. Paris: Dunod, 283 p.
- Luo H., Jiang Z., Kim B., Shankar N., Henry P. 2002. « Internet roaming: A WLAN/3G integration system for enterprises ». *SPIE proceedings series* vol. 4911, p. 154-164.
- Mylène Pischella, Franck Lebeugle et Sana Ben Jamaa 2006. « UMTS to WLAN Handover based on A Priori Knowledge of the Networks ». *Communications, 2006. ICC apos:06. IEEE International Conference on*, vol. 5, (juin 2006), p. 2009-2013.
- Nishith D. Tripathi, Jeffrey Hugh Reed, Hugh F. Van Landingham. 2001. *Radio resource management in cellular systems* Coll. « The Springer International Series in Engineering and Computer Science », 618. 248 p.

- Pahlavan, K.; Krishnamurthy, P.; Hatami, A.; Ylianttila, M.; Makela, J.P.; Pichna, R et Vallstron, J. 2000. « Handoff in hybrid mobile data networks ». *Personal Communications, IEEE*, vol. 7, n° 2 (Apr 2000), p. 34-47.
- Pischella, M. 2005. « Efficient inter-system handover based on a priori knowledge of the networks ». *Applications and Services in Wireless Networks, ASWN'05*, (Juin 2005).
- Pollhi, Gregory P. 1996. « Trends in Handover Design ». *IEEE. Communications Magazine*. mars 1996. Vol. 34, n° 3 (mars 1996), p. 82-90.
- Pujollé, Guy. 1999. *Les réseaux* 3e éd. Paris: Eyrolles, 939 p.
- Stallings, William. 2005. *Réseaux et communication sans fil*, 2e éd. Paris: Pearson Education, 600 p.
- Standard, IEEE802.11b. 1999. *Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications*. IEEE802.11.
- Tanenbaum, A. S. 2003. *Computer Networks*, 4e éd. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice-Hall, 912 p.
- Wei Song, Hai Jiang, Weihua Zhuang et Xuemin Shen 2005. « Resource Management for QoS Support in Cellular/WLAN Interworking ». *Network, IEEE*, vol. 19, n° 5 (Sept-Oct 2005), p. 12-18.
- Wowra, John P. « Handover in DVB-H ». In *Seminar University of Göttingen*. En ligne. p. 19. <http://user.informatik.uni-goettingen.de/~seminar/dvb/DVBHandover_JWowra.pdf>. Consulté le 20 Janvier 2010.
- Yong G. Hong, Jung S. Park, Hyoung J. Kim et Hyeong H. Lee. 2005. « A Service Continuity Mechanism based on IPv6 at Mobile Station for CDMA/WLAN Interworking ». In *Vehicular Technology Conference, 2005. VTC-2005-Fall. 2005 IEEE 62nd* (25-28 Sept 2005). Vol. 2.
- Zhang, Litao Liang; Hui Wang et Ping. 2007. « Net Utility-Based Network Selection Scheme in CDMA Cellular/WLAN Integrated Networks ». *Wireless Communications and Networking Conference, 2007.WCNC 2007. IEEE* (Kowloon). 11-15 Mars 2007, p. 3313-3317.
- Zhu, J. McNair et F. 2004. « Vertical handoffs in fourth-generation multinetwork environments ». *IEEE Wireless Communications*, vol. 11, n° 3 (June 2004), p. 8-15.