

THESE

En vue de l'obtention du : **DOCTORAT**

Discipline : Sciences de l'ingénieur

Spécialité : Informatique et télécommunications

Présentée et soutenue le : 28/04/2018 par :

Asmae AIT MANSOUR

***L'optimisation contextuelle du Handover dans les réseaux sans fil
hétérogènes : technique de supervision et théorie des jeux.***

JURY

Salma MOULINE	PES, Université Mohammed V, Faculté des sciences, Rabat, Maroc	Présidente
Moulay Driss RAHMANI	PES, Université Mohammed V, Faculté des sciences, Rabat, Maroc	Examineur
Mohamed OUADOU	PES, Université Mohammed V, Faculté des sciences, Rabat, Maroc	Directeur de Thèse
Nourddine ENNEYA	PH, Université Ibn Tofaïl, Faculté des sciences, Kenitra, Maroc	Co-encadrant
Khalid MINAOUI	PH, Université Mohammed V, Faculté des sciences, Rabat, Maroc	Rapporteur
Jalal LAASSIRI	PH, Université Ibn Tofaïl, Faculté des sciences, Kenitra, Maroc	Rapporteur

Année Universitaire : 2017/2018

*À mes chers parents,
À mes chers deux frères Mohamed et Zakaria.*



AVANT-PROPOS

Ce travail a été réalisé au sein du laboratoire de recherche en informatique et télécommunications sous la direction de M. Mohamed OUADOU Professeur de l'Enseignement Supérieur à la Faculté des Sciences de Rabat et l'encadrement de M. Nourddine ENNEYA, Professeur Habilité à la Faculté des Sciences de Kenitra.

Je commence par présenter ma plus vive gratitude à mon directeur de thèse M. Mohamed OUADOU, pour la gentillesse et la patience qu'il a manifestées à mon égard durant cette thèse, pour ses encouragements et ses précieux conseils.

Je ne saurais remercier assez mon encadrant M. Nourddine ENNEYA, pour le temps passé à m'avoir fait partager ses connaissances scientifiques et son expérience, ainsi que pour son humanité et sa gentillesse.

Je tiens à remercier Mme. Salma MOULINE, Professeur de l'Enseignement Supérieur à la Faculté des Sciences de Rabat, d'avoir accepté de présider le jury de ma soutenance.

Je remercie M. Moulay Driss RAHMANI, Professeur de l'Enseignement Supérieur à la Faculté des Sciences de Rabat, qui m'a fait l'honneur d'examiner cette thèse et pour son déplacement.

Je tiens aussi à remercier M. Khalid MINAOUI, Professeur Habilité à la Faculté des Sciences de Rabat, pour avoir accepté d'être rapporteur de ma thèse et pour ses conseils précieux.

Je remercie vivement M. Jalal LAASSIRI, Professeur Habilité à la Faculté des Sciences de Kénitra, pour avoir accepté d'être rapporteur de ma thèse et pour ses conseils précieux.

Je voudrais aussi remercier les membres du laboratoire LRIT, c'était un immense plaisir de les côtoyer et de faire leur connaissance. Ma pensée se tourne également vers mes collègues et mes amis sans qui ces années de travail auraient été bien ternes.

Enfin, je terminerai ces remerciements par une pensée pour ma famille, et tout particulièrement :

- ma maman : Zahra, rien au monde ne pourrait compenser tout ce que vous avez fait pour moi et nul mot ne saurait exprimer mes sentiments de gratitude, d'amour et de respect envers vous ; tout ce que je fais est pour vous et grâce à vous.
- mon papa : Hassan qui a toujours et inconditionnellement pris soin de moi, sans relâche et sans répit.
- mes frères que j'aime et qui m'ont constamment soutenue et encouragée.



RÉSUMÉ

La communication mobile sans fil a connu une croissance exponentielle au cours de la décennie écoulée, stimulée par l'abondance et la multiplication des appareils intelligents. Il y a un énorme consensus dans l'industrie du sans-fil selon lequel cette tendance est prévue. Pour répondre à ce développement remarquable dans le trafic mobile, le concept de réseaux sans fil hétérogènes avec une densification des stations de base a été introduit. Les réseaux hétérogènes sans fil déploient une combinaison de macro-cellules et de haute densité de petites cellules avec un objectif d'acheminer le système plus près des clients finaux. Dans ce contexte, afin de garantir l'accessibilité des services réseau à ses utilisateurs en tout lieu et à tout moment, il est nécessaire de décider du quand et du où un utilisateur demandera un réseau. En d'autres termes, il est nécessaire d'optimiser le processus de Handover.

Les principaux problèmes liés à l'organisation efficace du processus de Handover dans les réseaux hétérogènes sans fil sont la gestion du déclenchement et la sélection du réseau. Par conséquent, il est fondamental d'adopter un arrangement compétent et total qui garantit une meilleure fourniture de qualité de services. Dans cette thèse, l'amélioration de la procédure de Handover pour l'équipement de l'utilisateur sans fil est modélisée en tant que système de gestion qui définit un nouveau concept de déclenchement et le matching-game pour la sélection du réseau. Les performances de ce système sont évaluées par le biais du simulateur réseau-3 fusionné avec le standard IEEE 802.21 et le protocole de mobilité IPv6.

Mots-clés : Les réseaux hétérogènes sans fil, Liaison descendante/liaison montante découplée, matching-game, Sélection de réseau, NS-3



ABSTRACT

Mobile wireless communication has encountered exponential growth over the previous decade, driven by the abundance and the multiplication of smart devices. There is an enormous agreement in the wireless industry that this pattern is foreseen proceeding. To meet this conspicuous development of mobile traffic, request the idea of heterogeneous wireless networks with base station densification has been presented. The heterogeneous wireless networks deploys a combination of macro cells and high density of small cells with a specific end goal to convey the system nearer to end clients. For this situation, to help guarantee the accessibility of the network services to its users at anyplace and whenever, there is the need to anticipate when and where a user will request any network mode. In another word, there is a need to advance Handover process.

The key issues relating to the effective arrangement of the Handover process in heterogeneous wireless networks are triggering management and network selection. Consequently, it is basic to assume a proficient and a total arrangement guarantees better quality of services provisioning. In this thesis, the Handover procedure enhancement for the wireless user's equipment is displayed as a management system that defines a new trigger concept and the matching game for network selection. Performance of this system is assessed through a system network simulator-3 merged with the IEEE 802.21 standard and proxy mobile IPv6 protocol.

Keywords : Heterogeneous wireless Networks (HetNet), Decoupled Downlin/Uplink, Matching Game, Network Selection, NS-3



TABLE DES MATIÈRES

Résumé	iii
Abstract	iv
Liste des abréviations	viii
Liste des figures	xi
Liste des tableaux	1
Introduction générale	1
Chapitre 1 : La gestion de la mobilité dans les réseaux hétérogènes : défis et problèmes de conception	6
1.1 Les réseaux hétérogènes sans fil	7
1.2 La présentation Handover	10
1.2.1 Les terminologies du Handover	10
1.2.1.1 L'horizontal Vs vertical	10
1.2.1.2 Le Handover hard Vs soft	11
1.2.1.3 Le Handover intra-administratif Vs inter-administratif	11
1.2.1.4 Le Handover à mobilité de couche 2 Vs couche 3	11
1.2.1.5 Le Handover mobilité globale Vs local	11
1.2.1.6 Le Handover obligatoire Vs volontaire	12
1.2.1.7 Le Handover contrôlé mobile Vs contrôle réseau Vs assisté réseau	12
1.2.1.8 Le Handover intra-fréquence Vs inter-fréquence	13
1.2.2 Le processus Handover	14
1.2.2.1 La remise d'information	15
1.2.2.2 La décision du Handover	18
1.2.2.3 La phase d'exécution	19
1.3 Les problématiques de recherche ouverte	21
1.3.1 La qualité de service (QoS)	22
1.3.2 La qualité d'expérience (QoE)	22
1.3.3 La sécurité	23
1.3.4 La gestion des ressources	23
1.3.5 Les protocoles de routage	23

1.4	Conclusion	23
Chapitre 2 : Les techniques du Handover : état de l'art		25
2.1	Les systèmes basés sur RSS	27
2.1.1	Les systèmes basés "Dwell timer"	27
2.1.2	Les systèmes basés sur le seuil RSS :	28
2.1.3	Les systèmes basés balayage des canaux :	28
2.1.4	Les systèmes à base de prédiction :	29
2.2	Les systèmes basés sur QOS	31
2.2.1	Les systèmes basés sur la bande passante	31
2.2.2	Les Systèmes basés sur SINR	31
2.2.3	Les systèmes basés sur les préférences de l'UE	33
2.3	Les systèmes basé sur les fonctions Multi-critère	34
2.3.1	Les programmes basés une fonction d'utilité	34
2.3.2	Les programmes basés sur les fonctions de coût	35
2.3.3	Les programmes basés sur classement réseau	36
2.4	Les systèmes basés sur les techniques de prédiction	39
2.4.1	Les systèmes basés sur réseaux de neurones	39
2.4.2	Les programmes basés sur la logique floue	41
2.4.3	Les programmes basés protocoles intelligents	42
2.5	Les Systèmes fondés sur le contexte	45
2.5.1	Les programmes basés sur des prévisions de mobilité sensible au contexte	45
2.5.2	Les programmes basés sur coopération sensible au contexte	46
2.5.3	Le MIH basé sur des schémas sensibles au contexte	49
2.6	La théorie de jeu et la prise de décision Handover.	53
2.6.1	Les principes fondamentaux de la théorie des jeux	53
2.6.2	Les motivations de l'utilisation de la théorie du jeu pour HetNet	54
2.6.3	Les jeux non coopératifs Vs coopératifs dans la prise de décision Handover	55
2.7	Conclusion	58
Chapitre 3 : L'amélioration des systèmes de Handover en intégrant la super- vision du mobile		60
3.1	Les motivations.	61
3.1.1	La vitesse et performance de transfert	61
3.1.2	Le déclenchement de transfert	63
3.2	L'architecture de gestion du Handover MIH-assisté-PMIPv6.	64
3.2.1	La gestion du Handover avec MIH	64
3.2.1.1	Modèle de communication du MIH	65
3.2.1.2	Media Independent Event Services (MIES)	66
3.2.1.3	Media Independent Command Services (MICS)	67
3.2.1.4	Media Independent Information Services (MIIS)	67
3.2.2	La gestion de la mobilité avec PMIPv6	68
3.2.2.1	L'architecture du protocole PMIPv6	68
3.2.2.2	Le modèle de communication PMIPv6	70
3.2.2.3	La considération de performance	72

3.2.3	Les systèmes d'interfonctionnement, PMIPv6 et MIH	72
3.3	La prise de décision basée sur la surveillance.	73
3.3.1	La modélisation mathématique.	73
3.3.2	L'intégration du modèle dans l'architecture MIH-assisté-PMIPv6	77
3.4	L'environnement et les paramètres de simulation.	79
3.4.1	La configuration des expériences.	79
3.4.2	L'analyse de simulation.	81
3.5	Les avantages et limitations de l'architecture proposée	86
3.6	Conclusion.	87
Chapitre 4 : La sélection réseau contextuelle intelligente : utilisation du matching-		
	game	88
4.1	Introduction	89
4.2	Le contexte de travail	91
4.3	Le modèle de système et la formulation de problèmes	94
4.3.1	Le modèle de système	94
4.3.2	la formulation de problèmes	96
4.4	Le modèle proposé	97
4.4.1	Le matching-game	98
4.4.2	La construction des joueurs	99
4.4.3	L'algorithme de transfert découplé UL-DL	100
4.4.4	L'analyse de Convergence et Pareto-Optimalité	102
4.5	La simulation et les résultats	103
4.5.1	L'environnement de simulation	103
4.5.2	Les résultats et discussions	105
4.6	Conclusion	108
Chapitre 5 : Les conclusions et les perspectives		110
5.1	Les conclusions	110
5.2	Les perspectives	111
Publications de l'auteur		113
Bibliographie		115



LISTE DES ABRÉVIATIONS

AAA	Authentication, Authorization, Accounting
ANN	Artificial neural networks
AP	Access point
API	Application Programming Interfaces
BS	Base Station
CDMA	Code Division Multiple Access
DL	Downlink
DUD	Decoupled Uplink Downlink
FBS	Femto Base Station
FDD	Frequency Division Duplex
FTP	File Transfer Protocol
GPS	Global Positioning System
GRA	Grey Relational Analysis
GSM	Global System for Mobile
GVLL	Generic Virtual Link Layer
HetNet	Heterogeneous Wireless Networks
HIP	Host Identity Protocol
HOCM	Handover Contrôlé Mobile
HOCR	Handover Contrôlé Réseau
HSDPA	High Speed Downlink Packet Access
IINR	Interference-to-other-Interferences-plus-Noise
IMS	IP Multimedia Subsystem
IPv4	Internet Protocol version 4
LTE	Long Term Evolution
MADM	Multiple Attribute Decision Making
MBS	Macro Base Station
MICS	Media Independent Command Services
MIES	Media Independent Event Services
MIHF	Media Independent Handover Function

MIIS	Media Independent Information Services
MINLP	Mixed-Integer Non-Linear Programming Problem
MIP	Mobile Internet Protocol
MIPv4	Mobile Internet Protocol version 4
MIPv6	Mobile Internet Protocol version 6
NS-3	Network simulator 3
PMIPv6	Proxy Mobile IPv6
PSR	Packet Success Rate
QoE	Quality of Experience
QoS	Quality of Service
RAT	Radio Access Technology
RSNI	Received signal to noise indicator
RSS	Received Signal Strength
RSSI	Received Signal Strength Indicator
SAP	Service Access Point
SAW	Simple Additive Weighting
SCTP	Stream Control Transmission Protocol
SINR	Signal to Interference-plus-Noise Ratio
SIP	Session Initiation Protocol
SNR	Signal-to-Noise Ratio
TDD	Time-Division Duplex
TOPSIS	Technique for Order Preference by Similarity to the Ideal Solution
UCR	Unit Control Radio
UE	User Equipment
UL	UpLink
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
VIKOR	Vlsekriterijumska optimizacija I KOmpromisno Resenj
Wi-Bro	Wireless Broadband
WIMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access
WLAN	Wireless Local Area Network
WMAN	Wireless Metropolitan Area Network
WP	Weighted Product
WPAN	Wireless Personal Area Network
WWAN	Wireless Wide Area Network
XML	Extensible Markup Language

TABLE DES FIGURES

1.1	Les réseaux sans fil hétérogènes	7
1.2	Le Handover vertical Vs horizontal	10
1.3	La gestion de la macro mobilité Vs micro mobilité	12
1.4	L'arbre de classification du Handover[1]	14
1.5	Le processus de Handover	15
1.6	Le Protocole IEEE 802.21	17
1.7	Les problématiques de recherche ouverte	21
2.1	La classification des systèmes de décision de Handover vertical	26
2.2	Les travaux liés à la théorie des jeux	57
3.1	L'architecture du MIH.	65
3.2	La relation entre différents SAP MIS	67
3.3	Les entités réseau dans Proxy Mobile IPv6	69
3.4	La signalisation lorsqu'un nœud mobile se connecte au domaine PMIPv6	71
3.5	Le principe du sous-échantillonnage par variance d'Allan	75
3.6	L'AVAR de RSS pour l'UE entrant dans la zone AP.	76
3.7	L'AVAR de RSS pour UE sortant de la zone AP.	76
3.8	L'organigramme pour décision de Handover basée sur la vitesse.	78
3.9	Les procédure de fonctionnement du IEEE 802.21 MIH assistée PMIPv6.	79
3.10	Le modèle de système avec différents RATs.	80
3.11	Le taux HOF en fonction de la vitesse. L'intervalle de confiance est de 95 %.	82
3.12	Le taux de perte des paquets en fonction de la vitesse. L'intervalle de confiance est de 95 %.	84
3.13	Le délai de Handover en fonction de la vitesse. L'intervalle de confiance est de 95%.	85
4.1	La topologie de simulation	104
4.2	Le taux d'utilité pour BS en fonction du nombre d'UEs N, sous les approches considérées : 5 MBS avec $q_{ul} = 10$ $q_{dl} = 10$ et 15 FBS avec $q_{ul} = 5$ $q_{dl} = 5$	106
4.3	Le taux moyen d'UE servis par FBS en fonction du nombre d'UE	107
4.4	Le taux d'utilité pour l'UE en fonction du nombre de FBS M, sous les approches considérées, N= 100 UE	108



LISTE DES TABLEAUX

1.1	Les caractéristiques des composantes d'un HetNet	10
1.2	Les informations collectées pour la prise de décision du Handover	16
2.1	Les systèmes de décision basé sur RSS	30
2.2	Les systèmes Handover basé sur QOS	34
2.3	Les systèmes basés sur les fonctions Multi-critère	39
2.4	Les systèmes de décision du Handover vertical basé sur les techniques de prédiction	44
2.5	Les systèmes de prise de décision basés sur le contexte	53
3.1	Les valeurs des paramètres de simulation.	81
3.2	Les principales caractéristiques des régimes étudiés	82
3.3	Le comportement des UEs mobiles dans HetNets en fonction de la vitesse.	83
4.1	L'amélioration apportée par notre méthode	94
4.2	Les notations mathématiques	95
4.3	Les paramètres de simulation	105
4.4	Le retard basé sur le nombre de l'ensemble N^{Req}	107
5.1	Les événement de lien	141
5.2	Les événement MIH	142
5.3	Les commandes de lien	142
5.4	Les commandes MIH	143
5.5	Les primitives MIH_link_SAP	144
5.6	Les primitives MIH_NET_SAP	144
5.7	Les primitives MIH_SAP	145



INTRODUCTION GÉNÉRALE

Contexte général

Les réseaux sans fil et les appareils mobiles ont connu des progrès remarquables. Les UEs (User's Equipment) exigent des services sans interruption, continue, et transparents tout en maintenant une bonne QoS (Quality of Service) depuis n'importe quelle source vers n'importe quel appareil à tout moment, que ce soit en déplacement ou à l'arrêt. Afin de satisfaire les exigences croissantes de la mobilité et des services, le paradigme de la prochaine génération d'infrastructures sans fil (réseaux 5G) comprendra un déploiement élevé de BS (Base Station) et plusieurs différentes RAT (Radio Access Technology), comme les WLANs (Wireless Local Area Network), LTE (Long Term Evolution), WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access), etc. Cependant, il n'y a pas un seul RAT qui peut offrir aux UEs mobiles simultanément une grande quantité de bande passante à faible latence, une large couverture et des niveaux de QoS élevés. Afin de tirer le meilleur parti de l'infrastructure existante, la convergence des réseaux n'est plus une option. Par conséquent, les systèmes sans fil de prochaine génération doivent utiliser diverses solutions et technologies, qui permettent un environnement sans fil hétérogène coopératif où les UEs seront toujours mieux connectés à tout moment et n'importe où [2]. Dans ce contexte, la principale promesse de l'intégration de réseaux hétérogènes est de fournir aux UEs mobiles des performances élevées et une large couverture, tout en maintenant une efficacité énergétique optimale. Cependant, une telle proposition ne sera pas couronnée de succès sans développer et fournir les outils nécessaires pour la gestion et la prise de décision dans un environnement hétérogène dynamique pour garantir une qualité de service. Dans cette thèse, nous proposons des approches qui utilisent les réseaux de communication hétérogène avec des capacités de supervision.

Les motivations et les objectives

Les motivations

Motivés par l'importance de la mise en œuvre de techniques auto-organisatrices pour de futurs réseaux hétérogènes, nous visons à développer un schéma rigoureux pour la gestion du processus Handover dans les réseaux denses. L'optimisation est un outil possible qui peut être utilisé pour modéliser les problèmes de gestion de prise de décision et de sélection dans les réseaux sans fil. Cependant, une fois l'optimisation utilisée, le problème est modélisé de manière centralisée et les schémas du Handover qui en résultent sont ainsi centralisés ; par conséquent, il n'est pas approprié pour résoudre les problèmes de prise de décision du Handover de manière distributive à chaque nœud comme requis par les réseaux auto-organisés. Par conséquent, nous adoptons la théorie des jeux pour modéliser le problème d'allocation des ressources distribué, car la théorie des jeux fournit un riche ensemble d'outils mathématiques pour modéliser et analyser les problèmes de décision interactifs distribués des agents ayant des intérêts conflictuels. En parallèle vu que le problème concerne des UEs mobiles, il est primordial de prendre en considération en plus de l'hétérogénéité l'état dynamique de l'environnement de travail et de proposer une technique d'anticipation pour le déclenchement du Handover. Les principales motivations de l'utilisation d'un nouveau concept pour le déclenchement du Handover et la théorie des jeux pour modéliser les interactions des nœuds de réseau dans les réseaux de petites cellules auto-organisés sont résumées ci-dessous.

- L'UE mobile fait face à différents services de communication déployée par différents opérateurs et composée de plusieurs niveaux (c'est-à-dire : macro, femto, pico, micro). La performance de la mobilité peut être facilement affectée par les informations requises. Par conséquent, la modélisation du comportement de collecte d'information interactif est requise.
- La clé de voûte d'optimisation du Handover est la capacité à contrôler le comportement de la vitesse d'un UE mobile. Dans ce contexte, le concept de supervision de changement de vitesse offre la possibilité au système de prendre une décision anticipée convenable.
- Différents nœuds de réseau peuvent avoir différentes exigences de QoS et peuvent être intéressés par eux-mêmes. Chaque nœud prend des décisions individuelles pour répondre à ses propres besoins plutôt que d'optimiser les performances à l'échelle du système. Dans ce cas, ces nœuds peuvent avoir des intérêts conflictuels. Un tel comportement peut être

facilement modulé en utilisant la théorie des jeux.

- La théorie des jeux fournit un outil naturel pour développer des algorithmes d'optimisation interactive distribuée, car elle permet des interactions locales et la prise de décision individuelle. Les interactions locales réduisent l'échange d'informations entre les nœuds et, par conséquent, le réseau devient évolutif et peut fonctionner avec des conditions de liaison limitée.

Les objectives

L'objectif principal de cette recherche est de développer un nouveau cadre de prise de décision et de gestion d'un Handover distribuée pour les réseaux hétérogènes denses sous-jacents. Cependant, comme les différents réseaux hétérogènes peuvent comporter des réseaux de petites cellules avec des caractéristiques et des limites différentes, les opérateurs de réseau peuvent avoir des objectifs différents pour l'allocation des ressources. Par conséquent, en particulier, nous étudions plusieurs modèles de réseaux avec des caractéristiques différentes et des objectifs différents. Tout au long de ce travail, l'objective principale est de fournir un système qui modélise et analyse l'interaction des nœuds de réseau dans un système hétérogène. Par la suite, sur la base de la mobilité et des informations collectées, des techniques de prise de décision et de gestion sont proposées. La recherche analyse également la performance des algorithmes et l'effet de la vitesse/congestion pour assurer la stabilité et la robustesse.

En particulier, dans ce travail, nous discutons deux scénarios avec des objectifs, qui se complèteront mutuellement pour réaliser un Handover transparent comme indiqué ci-dessous.

- **Décision de Handover pour les zones urbaines basé sur la variation de la vitesse du mobile.** Il est nécessaire de prévoir le Handover de l'UE mobile d'un endroit à un autre. Par conséquent, les approches basées sur la mobilité doivent exploiter les informations du système pour un Handover efficace. Ainsi, nous concevons un cadre unifié pour les réseaux hétérogènes qui procèdent à une collecte d'information maîtrisée. Les cellules voisines échangent des informations sur l'état du réseau afin que la réservation de ressources puisse être faite à l'avance. Cela aide à maintenir le taux d'échec du Handover à une probabilité inférieure et évite également la congestion dans la cellule.
- **Décision distribuée de Handover découplé en lien ascendant ou descendant pour l'équilibrage de charge et l'efficacité en termes de QoS.** Les nœuds de ré-

seau rationnels effectuent des choix rationnels en évaluant les résultats possibles de tous les autres nœuds du réseau. Cependant, dans un réseau dense, il peut y avoir des circonstances dans lesquelles ils sont incapables de faire des choix rationnels individuellement, puisque la rationalité exige que les nœuds tiennent compte des choix de tous les autres nœuds connectés au réseau. Pour ce faire, nous considérons tout d'abord une association découplée pour un réseau dense avec des stations de base de capacité limitée qui ne sont pas capables de suivre les états de toutes les autres stations de base du réseau. De plus, pour un tel système, il est important d'assurer l'équité puisque les stations de base ne peuvent individuellement essayer de maximiser leurs performances en raison de la rationalité limitée.

Les contributions et la portée de la thèse

Dans cette thèse, nous modélisons différentes approches qui se complètent en termes de caractéristiques et d'exigences pour modéliser un cadre de Handover unifié. Plus précisément, trois modèles sont adaptés et étendus pour modéliser trois axes différents dans la gestion de Handover pour des réseaux cellulaires hétérogènes, qui n'ont pas été traités dans la littérature existante. Par la suite, une brève discussion sur les contributions de cette thèse est présentée en considérant chaque modèle utilisé.

1. Un système de communication entre les différents composants d'un réseau hétérogène est conçu puis intégré dans un simulateur réseau-3 (NS-3).
2. Le mécanisme de déclenchement de Handover sensible à la vitesse fournit une décision anticipée
3. Contrôle de congestion du réseau lors de l'exécution du Handover basé sur un jeu itérative avec externalité.

Une discussion plus détaillée sur la contribution sera fournie dans les derniers chapitres de la thèse.

L'organisation de la thèse

Au **chapitre 2**, nous présentons un aperçu de haut niveau sur les différentes techniques de prise de décision, c'est-à-dire : (i) nous détaillerons les différents systèmes de prise de décision en matière de Handover, et la manière dont les différents modèles de gestion de la mobilité ont été

utilisés pour résoudre divers problèmes dans les communications sans fil (ii) en parallèle, nous soulignerons l'évolution des techniques employés par le système de prise de décision du Handover. Ensuite, le **chapitre 3** et le **chapitre 4** présentent la contribution de base de cette thèse. Plus précisément, le **chapitre 3** Explique le schéma de signalisation et de collecte d'information pour un déclenchement de Handover sensible à la vitesse. Le **chapitre 4** il traite la sélection de réseau basé sur le matching-game pour les réseaux ultra-denses. Le **chapitre 5** résume et conclut la recherche présentée dans cette thèse et explore certaines directions pour de futures recherches.

LA GESTION DE LA MOBILITÉ DANS LES RÉSEAUX HÉTÉROGÈNES : DÉFIS ET PROBLÈMES DE CONCEPTION

Sommaire

1.1	Les réseaux hétérogènes sans fil.	7
1.2	La présentation Handover.	10
1.3	Les problématiques de recherche ouverte.	21
1.4	Conclusion	23

Dans le monde d'aujourd'hui, l'une des tendances les plus importantes de la mise au point est la globalisation, qui touche tous les aspects de la vie : économique, politique, sociale et culturelle, et qui change le mode de vie d'une personne. Ainsi dans le monde de la télécommunication l'hétérogénéité est l'un des aspects le plus importants de la globalisation. Pour ce faire, les appareils mobiles modernes sont équipés par plusieurs interfaces qui facilitent l'interaction avec différentes technologies. L'objectif de réaliser une intégration complète des différents réseaux d'accès sans fil dans un modèle hétérogène offre une continuité de service des UEs mobiles, de ce fait apparait la nécessité d'améliorer le processus du Handover.

Ainsi en premier temps, afin de bien assimiler le concept et rendre le Handover d'un réseau à l'autre aussi transparent que possible pour l'UE mobile, une vue d'ensemble des réseaux hétérogènes sera présentée dans ce chapitre. On discutera les problèmes techniques liés au Handover dans les réseaux hétérogènes ainsi que certains paramètres nécessaires pour prendre une décision du Handover vertical. On exposera aussi le scénario d'interdépendance qui existe entre la mobilité et la gestion du Handover. On discutera en détail le Handover dans les réseaux hétérogènes passant par les trois étapes successives d'un Handover : l'ouverture de l'accès au réseau, la décision de Handover et l'exécution du Handover.

Le chapitre est organisé en quatre sections : la section 1.1 présente les notions basiques des réseaux hétérogènes. Les propriétés du Handover ainsi que les différentes étapes qui caractérisent

le processus sont présentées dans la section 1.2. La section 1.3 révèle les différentes opportunités de recherche intéressante produite par la mobilité d'un UE exigeant dans un réseau hétérogène.

1.1 Les réseaux hétérogènes sans fil

Un réseau hétérogène sans fil (HetNet, heterogeneous wireless networks)(voir figure 1.1), est un concept réseau important résultant d'une coopération de multi-RAT (multi-radio access technology) où les UEs doivent avoir la souplesse nécessaire pour sélectionner un réseau basé sur l'état de l'environnement et des besoins d'application. HetNet se caractérise par une architecture hiérarchique qui a été reconnue comme une alternative prometteuse pour satisfaire la demande croissante du trafic sur les réseaux sans fil à large bande [3]. Ainsi, chacun des réseaux d'accès sans fil hétérogènes est conçu pour supporter substantiellement un ensemble différent de services et dispositifs spécifiques. Cependant, ces réseaux coexistent et utilisent un noyau IP commun pour offrir des services pour différents types d'application (ex. application à données faibles avec des applications non-temps réel, des applications multimédias en temps réel à haute vitesse), car les réseaux ont des caractéristiques complémentaires.

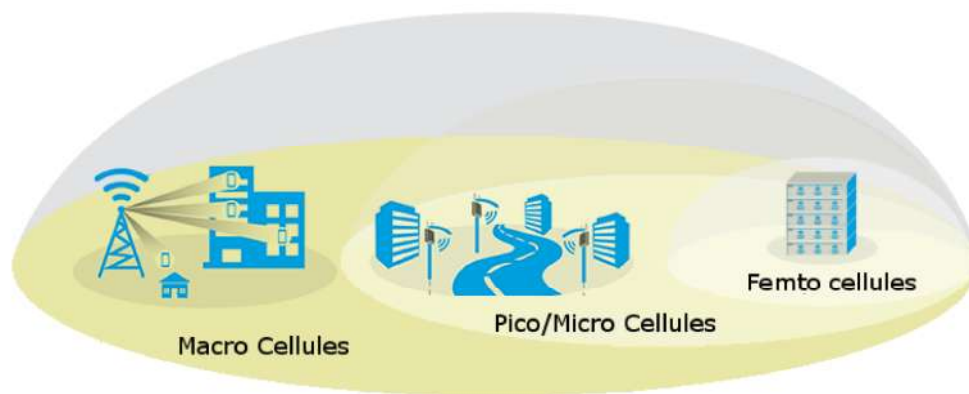


FIGURE 1.1 – Les réseaux sans fil hétérogènes

Parmi les principales caractéristiques de réseau hétérogène, on trouve : (i) les restrictions de la topologie (ii) les schémas de mobilité (iii) la consommation d'énergie (iv) l'évolutivité (v) la vitesse de transmission [4]. En principe et en termes de technologie, les réseaux hétérogènes intégreront différents types de réseau sans fil, existants et émergents qui peuvent être classés selon leurs domaines de couverture, tels que :

— WPAN (Wireless Personal Area Network) : tel que l'ultra-large bande et le Bluetooth. Ils

offrent une gamme limitée de services sans fil ad-hoc aux UEs.

- WLAN (Wireless Local Area Network) : les WLAN sont conçus pour fournir un accès sans fil dans les zones de rayon cellulaire jusqu'à une centaine de mètres, et sont principalement utilisés dans les environnements domestiques et des bureaux. Ils fournissent des connexions à large bande passante pour les UEs sans fil stationnaire ou quasi stationnaire. Le plus notable est la famille WLAN du standard IEEE 802.11x. Les débits de données IEEE 802.11a et IEEE 802.11g peuvent atteindre jusqu'à 54 Mbps sur le point d'accès, ainsi que l'IEEE 802.11n fournit un débit jusqu'à 540 Mbps.
- WMAN (Wireless Metropolitan Area Network) : WMAN conçu pour couvrir des zones plus vastes, généralement aussi grandes que des villes entières, avec de nombreux réseaux locaux et sans fil. Par exemple, IEEE 802.16/WiMAX va fournir une connectivité à large bande aux UEs fixes et mobiles dans l'environnement WMAN. Il fournit des vitesses de Handover de données jusqu'à 50 Mbps. Il est optimisé pour les communications sans fil à haute vitesse pour une large gamme de services et d'applications nécessitant des garanties de la QoS.
- WWAN (Wireless Wide Area Network) : Les WWAN tels que les technologies existantes 2G/3G (par exemple, le GPRS (General Packet Radio Service)) et le UMTS (Universal Mobile Telecommunications System), qui fournit d'autres services de transmission de la voix cellulaire et de bande passante limitée pour un UE à mobilité élevée.
- Réseaux régionaux / étendues - ceux-ci comprennent la radiodiffusion, la télédiffusion et les communications par satellite, etc.

La réutilisation dense du spectre dans une zone géographique offerte par la diversification cellulaire dans HetNet constitue une approche directe et efficace pour augmenter la capacité du réseau par conséquent, elle rapproche les BSs des équipements d'UEs. Plus précisément, la standardisation LTE-A a déjà envisagé un déploiement multiple de HetNets, qui implique des petites cellules sous-jacentes aux réseaux macro-cellulaires. Les petites cellules (voir tableau 1.1), telles que les picocellules, les femtocellules..., transmettent à faible puissance et servent d'élément fondamental pour l'équilibrage de charge dans des macrocellules, améliorant ainsi la qualité de la couverture et les performances des UEs cellulaires, tout en stimulant à la fois l'efficacité spectrale de la zone et l'efficacité énergétique [5]. Un HetNet typique peut se composer d'une cellule contenant des petites cellules telles que les femtocellules et les picocellules sur le dessus d'une microcellule et/ou d'une macrocellule. Les détails suivants décrivent les caractéristiques

des petites cellules dans HetNets :

- Les picocellules sont couvertes par des BSs installés à faible puissance, s'appuyant sur les mêmes fonctions de backhaul et d'accès que les macrocellules. Ils sont généralement déployés de manière centralisée, desservant quelques dizaines d'UEs dans une gamme radio de 300 m ou moins, et ont une puissance d'émission typique allant de 23 à 30 dBm [5]. Les picocellules ne nécessitent pas d'unité de climatisation pour l'amplificateur de puissance et coûtent moins cher que les macros BSs traditionnelles [6].
- Femtocellules, également connu sous le nom de BS à la maison ou eNB à la maison, sont des points d'accès peu coûteux, à faible puissance et déployés par l'UE. Généralement, la fourchette de couverture d'une femtocellule est inférieure à 50 m, et sa puissance d'émission est inférieure à 23 dBm. Les femtocellules opèrent en accès ouvert ou restreint [5].
- Les relais sont habituellement des points d'accès déployés par l'opérateur qui transitent sur les données de la macro BS aux UEs et vice versa [5]. Les relais sont généralement connectés au reste du réseau via un backhaul sans fil. Ils peuvent être déployés à la fois à l'intérieur et à l'extérieur. La puissance d'émission allant de 23 à 33 dBm pour le déploiement à l'extérieur et 20 dBm ou moins pour le déploiement à l'intérieur [6].

Les réseaux sans fil sont géographiquement limités à la distribution de la carte routière ; en conséquence, la topologie est fortement tributaire de la carte routière ou le scénario d'UE mobile. Néanmoins, cette restriction permet d'améliorer les performances du réseau ou prédire la mobilité. En ce qui concerne la consommation d'énergie, les appareils sans fil sont traditionnellement limités par l'autonomie de la batterie. Toutefois, dans un environnement mobile, les appareils sont constamment alimentés par le système énergétique de véhicule ; par conséquent, il n'y a pas des contraintes énergétiques limitant leur performance. En plus, les appareils sont munis des interfaces d'accès multiples, les UEs mobiles dans HetNet peuvent se déplacer entre les différentes technologies réseau sans fil qui diffèrent en bande passante, latence ou coût. Il est important de mentionner que HetNet peut atteindre un nombre élevé d'UEs, ce qui les oblige à être très évolutives. Enfin, la fiabilité d'UEs doit être prise en compte puisqu'un UE mobile peut rapidement rejoindre ou quitter la zone de couverture du réseau en fonction de la vitesse et la destination du véhicule. L'intégration et l'interfonctionnement des réseaux d'accès sans fil hétérogènes dans le système nécessitent la conception de schémas intelligents du Handover. En plus, la gestion de la mobilité pour les UEs mobiles permet de changer l'accès au réseau et de

bénéficier d'une continuité de service ininterrompue partout et à tout moment.

TABLE 1.1 – Les caractéristiques des composantes d'un HetNet

	Femto	Pico	Micro/metro	Macro
Intérieur/Extérieur	Intérieur	Intérieur or Extérieur	Extérieur	Extérieur
Nombre d'UEs	4 à 16	32 à 100	200	200 à 1000+
Maximum d'énergie	20 à 100mW	250 mW	2 à 10 W	40 à 100 w
Maximum zone de couverture	10 à 50 m	200 m	2 km	10 à 40 km
La bande passante	10 MHz	20 MHz	20 à 40 MHz	60 à 75 MHz
MIMO	2x2	2x2	4x4	4x4
Backhaul	DSL, cable, fiber	Microwave, mm	Fiber, microwave	Fiber, microwave

1.2 La présentation Handover

1.2.1 Les terminologies du Handover

1.2.1.1 L'horizontal Vs vertical

Pendant le Handover, le point d'attachement du UE passe d'un nœud d'accès à un autre. Comme présenter sur la figure 1.2 pour le Handover horizontal, l'UE se déplace à l'intérieur d'une seule technologie d'accès tandis que dans le Handover vertical, la technologie d'accès change.

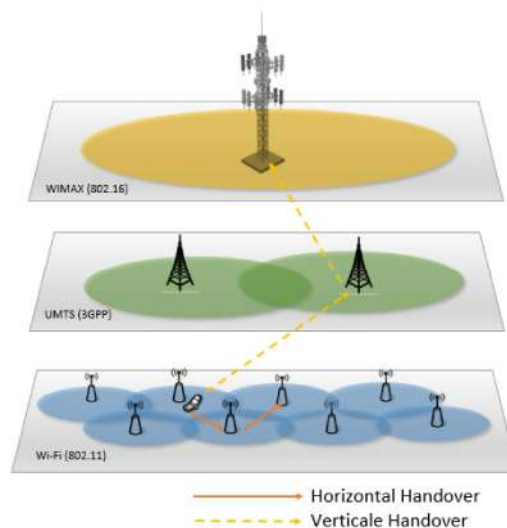


FIGURE 1.2 – Le Handover vertical Vs horizontal

1.2.1.2 Le Handover hard Vs soft

Le Handover hard est un Handover intercellulaire dans lequel la connexion vers une cellule cible est activée, seulement si la connexion actuelle est libérée. Un Handover hard est également connu sous le nom d'un Handover "rompre-avant-faire". Un Handover soft est une opération dans laquelle la connexion dans la cellule abandonnée est conservée et utilisée pendant un moment en parallèle avec la connexion dans la cellule cible. Ce Handover est appelé un Handover "faire-avant-rompre"[7].

1.2.1.3 Le Handover intra-administratif Vs inter-administratif

Le Handover intra-administratif est un processus de Handover où l'UE se déplace entre différents réseaux (prenant en charge des types d'interfaces réseau identiques ou différents) gérés par le même domaine administratif. Le Handover inter-administratif est un processus de Handover où l'UE se déplace entre différents réseaux (supportant des types d'interfaces réseau identiques ou différents) gérés par différents domaines administratifs.

1.2.1.4 Le Handover à mobilité de couche 2 Vs couche 3

La mobilité de couche 2 (L2) se réfère au cas où l'UE mobile se déplace entre différents nœuds d'accès alors que le point d'attachement au réseau IP reste le même. Sinon, la mobilité de la couche 3 (L3) implique le changement d'adresses IP.

1.2.1.5 Le Handover mobilité globale Vs local

Le protocole de mobilité globale gère la mobilité entre les systèmes d'accès en associant l'adresse IP globale avec la nouvelle adresse IP locale. La mobilité dans un système d'accès est gérée par un protocole de gestion de la mobilité locale. Une mobilité locale se produit lorsqu'un UE se déplace entre deux points d'accès connectés à deux routeurs d'accès différents voir figure 1.3.

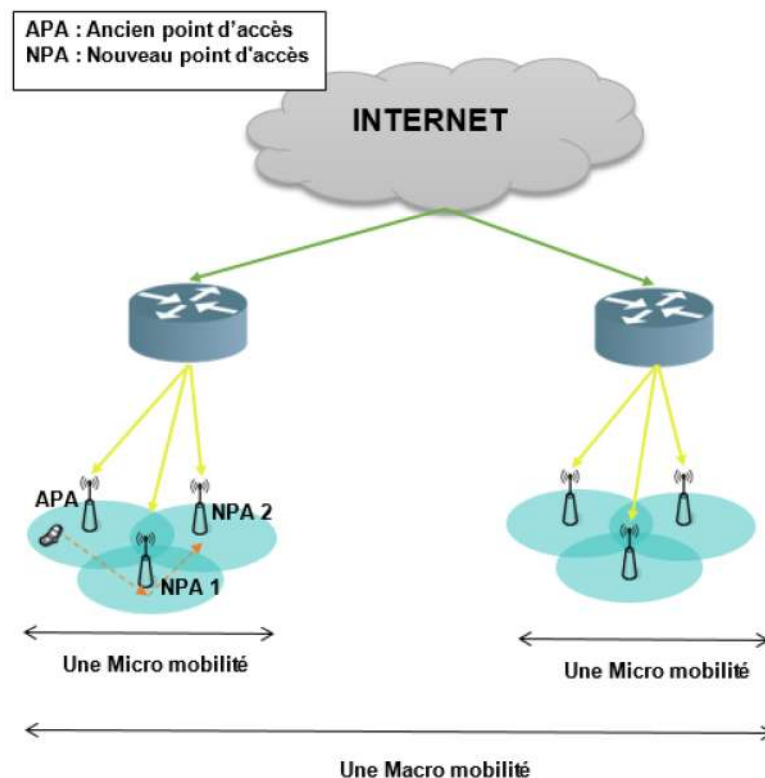


FIGURE 1.3 – La gestion de la macro mobilité Vs micro mobilité

1.2.1.6 Le Handover obligatoire Vs volontaire

Dans certaines situations, il est nécessaire que le terminal mobile transfère la connexion à un autre point d'accès afin d'éviter toute déconnexion. Dans d'autres situations, le Handover de connexion est facultatif et peut améliorer la qualité du service.

1.2.1.7 Le Handover contrôlé mobile Vs contrôle réseau Vs assisté réseau

Le mécanisme de décision du Handover peut être centralisé (c'est-à-dire, la décision du Handover contrôlé mobile (HOCM) et le Handover contrôlé-réseau (HOCR)). Dans HOCR, le réseau décide d'exécuter un transfert, basé sur les mesures du RSSs (Received Signal Strength) pour un certain nombre de BS. Des informations sur la qualité du signal sont disponibles pour tous les UEs à n'importe quel point du réseau, ce qui facilite l'allocation appropriée des ressources. Ceci est avantageux lorsque la décision est prise dans un réseau de Handover comme[8].

* Le réseau peut rediriger l'UE vers un autre site, qui a une capacité suffisante pour gérer

ses communications en cours

- * Le réseau peut également coordonner la mobilité de l'UE afin que le trafic total soit uniformément réparti sur les ressources radio, que l'encombrement soit minimisé et que le débit global soit maximisé.

Le désavantage de HOCR est que le réseau peut manquer de certains des paramètres qui influencent la décision du Handover, telle que les préférences de l'UE et le type exact de services actifs. Dans HOCM, UE contrôle entièrement le processus du Handover. Ce type de Handover a un temps de réaction court (de l'ordre de 0,1 seconde). UE lui-même détecte tout d'abord les réseaux disponibles. Ensuite, il mesure les niveaux de signal des BSs voisins et le brouillage environnant sur chaque canal et effectue des estimations pour la prise de décision du Handover. Le Handover peut être initié si l'intensité du signal de la BS actuel est inférieure à celle d'une BS candidate avec un certain seuil. HOCM aura un succès considérable au futur, puisque le marché des télécommunications passe d'une approche centrée sur le réseau à une approche orientée UE. HOCM a un certain avantage clés [9],[10], [11], [12] :

- * UE est une personne qui connaît les différentes technologies d'accès voisin ;
- * UE peut décider du Handover basé sur les mesures effectuées pour les réseaux candidats, les préférences des UEs, ainsi que les politiques de la mobilité des opérateurs ;

Dans le Handover assisté réseau (HOAR) [13], le réseau aide le processus déclenché par UE, en effectuant la collecte et l'analyse des données. UE peut également fournir son emplacement et toute autre information pouvant être prise en compte dans l'analyse de réseau. Le réseau aide seulement à la prise de décision et la décision finale sera prise par le UE.

1.2.1.8 Le Handover intra-fréquence Vs inter-fréquence

C'est le processus de Handover d'un terminal mobile sur des points d'accès fonctionnant sur la même fréquence. Ce type de Handover est présent dans les réseaux à CDMA (Code-Division Multiple Access) avec FDD (Frequency Division Duplex). Alors que le Handover inter-fréquence est un processus de Handover d'un terminal mobile sur des points d'accès fonctionnant sur différentes fréquences. Ce type de Handover est présent dans les réseaux CDMA avec TDD (Time-Division Duplex) et il est le seul type de Handover pris en charge dans les systèmes cellulaires GSM (Global System for Mobile).

Pour résumer la figure 1.4 présente les différents types du Handover expliqué en dessous. Basée sur différents critères, on peut conclure que la classification des Handovers dépend de

nombreux facteurs tels que les types de réseaux impliqués, les fréquences utilisées, le nombre de connexions impliquées, les domaines administratifs impliqués, la nécessité de Handover et l'entité de contrôle autorisé dans le processus de Handover.

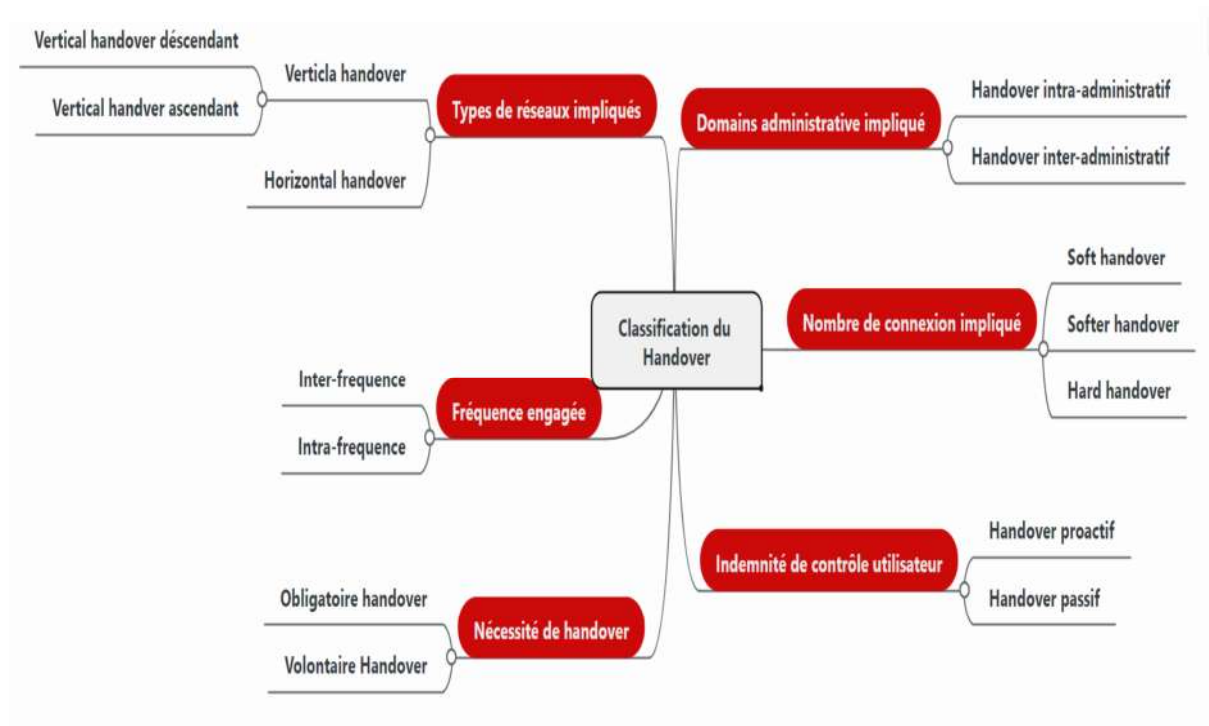


FIGURE 1.4 – L'arbre de classification du Handover[1]

1.2.2 Le processus Handover

Les techniques du Handover ont été largement étudiées dans le domaine des communications cellulaires et leur popularité augmente parmi les réseaux sans fil IP. Le Handover est considéré comme «transparent» lorsqu'il est en mesure de maintenir la connectivité de toutes les applications exécutées sur le périphérique mobile, fournissant un service de données de bout en bout continu au cours de la commutation, offrant à la fois une faible latence et un minimum de perte de paquet. Pour atteindre cette transparence, le processus de Handover se fait à travers 3 phases (voir figure 1.5)

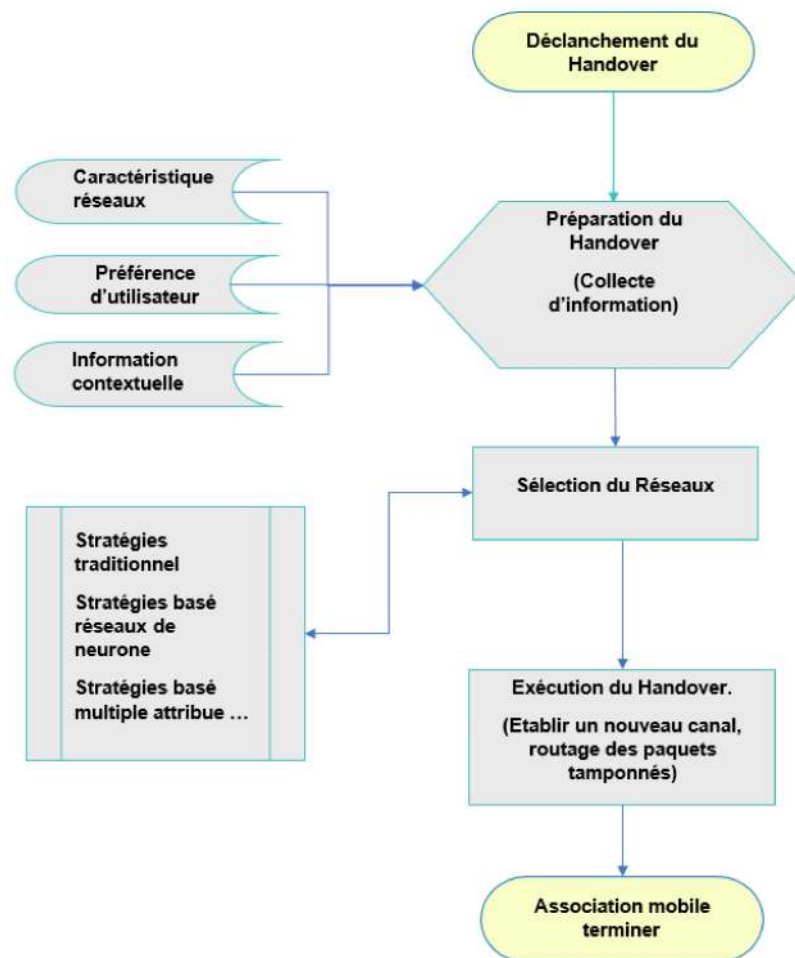


FIGURE 1.5 – Le processus de Handover

1.2.2.1 La remise d'information

Afin d'effectuer un Handover qui offre « Always Best Connected » [2], un ensemble complet d'informations doit être recueilli et fourni à la phase de décision. Pour collecter les informations provenant de différentes sources (voir table 1.2), UE arpente les réseaux environnants afin de découvrir les services, les débits de données et la consommation d'énergie. En complément des informations recueillies par le balayage, les réseaux peuvent également annoncer leurs services de prise en charge et leurs paramètres de QoS. En plus les informations des UEs sont également collectées, à savoir, le statut de la vitesse, la batterie, les caractéristiques, et ainsi de suite. Enfin, des informations concernant les préférences de l'UE sont également un élément pertinent pour le processus de prise de décision, principalement en raison de son impact sur la satisfaction de l'UE final.

TABLE 1.2 – Les informations collectées pour la prise de décision du Handover

Source	Type d'information
Réseau	Disponibilité du réseau, couverture. Performance :RSS, BER, Security , Perte de paquets, latence... Nombre d'UEs.
Mobile	Informations contextuelles : vitesse, emplacement. Interfaces réseau. Consommation de la batterie.
Les préférences d'UE	Fournisseur. Budget. QoS paramètre (ex : la BP offerte, le retard, la gigue)

Ainsi la collecte des informations fiable est cruciale pour le processus Handover puisque la procédure de prise de décision repose sur ces données. En outre, les différentes propositions pour cette phase reposent non seulement sur la procédure de suivi des différentes couches, mais également sur la mise en œuvre d'événements déclencheurs et de notifications. Dans [14], les auteurs présentent un déclencheur mandat système de gestion qui surveille et récupère les paramètres multi niveaux. De même, les travaux [15] [16], présentent les modules appelés « Link Layer State » et « Network Connection Module», respectivement, où les deux préforment la même tâche de surveillance. Un processus basé sur XML (Extensible Markup Language) est utilisé par un middleware de communication CORBA pour recueillir des informations et notifier des événements [17]. Seigneur et al. [18] utilisent différentes APIs (Application Programming Interfaces) pour surveiller l'appareil et le réseau afin d'évaluer l'exposition de l'électrosmog pour déclencher le Handover.

Plusieurs propositions[19],[20],[21],[22],[23], [24],[25],[26],[27] reposent sur MIIS (Media independent information service) qui est un mécanisme proposé par l'IEEE 802.21 standard , ce qui permet une interaction avec un large éventail de technologie sans fil de manière unifiée. Le 802.21, traite à la fois l'optimisation de la détection et la sélection du réseau en fournissant une source sémantique et extensible d'informations pour faciliter la prise de décision et optimiser le Handover. Comme le montre la figure. 1.6, la norme IEEE 802.21 offre un protocole middleware appelé MIHF (Media Independent Handover Function) qui est capable d'encapsuler les différentes technologies de réseau sous-jacentes (par exemple 802.3, 802.11, 802.16, 3GPP et 3GPP2) pour les couches supérieures, permettant ainsi au processus de gestion du Handover de fonctionner indépendamment des couches physiques et des liaisons de données. Une présentation détaillée sera évoluée dans le chapitre 3.

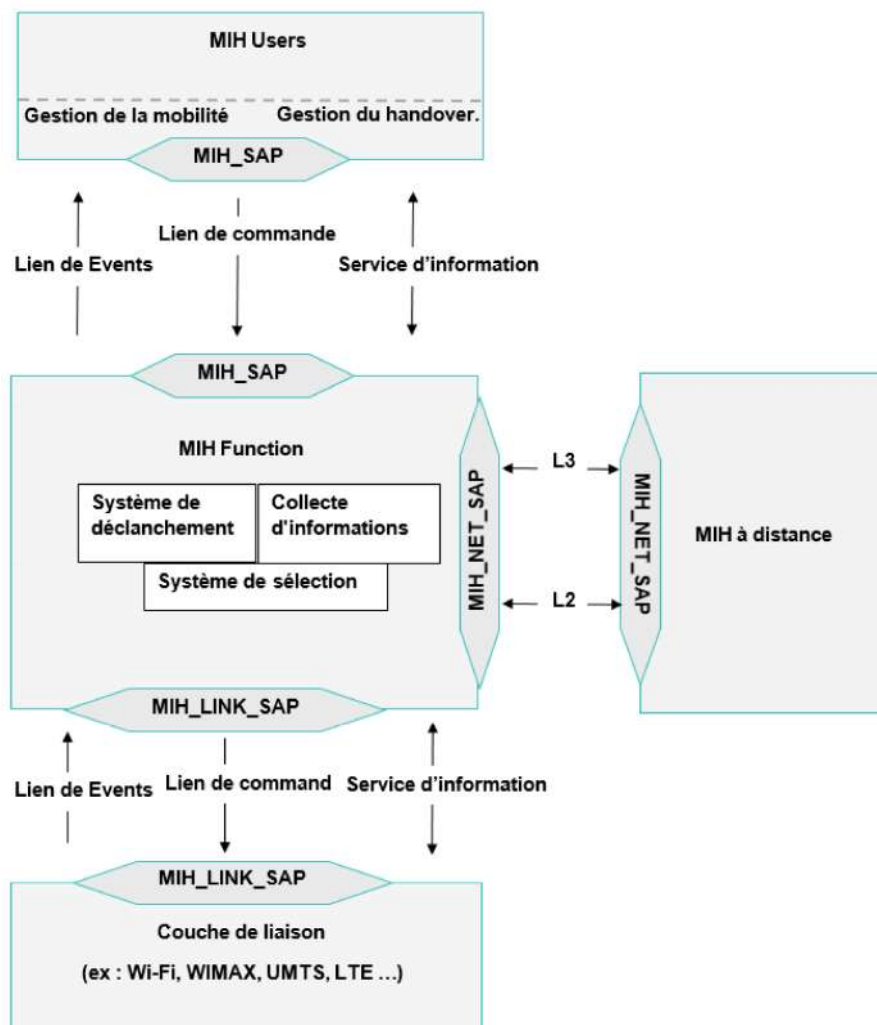


FIGURE 1.6 – Le Protocole IEEE 802.21

Le protocole de MIHF définit les messages échangés entre entités MIH pour un Handover, offrant un ensemble utile de messages communs à travers différents médias (802.3, 802.11, 802.16, cellulaire). La norme réfère les composants dépendant de la technologie en tant que des couches inférieures, et les modules requis en tant que des couches supérieures. Ces couches inférieures peuvent être consultées par les différentes fonctions : récupérer des informations, détecter, préparer et exécuter le Handover ; tandis que celles du haut exigent seulement l'information. Par conséquent, ils sont également appelés MIHU (Media independent Handover User). Le MIIS permet au MIHF de découvrir son environnement réseau par une collecte d'informations que les couches supérieures utilisent pour prendre des décisions. Certains renseignements se réfèrent à la liste des réseaux disponibles, l'emplacement du point d'attache, l'ID de l'opérateur, le coût,

la sécurité et la qualité de service...

Dans les réseaux hétérogènes, il est important de considérer les conditions environnementales lors de l'exécution du Handover. Ainsi un degré élevé de mobilité aura une incidence significative sur la fiabilité des mesures et le temps de décision. Par conséquent, les schémas de mobilité des véhicules et la vitesse doivent être soigneusement pris en considération. En outre, le contexte et les informations de localisation sont également importants pour effectuer un exact Handover dans HetNet.

1.2.2.2 *La décision du Handover*

La phase de décision de Handover est l'une des plus critiques phases au cours du Handover. Cette phase est aussi connue comme phase de sélection du système [28], sélection du réseau [29] ou phase de préparation du Handover. Sur la base des informations recueillies, cette phase est chargée de décider du « Quand » et « Où » déclencher un Handover. La décision du "Quand" réfère à l'instant précis dans le temps de faire Handover optimal, tandis que le "Où" à la sélection du meilleur réseau qui couvre les exigences relatives à la commutation.

Dans un environnement de réseau homogène décider du « Quand » du Handover dépend généralement des valeurs RSS, tandis que le « Où » n'est pas un problème puisque nous utilisons la même technologie de réseau (horizontal Handover). Dans HetNet, la réponse à ces questions est assez complexe. Pour prendre les meilleures décisions, les informations recueillies doivent être évaluées en tenant compte de nombreux paramètres obtenus à partir des différentes sources d'information : le réseau, les dispositifs mobiles et les préférences de l'UE. La phase de prise de décision prend les avantages des algorithmes qui prennent en considération la collecte d'information disponible puis effectuent un processus d'évaluation afin d'obtenir le meilleur choix pour l'exécution du Handover.

Dans la littérature, nous pouvons trouver plusieurs propositions d'algorithme de décision du Handover vertical, qu'on discutera plus en détail dans la section 2. Certains d'entre eux prennent en compte, d'une manière directe, la prise de décision Handover en ne considérant que l'information des couches inférieures collectée par les MIIS. La plupart des propositions combinent les métriques et les paramètres de divers composants pour construire un algorithme pour un Handover inter couche. La phase de décision se compose essentiellement de trois étapes : (i) la sélection de paramètres (ii) le traitement des paramètres, et (iii) l'agrégation des paramètres. L'étape de sélection de paramètres prend en compte juste les paramètres qui sont utilisés pour évaluer le

poids d'une connexion candidate. L'étape de traitement de paramètres permet de normaliser l'ensemble de ces derniers ; ils sont fusionnés à l'aide de plusieurs techniques telles que la logique floue, les réseaux de neurones et des fonctions spécifiques, pour extraire des données pertinentes. Enfin, pour prendre une décision l'algorithme d'agrégation évalue le poids de chaque paramètre en se basant sur certains critères de décision pour sélectionner le meilleur candidat. Bien que le processus décrit appliqué à la plupart des propositions, généralement les auteurs modifient ce processus légèrement pour répondre à leurs besoins.

1.2.2.3 La phase d'exécution

La troisième phase du processus du Handover met l'accent sur l'exécution. Cette phase est responsable de l'exécution du Handover lui-même. Ainsi, une fois les informations sont recueillies dans la première phase, elles seront traitées en deuxième phase pour sélectionner le réseau candidat, puis la phase d'exécution déclenche la mise à jour obligatoire d'un réseau. Cette phase est concernée par le contrôle, la sécurité, la session et la mobilité... Nous allons maintenant décrire brièvement les principales procédures de participation dans cette phase :

Pour la gestion du transfert, une entité doit prendre en charge le contrôle du processus de Handover. Habituellement, le Handover peut être contrôlé par un réseau ou un mobile. Dans le premier cas, il est initié et commandé par le réseau, une solution qui est typiquement adoptée par les opérateurs pour atteindre une fonction d'équilibrage de charge et de gestion de la circulation, entre autres [8]. Dans le deuxième cas (contrôlé mobiles), le Handover vertical est initié et contrôlé par le dispositif mobile. Ce type de contrôle est le cas le plus commun, basé sur les préférences de l'UE [10], [11], [12]. En outre, le Handover vertical peut être assisté par le réseau, se référant au Handover vertical initié par le dispositif mobile, mais assisté par le réseau en utilisant les informations sur les services, ou assistée par le mobile quand il est initiée par le réseau [13].

Pendant le processus de Handover, lorsqu'un dispositif mobile a atteint un nouveau point d'accès, le système peut exécuter des procédures pour gérer les connexions. Ces procédures habituellement exécutées sont : la registration, l'association, la re-association, et la dissociation [13], [30].

Gestion de la mobilité : L'une des questions clés du concept d'un Handover transparent est la gestion de la mobilité. Dans les réseaux IP, la norme du protocole conçu pour la mobilité devient une solution importante pour maintenir une session en vie pour un Handover transparent. Ces protocoles fonctionnent généralement sur les couches intermédiaires de la pile du protocole

TCP/IP. Les protocoles les plus couramment utilisés pour la gestion de la mobilité lors d'un Handover sont le protocole MIPv4 (Mobile Internet Protocol version 4) [31], MIPv6 (Mobile Internet Protocol version 6) [30], SIP (Session Initiated Protocol) [32], NEMO (Network mobility basic support protocol[33]), et HIP (Host Identity Protocol)[34].

Dans la littérature, on trouve le travail dans [15] qui évalue une architecture de Handover couvrant les technologies sans fil Wi-Fi et WiBro pour atteindre des latences de Handover bas par une meilleure mise en œuvre du MIP (Mobile Internet Protocol). De même, la proposition [35] fait appel à MIP pour gérer la mobilité dans une nouvelle proposition du Handover dans des conditions limites pour UMTS et Wi-Fi. La gestion de Handover entre les différentes versions IP est étudiée dans [36], en présentant un plan qui supporte une migration entre IPv4 et IPv6 en tenant compte des problèmes de routage ainsi que les détails concernant IP. En revanche, Andersson et al. [37] présentent un système de gestion de la mobilité qui évite le tunnel qui maintient la même adresse IP tout en se déplaçant dans les différents sous-réseaux.

Un système de Handover transparent proactif basé sur les caractéristiques de 802.21 et SIP est évalué dans [27]. Ce programme offre une approche d'authentification proactive afin d'obtenir au début une adresse IP, et de maintenir la session pendant un Handover intercellulaire transparent. Le travail [38] combine l'utilisation de SIP et SCTP (Stream Control Transmission Protocol) afin de maintenir la session dans un "multihoming" environnement, en profitant de caractéristiques "multithreading" de la SCTP, malgré la retransmission redondante que celui-ci implique [39],[40],[41]. Howie et al. [42] combine l'utilisation de SIP à la couche d'application et le MIP à la couche réseau pour fournir une application mobile en mesure d'effectuer un Handover rapide. Une couche d'intergiciel d'identification est proposée par Wong et al. [43] découplant l'identification de l'hôte de son emplacement. Ainsi, il permet à l'hôte de se déplacer à travers les domaines sans interruption des sessions.

Concernant la sécurité, le travail dans [44] effectue un déclenchement et une analyse de HIP basé mobilité en utilisant le matériel/logiciel pour évaluer les techniques du Handover ; les auteurs étudient également comment les déclencheurs de mobilité affectent la latence. Latvakoski et al. [45] évaluent le Handover en se concentrant sur la voix sur IP (VoIP) dans un environnement ad-hoc sous les protocoles HIP et SIP pour fournir une communication continue sécurisée. Lors de l'utilisation dans des environnements mobiles, la latence et les questions de sécurité doivent être abordées. En raison des caractéristiques de réseau hétérogène en termes de vitesse et de la fiabilité de UE, l'exécution du Handover ne doit pas ajouter de latence excessive. Bien qu'une

solution basée sur IP mobile semble être plus naturelle et adéquate, un examen est nécessaire pour évaluer la solution qui est en mesure d'offrir le meilleur compromis.

1.3 Les problématiques de recherche ouverte

L'une des principales caractéristiques de l'ubiquité est de permettre aux UE mobiles de se déplacer librement et de leur fournir des moyens de communiquer avec les applications accessibles en utilisant différents équipements intelligents et interactifs. Cependant, la commutation entre différents réseaux d'accès n'est pas une tâche facile et nécessite un mécanisme approprié pour répondre aux besoins des UE et des applications, en particulier en termes de qualité de service. Avant d'étudier les solutions relatives à la mobilité, nous devrions comprendre ses causes pour être en mesure de relever le défi approprié. Bien que les techniques du Handover soient sensiblement améliorées dans ces dernières années, il y a encore plusieurs questions nécessitant un examen plus approfondi concernant un Handover dans HetNet (voir figure 1.7). En résumé, nous suggérons les principales questions à traiter.

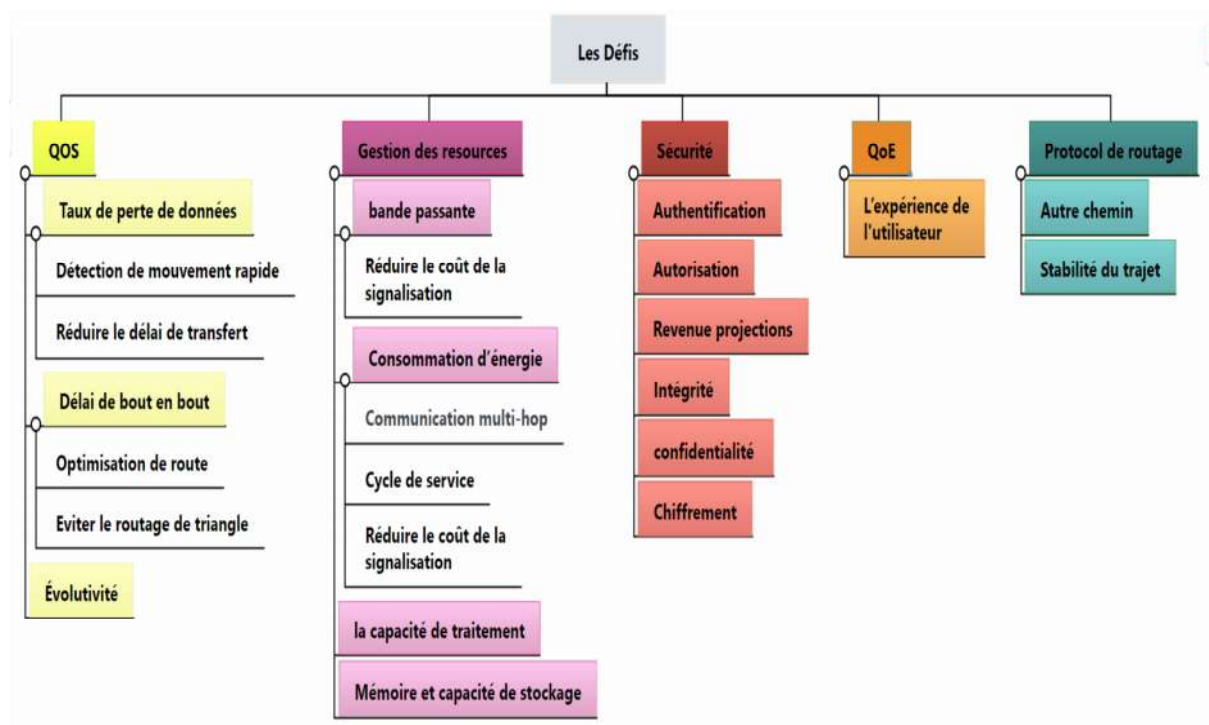


FIGURE 1.7 – Les problématiques de recherche ouverte

1.3.1 La qualité de service (QoS)

Le plus grand défi consiste à fournir une QoS appropriée avec des contraintes différentes. Par exemple, la gestion de la mobilité doit être efficace avec une densité importante de UE (c'est-à-dire assurer une "évolutivité"). Les applications en cours d'exécution sur le périphérique mobile exigent différents niveaux de QoS. Cependant, fournir la QoS nécessaire à travers les différents réseaux sans fil est un enjeu majeur. En outre, les niveaux élevés de mobilité introduisent des questions plus difficiles.

De plus, le protocole de support de mobilité doit atténuer le taux de perte de données. Ce problème se produit lorsque le UE est déconnecté pendant le processus du Handover. Ainsi, il est important de réduire le délai de Handover afin de limiter le temps de déconnexion et de connexion. La gestion de la mobilité doit aussi conserver le même délai de bout en bout que celui utilisé avant ce processus.

Afin de garantir la qualité de service, les techniques Handover doivent examiner attentivement les conditions de la mobilité et du HetNet afin de choisir le meilleur réseau candidat et effectuer un Handover rapide.

1.3.2 La qualité d'expérience (QoE)

Garantir la QoS n'est pas assez pour fournir le meilleur service possible aux UEs. La Qualité d'expérience (QoE) est un concept lié à la satisfaction des UEs et l'évaluation de la QoE démontre parfois que de bonnes performances de mise en réseau ne sont pas un synonyme de satisfaction totale aux UEs finaux.

Autrement dit, la QoE est une extension de la QoS en faisant des déclarations sur l'expérience d'UE lorsque la bande passante et la latence sont disponibles sur le périphérique. Cela diffère du modèle numérique (quantité) et le transforme en énoncés qualitatifs. L'expérience est l'opinion des UEs. Par conséquent, de telles déclarations reposent sur les commentaires des UEs.

Contrairement à QoS, QoE ne fournit pas de valeurs numériques sur la bande passante. Pour fournir des instructions de QoE basées sur des mesures de QoS, il a fallu utiliser un modèle mathématique pour l'estimation de QoE. Par conséquent, les questions liées aux préférences de l'UE et les équipements mobiles doivent être prises en compte afin de concevoir des stratégies et des techniques du Handover.

1.3.3 La sécurité

La sécurité est l'une des questions les plus importantes dans de nombreux domaines technologiques. Dans les réseaux, la sécurité a toujours été une préoccupation majeure. En effet, les UEs sont exposés à des attaques qui perturbent le processus de prise de décision en introduisant de fausses informations. Malheureusement, la norme IEEE 802.21 ne considère pas la sécurité dans la norme principale ce qui fait que d'autres protocoles vont traiter ce côté, tels que MIP, qui met fortement l'accent sur la sécurité. Ainsi, afin d'améliorer les techniques du Handover, les solutions de sécurité robustes qui peuvent être utilisées dans des réseaux hétérogènes doivent être adoptées, permettant ainsi à tout moment une sécurité.

1.3.4 La gestion des ressources

La gestion des ressources est considérée comme un défi important pour concevoir un protocole traitant de la mobilité. Ce défi est dû aux contraintes et aux ressources limitées de HetNet avec des coûts de signalisation élevés, principalement en termes de puissance, de bande passante, de mémoire et de capacité de traitement. C'est pourquoi il est important de réduire considérablement le coût de la signalisation des messages et du traitement. De plus, le cycle d'utilisation actuel utilisé pour réduire la consommation d'énergie n'est pas conçu pour supporter les contraintes de mobilité, il doit donc être adapté à ce contexte.

1.3.5 Les protocoles de routage

Les performances du protocole de routage peuvent avoir un impact direct sur la gestion de la mobilité, comme la réactivité pour restaurer le lien entre deux nœuds communicants (temps de trouver un chemin alternatif lorsque les nœuds intermédiaires ne sont pas disponibles) et la stabilité du chemin.

1.4 Conclusion

La course vers les réseaux 5G est alimentée par les prévisions du trafic imminent. L'hétérogénéité du réseau est un gagnant potentiel dans cette course et devrait fournir la capacité et les performances requises pour les réseaux 2020. Dans cette enquête, nous avons présenté une introduction aux réseaux hétérogènes. En outre, nous avons étudié le phénomène le plus défiant pour les UEs mobiles : le processus du Handover.

Les mécanismes de Handover traditionnels basés sur le RSS et d'autres paramètres de la couche physique ne sont plus efficaces avec l'émergence de réseaux sans fil hétérogènes. Alors que l'UE souhaite toujours être servi par le réseau d'accès qui correspond le mieux à ses préférences, des contraintes supplémentaires doivent être prises en compte, notamment les exigences de service, les capacités des terminaux, la mobilité, la consommation d'énergie et les ressources radio disponibles. Ainsi nous serons plus intéressés par une étude détaillée du "Handover vertical" qui est plus proche aux attentes d'un UE mobile.

Afin de bien comprendre et réaliser un Handover vertical qui maintient la connectivité de toutes les applications sur le périphérique mobile lorsque le Handover se produit, le chapitre 2 sera consacré à une étude approfondie des différentes techniques de prise de décision.

LES TECHNIQUES DU HANDOVER : ÉTAT DE L'ART

Sommaire

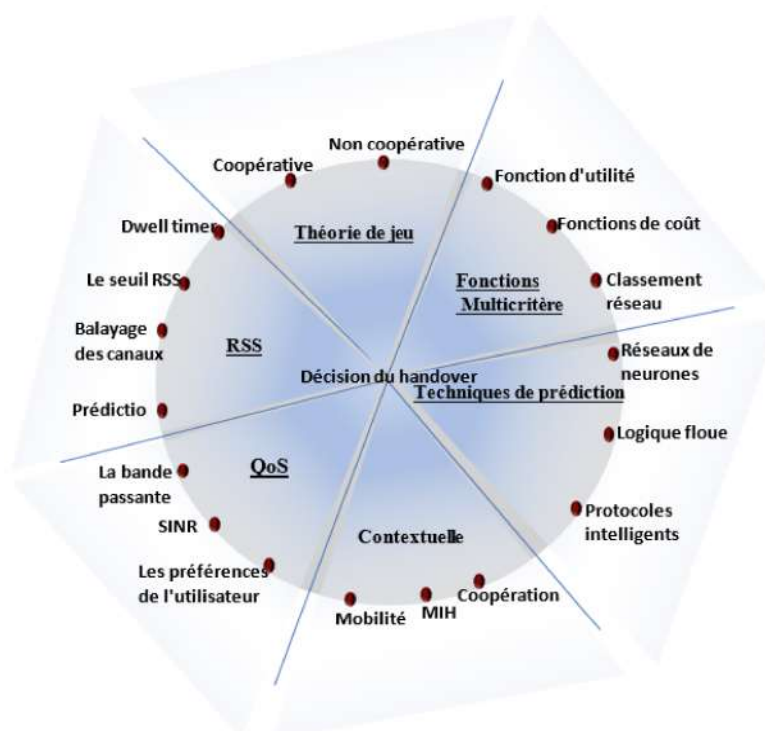
2.1	Les systèmes basés sur RSS.	26
2.2	Les systèmes basés sur QOS	30
2.3	Les systèmes basé sur les fonctions Multi-critère	33
2.4	Les systèmes basés sur les techniques de prédiction.	38
2.5	Les Systèmes fondés sur le contexte.	44
2.6	La théorie de jeu et la prise de décision handover.	52
2.7	Conclusion	57

Les systèmes mobiles deviennent de plus en plus une partie inséparable de notre vie quotidienne dans diverses branches de la vie (par exemple, le travail, l'éducation, le divertissement, la santé, le commerce ...). Les gens recherchent une vie plus enrichie et plus culturelle, plus flexible et diversifiée, plus sûre et confortable, plus personnalisée et pratique. De toute évidence, les gens s'attendent à ce que la prochaine génération de système de communication mobile fournisse plus qu'une simple «vitesse plus rapide». Face au service d'accès omniprésent, les UEs prévoient de profiter de la concurrence des fournisseurs. Les UEs auront besoin d'interfaces humaines naturelles multimodales faciles à utiliser comme la voix et les gestes, mais aussi de contrôler et de personnaliser leurs services perçus. Au fur et à mesure que les terminaux mobiles deviennent plus intelligents et plus puissants, ils peuvent aider les UEs à gérer le contrôle sans aucune expertise. Il est temps que les opérateurs de réseau délèguent une partie du contrôle de gestion de la mobilité aux UEs mobiles (c'est-à-dire le terminal mobile).

Les algorithmes de mobilité englobent différentes méthodes pour concevoir un système de décision de Handover, certains systèmes sont basés sur la valeur de RSS et certains sont purement ou partiellement des systèmes sensibles au contexte. Le choix d'un algorithme approprié est un aspect très important, car il influe directement sur la performance de cet algorithme pour un

Handover spécifique. En général, la QoS et QoE dépendent entièrement de la conception du système. Les stratégies du Handover couvrent tous les aspects qui sont liés à la nature d'un transfert et ils aident à décider si un Handover est "soft", "hard" ou "seamless". Dans ce chapitre, nous étudierons les travaux de recherche qui se consacrent à fournir un Handover qui garantit un service ininterrompu. En plus, nous classerons les différents techniques selon les outils exploités pour réaliser une gestion de mobilité améliorée.

FIGURE 2.1 – La classification des systèmes de décision de Handover vertical



Le chapitre discutera une classification des systèmes de décision de Handover vertical comme illustré dans la figure 2.1. Ainsi il sera organisé en six sections : la section 2.1 pour les systèmes basés sur la comparaison du RSS du point d'attachement actuel avec le RSS du point d'attachement candidat pour la prise de la décision de Handover. La section 2.2 sera consacrée à étudier les régimes qui tendent à optimiser la QoS. Ils utiliseront les paramètres de bande passante disponible, les préférences de l'UE et le SINR (Signal to Interference-plus-Noise Ratio) pour prendre une décision de Handover optimal. La section 2.3 expliquera comment et pourquoi la décision de Handover et la sélection de réseau sont devenues un MCDM (multi-criteria decision making) problème [46] qui implique un certain nombre de paramètres et de compromis complexes

entre des critères contradictoires. La section 2.4 résume les systèmes de décisions Handover basé prédiction, plus précisément les régimes fondés intelligence artificielle. La section 2.5 résume les approches contextuelles. Ensuite, dans la section 2.6 nous présentons un résumé descriptif de la théorie de jeux et son rôle dans l'amélioration d'algorithme de décision de Handover.

2.1 Les systèmes basés sur RSS

2.1.1 Les systèmes basés "Dwell timer"

Les auteurs dans l'article [47] présentent un algorithme de prise de décision basé sur Dwell-timer, en utilisant une architecture qui suggère d'exploiter l'emplacement et l'information inter-couches pour déclencher un Handover. Ils ont montré que la valeur de "dwell timer" repose sur la différence entre le débit de données dans les deux réseaux actuels et cibles. Un Handover est déclenché si le RSS d'un réseau est constamment inférieur à un seuil prédéfini et à la somme des nouveaux RSS. Le schéma proposé semble être moins sensible aux augmentations du retard du Handover, mais il peut affecter les performances des applications en temps réel, ce qui est un inconvénient majeur de ce régime.

Le travail présenté dans l'article [48] propose une conception et un prototype de mécanisme de Handover transparent pour les véhicules à haute vitesse en utilisant dynamique "Dwell-timer". Le prototype propose une UCR (Unit Control Radio) centralisé qui règle la minuterie "Dwell-timer" en fonction de la zone de couverture et la vitesse du terminal, celle-ci contient en outre toutes les informations connexes du Handover intercellulaire. Ainsi selon les auteurs, la méthode proposée évite toutes les phases de Handover classiquement connues pour réduire la latence globale du Handover. En plus, elle offre une réduction de perte de paquet en raison d'une utilisation optimisée d'un tampon et aussi une réduction des délais du Handover en raison d'une liaison anticipée qui est fortement observée.

Dans [49], les auteurs proposent une nouvelle technique de Handover pour la réduction de la probabilité de l'échec du Handover et l'élimination des Handovers inutiles. Afin de réaliser ces fonctions, ils ont adapté un seuil fixe, qui est utilisé comme un déclencheur qui s'adapte aux variations de la vitesse de UE et aux paramètres du canal, ils estiment également le temps de latence possible pour un Handover. Concernant le cas d'un UE mobile à une vitesse très élevée, ils configurent "Dwell-timer". Ce régime réduit avec succès l'échec de Handover et l'effet de ping-pong, mais une certaine quantité de surplus de signalisation est observée affecte finalement la

perte de paquet.

2.1.2 Les systèmes basés sur le seuil RSS :

Afin d'améliorer la performance du Handover pour les WLANs en termes de délai du Handover, la gigue, et le débit perçu, un mécanisme proactif est proposé dans [50]. Pour la réalisation de ces objectifs le déclenchement est exécuté à l'avance vers le point d'accès candidats à l'aide de RSNI (Received Signal to Noise Indicator) reçu pour obtenir les ressources nécessaires et réduire ou éviter la discontinuité de service et la latence du Handover. Cependant, l'applicabilité de ce paramètre en termes d'amélioration de Handover est ambiguë dans d'autres réseaux cellulaires. Li et al. dans [51] ont également abordé cette question. Ils ont utilisé un mécanisme de sondage pour ajuster les flux de réseau et contrôler des débits de données pour la fourniture appropriée de la QoS dans les réseaux hétérogènes.

Becvar et al. [52] proposent un mécanisme de Handover pour maximiser l'efficacité de prédiction du Handover intercellulaire en utilisant le paramètre de RSSI (Received Signal Strength Indicator) avec hystérésis comme dans [47]. Ils ont défini deux seuils pour ce paramètre afin d'exploiter le meilleur usage de celui-ci. Ce système implique la collecte d'un nombre suffisant d'échantillons de RSSI afin de faciliter l'estimation du nombre de Handovers, qui sont les plus susceptibles de se produire entre BS actuelle et cible. Cette procédure permet l'évaluation des probabilités de Handover entre les BSs participant. Le système proposé ne nécessite pas de prendre les paramètres d'entrée des UEs mobiles ou avoir des connaissances particulières sur les réseaux candidats. Mais, les auteurs doivent discuter le problème de l'interruption du Handover dans le scénario de la prédiction de la mobilité.

2.1.3 Les systèmes basés balayage des canaux :

Auteurs dans [53], [54] proposent un schéma de Handover entre les réseaux de 3G et les WLAN. Ils ont combiné les valeurs du RSS soit avec la durée de vie estimée ou la bande passante disponible du WLAN candidat. Ils ont pris en compte un scénario de mobilité où l'UE mobile s'éloigne de la couverture du WLAN et pénètre dans une cellule 3G, un Handover intercellulaire au réseau 3G est initié. Un Handover est effectué si les deux conditions suivantes sont remplies à tout moment :

1. $RSS < T$ seuil et ;

2. temps de vie estimé $\leq$ délais du Handover

L'UE mesure en continu la valeur moyenne du RSS selon la méthode décrite dans les équations 3, 4 et 5 de la [53]. Après cette étape, la durée de vie est mesurée en utilisant le taux de variation de flux RSS et d'autre paramètres. Si nous résumons, le schéma proposé diminue considérablement le nombre de Handovers inutiles en raison de la métrique de vie. En outre, le débit perçu moyen de l'UE mobile est amélioré lorsque l'UE reste connecté au réseau local sans fil aussi longtemps que possible. Cependant, le délai de flux de paquets augmente suite à l'utilisation excessive de la durée de vie en raison des mauvaises conditions de canal. Ceci est très critique pour les applications en temps réel et leur performance globale se dégrade impérativement.

Afin de résoudre ce problème, Park et al. [55] ont proposé un schéma d'application pour élever la QoS des applications de streaming multimédia. Ils l'ont fait en réduisant le temps de balayage du canal et le nombre de canaux intervenant dans chaque balayage, grâce à une procédure du balayage en fonction du type d'application. Pour la perte de paquets et les applications sensibles au retard, comme la VoIP, ils ont augmenté la fréquence de la chaîne et la durée de pré-balayage. Mais cela augmente aussi la consommation d'énergie de la batterie. De même, les auteurs de [56] et [57] soulignent le fait qu'en activant le balayage des informations en temps réel comme la vitesse et la direction du nœud mobile, les ressources réseau peuvent être à l'avance réservées et la quantité de temps consacrée à la numérisation, peut être intelligemment ajustée.

2.1.4 Les systèmes à base de prédiction :

Pour réduire le nombre de Handovers inutiles, les auteurs dans [58] ont décrit un système de décision de Handover qui considère le temps d'un nœud mobile qui sera probablement dépensé dans un WLAN. Un Handover vers un WLAN est lancé que si le mobile est inclus dans sa zone de couverture et si le temps estimé de déplacement des UEs est supérieur au seuil temporel prédéfini. Ce système permet d'économiser les déconnexions, de réduire les Handovers inutiles et aussi, de diminuer la probabilité de défaillances de Handover. Cependant, la hausse des retards de Handover est observée parce que les auteurs utilisent l'échantillonnage et la moyenne des RSSs, alors que cela prend du temps.

En utilisant une méthode analogue à [59], [60], Chang et al. proposent un concept inter couche qui se base sur une régression polynomiale RSS prédictive avec le processus de décision de Markov. L'approche proposée permet d'atteindre l'équilibrage de charge dans les réseaux cibles et d'éviter les Handovers inutiles. Tandis l'occupation des liaisons pour une longue période, entraîne

un délai inutile du Handover et une utilisation plus élevée de la liaison. Une autre solution prédictive basée RSS est présentée dans [61] qui tient compte de l'ajustement de paramètres de QoS en fonction des conditions dynamiques du réseau dans HetNet.

TABLE 2.1 – Les systèmes de décision basé sur RSS

Catégorie du système de décision Handover	Travaux relatifs	Description du système	Avantages du système	Limitations du système
Les schémas basés sur Dwell timer	[47] [48] [49]	Dynamic Dwell Timer est utilisé pour les scénarios de haute mobilité	Réduction de l'échec du Handover Réduction d'effet Ping-Pong Réduction du délai de transfert	Augmentation de la perte de paquets Augmentation de la Signalisation Inadéquat pour applications en temps réel
Les schémas basés sur le seuil RSS	[51] [50] [52]	le seuil RSS dynamique sont calculés et comparés avec le flux RSS actuel pour déterminer le temps de Handover des données et des réseaux cellulaires.	Réduction de l'initiation du faux transfert Réduction de l'échec du Handover et	Augmentation des erreurs de Handover des données aux réseaux cellulaires. Gaspillage de ressources réseau
Les schémas basés sur l'analyse des canaux	[53] [54] [55] [57] [56]	RSS est combiné avec une analyse de durée de vie estimée pour décider du temps de Handover.	Adaptation à la mobilité des UEs et des applications Améliorations du débit	Retard de Handover plus élevé Table de recherche supplémentaire
Les schémas basé sur la prédiction	[58] [59] [60] [61]	le seuil RSS prédictif est utilisé pour les nœuds à grande vitesse pour atteindre la continuité du service.	Réduction de la ventilation de la connexion Éviter les transferts inutiles Équilibrage de la charge dans les réseaux cibles	Effet Ping-Pong Utilisation élevée du lien Augmentation de la latence du transfert

Le tableau 2.1 résume les prises de décision basées sur la métrique RSS présentées dans cette section. En raison de l'émergence des environnements de réseaux hétérogènes, la complexité de la décision du Handover intercellulaire a augmenté dans une grande mesure. Le RSS est un facteur incontournable lors de la conception d'un système de décision. Cependant, il est observé dans [62] que seul RSS n'est pas suffisant pour prendre des décisions de Handover dans des environnements sans fil hétérogène parce que le RSS des réseaux sans fil hétérogène ne peut pas être comparé directement. Des résultats optimaux ne peuvent pas être obtenus pour un Handover quand on considère le RSS comme le seul critère de décision. Il est aussi très important de fournir aux UEs un certain minimum de qualité de service. Pour cette raison, un certain nombre de régimes est proposé dans la littérature et qui prend en considération l'aspect de la QoS pour Handover vertical. Dans la section suivante, nous présenterons certains des algorithmes de décision de Handover basé sur les différents paramètres de qualité de service.

2.2 Les systèmes basés sur QOS

2.2.1 Les systèmes basés sur la bande passante

Cheng et al. [63] ont suggéré un système décisionnel basé-QoS, en considérant une bande passante disponible et les préférences de l'UE pour décider de la direction du Handover d'un WLAN au WWAN et l'inverse. La méthode proposée permet d'obtenir un débit plus élevé et plus faible en termes de latence du Handover en raison de l'utilisation de la bande passante disponible et du type de l'application en tant que principal critère de décision du Handover intercellulaire.

Cependant, la mesure de la bande passante dans les réseaux cellulaires est une tâche complexe comme indiqué par les auteurs eux-mêmes [63]. En outre, ce système se traduit par un taux de blocage élevé pour les nouvelles applications en raison de l'exécution Handover en état de repos. Bazzi [64] propose une nouvelle définition du Handover vertical transparent contrairement à celui existant [65] avec un algorithme pour les systèmes sans fil hétérogènes afin de soutenir la discussion. Cette définition prend en considération la mobilité de l'UE, la bande passante disponible et le type d'application. La définition proposée se concentre principalement sur le service « best effort » dans les réseaux UMTS en utilisant différents scénarios de mobilité. L'algorithme proposé améliore le débit global d'un Handover vertical transparent cependant, d'autres aspects de la QoS comme délais du Handover, la perte de paquets, etc. semblent être totalement ignorés dans tous les scénarios.

Les auteurs de l'article [66] proposent l'intégration de WLAN et les réseaux cellulaires pour la connexion et la gestion optimale des ressources en tenant compte de la zone de couverture, la bande passante disponible et RSS pour atteindre « seamless Handover ». Dans le dispositif proposé, le Handover vers le réseau cellulaire est effectué seulement si aucun autre réseau de données ne se trouve dans le voisinage. Ceci est fait en raison de la capacité limitée de manipuler des charges de trafic intense par les réseaux cellulaires. Ce système réalise l'équilibrage de charge appropriée et la vie de la batterie optimisée des terminaux mobiles, il aide à réduire l'effet Ping-Pong et le nombre Handover inutile.

2.2.2 Les Systèmes basés sur SINR

Un autre paramètre important de décision de Handover vertical est considéré dans [67]. Les auteurs ont utilisé le SINR pour évaluer la performance du système en termes de perte de

paquet et le débit. [67] utilise le SINR reçu du WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access) et le converti à son équivalent de γ pour obtenir le même débit de données en réseau local sans fil, puis le comparer avec le SINR reçu du WLAN. Le Handover est déclenché lorsque l'UE obtient des niveaux élevés de SINR à partir de n'importe quel autre réseau sans fil. La performance d'algorithmes du Handover vertical basée sur le SINR et RSS sont évalué. Ainsi, le système à base de SINR proposé offre un débit amélioré et raisonnablement avec un faible taux d'interruption par rapport à la méthode actuelle orientée RSS. Inconvénient majeur de l'approche, elle dépend de la vitesse des UEs mobiles alors que les performances du système se dégradent avec l'augmentation de la vitesse. En outre, ce système fournit une latence élevée et un très grand nombre de Handovers inutiles.

En utilisant une technique semblable dans [68], les auteurs ont présenté un schéma de décision de Handover en fonction de la bande passante entre WLAN et WCDMA. Un Handover est exécuté vers le réseau qui offre de grandes valeurs SINR. Habituellement, un Handover orienté SINR offre aux UEs un débit global supérieur à ce basé RSS en raison de la dépendance directe du débit sur SINR. Toutefois, cela peut également entraîner des Handovers excessifs dus à la variation du SINR et provoquer l'effet ping-pong. Les auteurs dans [69] présentent également une approche basée SINR en considérant à la fois le débit disponible et la bande passante pour déterminer le temps de décision du Handover et d'optimiser l'allocation des ressources dans les réseaux. Toutefois, une certaine latence est induite dans leur schéma proposé à la suite d'une sélection de réseau inappropriée.

Pour améliorer le débit moyen, des Handovers verticaux, Hu et al. [70], [71] utilisent SINR comme une mesure de performance pour le Handover vertical et proposent un nouveau paramètre appelé rapport IINR (Interference-to-other-Interferences-plus-Noise) qui représente sa faisabilité dans le cadre du Handover. Dans leur proposition, ils délèguent l'utilisation du IINR, si seulement ces nœuds mobiles sont sélectionnés pour un Handover dont les coûts de la coopération sont moins que les gains de coopération. Ainsi, le débit moyen de la procédure d'un Handover complet peut être amélioré. Cependant, ce système ne fonctionne que dans les environnements de réseau coopératif. Libnik et al. proposent un mécanisme de Handover à congestion [72] qui calcule l'état de congestion du point d'accès cible à l'avance afin d'effectuer un Handover dans un environnement hétérogène. Les auteurs tiennent compte du SNR (Signal-to-Noise Ratio) comme un critère de prise de décision en utilisant le protocole SIP. Le mécanisme proposé réduit le délai de Handover, cependant d'autres paramètres doivent être abordés pour optimiser la prise

de décision du Handover.

2.2.3 Les systèmes basés sur les préférences de l'UE

Certaines stratégies de Handover pourraient satisfaire l'UE en termes de coût de connexion, mais ne satisferont pas ses attentes en termes de QoS. Pour résoudre ce problème, Roberto [73] a proposé un mécanisme de pesage pour le processus de Handover dans les environnements Bluetooth et WLAN. Ce mécanisme vise à atteindre une QoS optimisée en termes de retard de paquet et utilisation de bande passante disponible.

Pour parvenir à une mobilité sans couture et garantir une QoS de bout en bout pour les UEs dans un environnement hétérogène, Min et al. [74] ont proposé un système de décision basé sur le réseau de maillage. Ils ont examiné les mouvements de l'UE, le RSS et les préférences de l'UE en tant que paramètres de décision de la mobilité. Ce système réduit le délai de Handover et le retard de livraison du paquet, mais il consomme beaucoup de ressources pour les réseaux tant que les UEs changent entre les deux domaines, provoquant très souvent l'effet de ping-pong.

Tamea et al. dans [75] et [76] soulignent le fait que l'utilisation de paramètres de QoS classique n'effectue pas la procédure Handover de façon optimale. Au lieu de cela, il est important de surveiller l'influence d'autres techniques spécifiques de la technologie tels que le contrôle de puissance, la modulation, le codage et le mécanisme d'ordonnancement. Dans leurs œuvres, ils ont modélisé le Handover comme une question de QoS, qui cherche à atteindre un niveau minimum de QoS en termes de taux d'erreur binaire. En parallèle, ils adoptent une technique du Handover qui réduit l'effet Ping-Pong en limitant le nombre de Handovers vers les points d'accès cibles. Les résultats montrent que les mécanismes proposés atteignent avec succès un niveau minimum de QoS. Ils économisent les ressources sans fil, minimisent la consommation de la batterie, et réduisent le nombre de Handovers en sélectionnant un réseau optimal.

TABLE 2.2 – Les systèmes Handover basé sur QoS

Catégorie du système de décision Handover	Travaux relatifs	Description du système	Avantages du système	Limitations du système
Les systèmes basés sur la bande passante disponible	[63] [64] [66]	La bande passante disponible est considérée pour obtenir un débit plus élevé pour Handover vertical.	Latence de Handover faible Rendement plus élevé Sélection du réseau adéquat	Perte de paquets élevée Calcul de bande passante inefficace
Les programmes basés sur SINR	[67] [68] [69] [71] [72]	Préoccupé par l'optimisation de l'allocation des ressources et de la réservation lors d'un Handover	Rendement plus élevé Optimisation de l'allocation des ressources	Augmentation de la latence du transfert Ne s'applique pas aux vitesses élevées Effet Ping-Pong
Les schémas basés sur les préférences d'UE	[73] [75] [74]	Se concentre sur l'optimisation de QoS de bout en bout avant et après un Handover vertical.	QoS assurée Moins de perte de paquets Réduction du délai de transfert	Consommation de ressources plus élevée Pénétration de l'instabilité de la session

Le tableau 2.2 résume les systèmes de décision du Handover basés sur la métrique QoS présentés dans cette section. Ci-dessus, décrie la compatibilité des QoS techniques et critères principalement pour la satisfaction de l'UE et les applications en temps non réel. Plus de critères doivent être pris en considération pour les contraintes liées aux applications en temps réel. Les applications en temps réel sont sensibles au retard, donc pour décider sur le réseau le plus approprié qui garantit la satisfaction des UEs et l'efficacité du réseau, on doit prendre en considération plusieurs critères pour recueillir l'information à partir HetNet. Les fonctions de décision de Handover ont été largement utilisées au cours des dernières années qui combinent différents paramètres réseau et QoS. Dans la section suivante, nous présentons quelques-uns des ouvrages existants qui sont dédiés à des fonctions de décision qui intègrent à la fois ; des applications en temps réel et en temps non réel.

2.3 Les systèmes basé sur les fonctions Multi-critère

2.3.1 Les programmes basés une fonction d'utilité

L'utilité se réfère au niveau de la facilité d'utilisation des services dans un réseau spécifique. Dans la sélection de réseau d'accès et la gestion des décisions, il mesure le niveau de satisfaction des UEs correspondant à un ensemble de caractéristiques d'un réseau sans fil, y compris les paramètres de ressources allouées. Les auteurs examinent le niveau de satisfaction de l'UE en utilisant une fonction d'utilité pour les applications en temps non réel (ex : FTP (File Transfer Protocol)) [77]. La décision de sélection de réseau et le Handover s'appuient sur la différence entre la valeur monétaire des données transférées et le prix réel facturé par l'opérateur de réseau. Contrairement aux [78] [79] [79] [80] où, ils considèrent les préférences des UEs, la variation de la

mobilité, le minimum requis de la bande passante et le SNR avec un coût fixe pour concevoir leurs fonctions d'utilité pour les régimes d'équilibrage de charge. Ces régimes fonctionnent mieux en termes d'équilibrage de charge réseau et débit puisque ces deux critères sont pris en considération pour la sélection de réseau approprié et d'autres phases de Handover.

Toutefois, pour Ormond et al. [77], leurs résultats ont révélé que la valeur de l'utilisation d'une fonction d'utilité appropriée pour une préférence d'UE donné dépend fortement de la taille du fichier. Pour un fichier de grande taille, la différence de prix peut décourager les UEs à faible budget. En outre, il ne convient pas pour les applications en temps réel. La raison pour cela est que la négociation des prix du réseau juste avant le Handover peut entraîner des délais très longs et peut également interrompre les applications UE qui sont habituellement ennuyeuses pour les UEs. Suivant une tendance similaire Quoc-Thinh et al. [9] ont proposé un système centré sur l'UE pour les Handovers verticaux dans HetNets. Ils ont proposé d'utiliser un procédé d'utilité globale pour évaluer au mieux les réseaux sans fil candidat lors de la sélection de réseau. Ils ont discuté et montré à l'aide de simulations les besoins et les avantages d'avoir les configurations des préférences de l'UE et des applications. Cette solution aide à l'amélioration de la consommation d'énergie pour étendre la durée de communication des UEs mobiles.

De même, Gonzalvez et al. [81] résolvent le problème de la répartition des ressources appropriées dans des environnements hétérogènes en exploitant les configurations des UEs. Ils proposent d'utiliser un débit moyen de données en utilisant une fonction d'utilité pour chaque réseau candidat et ses ressources disponibles, puis établissent une relation entre les valeurs et les ressources des services publics résultants pour les UEs mobiles afin de prendre une décision de Handover et une sélection de réseau approprié. Cependant, ces régimes ne garantissent pas toujours une sélection de réseau approprié, car la fonction utilitaire ne reflète pas l'indépendance entre les critères pris en compte. Ainsi, la compensation entre un paramètre de réseau de service très élevé et un très faible paramètre de réseau de service dans l'approche de l'utilité agrégée conduit à une sélection et une décision d'un réseau impropre.

2.3.2 Les programmes basés sur les fonctions de coût

Une fonction de coût est proposée [82] en tenant compte des paramètres de RSS et la bande passante. Elle est estimée pour les réseaux disponibles et par la suite, utilisée dans la décision du Handover d'un UE mobile. En utilisant une approche similaire, l'algorithme de décision du Handover vertical basé sur une fonction de coût pour les multiservices Handovers est proposé

dans [83] par Yifei et al. Le réseau disponible avec la plus petite valeur de coût devient la cible de Handover intercellulaire. Toutefois, seule la bande passante disponible et le RSS des réseaux disponibles sont pris en compte dans les décisions de Handover des comparaisons de performance pour les deux solutions. Les auteurs dans [84] se sont concentré sur les algorithmes de sélection de réseau pour Handover entre WiFi, HSDPA et Wi-Bro prenant en considération les paramètres de préférences de coûts et des UEs. Le GPS (Global Positioning System) et la carte du réseau sont exploités pour l'évaluation de l'emplacement actuel des UEs et en fonction des résultats obtenus par ce calcul, un réseau candidat est prioritaire. Les auteurs ne décrivent pas l'effet de leur méthode de sélection de réseau sur la QoS perçue. Aussi, les auteurs ont complètement ignoré d'évaluer le paramètre de RSS qui peut influencer les problèmes de connectivité des réseaux candidats.

Les auteurs dans [85] enquêtent sur le problème de garantir la QoS dans les réseaux cellulaires relayant en utilisant les paramètres de RSS, le délai du Handover et le coût de la signalisation. Ils ont défini une fonction de coût qui priorise le processus de Handover lors de la réception des demandes de Handover. De cette manière, toutes les requêtes de Handover sont mises en attente et le réseau avec le coût le plus faible est choisi en tant que cible de Handover intercellulaire. Ils ont minimisé le coût de signalisation par le mécanisme de file d'attente. Ils affirment également que la QoS de la procédure de Handover est améliorée. Cependant, à notre avis, ce régime accable la capacité du canal en gardant les demandes de Handover qui par conséquent génère une latence du Handover.

Natasa et al. [86] traitent le scénario d'association entre IEEE 802.11, IEEE 802.16e, et les réseaux DVB-H [87] basés sur les mécanismes de fixation des prix pour la sélection de l'interface. Cependant, les auteurs ne fournissent pas l'évaluation de l'approche pour décrire la performance résultant. De même, les auteurs de [88] proposent trois mécanismes différents basés impératifs, alternatif et puissance à travers des réseaux hétérogènes. Mais, aucune évaluation des algorithmes n'est présentée pour justifier leurs revendications.

2.3.3 Les programmes basés sur classement réseau

Les technique MADM (Multiple Attribute Decision-Making) [89] est un moyen algorithmique convenablement pour effectuer une sélection d'interfaces réseau et une prise de décision en utilisant différentes alternatives. Un scénario de MADM est généralement représenté sous la forme suivante : $A = A_i, i = 1, 2, \dots, n$, qui est le nombre de solutions de rechange qui signifie

les réseaux qui peuvent supporté les UEs mobile et $C = C_j, j = 1, 2, \dots, m$ représente l'ensemble des attributs de réseau qui pourraient appartenir à des applications en cours d'exécution, par exemple : RSS, la bande passante, la sécurité, la perte de paquets, etc. Enfin, le poids ou un vecteur score $W = w_1, w_2, \dots, w_m$ dénote l'importance de ces caractéristiques.

Les modèle SAW (Simple Additive Weighting) [90], WP (Weighted Product) [91], TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to the Ideal Solution) [92], Vikor (Vlsekriterijumska optimizacija I KOmpromisno Resenje) [93] et ELECTRE (l'Élimination et Choix Traduisant la Réalité) [94] sont quelques-unes des méthodes qui ont été employées avec succès dans HetNet pour prendre des décisions de Handover.

Dans SAW, le score total d'un réseau représente la somme pondérée de toutes les valeurs d'attribut. En WP, les valeurs d'attribut sont multipliées pour atteindre un score de réseau [95]. En cas de TOPSIS, un réseau Handover candidat est celui qui offre les scores les plus proches de la solution idéale alors que, ELECTRE donne le concept du meilleur rang réseau disponible en utilisant le classement. Vikor, qui est une méthode de classement compromis, est assez similaire à TOPSIS. Cependant, il facilite la prise de décision en utilisant une fonction de score global qui représente la proximité de la solution idéale [96]. Un algorithme de décision de Handover intercellulaire vertical distribué est proposé par Tawil et al. dans [97], [98] qui combine les méthodes de MADM et SAW. Ils ont traité le processus de prise de décision comme un problème de MADM utilisant une fonction de score. Cette fonction de score est une consolidation d'un ensemble de paramètres de performance tels que les conditions de réseau, la bande passante réseau, coût monétaire, la consommation d'énergie, la latence du Handover et la sécurité du réseau. Le réseau candidat avec la plus haute qualité est sélectionnée comme cible du Handover intercellulaire. La procédure proposée contribue à la réalisation d'une réduction du blocage du Handover, d'une augmentation du débit et d'une optimisation du délai de décision du Handover. Mais, le schéma proposé a besoin d'une coopération supplémentaire entre les UEs et le point d'attachement visité qui tend à produire une latence supplémentaire du Handover et une charge excessive du réseau quand un grand nombre des UEs mobiles sont présents. En outre, la solution donnée n'aborde pas la complexité impliquée dans HetNet pour appliquer ce genre de solutions. En outre, il est important de calculer le délai du traitement de décision du Handover. L'auteur dans [99] utilise la technique de ELECTRE. Ils proposent d'utiliser les paramètres de vitesse du UE, la disponibilité des ressources, le RSS, le type de service, le coût souhaité par l'UE et la sécurité. Dans la première phase, ils emploient ces paramètres à un système de classement

flou pour un classement initial des réseaux et dans la seconde phase, ces critères sont calculés par la méthode de ELECTRE pour un classement total de tous les réseaux disponibles. Une comparaison de tous les réseaux est faite pour séparer le pire réseau disponible et le meilleur en fonction de leurs scores de réseau. Le Schéma proposé donne de meilleurs résultats en termes de taux de Handover et de ping-pong effet par rapport aux approches de Handover classiques. Cependant, ils n'ont pas discuté l'impact et la complexité de l'utilisation d'un grand nombre de paramètres dans les critères de décision. Dans un autre ouvrage, l'auteur propose d'utiliser Vikor pour le contrôle d'admission de Handover [100]. Auteur vise à fournir la QoS garantie et allouer les ressources uniformes à tous les UEs après un Handover. Toutefois, il n'a pas indiqué la façon avec laquelle cette information dissemblable provenant de différentes sources est maintenue.

Les auteurs dans [101] et [102] proposent une méthode de sélection du réseau et de la décision du Handover basée sur TOPSIS pour un classement des réseaux dans un environnement de recouvrement sans fil. Ils prennent en considération les paramètres historiques du Handover comme un facteur de choix pour prendre une décision de Handover et de sélection de réseau approprié ainsi que le coût, la sécurité, la bande passante, la gigue, la perte de paquet et le retard. Elles visent à s'assurer qu'un UE reste dans le réseau d'accès actuellement connecté aussi longtemps que possible. Tous les paramètres sont mémorisés par le moteur de décision TOPSIS qui les manipule en conséquence pour le classement du réseau approprié selon les besoins des UEs. Auteurs prétendent réduire le nombre de Handovers, mais, il semble qu'un UE est obligé de rester dans un réseau, même si la qualité de service de ce réseau spécifique tombe sous le seuil de l'UE. Cela montre l'inadaptation de ces solutions dans les environnements d'accès radio hétérogènes, qui est également observée par [95] et [103], [104]. Dans un même temps, ils ont observé qu'un Handover basé sur TOPSIS, SAW et Vikor comme mécanismes de prise de décision est très efficace pour la communication vocale des connexions 4G, car ils fournissent des valeurs faibles pour la gigue et la perte de paquets alors que les régimes basés MEW et ELECTRE fournissent habituellement des valeurs de débit supérieures pour la voix [105].

TABLE 2.3 – Les systèmes basés sur les fonctions Multi-critère

Catégorie du système de décision Handover	Travaux relatifs	Description du système	Avantages du système	Limitations du système
Les programmes basés sur une fonction utilité	[77] [78] [80] [9] [79]	Une fonction d'utilité est conçue pour mesurer le niveau de satisfaction des UEs en fonction des caractéristiques du réseau pour équilibrer les paramètres de ressources alloués	Rentables Conserve la durée de vie de la batterie Handover garanti Équilibrage des ressources	Des délais de communication plus longs Inapproprié pour les applications en temps réel Sélection de réseau inappropriée
Les programmes basés sur une fonction coût	[82] [83] [84] [85] [86] [88]	Une fonction est conçue en fonction du coût des réseaux cibles possibles compte tenu des préférences de l'UE/application pour une décision de Handover optimale et une sélection de réseau.	Taux de blocage de Handover faible Rendement élevé du système Retard de décision de Handover optimisé	Charge excessive sur le système Latence de Handover élevé Difficile d'estimer le coût de certains paramètres
Les programmes basés sur classement réseau	[95] [97] [98] [99] [102] [103]	Une fonction de score basé sur MADM est définie qui classe les réseaux en fonction des besoins des UEs pour une sélection de réseau appropriée	Faible taux de blocage du Handover. Réduction de l'effet Ping-Pong Sélection du réseau classé	Latence élevée QoS dégradée

Le tableau 2.3 résume les systèmes de prise de décisions basé sur les fonctions de décision présentées dans cette section. Bien que ces solutions soient très intéressantes, la plupart d'entre elle prennent des décisions basées sur l'état actuel du système autrement dit ils ne considèrent que la QoS actuelle des réseaux et les conditions actuelles de UE. Les décisions du Handover devraient également examiner les résultats probabilistes des futurs états du système à la suite de la décision actuelle. Par conséquent, un aspect de renseignement et de prédiction doit être intégré dans la fonction de décision. Certaines des œuvres comme [97] ont considéré cet aspect, mais n'ont pu l'exploiter complètement. La logique floue et les techniques à base de réseau de neurones artificiels ont joué un rôle très important en fournissant un aspect intelligent pour les mécanismes de décision et ils sont largement utilisés dans les processus de décision. Dans la section suivante, nous présentons quelques-uns des régimes les plus intéressants basés sur la prédiction.

2.4 Les systèmes basés sur les techniques de prédiction

2.4.1 Les systèmes basés sur réseaux de neurones

Partha dans [106] a proposé une technique basée sur réseau neuronal pour la prise de décision de Handover rapide et précis dans des réseaux hétérogènes. Le réseau a trois couches appelées comme couche d'entrée, couche cachée et couche de sortie. L'auteur utilise le système réseau

neuronal à rétropropagation qui est une méthode itérative [107] en utilisant les paramètres de RSS et les intensités de trafic dans les réseaux actuels et cibles. Le réseau neuronal à rétropropagation est caractérisé par son mode de supervision où la sortie réelle d'un réseau de neurones est comparée à la sortie désirée. L'auteur a montré que les décisions de Handover sont prises dans des positions appropriées, le nombre de fluctuations est faible et le nombre de Handovers est également faible. Cependant, l'auteur ne donne aucune information sur le processus d'apprentissage ou de formation de réseau neuronal. En outre, les retards causés par la procédure d'apprentissage sont un problème dans ce système.

Dans [108], Nasser et al. proposent et expliquent les fonctions des composants de l'intergiciel de gestion du Handover vertical. Ils ont utilisé une approche fondée sur les réseaux de neurones pour détecter la décroissance d'un signal et prendre une décision. Les auteurs visent à concevoir un système de sélection de réseau intelligent qui a la capacité de choisir le meilleur réseau sans fil disponible. Il tire profit des préférences de l'UE, des capacités de l'appareil, et des fonctions de réseau sans fil comme des paramètres de réseau afin de prendre une meilleure décision de Handover et de sélection de réseau. L'intergiciel proposé a trois composantes principales désignées comme (1) gestionnaire de manipulation réseau (2) collecteur de caractéristique, et (3) la formation de réseaux de neurones. Nasser et al. ont déclaré dans leur travail que si le taux d'apprentissage et le taux de valeur d'erreur acceptable sont correctement réglés, donc l'architecture proposée est capable de trouver le meilleur réseau disponible de manière optimale [108]. Cependant, l'approche proposée donne une latence élevée lors de l'exécution du Handover en raison de la grande taille de données des paquets de neurones et de leur formation. Cela pourrait devenir un problème pendant la mise en œuvre d'un tel système en temps réel.

De même, Horrich et al. [109] proposent les réseaux de neurones et la technique logique floue pour la prise de décision du Handover intercellulaire. Ainsi ils utilisent le FLC (Fuzzy Logic Controller) qui applique des règles prédéfinies pour des conditions actuelles du système, par la suite le réseau de neurones apprend les paramètres FLC des indicateurs résultants de la qualité du Handover. Dans leur travail, ils ont proposé d'utiliser le RSS, la vitesse et la charge du réseau comme paramètres de décision de Handover. Toutefois, ce régime fait face à des contraintes similaires à celle présentée dans [108]. En dehors de ces limites, ce régime est applicable pour les petites variations de l'environnement et ne s'adapte pas aux nouvelles conditions du réseau. Par exemple, si la charge du réseau augmente en raison de l'augmentation du nombre des UEs mobiles, la performance globale du système proposé se détériore. Ainsi le réseau de neurones a

besoin d'apprendre au plus vite afin de s'attaquer à ce problème.

Les auteurs dans [110] proposent un mécanisme de Handover basé sur la qualité de la liaison en exploitant les avantages de ANN (Artificial Neural Networks). Ils ont utilisé le paramètre de PSR (Packet Success Rate) comme un estimateur de liaison au lieu de RSS pour la prise de décision de Handover. C'est parce que PSR aide à la réduction des délais de Handover. ANN aide à apprendre le comportement du réseau et la fonction de corrélation entre les PSRs et les entités réseau pour leurs contextes respectifs comme la longueur des paquets, le SNR, le RSS et le nombre d'UEs mobiles connectés à un point d'accès spécifique. Au cours de cette phase d'apprentissage, des échantillons de mesure sont recueillis et sont par la suite, généralisés pour prendre une décision de Handover intercellulaire dans un scénario. Cela aide à réduire le délai de traitement de décision du Handover et sa latence globale. En outre, la perte de paquets reste limitée à un certain niveau en utilisant différentes fonctions ANN [111].

2.4.2 Les programmes basés sur la logique floue

L'approche présentée par Haibo et al. [112] délègue un algorithme de découverte de réseau qui utilise MCDM et la logique floue. Les auteurs ont l'intention de réduire la perte du taux terminal et les pannes du Handover en contrôlant les états de leurs interfaces le "on" et "off". Un UE contient différents modules pour faciliter la procédure du Handover intercellulaire. Cependant, selon notre point de vue cette approche tend à produire une surcharge en termes de retard, qui peut éventuellement dégrader la performance du système.

Kang et al. présentent un schéma basé sur la logique floue pour la prise de décision du Handover dans [113], [114] et [115]. Ils ont utilisé un grand nombre de paramètres comme moyen d'information pour concevoir leur approche autonome, comme la QoS, le coût, les préférences de l'UE, le type de service, le niveau de la batterie, etc. Ils ont défini deux mesures pour évaluer les capacités du point d'attache avenir : (1) la valeur d'acceptation des point d'accès et (2) la valeur de la satisfaction des points d'accès. Ces mesures aident un UE pour mieux sélectionner un nouveau point d'accès. Cependant, une alimentation régulière des règles floues est nécessaire pour obtenir cette fonctionnalité, qui est un processus lourd en raison de l'implication d'un grand nombre de paramètres. La raison de cela est que l'approche n'est pas complètement autonome et que les auteurs n'ont pas montré la façon dont ils représentent et stockent les informations contextuelles. En outre, le processus de prise de décision n'est pas auto évalué dans le sens où il nécessite un apport constant de paramètres d'un UE mobile. Ainsi ce régime prévoit aussi un

délai de Handover élevé.

Les auteurs dans [116] proposent une technique de gestion intelligente des ressources pour les réseaux mobiles hétérogènes. Ils ont divisé leur approche en deux plis : (1) la sélection du réseau basée sur la logique floue, et (2) l'allocation de la bande passante basée sur l'algorithme de la génétique. Le système flou est chargé de déterminer automatiquement la proximité de la disponibilité de nouveaux réseaux et de nouveaux UEs, tandis que les algorithmes génétiques mesurent la quantité de bande passante utilisée en raison d'une arrivée d'appel, et de blocage. De manière générale, le mécanisme proposé optimise la chute d'appel et le blocage. Cependant, beaucoup de calculs sont impliqués dans le processus de prise de décision qui diminue la performance globale de l'approche et qui également ajoute une surcharge au mécanisme. Un autre schéma de la logique floue est présenté par Ceken et al. [117], qui prennent en compte le taux de données, le RSSI, et la vitesse du terminal comme information pour la prise de décisions du Handover et la sélection de réseau approprié. En dehors de ces paramètres, le taux d'interférence est également introduit. Un terminal mobile intelligent sera responsable de l'exécution de l'ensemble de la procédure de Handover de l'initialisation à l'exécution. Ce terminal est supposé avoir l'intelligence pour effectuer efficacement ces tâches et il présente toutes les informations sur l'environnement, où il est en service.

La procédure de sélection de réseau et la prise de décision sont proposées par Ioannis et al. [118] à l'aide de TOPSIS floue afin de trouver le meilleur équilibre entre les ressources du réseau et d'élimination des conflits dans le processus de sélection de réseau dans HetNet. Les auteurs utilisent différents paramètres dans une fonction d'utilité comme les conditions de réseau, le QoS, l'énergie et les préférences de l'UE pour sélectionner un réseau optimal en termes d'efficacité énergétique pour les applications en temps réel et non réel. Cette fonction permet également de normaliser le processus de décision du Handover en supprimant le problème d'incohérence existant dans le classement des réseaux, où plusieurs réseaux sont présents. Cependant, les auteurs ne fournissent aucune information comme le temps du déclenchement du Handover ou la technique de numérisation utilisée en réseau. Ces informations sont importantes pour offrir une fluidité et éviter l'effet Ping-Pong.

2.4.3 Les programmes basés protocoles intelligents

Avec l'arrivée de la diversité coopérative et des réseaux de coopération, les UEs changent leur tendance à partir de la QoS et QoE, selon notre point de vue cela ne peut être réalisé que

lorsque le processus de Handover sera transparent et assez rapide. À cet égard, une amélioration de la PHMIPv6 (Partner-based Hierarchical Mobile IPv6) est introduite dans [119] pour réduire les frais de signalisation, et intégrer la sécurité. Ils ont introduit une minuterie d'expiration de lien qui est utilisé pour mettre en place les demandes de pré-Handover et la localisation du UE en incorporant l'effet Doppler.

Vidal et al. [120] ont introduit un cadre pour le Handover de contexte proactif pour le service P2P IPTV dans les réseaux IMS (IP multimedia subsystem). Ils ont estimé un scénario de Handover inter-réseau dans leur approche en réduisant la perte de paquets et améliorant la QoE des UEs. À cette fin, ils ont proposé d'utiliser des tampons dans IMS pour réduire le délai du Handover. Cela se fait via l'utilisation de certains contrôleurs intra-domaine pour le Handover contextuel avec le protocole SIP. Ce processus permet de réduire les retards de Handover du côté de l'UE.

Les auteurs étendent leurs œuvres dans [121] généralisant leur cadre pour les applications multimédias. Ils ont introduit un gestionnaire de Handover et un traducteur d'adresses pour augmenter l'indépendance de la plate-forme et améliorer la transparence de la procédure de Handover. Les auteurs dans [122] ont abordé la question de l'authentification de nœud dans les réseaux, en utilisant le contexte du Handover contrôlé mobile. À cet effet, un ticket d'authentification est généré dans la première phase qui fait suite à l'authentification rapide des nouveaux UE arrivant dans ce réseau spécifique. Ils ont profité du mécanisme AAA (Authentication, Authorization, Accounting) [123] qui renforce la relation de confiance en utilisant une clé partagée entre les différents réseaux. Ce processus contribue à réduire la perte de paquets puisque toutes les données sont redirigées vers le nouveau réseau. En outre, le contrôle total de la saisie des informations pour l'authentification rapide est donné au UE, pour résoudre le problème de la vie privée et de la sécurité comme les attaques DoS.

L'article [124] introduit une architecture d'inter-fonctionnement hybride qui intègre divers réseaux cellulaires et IP, qui sont considérés comme des pairs, autour d'un seul réseau IP qui cache leur hétérogénéité respective les uns les autres. L'architecture proposée contient diverses entités pour gérer la signalisation des réseaux et contribuer dans le plan de contrôle, et gérer le trafic de données du réseau pour assurer une QoS et une mobilité transparente. Cette architecture hybride montre son extensibilité en traitant le trafic en temps réel et en réduisant les temps de latence, la perte de paquets et le blocage du Handover.

Dans [125], les auteurs proposent une amélioration du système de Handover basé sur IP

mobile qui utilise les informations de la couche 2 pour la prise de décision Handover comme le RSS et la bande passante, etc., car cette information est disponible en permanence et peut fournir les informations sur les réseaux d'accès voisins. La structure du message de mobile IP classique est modifiée pour réduire la latence et le taux de paquets perdu dans l'algorithme proposé. Une méthode similaire est proposée dans [126] en utilisant PMIP (Proxy MIP). Cependant, cette technique produit certains frais supplémentaires de signalisation et d'augmentation du coût de traitement en raison des implications de certains services de couche d'application.

Sur le même modèle, [127] propose d'utiliser l'inter-domaine PMIP pour réduire la latence et la perte de paquets dans la couche 3. Ce mécanisme implique une signalisation supplémentaire entre les domaines de service et, par conséquent, réussit à réduire la latence du Handover et la perte de paquets. Dans l'architecture proposée, qui est une extension de leurs travaux antérieurs [128], IMS est utilisé pour le terminal centralisé et la gestion de session via SIP qui permet effectivement au réseau UMTS de faire face aux problèmes de mobilité de session dans les réseaux sans fil hétérogènes. L'approche proposée permet de réduire la perte de paquets et la latence du Handover dans une certaine mesure. Cependant, il y a une certaine signalisation supplémentaire impliquée qui produit des frais généraux et affecte les performances du mécanisme.

TABLE 2.4 – Les systèmes de décision du Handover vertical basé sur les techniques de prédiction

Catégorie du système de décision Handover	Travaux relatifs	Description du système	Avantages du système	Limitations du système
Les systèmes basés sur réseaux de neurones	[106] [109] [108] [110]	Ils sont appliqués pour résoudre les problèmes complexes en apprenant automatiquement le comportement du réseau et en généralisant le Handover dans des situations dynamiques.	Handovers réussis Meilleure sélection de réseau Minimisation de retard de traitement de Handover	Latence élevée Formation lente et apprentissage Consommation supplémentaire de ressources
Les systèmes basés sur la logique floue	[112] [113] [116] [118] [117]	La logique floue est utilisée pour effectuer une décision de Handover assistée par réseau en priorisant la dynamique QoS en fonction des préférences de l'UE.	Réduction du délai de transfert Réduction de la perte de paquets Sélection intelligente du réseau Satisfaction de l'UE en termes de QoS	Complexité accrue Des délais de traitement de décision plus élevés.
Les systèmes basés sur les protocoles intelligents	[119] [121] [122] [124] [125]	Différents protocoles de mobilité sont conçus pour assurer la transparence et les mécanismes appropriés de Handover.	Réduction de la perte de paquets Conservation des ressources des terminaux Handovers réussis Provision de sécurité	Latence comparativement élevée Contrôle centralisé Haut débit de signalisation

Le tableau 2.4 résume les systèmes de décision Handover vertical fondés sur l'intelligence réseau comme présentée dans cette section. Dans la section suivante, nous décrivons certains régimes contextuels pour le processus de prise de décision de Handover. Un Handover contextuel est une solution proposée par le Groupe de travail Réseau [129].

2.5 Les Systèmes fondés sur le contexte

2.5.1 Les programmes basés sur des prévisions de mobilité sensible au contexte

La prévision de la disponibilité réseau a émergé comme un domaine très important dans les réseaux d'accès de nouvelle génération. À cet égard, [130] fournit une solution basée sur un réseau bayésien dynamique pour résoudre le problème de Handover tout en exploitant les modèles semi-Markov et les variables contextuelles. Cependant, il n'est pas probable de mesurer toute l'information contextuelle qui influence la disponibilité du réseau. Par exemple, les préférences de l'UE peuvent changer à tout moment en raison de leur nature dynamique et la sensibilité de l'UE. Par conséquent, ils ne sont pas observables. De même, la vitesse de l'UE est un contexte très variable et les dispositifs actuels sont normalement incapables de calculer une valeur exacte de la vitesse. Les auteurs tentent de résoudre ces problèmes ainsi que les problèmes de contexte caché et de la complexité du calcul de la gestion dans [131]. Cependant, cette procédure consomme beaucoup de ressources réseau qui semblent inévitables et ainsi les applications peuvent ne pas supporter cela.

Le travail présenté dans [132] fournit un mécanisme de prédiction de la mobilité en estimant le comportement des UEs. Les auteurs prennent en compte le temps de la journée, de la durée passée dans un réseau spécifique, l'historique du Handover et l'emplacement en tant que paramètres de décision de Handover. Ils essaient d'obtenir une précision dans la prédiction de la mobilité en surveillant les UEs mobiles et leurs directions de mouvement dans une cellule particulière. Une décision de Handover est faite sur la base de la périodicité du mouvement de l'UE, en gardant à l'esprit le temps qu'un UE a pour traverser un réseau spécifique. Si le modèle de mobilité est choisi le processus de prise de décision du Handover s'exécutera à l'avance comme dans [133]. Toutefois, si l'UE mobile change de temps de vie ou de la voie, alors l'ensemble du schéma doit être reconstruit ce qui provoquera plus de retard et plus de perte de paquets.

Les auteurs dans [134], [135] et [136] présentent une solution de Handover assisté UE basé sur des modèles de mobilité. Ils proposent de stocker les données historiques de la mobilité des UEs dans une base de données. Ce qui fait qu'à chaque fois qu'un UE nomade suit le même chemin à une vitesse constante, cet UE sera transféré aux réseaux déjà connus. Toutefois dans ce scénario, si n'importe quel réseau traversé est éteint ou n'est plus disponible pour une raison spécifique, l'UE mobile peut faire face à de graves problèmes de connectivité. En outre, si la vitesse des UEs mobiles change alors elle pourrait également affecter le taux de blocage et le

débit des réseaux parce que le processus de sélection du réseau ne restera pas intact en raison de sa nature statique et la non-adaptabilité. En utilisant un modèle similaire, l'applicabilité du Handover au réseau WIMAX est discutée dans [137] et [138] où les auteurs utilisent la vitesse et la bande passante disponibles comme indicateurs de performance pour mesurer l'efficacité des Handovers. L'article [139] a également proposé une procédure de sélection de réseau pour améliorer la QoS et réduire l'effet Ping-Pong dans des réseaux hétérogènes.

Wang et al. dans [140] proposent un algorithme de prise de décision dans des systèmes radio pour résoudre le problème d'incertitude, où le besoin de Handover est dû à la détérioration du signal. La première méthode est basée sur la théorie de la décision classique où les différents niveaux de signal sont surveillés. Tandis que la deuxième méthode est basée sur le modèle de Markov où la prédiction de la mobilité joue un rôle important. Ils considèrent les préférences de l'UE, la configuration des périphériques, les conditions réseau et l'impact environnemental sur la performance des signaux radio. Les scores des réseaux sont affectés puis les réseaux candidats sont classés sur la base des préférences de l'UE. Comme les conditions de réseau changent, l'UE mobile est commuté vers un nouveau réseau de meilleures QoS. Cependant, cette solution ne peut pas fonctionner dans le monde réel, car il est très difficile de saisir les effets environnementaux sur la qualité du signal radio d'un réseau.

Shi et al. [141] proposent d'utiliser les modèles de localisation et de mobilité de UE dans des scénarios de Handover horizontal et vertical pour la prédiction de la mobilité sur des réseaux sans fil hétérogènes. Le GPS est utilisé pour identifier l'emplacement du UE qui enregistre ces informations dans une mémoire tampon. Cette information aide à estimer le motif de la mobilité, de la direction et de la vitesse d'un UE mobile. Le mécanisme proposé permet de réduire la perte de paquets et la latence du Handover. Mais, la question qui doit être discutée ici est la validité de l'information stockée parce que, selon la vitesse de l'UE mobile, les informations stockées seraient obsolètes dans un intervalle de temps très court et une décision de Handover effectué sur un tel type d'information ne sera pas appropriée. En outre, si le UE change sa vitesse alors la solution doit être suffisamment adaptable autrement, le taux de Ping-Pong serait très élevé.

2.5.2 Les programmes basés sur coopération sensible au contexte

Un nouveau mécanisme de Handover est proposé dans [142] qui combine la sensibilisation du spectre et le standard MIH comme une étude de cas pour la gestion de la mobilité dans les réseaux sans fil hétérogènes. Les auteurs emploient le cycle cognitif [143] dans leurs recherches

pour ajouter des connaissances, pour soutenir l'homogénéité et améliorer l'expérience d'UE dans des réseaux hétérogènes. Le mécanisme proposé est constitué de plusieurs entités fonctionnelles. Ces entités contribuent à la rapidité de la procédure Handover et préparent l'UE de passer vers un réseau avec une meilleure QoS. Le mécanisme proposé tend à être évolutif, car il améliore l'expérience des UEs en raison d'une allocation avancée des ressources.

Liu et al. présentent un inter-fonctionnement de couplage basé sur la théorie des jeux entre WLAN et WiMAX pour les Handovers verticaux [144]. La formulation de la décision du Handover est un processus de jeu, il est fait à l'aide d'un modèle d'appel d'offres qui tient compte du délai, de bande passante, de gigue, des paquets perdus et du coût offerts par un réseau sans fil. La stratégie d'enchères est basée sur trois hypothèses et chaque réseau est présenté comme un ensemble fini qui est désigné comme une tentative. Contre chaque offre une fonction de paiement est définie qui calcule l'utilité globale du réseau candidat. Une fois que cette fonction est calculée, un processus de jeu commence à jouer dans différents tours. Si aucun accord spécifique n'est pris au premier tour, les entités coopérantes réajustent leurs offres et la prochaine étape du jeu est lancée. La méthode proposée permet d'obtenir un meilleur équilibrage de charge dans les réseaux par rapport à d'autres programmes de coopération tels que TOPSIS, SAW, et régimes GRA (Grey Relational Analysis) [97] [118] [145]. Toutefois, la décision de Handover se rapporte à un délai dû à la complexité des ajustements d'enchères.

Wang et al. [146] présentent une architecture pour soutenir la mobilité dans des environnements omniprésents. Ils proposent une architecture de gestion de contexte décentralisé qui est conçue pour satisfaire les besoins des UEs, comme dans [147]. Cette architecture comprend un module de planification de trajectoire et un module de Handover. Ces modules sont stockés sur la porte ubiquitaire ou U-porte. le U-porte est l'un des éléments clés de l'architecture proposée et qui fonctionne comme une passerelle entre les réseaux et les dispositifs similaires, comme les capteurs et autres équipements intelligents. Cette architecture fonctionne avec un modèle de communication, qui agit comme un médiateur entre le U-porte et l'environnement omniprésent, où toutes les informations contextuelles sont modélisées et stockées. Un message de découverte de réseau est envoyé par le dispositif intelligent pour localiser un U-porte pour récupérer les informations contextuelles. Si n'importe quel contexte supplémentaire est nécessaire pour prendre une décision dans ce cas la même interface sera utilisée. Une fois que tout le contexte est recueilli, l'intelligent dispositif peut passer vers le nouveau réseau selon ses besoins. Cependant, la sécurité demeure une question ouverte dans cet environnement ouvert ou n'importe quel dispositif peut

interagir avec un autre dispositif et la confidentialité des équipements contribués pourrait être menacée.

Ong et al. dans [148] présentent une architecture coopérative de gestion des ressources radio pour une fourniture de service continu et homogène à travers un Handover vertical assisté réseau dans des environnements hétérogènes basés IP. Le mécanisme proposé autorise une collaboration comme décrite dans [149] [150]. Un algorithme générique de sélection de réseau est développé, aide dans le processus de prise de décision du Handover en incorporant la QoS et d'autres informations contextuelles, générées suite à une coopération entre les entités réseau. L'architecture proposée est un processus à double étape : le premier, implique un échange coopératif d'informations de QoS entre les points d'accès ; la deuxième étape consiste à sélectionner un réseau sans fil candidat fondé sur des mesures pour une meilleure utilisation des ressources. Dans notre point de vue, l'hétérogénéité des réseaux renforce la capacité globale du système et la QoS perçus des UEs mobiles, puisque ces derniers peuvent profiter de différents services à partir d'un large éventail de réseaux. Par exemple, le WLAN offre une bande passante élevée alors que l'UMTS présente une meilleure couverture pour des sessions de connectivité plus longues. L'architecture proposée améliore l'utilisation globale du système et fournit un mécanisme de QoS équilibrée pour assurer l'hétérogénéité dans les systèmes basés IP.

Une nouvelle adaptation de l'architecture cross-layer est présentée pour un Handover de contenu multimédia transparent en gardant intactes l'intégrité et la qualité des médias dans les réseaux mobiles [151]. L'architecture propose un module d'adaptation de décision basée MCDM. Il est responsable de régler les différents paramètres liés multimédias tels que : les paramètres d'encodage, le taux de bout en bout, et la distorsion de la qualité de l'image. Cette proposition intègre aussi un autre module basé sur le contexte. Le module est responsable de différentes couches de codage, et de décodage des flux multimédias. L'architecture proposée est évaluée sur une expérience d'essai de P2P et il est démontré que la QoS se dégrade lorsque les frames sont perdus en raison de la congestion du réseau ou toute autre raison de l'environnement au cours du processus de Handover. Sinon, l'architecture proposée réussit à se conformer aux exigences de diffusion de contenu multimédia comme indiqué dans [152] et [153].

Un autre système contextuel coopératif est proposé par Musa et al. dans [154] qui met l'accent sur l'adaptation de services pour la satisfaction des UEs tout en effectuant un Handover transparent. Le mécanisme proposé est basé sur la théorie de raisonnement où certaines règles d'inférence sont déployées et sont récupérées à l'aide d'une ontologie réseau. Cette ontologie

contient l'UE nomade, l'environnement réseau et les profils de service. Ils combinent le Handover, la localisation et la prise en compte de la QoS dans la procédure de prise de décision Handover horizontale et vertical pour soutenir la continuité du flux multimédia. Pour analyser la performance du mécanisme, un démonstrateur multi-couche est développé, cependant, le résultat n'est pas fourni pour les évaluations.

Sen et al. [155] proposent une solution contextuelle basée sur la QoS pour la gestion de connectivité de bout en bout. Les informations contextuelles de différentes couches de haut et de bas niveau sont intégrées et coordonnées pour une solution de connectivité optimale. Pour ce faire, un mécanisme basé sur des règles est conçu pour prendre en considération les paramètres de QoS, les préférences des UEs et d'applications et la connectivité réseau. Cependant, le contexte des entités réseau intermédiaires comme les routeurs et les BSs sont ignorés. Ceci pourrait poser quelques problèmes d'adaptabilité dans le schéma proposé.

2.5.3 Le MIH basé sur des schémas sensibles au contexte

MIH [156], [157] est un système qui utilise un mécanisme pour rassembler et stocker les informations du voisinage réseau et client pour effectuer une décision de Handover coopérative en utilisant l'intelligence de la couche de liaison. MIHF est un élément clé et fournit différents services aux UEs finaux. Différentes interfaces (Couches supérieures et inférieures) existent pour la fourniture de différents services pour les UEs, comme définit dans la section 1.2.2.1. En résumé, il est important de considérer que les différents services sont utilisés dans la norme IEEE 802.21 pour une décision de Handover optimale. Cependant, la couche d'application et les informations relatives aux UEs ne sont pas habituellement utilisées pour fabriquer une décision de Handover vertical [158].

Dans [159], les auteurs introduisent EIS (Enhanced Information Server) dans les réseaux MIH pour accélérer les mesures de Handover vertical. EIS recueille des renseignements à jour sur certains paramètres comme l'emplacement et le niveau des RSS puis les exploite de manière coopérative pour prendre la décision Handover. Habituellement, cette information est nécessaire pour déclencher le Handover vers le meilleur point d'accès disponible aux voisinages d'un UE mobile. En faisant cela, les auteurs impliquent la possibilité de sauter les méthodes d'analyse du canal pour réduire la latence globale du Handover. L'architecture EIS est comparé avec le processus de Handover vertical classique où la plupart du temps EIS le surpasse. Cependant, la principale question qui doit être abordée comme dans d'autres programmes de coopération

c'est la collecte d'informations à l'avance, ce qui peut entraîner une surcharge de signalisation supplémentaire et peut dégrader les performances du système.

Pedro et al. dans [160] présentent une approche basée sur le contexte pour l'initialisation du Handover et la procédure de décision. Les auteurs proposent d'utiliser un serveur d'information, comme dans [159] sous le nom CIS (Context-aware Information Server). Ce serveur recueille, gère et diffuse des informations en temps réel sur le réseau. Cette information dynamique est récupérée à partir des deux ; réseau et terminal, par exemple, les capacités UE, les services du terminal, les préférences d'UE et le réseau, etc. Ce régime considère l'intégration des technologies : WiFi, WiMAX, et UMTS dans le cadre MIH. Les informations recueillies par la CIS contribuent à réduire le temps d'initialisation et d'exécution du Handover avec certains QoS. Toutefois, la distribution de l'information entre les différentes entités réseau, passant par le CIS, semble être un problème dans ce régime.

Les auteurs dans [161] proposent la couche GVLL (Generic Virtual Link Layer) et combinent cette couche avec la plate-forme MIH pour atteindre QoS pendant un Handover intercellulaire vertical entre WLAN et le réseau WiMAX. GVLL est conçu pour la meilleure sélection de réseau et pour la couche MAC interopérabilité. Ceci est réalisé en mesurant et en comparant la QoS des réseaux disponibles. MIH prend en charge l'approvisionnement QoS, en déclenchant et en réduisant la latence du Handover. La méthode proposée offre un faible taux de blocage des appels et un débit plus élevé lorsque le module GVLL est activé. Ceci est possible en raison de l'inclusion d'un nombre très limité des UEs mobiles qui n'est normalement pas un scénario applicable dans le monde réel.

Corujo et al. dans [158] résolvent un problème important de la gestion de la complexité, de la diversité des technologies et des services dans des environnements omniprésents. Ils employaient MIH pour coupler leur plate-forme conçue pour faire face à ces préoccupations. Le cadre proposé est capable de fournir une interface abstraite commune qui combine l'ensemble des différentes entités du réseau dans l'environnement omniprésent, qui communiquent avec les services de réseau et les périphériques réseau. Cela ouvre la possibilité d'une coopération entre les dispositifs d'échange et d'une récupération des informations nécessaires pour la prise de décision. Le temps de réponse moyen de signalisation et les frais généraux du mécanisme proposé sont nettement améliorés avant l'exécution du Handover. L'expérience d'essai proposée est toujours en cours d'évaluation, raison pour laquelle d'autres améliorations ou dégradations dans la fourniture de services ne peuvent être identifiées pour le moment.

Un travail similaire à l'omniprésence est discuté dans [162] qui met l'accent sur l'amélioration de l'utilisation des ressources et la réduction de la perte de paquets en utilisant l'architecture MIH. Cependant, aucune évaluation des résultats n'est présentée dans les travaux de recherche. Les auteurs dans [163] proposent un schéma de sélection de réseau et de décision du Handover. Ce dispositif permet de régler le retard d'initiation de Handover intercellulaire et d'optimiser le processus de sélection du réseau en sélectionnant le réseau sur la base de la bande passante restante qui se traduit également par optimisation de taux de blocage d'appel.

Rouille et al. [164] discutent une solution de mobilité vertical intégrée en utilisant le framework MIH et le protocole SCTP (Stream Control Transmission Protocol) en raison de ses capacités de sélection de chemin optimal, "multi-homing" et "multi-streaming" dans des environnements divers. Ils ont insisté principalement sur la fiabilité et la rapidité de l'échange des messages entre UE et le point d'accès pour bénéficier d'une solution optimale. Le mobile et le réseau initient le Handover via SCTP. Ils déclarent que le protocole doit être "auto-conscient" de la congestion du réseau et il doit également "auto-ajuster" son taux de Handover. En raison de ces hypothèses, ils ont atteint un taux inférieur de paquet perdu et de retard. Une autre technique intégrée est présentée dans [165] pour un système multimédia en utilisant le protocole SIP, FMIP et MIH. Cette méthode réduit la perte de paquets et le temps d'interruption de service en échangeant l'information contextuelle par l'anticipation basée sur MIH. Mais en même temps, un certain retard de Handover supplémentaire est dû à l'échange des différents messages de protocole.

Une approche "inter-couche" prédictive est présentée dans [166] qui utilise le protocole MIH pour supporter la QoS et la gestion des problèmes de connectivité dans les réseaux sans fil hétérogènes. La cartographie QoS et la classification sont réalisées entre les réseaux UMTS et WiMAX qui sont très similaires à ceux présentés dans [167] et il emploie la vitesse, la distance, le coût et l'énergie comme des paramètres de décision du Handover. Les résultats ont montré que le mécanisme proposé réduit la perte de paquets en raison de la prédiction avancée de l'état du réseau en surveillant le signal "link Going Down". En outre, le débit global du mécanisme reste cohérent en raison de la sélection de réseau approprié qui est bénéfique pour les applications sensibles au QoS. Dans [168] les auteurs discutent également la solution de l'UE adaptative basée MIH pour améliorer la QoS dans les réseaux hétérogènes. Ce système optimise l'UE du débit perçu et réduit le délai de Handover en choisissant le réseau le plus approprié au lieu de sélectionner le meilleur de la liste du réseau candidat comme dans [169]. Le travail présenté dans

[170] se concentre sur l'intégration des paramètres QoS de la couche de liaison avec MIH pour déterminer les conditions du réseau et aider à la prise de décision du Handover. Le processus d'intégration du WLAN et du WiMAX est détaillé avec une politique qui prend en compte les préférences de l'UE. Une politique appropriée est activée et un Handover est exécuté lors d'une dégradation de la QoS ou les UEs changent de préférence. Ce mécanisme supporte efficacement les Handovers compatibles QoS en fonction des besoins de l'application.

Tara et al. introduisent une solution sensible au contexte décentralisé basé MIH en intégrant le concept du calcul autonome [171] dans un environnement sans fil hétérogène. Ils proposent d'utiliser un plan de la connaissance et un plan de pilotage [172]. Ainsi, il rend la procédure du Handover entre WLAN et les WMAN plus intelligents et autonomes. Ils ont utilisé les paramètres de la disponibilité du réseau, les habitudes de déplacement des UEs, et les préférences QoS de l'application/l'UE. Ces informations sont introduites dans le plan de la connaissance de la prise de décision Handover. Il démontre qu'en ajoutant des concepts de décentralisation et d'autonomie, l'optimisation des performances globales de Handover est due à une meilleure coopération entre les MN et les points d'accès. La connaissance est distribuée dans les entités du réseau et elle permet une meilleure prise de décision de Handover avec une réduction des paquets perdu, l'effet de ping-pong et le délai de Handover. Pour ajouter de l'omniprésence aux architectures d'interfonctionnement, une technique d'inter-fonctionnement sur place est présentée dans [173]. Cette méthodologie combine le réseau d'accès 3G et sans-fil pour une meilleure itinérance les uns aux autres. Cette solution ajoute le composant de sécurité pour la solution d'inter-fonctionnement utilisant différents protocoles. Le tableau 2.5 résume les approches contextuelles présentées dans cette section.

TABLE 2.5 – Les systèmes de prise de décision basés sur le contexte

Catégorie du système de décision Handover	Travaux relatifs	Description du système	Avantages du système	Limitations du système
Les systèmes basés sur la prévision de la mobilité	[131] [132] [141] [140] [136]	Les modèles de mobilité du UE et les données historiques sont collectés comme contexte pour prendre une décision de Handover.	Ping-pong réduit à faible vitesse Ils conviennent aux environnements de réseau incertains	Instabilité à vitesse variable Délai de Handover plus long Perte de paquets plus élevée
Les programmes de coopération	[142] [144] [146] [148] [154] [155] [151]	Des décisions de Handover totalement distribuées sont prises, en fonction de la coopération de différentes entités de réseau.	Prise de décision efficace QoS améliorée Entièrement distribué Ils conviennent pour les flux en temps réel Amélioration de l'utilisation du système	Coût élevé de signalisation Perte de paquets plus élevée Ne garantit pas une sécurité
Les programmes basés sur MIH	[159] [160] [161] [158] [164] [170] [166] [171]	La décision de Handover distribué est effectuée via certains déclencheurs prédéfinis qui tiennent compte des contextes UE / application.	Réduction de la perte de paquets Sélection optimale du réseau Sécurité intégrée Latence réduite Rendement optimisé	Signalisation supplémentaire Distribution contextuelle Augmentation de la consommation de ressources

2.6 La théorie de jeu et la prise de décision Handover.

2.6.1 Les principes fondamentaux de la théorie des jeux

La théorie des jeux fournit un ensemble riche d'outils mathématiques pour la modélisation et l'analyse des problèmes interactifs de prise de décision dans lesquels les intérêts des agents (c'est-à-dire les joueurs) peuvent entrer en conflit les uns avec les autres. C'est un domaine bien développé en mathématiques appliquées et a été utilisé principalement en économie pour modéliser les compétitions sur les marchés. Au cours des dernières années, la théorie des jeux a également été largement adoptée pour résoudre de nombreux problèmes dans le domaine des communications sans fil [174] [175]. Un certain nombre d'œuvres ont exploré les applications de la théorie des jeux pour l'analyse et l'optimisation de divers problèmes dans les systèmes sans fil, dans la plupart des cas pour résoudre les problèmes d'allocation de ressources dans un environnement concurrentiel. Une définition non technique d'un jeu est donnée comme suit. Un jeu est un processus dans lequel les agents sélectionnent certaines stratégies à partir de leurs propres ensembles de stratégies et obtiennent des gains selon les stratégies de tous les agents. Le choix d'une stratégie peut être réalisé simultanément et non simultanément. En outre, un agent peut prendre des décisions à plusieurs reprises selon la règle du jeu.

Un jeu se compose d'un ensemble de joueurs, d'un ensemble de stratégies disponibles pour ces joueurs et d'une spécification de gains pour chaque combinaison de stratégies. L'ensemble de joueurs "N" sont des décideurs impliqués dans le jeu. Les joueurs sont supposés rationnels ou

délimités selon le type de jeu. L'ensemble de stratégies $(S_i)_{i \in N}$ sont les options qu'un joueur peut choisir en fonction de l'état du jeu. Ici, "S" désigne l'ensemble des stratégies du joueur $i \in N$. La stratégie d'un joueur peut contenir une action unique, plusieurs actions ou une distribution de probabilité sur plusieurs actions. Aussi, il est commun dans la théorie des jeux que S_{-i} désigne les stratégies de tous les joueurs autres que i . L'état d'un jeu dépend des stratégies prises par tous les joueurs (c'est-à-dire $[S_i, S_{-i}]$). Notez que les différents joueurs pourraient avoir différents ensembles de stratégie ; le gain π_i représente la préférence de chaque joueur dans le profil de stratégie actuel. Le gain peut être modélisé en fonction de coût $C_i(s_i, s_{-i})$, en fonction d'utilité $u_i(s_i, s_{-i})$, ou en fonction des deux (ex. la fonction de coût représente dans équation 2.1) où la fonction de coût représente le coût de l'exécution de certaines stratégies (par exemple, la puissance d'émission) qui doit être minimisée, la fonction d'utilité représente le gain (par exemple, le profit des fournisseurs de services) qui doit être maximisé.

$$\pi_i(s_i, s_{-i}) = u(s_i, s_{-i}) - c(s_i, s_{-i}). \quad (2.1)$$

Il est facile de voir que le paiement d'un joueur dépend non seulement de sa propre stratégie, mais aussi des stratégies de tous les autres joueurs.

2.6.2 Les motivations de l'utilisation de la théorie du jeu pour HetNet

La description des composants de la théorie des jeux doit être identifiée dans l'environnement de sélection du réseau. Tout modèle de jeu doit avoir trois paramètres de jeu, qui sont des joueurs, des stratégies et des gains. Tout modèle qui ne possède pas ces trois composants n'est pas considéré comme un modèle de jeu. Les UEs et/ou les réseaux sont les joueurs du jeu. Les joueurs qui recherchent la maximisation des gains peuvent choisir entre différentes stratégies, comme un faible coût monétaire, une plus grande bande passante et une QoS. Les gains peuvent être estimés en utilisant des fonctions d'utilité ou de caractéristique qui sont basées sur différents critères de décision, comme la consommation d'énergie, le coût monétaire, la bande passante disponible, la charge du réseau, le retard, la gigue et la perte de paquets. Les jeux peuvent être formulés de telle sorte qu'ils puissent cibler de multiples objectifs tels que la maximisation ou la minimisation des ressources variées, y compris le coût, la puissance et la bande passante. Les motivations de l'utilisation de la théorie des jeux pour HetNet sont résumées ci-dessous.

- Les nœuds de réseau hétérogènes peuvent être déployés par différents opérateurs/UEs.

La performance d'un réseau peut être facilement affectée par le comportement d'autres réseaux. Dans ce cas, une modélisation du comportement interactif serait nécessaire. Les différents modèles d'optimisation, dans lesquels l'impact mutuel entre les différentes entités au cours du processus décisionnel, ne peuvent pas être pris en compte avec précision, les modèles de théorie des jeux fournissent un cadre mathématique pour analyser les interactions compétitives ou coopératives entre les joueurs d'un système multi-joueur.

- Les différents nœuds de réseau peuvent avoir différentes exigences de QoS et peuvent être auto-intéressés. Chaque nœud prend des décisions individuelles (par exemple, sur l'allocation des ressources et la planification) pour répondre à ses propres besoins plutôt que d'optimiser les performances du système. Dans ce cas, ces nœuds peuvent avoir des intérêts contradictoires. Un tel comportement auto-intéressé peut être facilement modélisé en utilisant la théorie des jeux (par exemple en formulant un jeu non coopératif). L'intérêt personnel des nœuds peut être modélisé en termes de métriques de performance telles que la capacité, le retard, le débit, les interférences et le SINR.
- Les clés de base du processus de la prise de décision du Handover sont la capacité de tirer des leçons de l'environnement, de l'adaptabilité et de la capacité de comportement émergent. Dans le contexte de la théorie des jeux, les joueurs peuvent adapter leurs décisions pour obtenir un meilleur gain (c.-à-d. L'apprentissage et l'adaptation). De plus, après plusieurs itérations d'adaptation, le jeu peut atteindre l'équilibre. Les propriétés d'un réseau auto-organisateur peuvent être atteintes en concevant des algorithmes auto-organisés basés sur la théorie des jeux.
- Les algorithmes centralisés peuvent être très inefficaces pour un réseau sans fil hétérogène dense en raison de la complexité des algorithmes et de la quantité d'échange d'informations. En conséquence, le contrôle distribué est une caractéristique souhaitable. La théorie des jeux fournit un outil naturel pour développer des algorithmes distribués, car il permet des interactions locales et la prise de décision individuelle. Les interactions locales réduiront l'échange d'informations entre les nœuds et, par conséquent, le réseau devient plus évolutif et plus capable de fonctionner avec des conditions de backhaul limitées.

2.6.3 Les jeux non coopératifs Vs coopératifs dans la prise de décision Handover

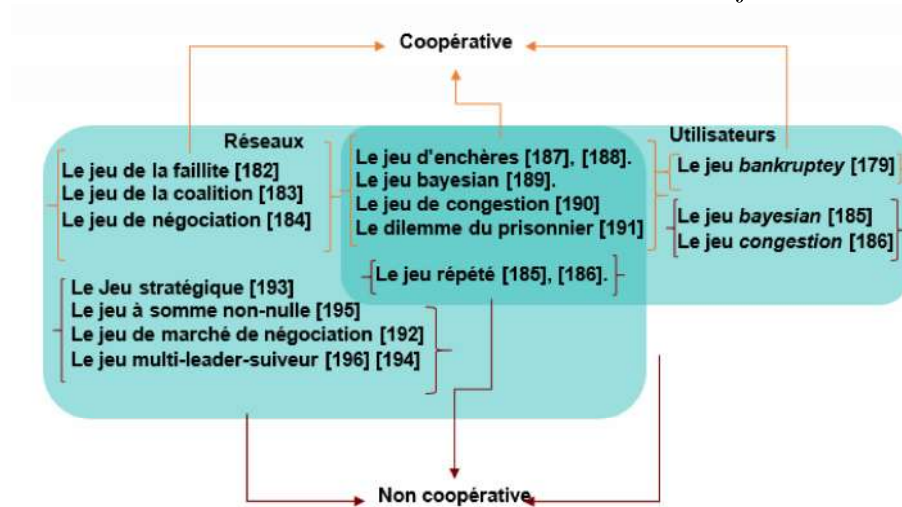
Différents modèles de jeux (par exemple : non coopératif ou coopératif, statique ou dynamique) ont été utilisés pour résoudre des problèmes de gestion du Handover dans les réseaux

de petites cellules dont le choix dépend des caractéristiques du réseau, des applications et des objectifs.

Les différents modèles de théorie des jeux peuvent différer considérablement de la structure de nombreux aspects, par exemple, le nombre de joueurs, le nombre de stratégies et les retombées. Le nombre de joueurs peut varier selon les différents jeux. Si un jeu a un seul joueur, le jeu devient un problème d'optimisation. Dans différents jeux, le nombre de stratégies pour les joueurs peut être soit fini (par exemple, dans un jeu "pierre papier ciseau") ou infini (par exemple, dans un jeu de prix). L'analyse d'un jeu de stratégie finie et d'un jeu de stratégie infinie est différente. La somme des gains de tous les joueurs peut également différer selon les différents modèles. En général, cette sommation peut-être nulle, un nombre constant de non-zéros ou toute valeur arbitraire. Le processus du jeu est un aspect important dans la structure du jeu. Les joueurs d'un jeu peuvent prendre des actions simultanément, dans un certain ordre ou de façon répétée, selon lequel le jeu peut être qualifié de jeu statique, de jeu dynamique et de jeu répété, respectivement. De plus, les hypothèses de la rationalité des joueurs sont différentes. La plupart des modèles de théorie des jeux assument la rationalité parfaite des joueurs, alors que certains modèles considèrent que les joueurs sont avec une rationalité limitée.

La théorie des jeux a été largement utilisée dans la modélisation des interactions stratégiques entre les agents rationnels. La théorie des jeux est une partie des mathématiques qui présente des outils analytiques qui étudient les interactions entre différents côtés opposés [176]. Ces types de jeux ont des catégorisations différentes. La théorie des jeux peut être classée en deux branches, à savoir non coopératif et coopératif. La théorie des jeux non coopérative étudie les sélections stratégiques découlant des interactions entre les joueurs concurrents, où chaque joueur sélectionne indépendamment sa stratégie pour développer son utilité ou diminuer ses coûts. L'équilibre de Nash est la solution la plus populaire pour la sélection de réseau dans la théorie des jeux non coopérative [177]. La théorie coopérative des jeux présente des outils analytiques pour examiner le comportement des acteurs rationnels au fur et à mesure qu'ils travaillent de manière collaborative. Un développement important qui utilise la théorie des jeux pour analyser les réseaux de communication a été identifié dans les activités de recherche. D'autres classifications selon les types de joueurs existent, telles que les UEs contre UEs, les UEs contre des réseaux et les réseaux contre réseaux.

FIGURE 2.2 – Les travaux liés à la théorie des jeux



À des fins de sélection, les concepts de théorie des jeux ont été utilisés dans HetNets pour résoudre le problème du Handover. Le problème du Handover est considéré comme complexe. Les différentes méthodes théoriques du jeu sont modélisées et visent à résoudre le problème. La figure 2.2 montre la répartition des approches disponibles en trois types principaux. Ainsi, basé sur le type d'entité des acteurs en interaction et le type du jeu en trouve :

- Des approches coopérative (UEs contre UEs [178], réseaux contre UEs [179] [180], réseaux contre réseaux [181] [182] [183])
- Des approches coopérative (UEs contre UEs [184] [185], réseaux contre aux UEs [186] [187] [188] [189] [190] et réseaux contre réseaux [191] [192] [193] [194] [195]).

Comme le montre la figure 2.2, la littérature la plus pertinente considère le problème Handover comme des jeux non coopératifs. Peu de travaux cités s'intéressent au jeu coopératif, qui repose sur la coopération entre les réseaux.

Les approches présentées dans la littérature varient en fonction de ce qui suit :

- modèle de jeu : Dilemme des prisonniers, Auction, Bayesian, Bargain, Trading Market, Multi-Leader Follower, Faillite, Stackelberg, Coalition, Répétition et Congestion
- jeux, joueurs : réseaux et/ou les UEs
- les stratégies : taux de transmission, réseaux d'accès disponibles, satisfaction des UEs, type d'applications, demandes de service, QoS, etc.

- les paramètres de sélection : coût monétaire, consommation d'énergie, bande passante disponible, délai, perte de paquets, débit, gigue, type de service, etc.
- les technologies d'accès sans fil utilisées : normes IEEE et réseaux cellulaires.

Les méthodes de théorie des jeux sont utilisées pour résoudre ces situations contradictoires. Ainsi, les modèles de jeux sont logiquement utilisés pour enquêter sur les conflits réels et les processus de négociation lors d'une décision pour un Handover. Cependant, l'approche de la théorie des jeux n'est pas largement utilisée dans la recherche pratique en raison de plusieurs raisons. La raison la plus importante est l'absence du principe commun de comportement optimal dans la théorie des jeux. Cette absence signifie que la stratégie rationnelle pour un principe d'optimiser peut ne pas être la même pour un autre principe.

2.7 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté un état de l'art détaillé dans le domaine de la gestion de la décision d'un Handover verticale. Nous avons divisé les schémas proposés en six groupes, nous les avons comparés en termes de fiabilité, de paramètres d'entrée, de complexité et de méthodologie de sélection de réseau. Il était un sujet de recherche depuis longtemps et il l'est toujours, compte tenu de sa complexité. Il est utilisé dans plusieurs produits et tests sur le terrain. Néanmoins, la réputation des services intégrés n'a pas occupé sa place dans la vie quotidienne des UEs. Les UEs conspirent à un traitement simultané de différents types de trafic, tels que les flux vocaux, de données et multimédias. Par conséquent, les réseaux de nouvelle génération devraient être construits de telle sorte que toutes les fonctions associées au service soient provisionnées de manière indépendante des technologies de transport de base. Dans le même temps, les fournisseurs de services de cette nouvelle architecture devraient également permettre la fourniture de services de façon transparente aux UEs nomades, quels que soient le réseau d'accès sous-jacent ou les caractéristiques du terminal.

Malheureusement, les schémas de décision actuellement proposés manquent soit d'une large réflexion sur les divers paramètres du réseau, soit les études rapportant ces schémas sont insuffisamment détaillées pour être mises en œuvre dans le monde réel. La recherche sur les mécanismes de décision de Handover vertical dans les réseaux sans fil hétérogènes est toujours un axe difficile et un problème ouvert. La difficulté principale consiste dans la formulation d'un schéma qui soit bénéfique dans une grande variété de conditions de réseau et de préférences UE/application.

En outre, l'autonomisation de meilleures applications nomades et le paradigme "toujours mieux connectés" sont les nouvelles dimensions pour la gestion de la mobilité et les domaines de recherche associés. Nous croyons qu'à mesure qu'Internet devient de plus en plus omniprésent, de plus en plus d'applications doivent en apprendre davantage sur les conditions du réseau pour fonctionner correctement et efficacement en plus de la connectivité des services. Par conséquent, nous avons besoin d'une infrastructure commune pour fournir un tel réseau avec des connaissances et des mécanismes à faible coût pour les applications, et par conséquent, il ne contredit pas les arguments de bout en bout. Ainsi, dans ce qui suit, nous proposons un cadre de communication unifiée pour la gestion du Handover. Nous avons aussi intégré une nouvelle idée, qui optimise le déclenchement du Handover, étant donné que c'est une étape primordiale qui précède la sélection réseau.

L'AMÉLIORATION DES SYSTÈMES DE HANDOVER EN INTÉGRANT LA SUPERVISION DU MOBILE

Sommaire

3.1	Les motivations.	60
3.2	L'architecture de gestion du handover MIH-assisté-PMIPv6.	63
3.3	La prise de décision basée sur la surveillance.	71
3.4	L'environnement et paramètre de simulation.	76
3.5	Les avantages et limitations de l'architecture proposée	83
3.6	Conclusion.	84

Pour les systèmes sans fil de nouvelle génération, les chercheurs aspirent à un avenir avec une meilleure infrastructure de communication en termes de quantité et de qualité. Un domaine d'application fondamental pour les systèmes hétérogènes se situe dans différents services temps réel nécessitant un débit de données élevé dans différentes conditions de mobilité avec un court délai. Pour réaliser la convergence, les technologies hétérogènes sont incorporées sur un noyau basé sur IP (Internet Protocol). Actuellement, les centres IPv4 (Internet Protocol Version 4) sont configurés pour réaliser la convergence. L'Internet Engineering Task Force a compris les inconvénients du réseau IPv4 et a proposé un passage à IPv6. Le passage aux cœurs IPv6 est nécessaire pour réaliser une convergence parfaite [196] et pour aider les adresses Internet uniques en raison de l'augmentation du nombre de téléphones cellulaires.

Ces jours-ci, les UEs peuvent utiliser le système de véhicules à grande vitesse tels que les trains. Ainsi, un intérêt croissant pour l'estimation de la vitesse du monde est remarqué, [197; 198; 199] car il y a une grande relation entre la vitesse et le HOF (Handover Failure). En d'autres termes, si la vitesse est élevée le processus de Handover ne se termine pas proprement ainsi le délai augmente et les appels échouent. D'autre part, la mobilité à haute vitesse des terminaux mobiles est responsable de la génération d'un transfert fréquent [200]. Par conséquent, la difficulté

principale dans le réseau sans fil hétérogène est de réaliser des transferts rapides. Connaître la vitesse du UE joue un rôle critique sur la performance de transfert du UE. En outre, l'interfonctionnement de différentes technologies d'accès sans fil visera à satisfaire les besoins du UE en termes de QoS, ces défis motivent la nécessité d'utiliser MIH. Le but ultime de IEEE 802.21 est de fournir des mécanismes de mobilité indépendants des médias en offrant des informations utiles sur la couche de liaison et les réseaux candidats [201], [202] cela nous encourage à adopter le PMIPv6. L'un des efforts les plus représentatifs de la gestion de la mobilité, pour surmonter les problèmes basés sur le terminal, prend en charge la gestion de la mobilité sans implication du terminal dans la signalisation de mobilité [203].

Dans ce chapitre, la section 3.2 sera consacrée à détailler le cadre de transfert unifié basé sur l'interconnexion PMIPv6 et MIH fusionné avec NS-3. Ce cadre système permettra une mise en réseau transparent pour les réseaux hétérogènes renforcé par une coopération parfaite entre toutes les couches. Dans la section 3.3 nous reformulerons un nouveau concept mathématique responsable de la surveillance d'état de la vitesse pour un déclenchement optimiser du Handover. La validation des performances du modèle sera étalée dans la section 3.4. Les avantages et les limitations seront discutés dans la section 3.5.

3.1 Les motivations.

La décision de l'endroit et du moment où il est effectué le Handover est une question déterminante dans le domaine de la communication mobile. Il s'agit d'une mesure essentielle pour le processus de transfert, afin d'assurer un transfert universel et d'obtenir la meilleure QoS dans un environnement hétérogène et de fournir la meilleure QoE pour les équipements mobiles. Cette décision nous oblige à étudier la vitesse de l'UE et rassembler des données concernant les services disponibles des réseaux concurrents, afin d'examiner cette information avec un but spécifique pour décider du moment approprié.

3.1.1 La vitesse et performance de transfert

Dans les réseaux de communication sans fil, l'estimation de la vitesse des UEs mobiles est une partie essentielle de la mise à niveau de l'exécution du réseau. Par la suite, ces dernières années, l'estimation de la vitesse a été largement prise en compte dans la littérature [204], [205], [206], [207]. La stratégie de transfert basée sur le nombre de transferts [205] est étroitement liée à

l'approche d'estimation de la vitesse. Ainsi, la mobilité de l'UE est évaluée en calculant le nombre de transferts réalisés par l'UE dans une fenêtre temporelle prédéfinie. Les innovations existantes en matière d'LTE et LTE-Advanced utilisent la stratégie de transfert intercellulaire pour classer un UE selon sa condition de mobilité en trois grandes classes : mobilité faible, moyenne et élevée. Hypothétiquement, l'estimation de la vitesse basée sur le temps de séjour dans une cellule [206] est plus précise que l'estimation de la vitesse basée sur le compte de transfert. L'auteur a évalué la vitesse de l'UE à la lumière des échantillons de temps de séjour et de la densité de la station de base de petites cellules. Cependant, ce travail a utilisé un système de mobilité irréaliste. De plus, une estimation indéterminée dans le bord des petites cellules a été expérimentée. Dans [204], la vitesse radiale a été obtenue grâce à l'estimation de l'effet Doppler extrême du signal reçu dans les communications mobiles, bien qu'elle ait nécessité un rapport de perception intermédiaire et de SNR supérieur à 30 dB.

La surveillance de la vitesse peut fondamentalement améliorer l'exécution de l'algorithme de transfert en diminuant simultanément la quantité de transfert et le délai de transfert, comme démontré dans [208; 209]. Les auteurs de [208] ont perçu l'effet de l'exécution du transfert sur la qualité de la communication, ainsi ils ont donc proposé un système de gestion de transfert basique, efficace et conscient visant à maintenir la continuité du service avec les BSs et à diminuer le transfert et la signalisation associée. Ils ont démontré que la méthode de transfert proposée réalise un gain impressionnant en termes de débit. Cependant, ils ont supposé pendant l'exécution du transfert qu'aucune information n'est transmise. Tenant compte du fait que leurs résultats numériques du délai ont atteint une haute estime, admettre une transmission de donnée pour évaluer la perte de paquets durant le transfert sera attrayant et aidera à analyser la QoS obtenue par leur système. Les auteurs en [209] ont démontré que la mauvaise qualité de l'exécution du transfert pouvait entraîner une interruption considérable et une baisse des communications, ce qui reste un problème urgent à résoudre. Les auteurs ont ainsi examiné un système de transfert en vue des informations sur la distance pour les réseaux LTE dans les ferroviaires à grande vitesse. La stratégie de choix d'un point de référence de transfert dépend des conditions spécifiques du canal. Les résultats ont démontré qu'une petite région appropriée au déclenchement dans la zone de chevauchement peut être obtenue, et l'exécution du transfert peut être étendue en diminuant la probabilité HOF et en annulant l'effet ping-pong.

3.1.2 Le déclenchement de transfert

À notre connaissance, aucune étude dans la littérature n'évalue les limites de performance du changement soudain de la vitesse dans la performance de transfert, puisque les approches majoritaires d'amélioration de transfert basées sur la vitesse se concentrent sur l'estimation de la vitesse et non sur son changement. Dans le travail de Yang et al. [210], les auteurs ont commencé à évaluer la vitesse après un nombre impressionnant de HOF. Les auteurs ont calculé la vitesse en fonction des intensités de RSS entre deux BSs différentes, avec lesquelles la marge de transfert a été équilibrée en conséquence. Les résultats numériques démontrent que les méthodes de transfert basées sur déclenchement sensible à la vitesse peuvent essentiellement diminuer le taux de HOF, en particulier lorsque la vitesse est élevée, ce qui contribue à améliorer les performances de transfert.

En parallèle, il existe plusieurs techniques de déclenchement de Handover intercellulaire basé sur d'autres critères que la vitesse, par exemple, des systèmes d'activation fondés sur le flux RSS. Cette idée a été utilisée par [211] pour un environnement d'évanouissement log-normal, où l'algorithme de Handover a été examiné en fonction du passage à niveau de la différence entre les flux RSS. Une stratégie basée sur un déclenchement sensible à la vitesse est proposée dans [212]. Le système proposé limite efficacement la charge du système pour éviter les interruptions de connexion. En outre, le schéma introduit augmente l'utilisation des ressources. Par conséquent, l'UE peut utiliser le système à sa capacité maximale. Cette technique de déclenchement diminue la latence du Handover et le taux de HOF. Divers schémas de déclenchement de Handover sont basés sur l'emplacement, comme dans [213] où un système de gestion de Handover pour les femtocellules LTE a été discuté. Ils ont utilisé une carte auto-organisatrice modifiée pour apprendre les emplacements de l'environnement intérieur. Les techniques de déclenchement peuvent également bénéficier d'un modèle de prédiction, comme proposé dans [214]. De plus, dans [215], les auteurs ont étudié plusieurs lignes directrices telles que la force du signal et la bande passante disponible dans la sélection de la cellule cible optimale, ce qui pourrait augmenter le taux de réussite et ainsi réduire le blocage. Parmi les travaux qui ont amélioré la qualité du trafic vidéo et multimédia, on trouve travail de [216]. Les auteurs de ce travail ont proposé des techniques pour déclencher le Handover basé sur la qualité de l'information multimédia. Cependant, différents problèmes existent, tels que l'estimation de la quantité correcte de données pour le déclenchement du Handover.

Ainsi, nous nous sommes orientés vers un modèle de gestion du déclenchement du processus

du Handover, qui prend en considération le changement brusque de la vitesse d'un UE dans le déclenchement du processus du Handover, puisqu'il est l'une des raisons principales qui engendrent une mauvaise qualité du Handover. Afin de résoudre ces problèmes, tout en minimisant l'effet ping-pong, nous avons besoin de gérer soigneusement et dynamiquement les paramètres du déclenchement du Handover, pour chaque UE en fonction de sa vitesse et de la zone de couverture du point d'accès. Mais en premier lieu pour une validation plus proche de la réalité du modèle, nous avons jugé nécessaire et primordial d'opter pour un environnement qui interconnecte le standard IEEE 802.21 MIH et le protocole PMIPv6. Sachant que MIH et PMIPv6 sont l'une des plus intéressantes des travaux qui ont été réalisés dans le cadre des standards et de la recherche scientifique pour réaliser un Handover transparent et offrir une bonne gestion de la mobilité. Ainsi l'environnement de validation sera sous le contrôle d'un framework de gestion de la mobilité utilisant MIH et PMIPv6, pour réduire davantage le délai de Handover [217]. Les détails de cette proposition d'architecture de gestion du Handover seront expliqués dans les sections suivantes de ce chapitre.

3.2 L'architecture de gestion du Handover MIH-assisté-PMIPv6.

3.2.1 La gestion du Handover avec MIH

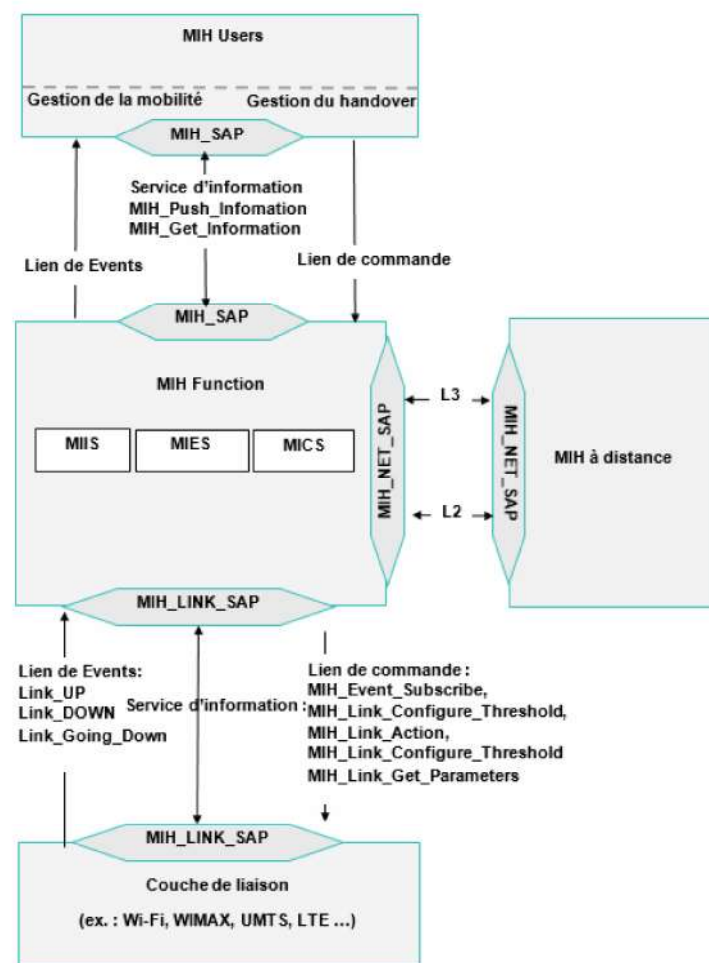
Des projets mondiaux se sont intéressés au service offert par le standard IEEE 802.21. Ainsi ce dernier a fait l'objet de recherche dans le cadre de projets FP7 HURRICANE (2008-2010) de l'Union européenne et le projet QoEHand (Brésil, Italie, Portugal).

Le rôle de MIH est d'assister la décision et l'initiation du besoin du Handover. Ce standard laisse la stratégie de sélection du meilleur réseau au libre choix de l'UE. L'exécution du Handover est réalisée par les couches supérieures qui utilisent les protocoles de gestion de la mobilité (PMIPv6, etc.). Autrement dit, IEEE 802.21 ne fait qu'aider les couches supérieures à initier le Handover, et ne gère, en aucun cas, ni le choix du réseau de destination ni l'exécution du Handover de l'UE mobile entre deux réseaux. Un UE mobile avec plusieurs interfaces, un point d'accès ou une BS sont des exemples d'entités-MIH, puisqu'ils implémentent le standard MIH. Toute entité-MIH, pour communiquer avec n'importe quelle autre entité-MIH locale ou distante, doit passer auparavant par un processus d'enregistrement. Ce processus se fait à travers un flux de message entre les deux entités-MIH.

3.2.1.1 Modèle de communication du MIH

Le MIH échange des messages avec d'autres couches à travers des SAPs (Service Access Point). Chaque SAP se compose d'un ensemble de primitives de services qui précisent la nature des informations à échanger et leur format. IL existe différent type de SAP tel que : MIH_SAP, MIH_LINK_SAP, et MIH_NET_SAP. Les couches supérieures reçoivent les événements des couches inférieures à travers MIH et vice versa. MIH_SAP permet la communication entre MIHF et les couches supérieures appelées "MIH User". En principe, "MIH User" est un protocole de gestion de la mobilité comme le PMIPv6. MIH_LINK_SAP permet la communication entre le MIHF et les couches inférieures de la pile protocolaire (voire figure 3.1). Cependant, l'échange d'informations entre les MIHF distants est assuré par MIH_NET_SAP.

FIGURE 3.1 – L'architecture du MIH.

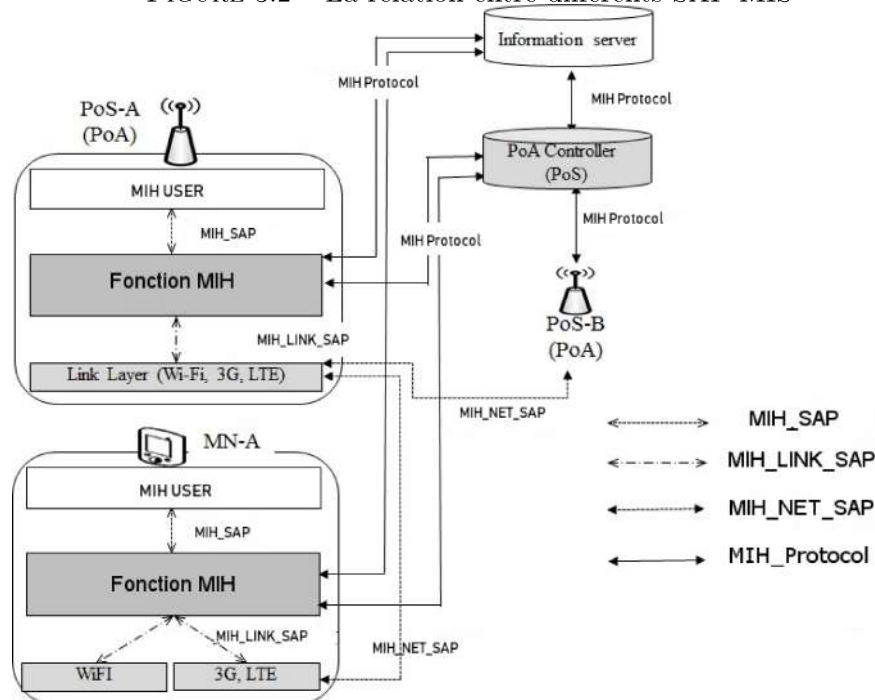


La décision du Handover concernant le choix du réseau de destination se base sur deux types d'informations : l'état des liens du nœud mobile avec le réseau et la valeur des paramètres de qualité de service du réseau. MIH, dans sa version de base, fournit juste un cadre de flux d'informations pour faciliter un Handover transparent entre les réseaux hétérogènes. Ainsi, il offre une entité appelée MIHF qui correspond à trois services : MIES, MICS, MIIS. Le passage des événements et des déclencheurs entre les trois services du MIHF et les différents lits de la pile protocolaire se fait à travers les SAPs. Les informations concernant l'état des liens mobiles avec le réseau sont mises en œuvre dans les services MIES et MICS. Le flux des messages pour la communication avec le service MIIS est spécifié par MIH, sans implémenter les options qui offrent la possibilité d'obtenir les paramètres de la qualité de service.

3.2.1.2 *Media Independent Event Services (MIES)*

Il fournit des rapports d'événements locaux et distants sur les changements dynamiques dans les caractéristiques de liaison vers les couches supérieures. Par conséquent, les protocoles des couches supérieures peuvent utiliser ces événements, ainsi que les exigences de QoS de l'application, pour prendre des décisions de Handover intelligent. Cependant, l'état des liens, les événements sont générés et envoyés au MIHF (voir la figure 3.1). Ainsi, Le MIHF doit être capable de mesurer les événements à destinations multiples. Ces événements sont de nature discrète et asynchrone, et toute entité-MIH qui aimerait recevoir ces événements doit s'enregistrer à ce service auprès du MIHF. Cette procédure se fait par demande d'inscription mutuelle entre les deux entités-MIH en question. Comme le montre la figure 3.2, ces événements peuvent être locaux ou la liste d'événements pouvant être signalés est donnée par l'annexe 5.2 (Voir Tableaux 5.1 et 5.2).

FIGURE 3.2 – La relation entre différents SAP MIS



3.2.1.3 Media Independent Command Services (MICS)

Il permet aux couches supérieures (par exemple, les protocoles de gestion de la mobilité) de contrôler et de gérer les couches inférieures locales et distantes au moyen d'un ensemble de commandes. La détermination de l'état des liaisons connectées et l'exécution des décisions de handover sont effectuées à l'aide de commandes MICS. Des exemples de ces commandes sont donnés à l'annexe 5.2. (Voir Tableaux 5.3 et 5.4).

3.2.1.4 Media Independent Information Services (MIIS)

Il permet aux couches supérieures et inférieures de collecter des informations statiques et dynamiques sur les réseaux disponibles dans la gamme pour faciliter le processus de Handover. De telles informations pourraient être utilisées pour effectuer des préparations avant le Handover et pour sélectionner la cible de Handover appropriée. Des exemples d'informations statiques sont le type de lien, l'identificateur d'opérateur, les adresses MAC (Medium Access Control) et les informations de canal. Alternativement, des exemples d'informations dynamiques sont des paramètres de couche liaison, tels que le débit et le débit de données. Un certain mécanisme de requête/réponse doit être appelé pour obtenir les informations statiques et dynamiques.

MIIS déploie divers IE (Information Elements), et chaque IE fournit des informations spéci-

fiques. Ces IE sont présentés dans des conteneurs où chaque conteneur a un certain groupe d'informations. Les conteneurs sont représentés au format TLV (Type-Length-Value). Les couches supérieure et inférieure peuvent obtenir des informations sur les réseaux hétérogènes voisins soit en demandant des IE individuels à partir du IS (Information Server), soit en demandant des conteneurs IE.

3.2.2 La gestion de la mobilité avec PMIPv6

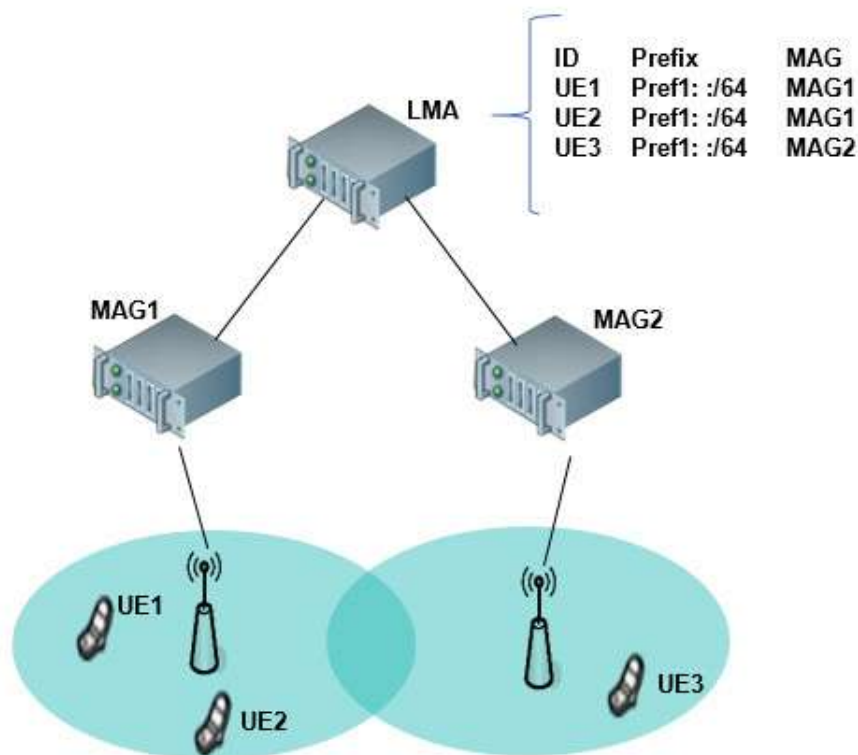
Les fonctions résidant à la fois dans le terminal mobile et dans le réseau sont les contraintes de base des procédures de mobilité IP traditionnelles. Récemment, en mettant l'accent sur les solutions qui re-localisent les techniques de mobilité du UE par rapport aux composants du réseau, un changement est adopté pour la conception du protocole de mobilité IP. Cette nouvelle approche, permet aux dispositifs IP conventionnels de se déplacer librement sur des BSs appartenant au même domaine local. Cette propriété est attrayante du point de vue de l'opérateur, car elle permet aux fournisseurs de services d'activer la prise en charge de la mobilité sans imposer des exigences côté terminal. À cet effet, l'IETF (Internet Engineering Task Force) a standardisé Proxy Mobile IPv6 (PMIPv6) [218].

PMIPv6 est présenté comme une solution de gestion de mobilité supportée par le réseau pour minimiser la complexité de la pile protocolaire des terminaux mobiles, et pour optimiser la performance du Handover. PMIPv6 est vu comme un protocole de gestion de mobilité dans un réseau mobile à différentes technologies d'accès telles que : IEEE 802.11, WiMax, 3GPP, et 3GPP2.

3.2.2.1 L'architecture du protocole PMIPv6

L'idée principale de PMIPv6 est que le UE mobile n'est impliqué dans aucune signalisation relative à la mobilité de la couche IP. Le UE mobile est un périphérique IP classique. Le but de PMIPv6 est de fournir la mobilité aux appareils IP sans leur participation. Cette disposition est réalisée en déplaçant les fonctions pertinentes pour la gestion de la mobilité du UE mobile vers le réseau.

FIGURE 3.3 – Les entités réseau dans Proxy Mobile IPv6



PMIPv6 fournit un support de mobilité dans une zone localisée, le LMD (Localized Mobility Domain) ou le domaine PMIPv6. En se déplaçant dans le LMD, le UE mobile conserve son adresse IP et le réseau est chargé de suivre son emplacement. PMIPv6 est basé sur Mobile IPv6, réutilisant le concept d'agent d'accueil, mais définissant des composantes dans le réseau qui doivent signaler les changements dans l'emplacement d'un UE mobile en son nom.

Les entités fonctionnelles dans l'architecture réseau PMIPv6 (Voir figure 3.3) sont les suivantes :

MAG (Mobile Access Gateway) : cette entité effectue la signalisation liée à la mobilité pour le compte des UEs mobiles attachés à ses liaisons d'accès. Le MAG est généralement le routeur d'accès pour le UE mobile, c'est-à-dire le routeur du premier saut dans l'infrastructure de gestion de la mobilité localisée. Il est responsable du suivi des mouvements du UE mobile dans le LMD. Un LMD a plusieurs MAG. **LMA (Local Mobility Anchor)** : Cette entité dans le réseau central maintient une collection de routes pour chaque UE mobile connecté au LMD. Les routes pointent vers des MAGs gérant les liens où se trouvent actuellement les UEs mobiles. Les paquets envoyés

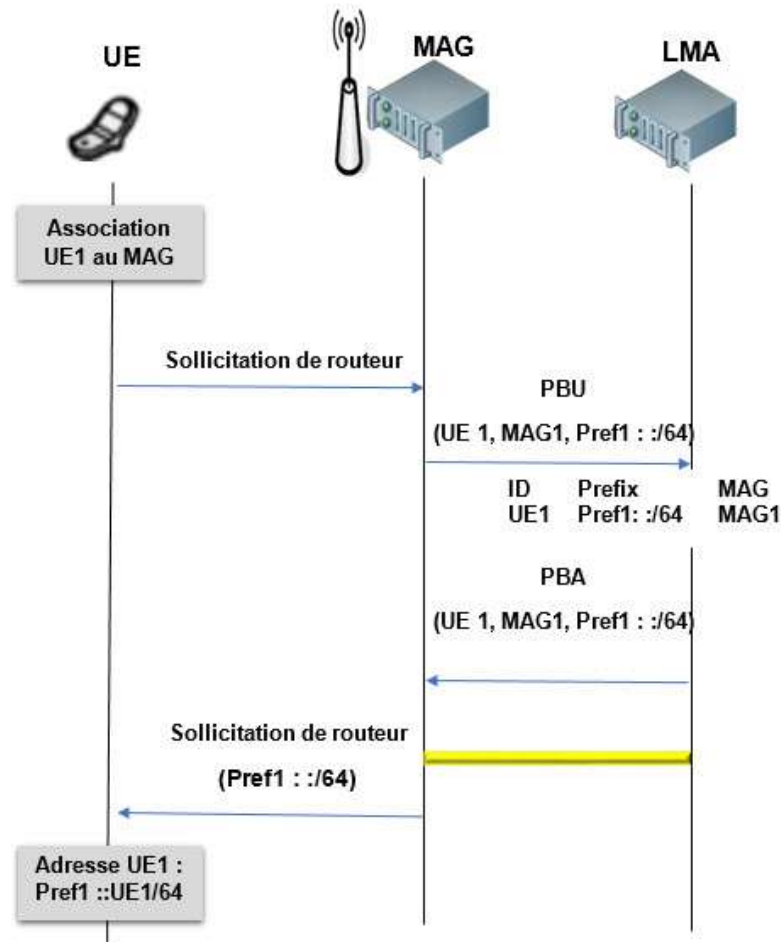
ou reçus vers ou depuis le UEs mobile sont acheminés via des tunnels entre le LMA et le MAG correspondant. Le LMA est un point d'ancrage topologique pour les adresses attribuées aux UEs mobiles dans le LMD, ce qui signifie que les paquets ayant ces adresses comme destination sont acheminés vers le LMA.

3.2.2.2 *Le modèle de communication PMIPv6*

Contrairement à un Handover typique où la connectivité à un support physique est abandonnée puis rétablie, la mobilité de flux suppose qu'un UE mobile peut avoir un accès simultané à plus d'un réseau. Dans cette spécification, il est supposé que le LMA est conscient de la capacité du UE mobile à avoir un accès simultané aux deux réseaux d'accès et la capacité de gérer le même ou un ensemble différent de préfixes sur chaque accès.

Ainsi, lorsqu'un UE mobile entre dans un domaine PMIPv6, il se connecte à un lien d'accès fourni par un gestionnaire MAG. Le MAG procède à l'identification du UE mobile et vérifie s'il est autorisé à utiliser le service de gestion de la mobilité basé sur le réseau. Si c'est le cas, le MAG effectue une signalisation de mobilité au nom du UE mobile (voir à la figure 3.4). Le MAG envoie au LMA un PBU (Proxy Binding Update) associant sa propre adresse à l'identité du UE mobile (par exemple, son adresse MAC ou un identifiant lié à son authentification dans le réseau). Lors de la réception de cette demande, le LMA alloue un préfixe au UE mobile. Ensuite, le LMA envoie au MAG un accusé de réception PBA (Proxy Binding Acknowledgment) comprenant le préfixe attribué au UE mobile. Il crée également une entrée "Binding Cache" et établit un tunnel bidirectionnel vers le MAG. Le MAG envoie des messages de publicité de routeur au UE mobile, y compris le préfixe alloué au UE mobile, de sorte que le UE mobile peut configurer une adresse.

FIGURE 3.4 – La signalisation lorsqu'un nœud mobile se connecte au domaine PMIPv6



Chaque fois que le UE mobile se déplace, le nouveau MAG met à jour l'emplacement du UE mobile dans le LMA et annonce le même préfixe au UE mobile, rendant ainsi la mobilité IP transparente au UE mobile. De cette façon, le UE mobile conserve l'adresse configurée lors de sa première entrée dans le LMD, même après avoir changé son point de rattachement dans le réseau, et le LMD apparaît comme un lien unique du point de vue du UE mobile. Il convient de noter que tous les MAG configurent la même adresse locale de liaison pour un UE mobile spécifique. C'est-à-dire que le UE mobile ne verra jamais de changement dans sa configuration de route par défaut.

Le tunnel bidirectionnel entre le LMA et le MAG et les états de routage associés dans le LMA et le MAG gèrent le plan de données du UE mobile. Les paquets de liaison descendante envoyés au UE mobile depuis l'extérieur du LMD arrivent au LMA, qui les achemine à travers le

tunnel jusqu'au MAG servant. Le MAG, après décapsulation, envoie les paquets au UE mobile directement via le lien d'accès. Les paquets de liaison montante qui proviennent du UE mobile sont envoyés au LMA à partir du MAG via le tunnel, puis sont renvoyés à la destination par le LMA. Le trafic généré à l'intérieur du LMD et dirigé vers un UE mobile également à l'intérieur du LMD suit une procédure similaire, passant par deux tunnels du MAG d'origine, au LMA, puis à la destination MAG. Il convient de noter que PMIPv6 permet à un MAG de court-circuiter le tunnel dans le cas où deux UEs mobiles communiquent directement via l'une de ses interfaces.

3.2.2.3 *La considération de performance*

PMIPv6 présente deux avantages de performance par rapport à MIPv6. Tout d'abord, le LMA est une entité de réseau local, donc en principe, le délai d'envoi de la signalisation au LMA sera inférieur à l'envoi de la signalisation à un "Home Agent" distant. Et deuxièmement, parce que le tunnel requis pour gérer le trafic est déterminé dans le MAG au lieu du UE mobile, nous évitons la surcharge d'un tunnel (deux en-têtes IP) sur l'interface radio. Cet évitement des frais généraux est pertinent parce que les ressources de bande passante sont plus rares sur l'interface radio que dans le réseau de liaison terrestre.

3.2.3 Les systèmes d'interfonctionnement, PMIPv6 et MIH

Plusieurs approches ont été proposées pour intégrer le PMIPv6 basées sur le réseau avec le cadre MIH pour optimiser la performance de Handover. Certaines de ces propositions ne donnent que la partie théorique, tandis que d'autres sont soutenues par un travail d'analyse et de simulation.

En règle générale, l'objectif du Handover est de choisir le meilleur service pour les clients, mais les paramètres absurdes influenceront la nature de l'appel. De cette manière, nous avons consolidé deux systèmes, IEEE 802.21 MIH et PMIPv6, afin d'effectuer un Handover puissant. Le PMIPv6 est un protocole de gestion de la mobilité localisée basé sur le réseau qui autorise la mobilité IP pour l'UE sans impliquer sa contribution à toute signalisation liée à la mobilité. Le MAG effectue une signalisation liée à la mobilité, suit le mouvement de l'UE et confirme l'UE en échangeant des messages de restriction avec le LMA. Le LMA est un point d'ancrage topologique pour les UE qui stocke toutes les données de routage et le préfixe de réseau domestique de l'UE pour garantir l'état d'accessibilité de l'UE dans le LMD correspondant [219]. Notez que puisque l'UE se déplace entre différents MAG dans PMIPv6, la latence de Handover ne peut pas être

évitée. Dans ce contexte, en gardant à l'esprit l'objectif final de diminuer la latence de Handover, l'UE doit exécuter le MIH pour autoriser une collaboration transparente entre les différentes couches de réseau.

Le système MIH est institutionnalisé par le groupe de travail IEEE 802.21 afin de maintenir un Handover de mobilité cohérent entre les technologies sans fil hétérogènes. Le MIH et PMIPv6 sont utilisés les uns à côté des autres, en gardant à l'esprit l'objectif final de réduire la latence de Handover et la perte de paquets. Cela encourage le MIH à mettre en place les services du MIHF pour mettre à niveau l'exécution du Handover vers les clients avec une polyvalence transversale sur des systèmes distants hétérogènes. Le MIHF utilise les données collectées à la fois de l'UE et de l'infrastructure réseau. Elle fournit une abstraction de service aux couches supérieures en utilisant un type d'interface adéquat pour le réseau candidat, afin de renforcer l'expérience de l'UE en supportant le transfert dans diverses technologies. Ce composant aide la couche supérieure (par exemple, les clients PMIPv6) à maintenir le service en fonctionnement et à permettre des ajustements de service pour différents niveaux de QoS.

La nature du Handover sera influencée par la vitesse, en particulier lorsque la vitesse est élevée, ce qui peut entraîner diverses défaillances liées au Handover (par exemple, Handover trop tardif, Handover trop précoce et effet Ping-Pong). Cependant, la technique conventionnelle ne prend pas la vitesse en considération. Dans ces circonstances uniques et pour une meilleure prise de décision, nous allons prendre en considération la vitesse et maintenir la stabilité du Handover. Puisque un point envoie périodiquement des *Beacons frames* à partir desquels nous pouvons savoir la valeur du RSS. En tenant compte du fait que l'estimation de RSS est affectée par la distance entre de l'UE et le point d'accès, elle est implicitement influencée par la vitesse. Cela nous conduit à examiner la variabilité du RSS en utilisant AVAR.

3.3 La prise de décision basée sur la surveillance.

3.3.1 La modélisation mathématique.

L'AVAR (Allan variance) a été présentée il y a 50 ans pour enquêter sur la stabilité des normes de fréquence. En raison de ses caractéristiques métrologiques, il a été utilisé dans le cadre de l'accélérométrie, de la géophysique, de la géodésie, de l'astrophysique et même de la finance. Par exemple, AVAR peut distinguer différentes sortes de bruit décrites par diverses lois de puissance en densités spectrales. Dans le même ordre d'idée, la principale application

de l'AVAR consiste à l'analyse des séries temporelles pour déterminer le niveau de dispersion du signal et dans l'analyse spectrale, à reconnaître principalement le type de bruit prédominant dans une série temporelle.

L'évaluation du bruit dans les séries chronologiques d'estimation physique est une mesure critique des attributs statistiques et de la qualité globale. Parmi les meilleures approches pour traiter l'estimation du bruit, nous avons AVAR, qui a été initialement introduit pour mesurer combien la fréquence d'un oscillateur change d'une période τ à l'autre. Depuis lors, AVAR est devenu une technique mesurable intense pour l'analyse de séries chronologiques, en particulier pour l'examen d'observations géodésiques et astronomiques. À ce jour, il a seulement été utilisé pour l'étude de l'arrangement de temps. En conséquence, dans notre contribution, nous appliquerons AVAR à RSS pour reconnaître tout changement de vitesse. Comme la montre [220] AVAR a la capacité de reconnaître le bruit coloré lié à RSS et peut aider à l'identification et à la caractérisation de ces composants. L'AVAR est une fluctuation pour deux échantillons ($N_m = 2$), où $X(t)$ est le signal à examiner. Utilisant la définition de fréquence prescrite par l'IEEE en vue des phases de point final [221], l'AVAR à différents moments t_m peut être écrit comme :

$$\sigma_\tau^2 = \frac{1}{2} E\{(\bar{X}(t_m + \tau) - \bar{X}(t_m))^2\} = \frac{1}{2} E\{(\bar{X}_{m+1} - \bar{X}_m)^2\} \quad (3.1)$$

où :

$$\bar{X}_m = \frac{1}{\tau} \int_{t_m}^{t_m + \tau} X(t) dt \quad (3.2)$$

Où $\bar{X}_{m+1}$ et $\bar{X}_m$ sont deux intégrations successives sur une durée τ .

Puisque les RSS sont considérés comme des points d'observation se succédant dans le temps, cette équation sera représentée dans le cas discret comme suit : $(X_j)_{j=1, \dots, N}$ est un processus stochastique dont les réalisations X_j sont faites à des intervalles de temps constants τ_0 (voir Figure 3.5 [222]) et $m = \frac{\tau}{\tau_0}$.

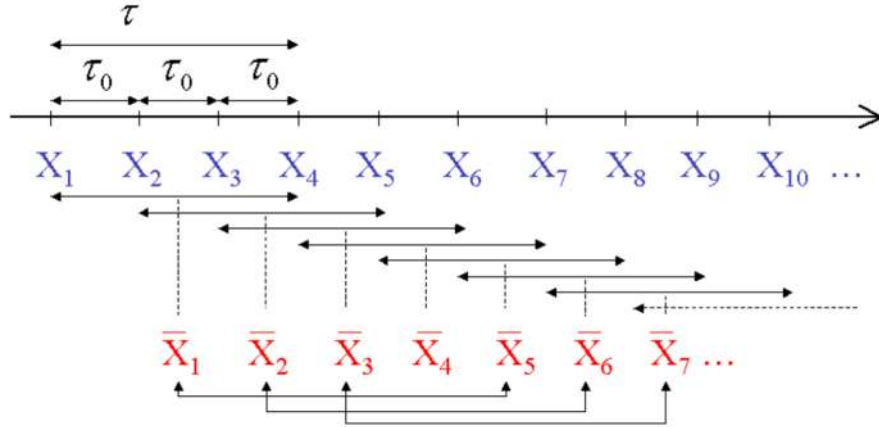


FIGURE 3.5 – Le principe du sous-échantillonnage par variance d'Allan

Si nous développons la moyenne empirique qui est en fait un estimateur de l'espérance, l'estimation de la variance d'Allan utilisée dans ce travail est :

$$\sigma^2(\tau) = \frac{1}{2 * (N - 2(\frac{\tau}{\tau_0}))} \sum_{k=1}^{N-2(\frac{\tau}{\tau_0})} (\bar{X}_{k+\frac{\tau}{\tau_0}, \frac{\tau}{\tau_0}} - \bar{X}_{k, \frac{\tau}{\tau_0}})^2 \quad (3.3)$$

Notre étude est basée sur le modèle de signal RSS standard sans fil donné par [223] :

$$P_y(t) = PL_0 - 10\gamma \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_g \quad (3.4)$$

Où PL_0 est la perte de chemin à la distance de référence d_0 , γ est l'exposant de perte de chemin, et X_g est une variable aléatoire normale (ou gaussienne) avec une moyenne nulle reflétant l'atténuation (en décibels) provoquée par un évanouissement plat. Dans notre cas, nous supposons qu'il n'y a pas d'évanouissement, et donc la distance est le seul terme qui varie avec le temps.

Comme présenté dans les figures (3.7 ,3.6), les résultats de l'AVAR de l'échantillon RSS permettent la détection d'un changement de vitesse. Pour détecter cette variation, il a été décidé de calculer l'angle Θ_t entre les deux droites tangentes pour deux intervalles adjacents. La décision sera déclenchée basé sur $\Delta\Theta = \Theta_{t_1} - \Theta_{t_2} \geq 0,01 \text{Radian}$, où Θ_{t_1} et Θ_{t_2} sont deux valeurs successives de Θ_t .

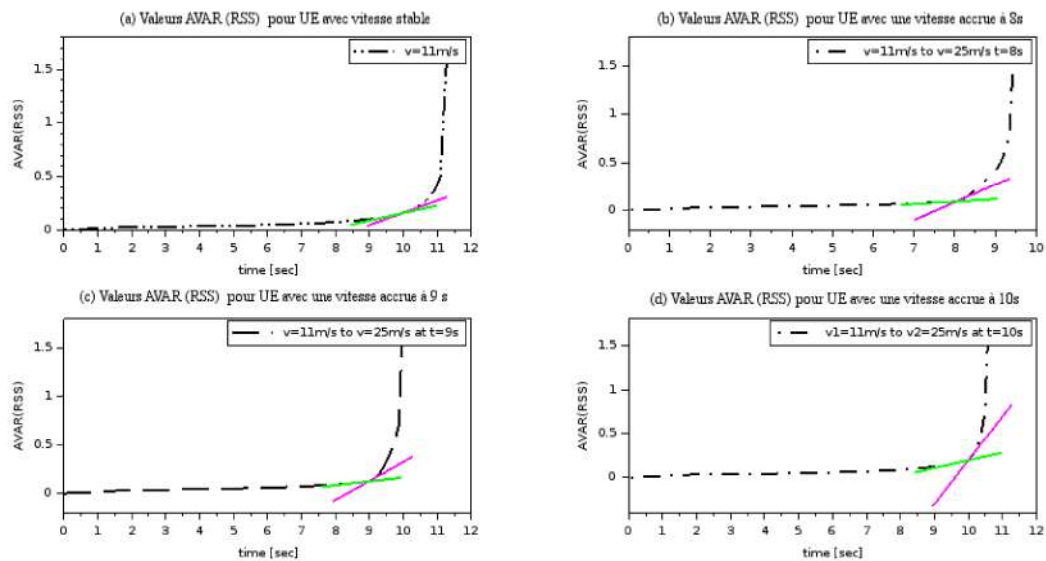


FIGURE 3.6 – L'AVAR de RSS pour l'UE entrant dans la zone AP.

Pour étudier le cas où le UE s'approche de la source du point d'accès, nous avons choisi de suivre les valeurs d'AVAR pour le RSS reçu par le point d'accès de service où l'UE a changé sa vitesse de 11 m/s à 25 m/s. $t = 8$, $t = 9$ et $t = 10$, comme présenté sur la figure 3.7. Pour les trois cas, le $\Delta\Theta$ approuve que la condition $\Delta\Theta$ soit supérieure à 0,01 Radian en même temps lorsque l'UE accélère. En revanche, dans le cas où la vitesse reste constante, la valeur de $\Delta\Theta$ reste inférieure à 0,01 Radian.

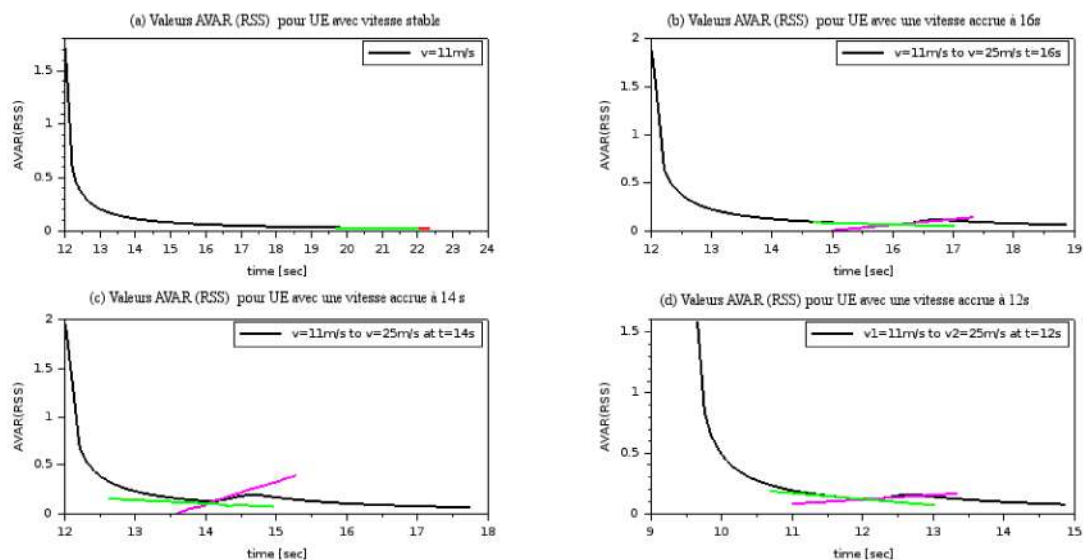


FIGURE 3.7 – L'AVAR de RSS pour UE sortant de la zone AP.

Nous l'avons répété pour l'UE s'éloignant à une grande distance de l'AP, cette fois l'UE a changé la vitesse de 11 m/s à 25 m/s à $t = 12s$, $t = 14s$ et $t = 16s$. La figure 3.6 présente le comportement des valeurs AVAR, qui vont nous permettre de faire des réflexions similaires à celles de la figure 3.7. Sur la base des résultats de simulations, nous avons trouvé qu'une décision basée sur $\Delta\Theta \geq 0,01Radian$ nous aidera à obtenir le meilleur résultat. Cela soulève un problème intéressant qui mérite d'être approfondi : Quelle est la bonne façon de définir la valeur maximale de $\Delta\Theta$ pour déclencher le processus de Handover ?

3.3.2 L'intégration du modèle dans l'architecture MIH-assisté-PMIPv6

Le concept principal du schéma recommandé est de prévoir le choix de Handover, en tenant compte de la vitesse de l'UE. Puisque le MIH peut rassembler le RSS obtenu du point d'accès de service, nous utilisons la fonctionnalité MIHF pour obtenir un échantillon N de RSS pour $\Delta_t = \tau$.

Au vu de l'équation 3.3, nous calculons en continu la variance $\sigma^2(\tau)$ pour suivre et vérifier si $\Delta\Theta \geq 1\%$. Une fois cette condition remplie, l'UE utilisera le GPS pour obtenir la valeur de la vitesse. Au point où la vitesse est accessible, la durée de vie $((\Delta t)_{lifetime})$ de l'UE dans la zone de couverture du point d'accès de service est recalculée en utilisant la vitesse actuelle. Ensuite, nous confirmons si $((\Delta t)_{lifetime})$ est plus grand que le temps requis pour effectuer un Handover $(\Delta t)_{HO}$, sinon nous devrions commencer la procédure de Handover pour maintenir une distance stratégique par rapport au HOF. La figure 3.8 reprends le processus. Pour limiter l'impact Ping-Pong, nous devons obtenir la nouvelle valeur du $(\Delta t)_{lifetime}$ avant de devenir associé au nouveau point d'accès.

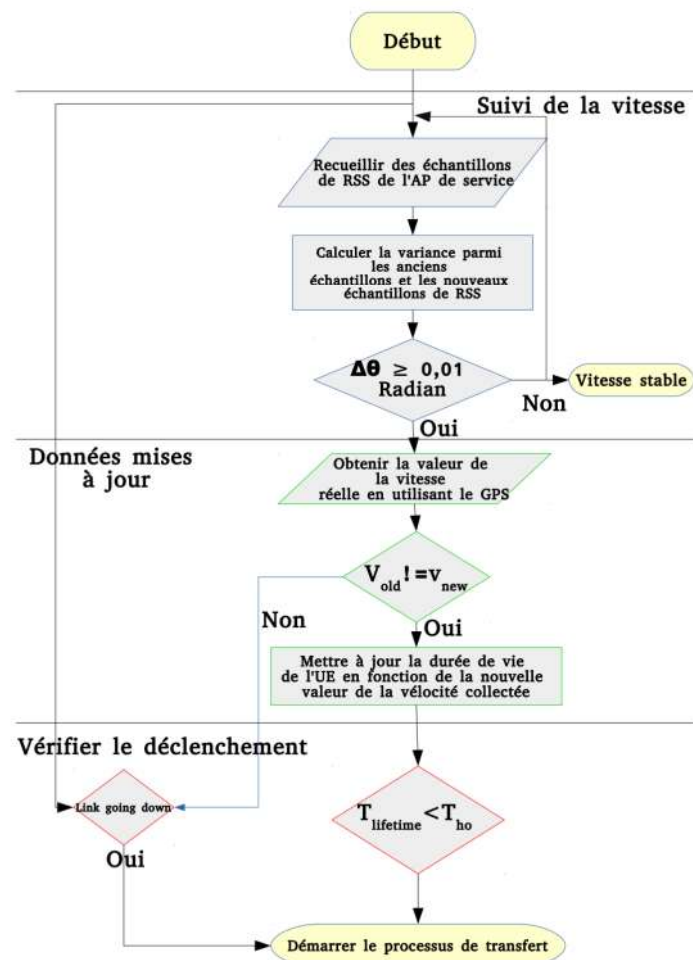


FIGURE 3.8 – L’organigramme pour décision de Handover basée sur la vitesse.

À la suite de la vérification de la condition $(\Delta t)_{lifetime} < (\Delta t)_{HO}$, l’UE envoie la primitive ”link going down” pour déclencher la procédure de Handover, comme le montre la figure 3.9. Le point d’accès se servira des données dans MIIS pour un Handover transparent en envoyant une primitive «MIH get information». Une fois les données recueillies sur les points d’accès voisins, le point d’accès actuel commence à les classer en fonction des préférences de l’UE (dans notre cas, le critère d’évaluation reflète la valeur du flux RSS). L’étape consécutive sera la confirmation de la disponibilité des ressources dans les points d’accès candidats ; cette progression sera coordonnée par le point d’accès actuel en utilisant la primitive ”MIH N2N HO Candidate query” du système MIH pour limiter l’utilisation de l’énergie par l’UE. À ce stade, la préparation des ressources est supervisée par la primitive «MIH N2N HO commit». Maintenant, nous pouvons effectuer un

Handover passant par PMIPv6. Une fois la primitive "link up" activée, au nouveau point d'accès, le PMIPv6 commence à prendre en charge le nouveau point d'accès en envoyant une PBU au LMA. Après la collecte de l'unité PBU, le LMA actualise la durée de vie de l'entrée UE mobile dans la table de cache de liaison et répond par un PBA. À ce stade, commence la transmission des données tamponnées à travers le tunnel entre le LMA et le nouveau MAG. Pour la libération des ressources, la primitive "MIH N2N HO complete" est sollicitée.

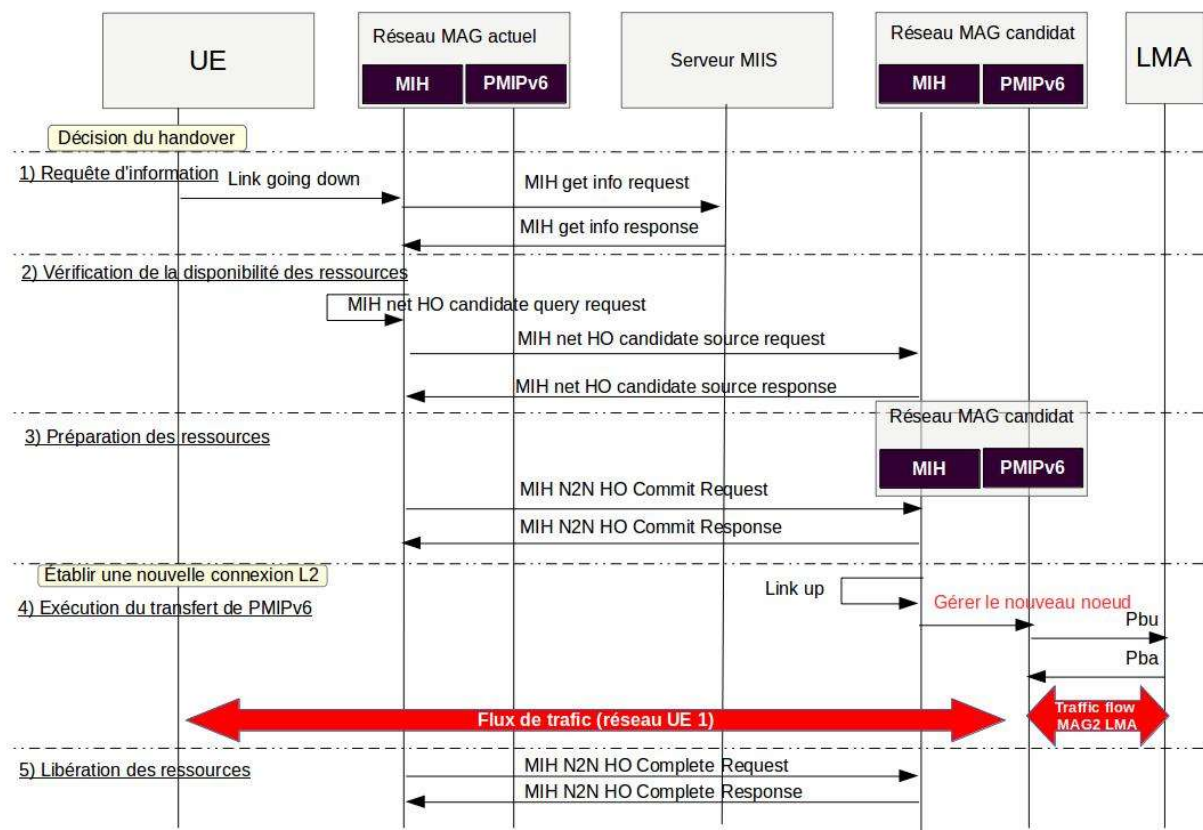


FIGURE 3.9 – Les procédure de fonctionnement du IEEE 802.21 MIH assistée PMIPv6.

3.4 L'environnement et les paramètres de simulation.

3.4.1 La configuration des expériences.

Pour gérer le nombre exponentiel de demandes de trafic de données, les systèmes cellulaires évoluent vers des HetNets, où un nombre important de petites cellules (microcellules, picocellules et femtocellules) avec des niveaux de puissance d'émission et des tailles physiques différentes sont

acheminées au hasard, à l'intérieur de la zone de couverture de la macrocellule [224]. La nature prometteuse de HetNets a été largement créditée. Néanmoins, l'utilisation de HetNets implique diverses difficultés, par exemple, la gestion de la mobilité.

Le modèle théorique créé dans la section précédente est évalué ici. Le schéma proposé a été exécuté dans NS-3. Dans le scénario, nous avons créé 30 unités de UE mobiles, avec seulement 21 unités de UE en mouvement. Nous avons configuré deux technologies différentes, le réseau LTE et le réseau WiFi, en concevant un EnbNode pour une couverture complète et six points d'accès se chevauchant, comme présenté dans la figure 3.10. Concernant le protocole PMIPv6, nous avons utilisé un LMA et trois MAG.

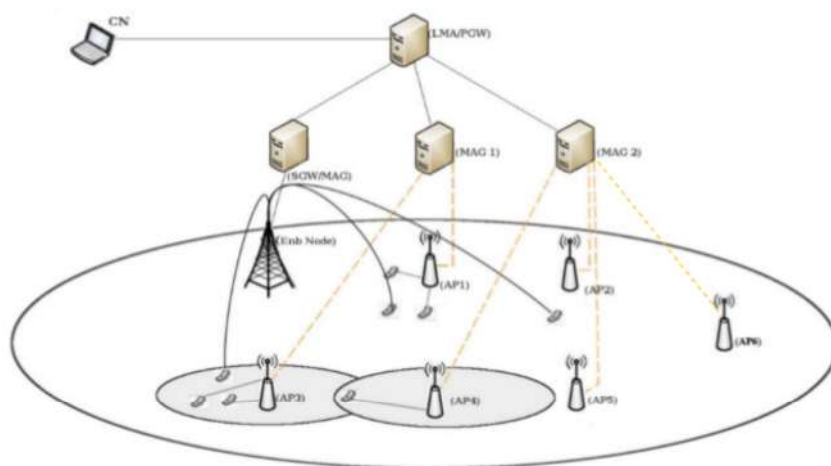


FIGURE 3.10 – Le modèle de système avec différents RATs.

Chaque UE est équipée de deux interfaces lui permettant d'utiliser le réseau adapté à ses besoins. Nous supposons que l'UE se déplace en utilisant le schéma de mobilité aléatoire vers le MAG alternatif. Puisque l'intervalle de vitesse moyenne en milieu urbain et rural est (11-25 m/s), nous utiliserons ces valeurs pour UE comme vitesse irrégulière. Une liaison montante et une liaison descendante du trafic UDP (User Datagram Protocol) sont transmises entre le CN (Correspondance noeud) et l'UEs. La taille de paquet UDP est égale à 100 octets, tandis que le temps entre les paquets successifs a été fixé à 1000 s. Pour les deux technologies de réseau, nous avons utilisé le modèle de perte de propagation de portée, avec une zone de couverture de LTE et WiFi égale à 500 m et 90 m respectivement, et une zone de chevauchement de deux cellules voisines.

Nous avons mis en place une procédure qui permet à l'UE mobile d'augmenter ou de diminuer sa vitesse en mouvement, afin de reproduire le problème en situation urbaine. La simulation a été répétée 30 fois avec les mêmes caractéristiques de mouvement pour chacune des unités UE. Pour étudier l'exactitude de performance, les résultats présentés sont la valeur moyenne des résultats de ces simulations avec un intervalle de confiance de 95%. Les paramètres de reconstitution sont tels que livrés dans le tableau 3.1

TABLE 3.1 – Les valeurs des paramètres de simulation.

Paramètres	Valeurs
Nombre des cellules	1 eNB, 6 APs
Modèle de propagation	"Range propagation loss model"
Couverture LTE	500 km
Couverture WiFi	90 m
Modèle de mobilité	Déplacement aléatoire
Vitesse	[11 m/s, 25 m/s]
Taille du paquet	120 octets
Nombre d'unités UE fixes	30
Nombre d'unités UE mobiles	21
Temps de simulation	700 s

3.4.2 L'analyse de simulation.

L'évaluation de l'exécution des effets ultérieurs de l'approche proposée est comparée avec deux schémas distincts. Le premier est RSS MIH-PMIPv6, où la prise de décision de Handover est effectuée selon le RSS en utilisant MIH-assisté-PMIPv6 pour l'administration de la mobilité. Le second système, RSS-MIH, effectue la prise de décision de Handover en vue du RSS supporté par MIH pour l'administration de Handover. Les principales caractéristiques des systèmes étudiés sont exposées dans le tableau 3.2. Cette étude du cadre obtenu devrait garantir qu'une amélioration des performances de Handover.

TABLE 3.2 – Les principales caractéristiques des régimes étudiés

Principales caractéristiques	RSS-MIH	RSS-MIH-PMIPv6	Le schéma proposé
Prise en charge du transfert dans différentes technologies	✓	✓	✓
Considère la variation de la vitesse	x	x	✓
Mets à jour la durée de vie de l'UE	x	x	✓
Permet à l'UE la possibilité de terminer le transfert correctement	x	x	✓
Gère les données de l'environnement pour la prise de décision	✓	✓	✓
Implique une gestion transparente de la mobilité pour l'UE	x	✓	✓
offre un système de déclenchement proactif et intelligent	x	x	✓

Basé sur la figure. 3.11, on peut remarquer qu'à une vitesse modérée, les taux de HOF ne sont pas extrêmement significatifs. Dans tous les cas, à mesure que la vitesse augmente, le taux HOF augmente également. Cependant, il croît en fonction d'un taux modéré comparant aux deux autres systèmes. Ceci peut être soutenu en utilisant les directives de la norme MIH pour notre approche proposée, qui fournit des outils appropriés pour l'utilisation sécurisée de la nouvelle technique de déclenchement de Handover intercellulaire proposée.

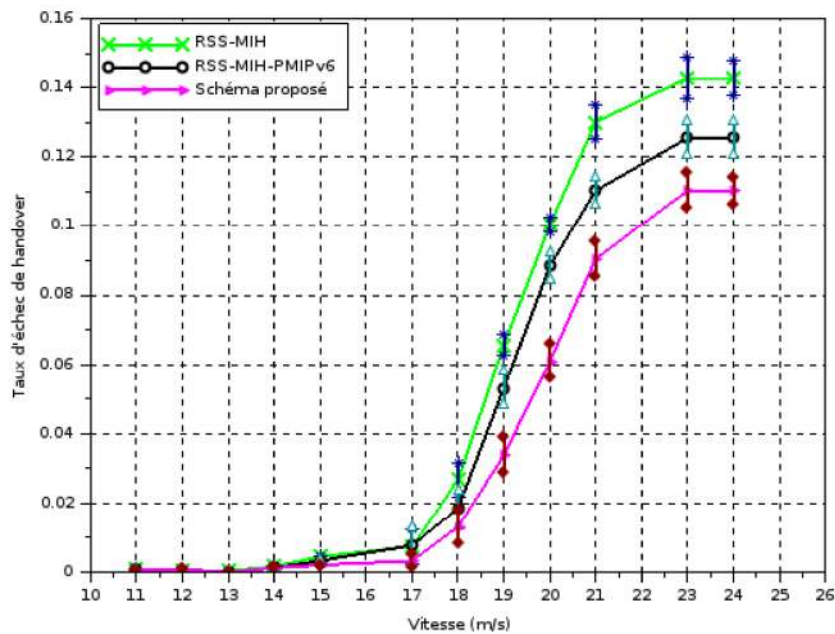


FIGURE 3.11 – Le taux HOF en fonction de la vitesse. L'intervalle de confiance est de 95 %.

En reconnaissant les valeurs AVAR des flux RSS, l'UE vérifie sa vitesse, puis le paramétré $(\Delta t)_{lifetime}$ est recalculé. Cette infrastructure amène l'UE à pronostiquer la procédure de Handover, ce qui implique que l'UE ne sera pas hors de portée pendant que le processus de Handover est en cours d'exécution. Les conséquences différées de l'examen numérique montrent qu'un taux de mouvement trop élevé de l'UE résulte un processus de Handover trop tardif. Certes, pour une vitesse équivalente à 24 m/s, le taux HOF peut atteindre une valeur équivalente à 11%, alors que cette proportion augmente jusqu'à 12,5% et 14,5% respectivement, pour les schémas RSS-MIH-PMIPv6 et RSS-MIH. Cela peut être interprété par un déplacement du UE dans les bords de la cellule; puisque le mouvement de l'UE est imprévisible, nous pouvons résoudre ce problème dans une situation urbaine en utilisant une organisation idéale concernant les emplacements des points d'accès.

TABLE 3.3 – Le comportement des UEs mobiles dans HetNets en fonction de la vitesse.

Vitesse(m/s)	11	12	13	14	15	17	18	19	20	21	23	24
LTE	19%	20%	21%	25%	29%	30%	39%	42%	49%	50%	65%	70%
WiFi	81%	80%	79%	75%	71%	70%	61%	58%	51%	50%	35%	30%

Le tableau 3.3 montre le taux d'utilisation des ressources du cadre pour les réseaux LTE et WiFi. Le taux des UEs actifs est examiné par rapport à la vitesse de l'UE. En fait, une augmentation de la vitesse pousse l'UE mobile à choisir les services LTE. L'UE quitte rapidement la couverture du réseau local sans fil, qui est défini par une couverture radio restreinte, contrairement au réseau LTE. De tels résultats peuvent être jugés comme des résultats éminents et reflètent un raffinement dans la performance des avantages de la couverture radio qui suit la reproduction de la simulation. La raison de cette amélioration est due à la rationalité de notre prise de décision, ce qui rend possible la modification rapide du déclencheur.

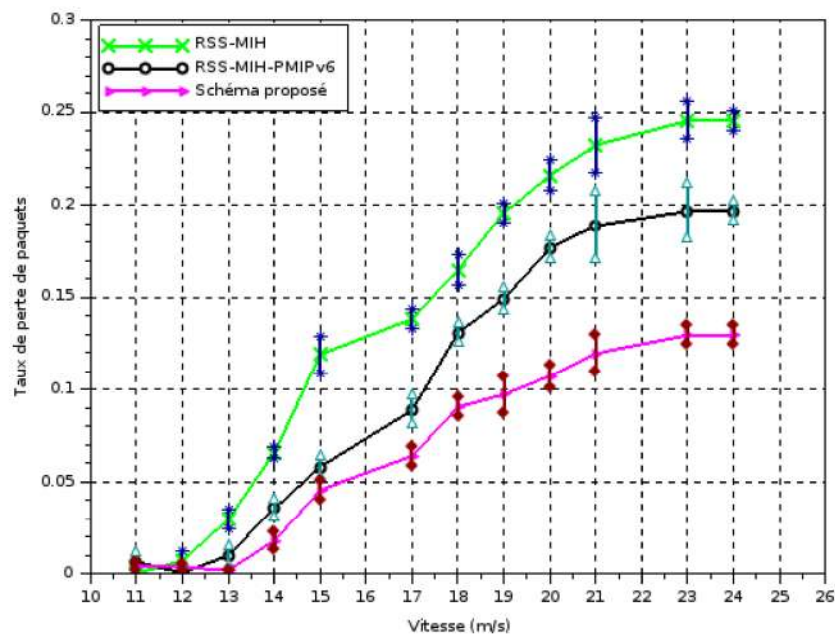


FIGURE 3.12 – Le taux de perte des paquets en fonction de la vitesse. L'intervalle de confiance est de 95 %.

Le HOF a un rôle fondamental dans l'interruption des services puisqu'il affecte le taux de perte de paquets. Si un Handover n'est pas réalisé avec succès, l'association avec un autre réseau nécessite un temps considérable. Le taux de perte de paquets, qui indique le rapport entre la perte de paquets et le nombre total de paquets envoyés, sera évalué et présenté en fonction de la vitesse du UE dans la figure 3.12. Ceci démontre que notre système dépasse les systèmes RSS-MIH-PMIPv6 et RSS-MIH .

On peut supposer que la croissance du taux de perte de paquets commence à partir d'une vitesse correspondant à 15 m/s, et le taux commence à se développer et atteint une estimation de 10% pour une vitesse équivalente à 19 m/s. Cependant, pour l'autre système, le taux moyen de perte de paquets peut atteindre 20%. La raison pour laquelle le taux de perte de paquets du schéma proposé est systématiquement inférieur à celui des autres systèmes est due à l'intervention de la technique de déclenchement anticipé du Handover, qui permet à l'UE de prendre une décision avant la dégradation de la QoS.

À partir de ce point, pour le schéma proposé, le taux de perte de paquets continue de croître de manière similaire jusqu'à atteindre 12,5% et 13% pour des vitesses équivalentes respectivement

à 23 m/s et 24 m/s, où il commence à augmenter de façon passive. Pour les autres régimes, ces taux arrivent jusqu'à 19% et 25% respectivement.

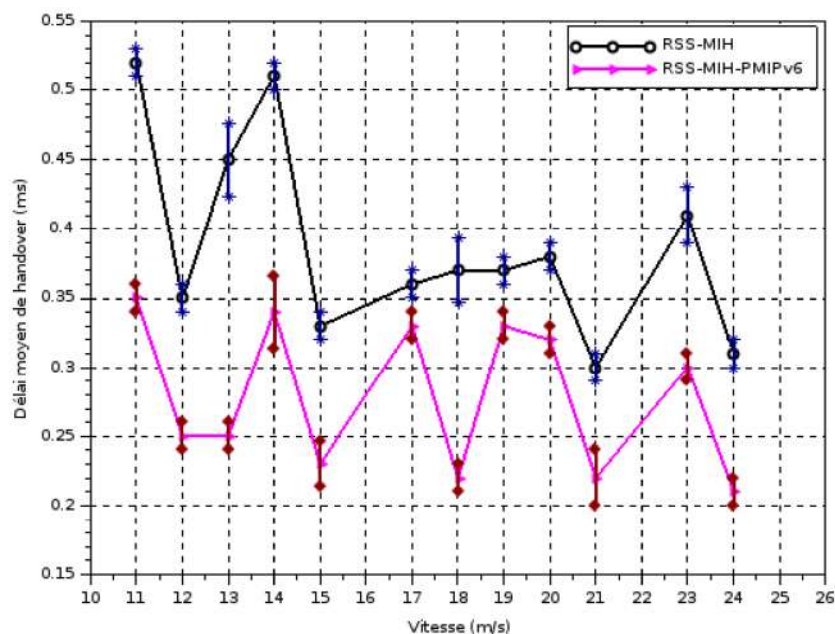


FIGURE 3.13 – Le délai de Handover en fonction de la vitesse. L'intervalle de confiance est de 95%.

Le délai comprend la période complète d'exécution du processus ; cette période commence au moment de l'envoi d'un paquet de la source, continue jusqu'à ce qu'il soit admis par la destination. Dans notre cas, le délai de Handover est calculé à partir du moment où l'UE envoie un message de liaison descendante pour commencer la procédure de Handover, jusqu'à ce que la connexion avec la nouvelle BS de service soit établie. Nous nous concentrerons sur les changements apportés par PMIPv6 à MIH pour le délai de Handover.

La figure 3.13 couvre les valeurs du délai de Handover de l'UE se déplaçant à différentes vitesses. Il démontre que notre politique proposée dans le schéma RSS-MIH-PMIPv6 surpasse le schéma RSS-MIH, et montre que le délai de Handover diminue proportionnellement à la croissance de la vitesse de l'UE. À titre d'interprétation, nous notons que plus l'UE est rapide, plus le temps prévu pour dépasser la distance est court afin de reconnaître l'apparition d'une nouvelle BS concurrente. Cela aide à réduire l'intervalle de temps-balayage. En outre, selon la table 3.3, à une vitesse supérieure à 21 m/s, la population préférée est le réseau LTE, dans lequel

le retard a atteint de 0,15 ms puisque la condition de vie a poussé le UE à conserver le LTE comme sa seule option. Dans ce sens, l'accès à LTE est réalisé spécifiquement sans passer par l'étape de disponibilité des ressources.

3.5 Les avantages et limitations de l'architecture proposée

Dans ce chapitre, nous avons inauguré un cadre général de prise de décision qui peut être renforcé par de futurs modèles de systèmes. Une technique de prise de décision astucieuse et une procédure de flux pour le réseau sans fil hétérogène ont été présentées dans ce chapitre. Un examen approfondi de notre approche et d'autres plans conventionnels sont présentés à la section 3.3. Notre approche est générale et peut être renforcée par de futures structures de système (par exemple LTE Pro, 5G, IoT (Internet of Things), et ainsi de suite). Les objectifs de cette prise de décision de transfert sont : diminuer les HOFs, réduire la perte de paquets, répondre aux exigences de QoS pour toutes les unités UE mobile et préserver un flux de signalisation limitée et utile. Chacun de ces objectifs ont des difficultés à aborder dans cette nouvelle approche de réseau.

Un flux de travail du PMIPv6 assisté par MIH suggéré pour le système de réseau hétérogène est présenté à la figure 3.9. Le schéma de déclenchement proposé comprend trois niveaux. Le niveau initial incorpore MIH pour donner à l'utilisateur avec différentes interfaces la possibilité de travailler avec les interfaces 3GPP LTE et 5G WiFi. Le MIH permet aux UE une mobilité renforcée dans un réseau hétérogène, et rend les services fournis par le MIHF plus appropriés afin de garantir une communication inter-couche décente pour un Handover cohérent, comme requis par UE mobile. Le deuxième niveau implique la mise à jour des valeurs cruciales des paramètres, de la vitesse et de la durée de vie pour la prise de décision dans les situations les plus pertinentes (pas trop tard et pas trop tôt). Ensuite, l'arrangement de déclenchement est actualisé. Pour une reproduction correcte, notre approche introduit deux conditions de déclenchement : la dégradation du signal ou la durée de vie qui converge vers le temps d'exécution du Handover. Si l'une des conditions est légitime, un déclenchement officiel du Handover est déclenché. Le MIIS, qui permet à l'UE de collecter des données sur le réseau hétérogène existant dans une zone géographique, a été exécuté dans le réseau central. L'objectif de l'arrangement est d'avoir une perspective globale du système en fournissant des données fondamentales complètes sur le réseau d'accès pour prendre des décisions fortes pour la gestion de la mobilité et pour effectuer

différentes activités.

3.6 Conclusion.

Nous avons construit une situation de correspondance dans un réseau hétérogène à deux niveaux avec une motivation primaire : anticiper la prise de décision de transfert avant que la distance du UE par rapport à l'AP actuelle provoque la dégradation de la QoS. L'utilisation du cadre MIH donne à l'UE la possibilité de rassembler des données pertinentes qui joueront un rôle essentiel dans le déclenchement du processus de transfert. En ce qui concerne cette information, nous nous intéressons au RSS, qui est enveloppé dans les balises envoyées occasionnellement par le point d'accès. Pour appliquer le concept de surveillance de la vitesse, nous utilisons le RSS AVAR, en gardant à l'esprit le but ultime d'identifier le changement de vitesse. Ainsi, nous recalculons $(\Delta t)_{lifetime}$ pour la vitesse actuelle. Une fois le choix effectué, MIH passe la main à PMIPv6, qui est alors responsable de l'administration de la fonctionnalité IP mobile. Les résultats de la simulation ont démontré que le HOF et la perte de paquets peuvent être diminuées.

LA SÉLECTION RÉSEAU CONTEXTUELLE INTELLIGENTE : UTILISATION DU MATCHING-GAME

Sommaire

4.1	Introduction	86
4.2	Le contexte de travail	88
4.3	Le modèle de système et la formulation de problèmes	91
4.4	Le modèle proposé	94
4.5	La simulation et les résultats.	100
4.6	Conclusion	105

Dans nos jours, les infrastructures cellulaires comportent plusieurs types de stations de base, telles que les FBSs (Femto BSs) et les MBSs (Macro BSs). Dans ce chapitre, nous gérons et optimisons l'utilisation de ces infrastructures afin que nous puissions bénéficier des avantages offerts par les FBSs et les MBSs séparément, pour les UL (Uplink) et les DL (downlink) lors de l'exécution du processus de transfert. Par conséquent, nous introduisons un nouveau concept de transfert contextuel qui consiste à décider si l'association sera DUDe (Decoupled UL/DL) ou couplée. En d'autres termes, cet algorithme donnera la possibilité de choisir le type d'association bénéfique pour une QoS. Par conséquent, nous avons défini une étape d'assignation où la BS sera examinée et filtrée pour garder que les BS agents utiles en termes de QoS pour UL et DL. Par conséquent, le matching-game utilisera cette étape pour libérer un transfert contextuel utile. Les résultats numériques vérifient la supériorité de l'algorithme contextuel proposé par rapport au schéma Handover DL traditionnel et le schéma Handover DUDe traditionnel, en améliorant l'équilibrage de charge, en augmentant les débits et en réduisant les retards.

Le reste de ce chapitre est organisé comme suit : un prologue à l'application de la théorie des jeux de correspondance pour le choix du système sera présenté dans la section 4.2. Dans la section 4.3, nous décrivons le modèle du système et nous considérons le problème comme une

maximisation de la fonction d'utilité. Notre modèle proposé sera présenté dans la section 4.4, où nous caractérisons le processus de Handover découplé du UE comme technique d'attribution basé sur la qualité de service en premier temps et le matching-game en deuxième étape. La section 4.5 décrit le schéma d'évaluation de l'exécution où les détails de la reproduction et les résultats sont examinés pour faire défiler les schémas étudiés. Enfin, nous terminons avec une conclusion dans la section 4.6.

4.1 Introduction

Ces dernières années, le trafic de données mobiles requis a radicalement changé, où la BS favorable pour le trafic descendant (streaming vidéo, téléchargement) n'est pas la même que pour le trafic montant (chat vidéo, jeux) [225] [226]. Plus spécifiquement, les applications de consommation intensives de liaison montante ont émergé du domaine de la communication mobile. Pour faire face à ce changement paradigme, il était nécessaire de déployer l'hétérogénéité offerte par le réseau cellulaire sans fil. Cette hétérogénéité réside dans le déploiement de réseaux cellulaires multi-niveaux, tels que femtocells [227], qui sont généralement représentés par la puissance d'émission, la zone de couverture, la facilité de déploiement et le coût. Cependant, même avec une disposition raisonnable, en installant ces femtocellules dans des territoires à haute activité, la majeure partie de UE obtiendra le plus fort signal de liaison descendante depuis la station macrocellulaire. Dans ce contexte d'environnement apparaît le besoin d'un moyen rentable à gérer séparément les exigences de liaison montante et de liaison descendante, lors de l'association cellulaire durant l'exécution du processus de transfert intercellulaire.

À cet égard, l'approche de transfert proposée prendra en compte les femtocells en considération pour exploiter le gain révélé par les femtocells au réseau sans fil de prochaine génération [228]. Cependant, il est tout à fait possible que l'UE mobile capture le débit de liaison descendante plus élevé à partir de la macro BS tandis que pour le même UE mobile, il obtiendra un débit de liaison montante bénéfique s'il est associé à la femto BS voisine. Pour cette raison, le schéma de transfert proposé englobera un nouveau concept pour choisir la BS, parmi les macro BS et les femto BS.

Dans un tel contexte, nous considérons une exécution de liaison montante pendant l'étape d'association pour la procédure de transfert afin de répondre aux exigences de service. Par conséquent, contrairement au transfert conventionnel, nous traitons le cas où la BS choisit pour le

transfert de liaison descendante peut ne pas être utile pour le transfert de liaison montante [229]. En utilisant l'approche DUDe [230] pour une association d'UE mobile, nous offrons la possibilité à un UE mobile de traiter deux BS en liaison descendante et en liaison montante indépendamment. Autrement, en adoptant cette approche pour le processus de transfert, les effets positifs sont doubles grâce à l'amélioration du contrôle des émissions UL. Comme conséquence évidente, nous améliorerons l'état d'interférence UL et favoriserons la réduction de la puissance d'émission pour un UE. Dans ce contexte, pour résoudre le problème de l'applicabilité de l'approche d'optimisation centralisée dans un contexte hétérogène, nous ajustons le processus de transfert à un matching-game avec des externalités adaptées à un UE mobile. Ainsi, nous proposons une solution distribuée pour maximiser le gain de tous les composants d'un réseau hétérogène tout en préservant un équilibre de charge garantissant une qualité de service requise (QoS). L'intégration du matching-game fournira un outil mathématique robuste pour modéliser et analyser les interactions distribuées entre des entités ayant des intérêts opposés, et assurer l'équité puisque les BS ne peuvent individuellement tenter de maximiser leur réalisation en raison d'une rationalité restreinte.

De cette manière, notre engagement sera arrangé vers l'association cellulaire d'un UE mobile. L'association offrira l'accomplissement à l'UE mobile en termes de QoS vers la liaison descendante, autant que la liaison montante tout en favorisant un ajustement de charge spécifique en utilisant un processus d'auto-organisation pour une convergence plus rapide. Ainsi, notre contribution actuelle prolonge le matching-game basé sur les schémas d'association DUDe et couvre certains aspects nouveaux à savoir :

- Nous avons défini les problèmes d'association comme une fonction d'utilité (voir la section 4.3.1) qui garantit à chaque UE de satisfaire ses exigences strictes de débit de données pour la liaison montante et la liaison descendante.
- Nous définissons la QoS comme une contrainte contextuelle au problème d'optimisation ci-dessus. Pour ce faire, nous passons par l'étape d'affectation (voir Section 4.4.2) pour filtrer les BS candidates pour le processus de transfert sélectif.
- Afin d'améliorer le débit du réseau et d'envisager une allocation raisonnable des ressources pour l'UE, le problème de sélection de cellules maximisera l'utilité de la fonction système, qui est une somme logarithmique du tau à long terme de l'UE servie par BS pour supporter une distance stratégique des circonstances de surcharge et d'offrir une équité proportionnelle. Par conséquent, cette fonction d'utilité encouragera les associations UE mobiles avec

les cellules les moins chargées (correspondantes, telles que pico et femtocells), même si elles offrent un SINR instantané inférieur au MBS .

- À ce stade, nous présenterons le jeu d'association avec des externalités. Basé sur le concept de dismissing-matching stable avec une étape d'attribution, nous assurons une minimisation du temps de convergence de l'algorithme. L'étape d'assignation où la BS sera examinée et filtrée pour ne garder que l'agent BS utile en termes de QoS pour UL et DL. Dans le même ordre d'idée, nous proposons un calcul d'association cellulaire approprié qui réalise un optimum local avec une convergence plus rapide puisque l'étape d'affectation va réduire de plus le temps de calcul.
- Pour étudier les performances du schéma proposé, nous élaborons un scénario de simulation dans simulateur réseau-3 [231] pour un réseau hétérogène à deux niveaux. Les résultats numériques vérifient leurs potentiels sur l'augmentation de l'utilité et l'équité en comparaison avec l'association cellulaire traditionnel pour la technique couplé et découplé.

4.2 Le contexte de travail

Récemment, le concept de l'association découplée a suscité beaucoup d'intérêt dans divers travaux [226]-[232]. Il est important d'approuver hypothétiquement et d'évaluer l'amélioration générale de l'exécution UL apportée par le mode DUDe pour une démonstration générale de Het-Net. Les résultats et les découvertes pourront fournir des règles et des propositions rentables, pour la croissance de l'ingénierie des réseaux mobiles de nouvelle génération en engageant le découplage de l'association UL/DL. Par conséquent, les auteurs de [226] génèrent un schéma de forme fermée pour les probabilités d'affiliation, de couverture et d'indisponibilité parallèlement au débit normal pour la double connectivité DUDe conjointe en admettant une prééminence ascendante, un bruit de récepteur et des K-tiers HetNets. Les résultats démontrent que le schéma d'affiliation de cellule en vue de la double connectivité DUDe conjointe peut essentiellement améliorer l'équilibrage de charge, la gestion de la mobilité et l'exécution UL pour les prochaines 5G HetNets. Néanmoins, pour obtenir des mesures d'exécution exactes, le bruit doit être reconnu lors de l'examen de la double connectivité DUDe conjointe. Un autre travail introduit dans [233] s'appropriant un cadre de géométrie stochastique traitable pour investiguer, ils présentent de manière probabiliste les performances de couverture des schémas d'accès proposés et perçoivent l'impact d'un utilisateur et des densités SBSs, le seuil SINR et plusieurs paramètres

d'association fondée sur la probabilité de couverture. Les résultats analytiques démontrent que l'association découplée UL-DL avec l'allocation de fréquence inverse surpasse les performances de la couverture de différentes techniques, par exemple, la relation d'une association couplée pour UL/DL avec et sans tenir en compte la performance de la couverture, et l'ajustement traditionnel des charges. Le travail dans [234], traite l'énorme inégalité entre les transmissions de liaison montante et de liaison descendante à la lumière de la théorie de la géométrie stochastique. Ils exploitent le contrôle de puissance fractionnaire indiqué par la norme 3GPP (3rd Generation Partnership Project) pour démontrer le contrôle du UE basé-localisation et déterminer la probabilité d'affiliation de la cellule pour les modes d'affiliation DUD et couplés UL/DL. Ces deux modes d'associations ont été approuvés individuellement en concentrant l'exécution du framework sur la charge de transmission UL, le débit client normal, l'efficacité spectrale du système et l'efficacité énergétique pour deux affectations clients de base : assignations d'utilisateurs uniformes et groupées. À la lumière de la probabilité d'association d'utilisateur calculée pour UL et DL, une technique d'association découplée productive est proposée à [232] où la BS avec la plus étonnante probabilité d'association d'utilisateur est choisie comme BS de service.

Alors qu'un ensemble de travail gère l'association d'utilisateur UL et DL comme un problème d'optimisation. Par exemple, [235] affiche la capacité d'utilité comme niveau de base de la réalisation de QoS, pour accomplir une exécution centrée raisonnable des services. Basé sur une communication contextuelle centrée sur l'utilisateur dans les systèmes 5G, le problème de maximisation de l'utilité améliorera simultanément la capacité de bande passante de liaison montante et descendante et le contrôle de puissance. Dans [236], ils définissent le problème de liaison descendante et de liaison montante sous une forme qui peut être efficacement modifiée en une liaison descendante adaptée, une liaison montante adaptée, ou en liaison descendante et en liaison montante adaptée. Ils envisagent d'augmenter la somme du débit de données à long terme pondéré de liaison montante et de liaison descendante tout en maintenant la QoS. Par conséquent, ils ont planifié et réglé les problèmes d'affiliation conjointe de liaison descendante et de liaison montante dans un système multi-niveaux par l'affiliation de cellule et la désignation de bloc de ressources. Cependant, ils soumettent un rapport dans les signes de référence des BS annonçant l'impédance de la liaison montante, ce qui peut déclencher une surcharge de signalisation dans le réseau dense HetNet. En outre, [237] décrit une technique d'association comme un problème de maximisation d'utilité-somme qui augmente conjointement le taux de somme DL et limite la puissance de somme UL.

Un autre groupe de travail [238], [239], [240] utilise la théorie des jeux pour obtenir une solution optimale et concevoir un modèle pour une attitude rivale entre UE, BS et contrôleur d'accès des HetNet ; comme la technique du matching stable a été utilisée par différents travaux afin d'évaluer séparément le bénéfice de l'association utilisateur UL/DL. Surtout le travail dans [238] qui présente une solution pour l'association des utilisateurs DL pour les réseaux de petites cellules basés sur les fonctions utilitaires, en tenant compte du taux et de l'équité pour les utilisateurs de bord de cellule. Afin de fournir de meilleurs services de BS à un UE connaissant un SINR relativement faible, [238] propose une fonction de promotion qui représente la quantité de promotion donnée à chaque classe d'utilisateurs. La technique de négociation de Nash a été utilisée dans [237] pour obtenir une association d'utilisateurs bénéfiques maximisant la somme des inefficacités énergétiques UL et DL à l'échelle logarithmique parmi tous les UEs. Le modèle proposé vise à améliorer la capacité du système UL et DL et à réduire la puissance de transmission UL en introduisant la méthode hongroise pour adapter le modèle à la technique de négociation de Nash. Dans [239], les auteurs coordonnent le matching game et le jeu de coalition pour gérer les problèmes d'association des utilisateurs UL en fonction de l'optimisation de la fonction d'utilité en termes de taux de réussite des paquets et de délai. Le [240] traite la question du partage coopératif du spectre entre plusieurs utilisateurs primaires et secondaires en tant que marché à deux faces. Il étudie l'équilibre du marché sous une forme à la fois complète et incomplète. Le résultat atteste que l'écart de performance entre l'équilibre Pareto-optimal l'équilibre robuste pour les utilisateurs primaires est considérablement réduit, pour le cas critique où chaque utilisateur principal a garanti l'utilité en vertu de toutes les actions de représentation trompeuse possibles des utilisateurs secondaires.

Le travail de ce chapitre étend les articles antérieurs, notamment le travail récent mené dans [241], [242]. Les principales contributions sont résumées dans le tableau 4.1

TABLE 4.1 – L'amélioration apportée par notre méthode

Problèmes de travail précédent	Principal engagement envers notre stratégie
Le matching-game est appliqué pour la sélection du réseau et ne prend pas en compte un environnement mobile.	Nous adoptons le matching-game comme processus de Handover pour offrir un aspect d'intelligence et d'auto-organisation.
Les externalités considérées étaient l'impact d'une nouvelle association dans les préférences UE existantes	Puisque nous traitons de l'UE mobile, l'ancienne externalité traitée dans la plupart des recherches n'est plus valide, ainsi nous prenons en considération l'influence de l'association à venir dans les préférences du joueur.
La plupart des recherches effectuées avec le matching-game réalisent des BS agents basés sur tous les BSs disponibles dans la région en tant que joueur	Dans notre cas, nous utilisons l'étape d'assignation pour maintenir uniquement la BS bénéfique basée sur l'exigence du UE concernant sa QoS.
La plupart des recherches sur la sélection de réseaux ont été validées par une étude analytique.	Dans notre approche pour évaluer le modèle, nous utilisons un scénario de simulation sur simulateur réseau-3.

4.3 Le modèle de système et la formulation de problèmes

Dans cette section, nous introduisons d'abord le modèle de système d'un réseau HetNet à deux niveaux. Ensuite, nous discutons la formulation du problème de transfert afin de prendre en charge la maximisation de l'utilité tout en autorisant l'équilibrage de la charge.

4.3.1 Le modèle de système

Nous considérons un système à deux niveaux où un MBS est entouré de FBS en libre accès. Dans tous les cas, ce travail est important pour un réseau général à n degrés où les BS possèdent une couverture et une capacité distinctes. Soit $\mathfrak{M}$ l'ensemble des MBS et FBS. Les UE sont assignés arbitrairement dans le réseau à deux niveaux et sont notés $\mathfrak{N} = 1, 2, 3 \dots N$. Pour $m \in M$, $G_m \in \mathfrak{N}$ est le sous-ensemble des UE servis par la BS m .

Pour modéliser l'association UE, nous décrivons une matrice d'association x comme :

$$x^{(\cdot)} = \begin{cases} 1, & \text{if } UE_n \text{ si associ avec } BS_m \text{ en UL ou DL} \\ 0, & \text{sinon} \end{cases} \quad (4.1)$$

où $(\cdot) = u$ pour UL et $(\cdot) = d$ pour DL, $\gamma_{mn}^{(\cdot)}$ est le SINR de UE_n associé à BS_m dans UL ou DL

est :

$$\gamma_{mn}^{(d)} = \frac{P_m^d g_{mn}}{\sum_{i=1, i \neq m}^M P_i g_{in} + \sigma^2} \quad (4.2)$$

$$\gamma_{mn}^{(u)} = \frac{P_{mn}^u g_{mn}}{\sum_{j=1, j \neq n}^N \sum_{i=1, i \neq m}^M (x_{ij} P_{ij}^u / K_i) g_{mj} + \sigma^2} \quad (4.3)$$

où P_m^d est la puissance de transmission de BS_m , σ^2 est le niveau de puissance du bruit, et g_{mn} est le gain de puissance du canal entre UE_n et BS_m , path-loss et shadowing sont considérés. Posons K_i la charge effective de BS_i , caractérisée comme le nombre d'UE associé $K_i = \sum_{n=1}^N x_{in}$, à chaque fois association avec BS_m l'UE obtient une fraction $1 / \sum_{n=1}^N x_{mn}$ de tout le spectre radio ; En conséquence, le débit de données de UE_n associé à BS_m peut être atteint par la formule de capacité de Shannon :

$$r_{mn}^{(\cdot)} = \left(\sum_{n=1}^N x_{mn}^{(\cdot)} \right)^{-1} W \log_2(1 + \gamma_{mn}^{(\cdot)}) \quad (4.4)$$

où W est la bande de fréquence de fonctionnement. Une liste des principales notations mathématiques utilisées dans ce chapitre est donnée dans le tableau. 4.2

TABLE 4.2 – Les notations mathématiques

Notation	Description
$\mathfrak{M}$	L'ensemble des MBS et FBS.
$\mathfrak{N}$	L'ensemble des UE.
G_m	Le sous-ensemble des UE servis par le BS_m .
$x^{(\cdot)}$	La matrice d'association pour UE.
$\gamma_{mn}^{(\cdot)}$	Le SINR de UE_n associé à BS_m en UL ou DL.
K_i	La charge effective de BS_i .
$r_{mn}^{(\cdot)}$	Le débit de données UE_n associé à BS_m .
μ	Le résultat du matching-game UE-BS.
$\succ_n$	Les relations de préférence de chaque UE_n .
$\succ_m$	Les relations de préférence de chaque BS_m .
b_{in}	L'avantage pour le UE_n d'être servi par BS_i .
α_i	Le facteur d'effet d'échelle UE_n
$\phi_{th,n}$	Le seuil de capacité déterminé par les exigences QoS de UE_n
h_{ij}	La matrice d'affectation quand UE_n est servie par BS_i pour UL et BS_j pour DL

4.3.2 la formulation de problèmes

Pour les UE associées aux BS, chaque BS va reconnaître la plus grande organisation des UEs, pour laquelle elle peut atteindre les prérequis de QoS particuliers. Afin d'afficher le problème d'association UE-BS, nous déterminons une capacité utilitaire ajustée pour UE_n $n \in N$ servi par BS_m $m \in M$.

Nous gérons un problème d'optimisation en tenant compte du contexte qui inclut la recherche des pointeurs $x_{ij}^{(\cdot)}$ relatifs à l'association. Les pointeurs de la variable $x_{ij}^{(\cdot)}$ maintiennent une association exceptionnelle, qui est combinatoire. Dans le même ordre d'idées, nous nous concentrons uniquement sur la vérification de la relation entre les UE et les taux $r_{ij}^{(\cdot)}$ afin d'améliorer le débit du réseau et d'admettre l'équité. La fonction logarithmique, en particulier, est une alternative très populaire pour la fonction d'utilité. Ce logarithme est concave et a donc des déclarations décroissantes inévitables. Cette propriété favorise l'équilibrage de la charge. Ceci est en accord avec la théorie de l'association dans le système concret, où l'association avec une BS plus surchargée est considérée comme un faible avantage. En conséquence, dans le reste de ce travail, nous employons une fonction d'utilité logarithmique. Notre objectif est d'augmenter le taux total du réseau avec les exigences SINR, nous définissons le problème d'association UE comme suit :

$$\begin{aligned}
 & \max_x \sum_{m \in M} \sum_{n \in N} \log(x_{mn}^{(\cdot)} r_{mn}^{(\cdot)}) \\
 & t.q \sum_{m \in M} x_{mn}^{(\cdot)} = 1, \forall n \in N \\
 & x_{mn}^{(\cdot)} \in \{0, 1\}, \forall n \in N \text{ et } \forall m \in M
 \end{aligned} \tag{4.5}$$

De plus, le problème d'optimisation d'association définie par l'équation 4.5 sera redéfini comme dans l'équation 4.6, puisque $\sum_{m \in M} x_{mn}^{(\cdot)} = 1, \forall n \in N$ et $x_{mn}^{(\cdot)} \in \{0, 1\}, \forall n \in N \text{ et } \forall m \in M$.

$$\begin{aligned}
 & \max_x \sum_{m \in M} \sum_{n \in N} x_{mn}^{(\cdot)} \log(r_{mn}^{(\cdot)}) \\
 & t.q \sum_{m \in M} x_{mn}^{(\cdot)} = 1, \forall n \in N \\
 & x_{mn}^{(\cdot)} \in \{0, 1\}, \forall n \in N \text{ et } \forall m \in M
 \end{aligned} \tag{4.6}$$

Il est effectivement perçu que le problème d'amélioration qui précède est un problème MINLP (mixed-integer non-linear programming problem), qui est souvent NP-difficile et engendre une complexité exponentiellement croissante avec la quantité de BS et UE inclus. Cette imprévisi-

bilité jointe à la nécessité d'auto-coordination nécessite une disposition disséminée où chaque client choisit exclusivement les meilleures BS à rapporter, à la lumière de son estimation la plus proche. Ainsi, nous allons mettre en place un processus de sélection BS répartie pour le support de débit équitable comparable et raisonnable.

De cette manière, nous effectuons la théorie du matching, qui permet un processus distribué pour le problème combinatoire qui lie les joueurs dans deux ensembles en fonction de leurs capacités individuelles. De cette manière, le problème d'affiliation UE appartient positivement au système d'appariement. En particulier, ayant caractérisé ce problème d'amélioration dans l'équation 4.6, nous avons l'intention de résoudre le problème d'affectation de chaque UE $n \in N$ au BS de service $m \in M$ selon un matching $\mu : M \rightarrow N$ où $U_{mn}(r_{mn}^{(\cdot)}, \mu) = x_{mn}^{(\cdot)} \log(r_{mn}^{(\cdot)})$ est la fonction d'utilité du UE_n servie par BS_m . Fondamentalement, cela fournit le problème d'amélioration suivant :

$$\begin{aligned}
 & \underset{\mu: (m,n) \in \mu}{\operatorname{argmax}} \sum_{m \in M} \sum_{n \in N} U_{mn}(r_{mn}^{(\cdot)}, \mu) \\
 & t.q \sum_{m \in M} x_{mn}^{(\cdot)} = 1, \forall n \in N \\
 & x_{mn}^{(\cdot)} \in \{0, 1\}, \forall n \in N \text{ et } \forall m \in M
 \end{aligned} \tag{4.7}$$

4.4 Le modèle proposé

La stratégie d'association couplée à une BS similaire pour UL et DL n'assure plus une amélioration de débit à l'UE dans un réseau à deux niveaux, où les avantages de l'UE sont principalement influencés par les puissances d'émission, la distance et le déséquilibre du trafic, à la fois pour le DL et le UL. Par conséquent, nous considérons la question de la maximisation du débit de transmission général UL et DL pour l'UE dans un réseau HetNet à deux niveaux avec provisionnement pour l'affiliation découplée. Plus précisément, nous modélisons le problème de transfert contextuel en tant que technique d'affectation et problème d'association du UE en tant que matching-game.

À notre connaissance, peu d'ouvrage qui ont été publiés ont abordé le matching-game pour un Handover découplé UL/DL. Tout au long de ce chapitre, une solution fournissant une technique d'auto-organisation basée sur un contexte de QoS dans un modèle urbain a été proposée pour l'environnement LTE et Wi-Fi. La différence entre notre approche proposée et l'existant : (i) nous avons adopté une nouvelle stratégie, où nous exprimons les BSs détectées par l'UE dans

des agents BS, qui offre un service bénéfique en termes de QoS pour UL et DL ; (ii) Grâce à la fonction d'utilité définie, le transfert est réalisé tout en assurant une équité entre BSs ; (iii) Étant donné que l'approche sera proposée à un UE mobile, il a tenu compte du temps de convergence qui doit être minimisé ; (vi) Un nouveau concept d'externalité a été abordé. Cette externalité consiste en la nature dynamique des préférences du UE, qui est fortement influencée par un autre UE demandant une association en même temps. Par conséquent, nous décidons de traiter cette externalité en utilisant "dismissing-matching".

Dans cette section, nous détaillerons d'abord l'adaptation de la méthode d'assignation pour former les nouveaux joueurs de BS en tant qu'ensemble d'agents de BSs. À ce stade, nous caractérisons la stratégie de construction des listes de préférence pour les différents joueurs dans un matching-game plusieurs-à-un [243]. Enfin, nous décrivons les détails de mise en œuvre de l'algorithme de transfert contextuel proposé.

4.4.1 Le matching-game

Le framework du matching-game [243] est l'un des outils appropriés pour résoudre une telle approche d'association BS-UE auto-organisationnelle définie par l'équation 4.7.

Definition 4.4.1. Le matching-game UE-BS est caractérisé par deux arrangements de joueurs : UE N et BS M , et les relations de préférences de chaque UE ($\succ_n$) et BS ($\succ_m$) permettant UE $n \in N$ et BS $m \in M$ pour construire les préférences entre eux, afin de classer les BS dans M et les UE dans N , respectivement.

La fonction μ sera le résultat du matching-game pour l'association UE-BS, qui assigne chaque UE $n \in N$ à un $m = \mu(n)$, $m \in M$. La relation de préférence $\succ$ attribuer à une relation binaire entre UE dans N et BS dans M . Par conséquent, pour tout UE k , une relation de préférence $\succ_n$ est déterminée sur un ensemble de BS M , de la même façon pour toute BS m , la relation de préférence $\succ_m$ est déterminé sur un ensemble d'UEs N . Soit $\mu, \mu' \in N \times M$ deux matching, avec $(m, n) \in \mu$ et $(i, n), (m, j) \in \mu'$. Les relations de préférence $\succ_n$ pour tout UE n et $\succ_m$ pour toute BS m sont respectivement décrites sur les ensembles de BS M et UE N , pour deux BSs $m, i \in M^2, m \neq i$, et deux UEs $n, j \in N^2, n \neq j$, ils sont respectivement :

$$(m, \mu) \succ_n (i, \mu') \iff U_{mn}(r_{mn}^{(\cdot)}, \mu) > U_{in}(r_{in}^{(\cdot)}, \mu') \quad (4.8)$$

$$(n, \mu) \succ_m (j, \mu') \iff U_{mn}(r_{mn}^{(\cdot)}, \mu) > U_{mj}(r_{mj}^{(\cdot)}, \mu')$$

La correspondance actuelle telle que définie dans l'équation 4.8 prouve que les préférences de chaque UE (BS) seront affectées par l'ensemble des BS M (UEs N).

Remarque 1 : Le matching-game proposé a des externalités, où les valeurs de préférence de la BS dépendent non seulement du nombre réel d'UE servi par la BS avec laquelle elles sont appariées, mais aussi d'autres UEs qui demandent l'association en même temps et avec la même BS.

En d'autres termes, pour une association UE-BS $(m, n) \in \mu$, l'interférence générée par les prochaines associations $(i, j) \in \mu, (m, n) \neq (i, j)$ affecte considérablement ses SINR reçus en UL et DL dans l'équation 4.2, l'équation 4.3 et les taux à long terme dans l'équation 4.4. De plus, les externalités sont utilisées pour décrire les effets dynamiques de ces conséquences externes sur l'exécution de chaque association UE-BS. Pour gérer les externalités, nous intégrons une étape itérative appropriée dans l'algorithme 4.1 basé sur dismissing-matching.

4.4.2 La construction des joueurs

Chaque UE aura deux listes de préférences différentes pour UL et DL. Par conséquent, en plus de la BS existante, nous créons un nouvel ensemble de BS. La nouvelle BS virtuelle sera une combinaison de BS existants où l'un servira le trafic UL et l'autre pour DL. Rassembler les BSs en paires tout en recherchant une correspondance idéale avec un gain maximum est une besogne du problème que nous pouvons résoudre avec succès en utilisant l'étape d'attribution entre BSs. Nous planifions le problème en détail comme ci-dessous :

Le b_{in} caractérise le bénéfice du UE_n servi par différentes BS pour UL et DL, qui est le composant de la matrice b .

$$b_{in}^{(\cdot)} = \max_{\forall i \in \{1, 2, \dots, m\}} (\log(\alpha_i r_{in}^{(\cdot)}) - \phi_{th,n}, 0) \quad (4.9)$$

Où $\phi_{th,n}$ représente le seuil de capacité déterminé par les exigences QoS de UE_n . α_i donne des effets d'échelle de UE_n pour les débits de données UL et DL sur l'utilitaire. La valeur de α_i affiche l'importance de UE_n sur le débit de données UL ou DL, qui dépend souvent du type d'équipement de l'appareil (smartphone, tablette et ordinateur portable, par exemple). Dans le but de maximiser le gain, nous construisons la matrice de tâches de coalition h par des éléments

qui expriment l'existence d'une coalition ou pas entre deux BS :

$$h_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{si } BS_i \text{ sert en UL et la } BS_j \text{ sert en DL.} \\ 0, & \text{sinon.} \end{cases} \quad (4.10)$$

Ensuite, le problème d'affectation passe à un problème de regroupement des BSs en UL et DL dans une paire de BS, de manière à maximiser le bénéfice global pour UE_n . Par conséquent, les problèmes sont formulés comme suit :

$$\max_h \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M h_{ij} b_{ij} \quad (4.11)$$

où b_{ij} est la somme des avantages pour UE_n servi par BS_i pour UL et BS_j pour DL, comme défini ci-dessous : $b_{ij} = (b_{in}^u + b_{jn}^d)$. Puisque l'objectif consiste à offrir une satisfaction à l'utilisateur pour UL et DL, l'affectation ne sera valide que si les deux BS sont bénéfiques pour l'UE. En d'autres termes, l'agent BS doit vérifier la condition suivante : $h_{ij} = 1$ si et seulement si $b_{in}^u \neq 0$ et $b_{jn}^d \neq 0$.

4.4.3 L'algorithme de transfert découplé UL-DL

Pour résoudre ces défis, nous avons défini deux étapes principales. Au début, nous changeons radicalement le problème de plusieurs-à-plusieurs à plusieurs-à-un en assignant les BS les uns aux autres afin de maximiser les avantages de l'UE en termes de qualité de service. Cependant, comme décrit dans l'algorithme 4.1, nous supposons que tous les UEs sont d'abord associées à la MBS principalement basée sur le SINR. À ce stade, motivé pour maintenir une bonne QoS, l'UE mobile (noté via k) qui subit une dégradation de la QoS, construit la liste de matching souhaitée basée sur l'équation 4.8. Le UE_k fait une liste de classement basée sur $\succ_k$ des BSs accessibles et contacte le plus favorisé d'entre eux. Comme résultat si les services de BS actuel (notés via m) pour UE_k ne sont plus les plus désirés par rapport aux services BS (notés via i), le UE_k fait une suggestion pour un matching μ_{mi}^k à un agent BS_i .

Par conséquent, dans notre algorithme 4.1, nous avons considéré une suggestion du matching μ_{mi}^k comme une demande pour un Handover. Une fois qu'une suggestion est reçue, l'agent concerné BS_i met à jour ses préférences. Plus précisément, BS_i n'accepte la suggestion que si elle est strictement bénéfique. Chaque BS_l dans l'agent BS_i classe les candidats en fonction du matching en cours μ , puis vérifie si le μ_{ml}^k est strictement bénéfique pour les deux BS_l pour

l'ajouter à l'ensemble de UE demandant l'association (notée via N^{req}). Autrement, l'agent BS_i , n'acceptera pas d'héberger UE_k si et seulement si les deux BSs de l'agent BS_i bénéficieront de cette association.

Les UEs qui ont été licenciés à l'étape précédente contacteront le reste des BS dans sa liste de préférence et les BSs ajusteront leur liste des candidats rejetée en conséquence. Mais si le μ_{ml}^k est bénéfique pour l'agent BS_l alors nous mettons à jour l'ensemble de l'UE envoyant la requête au BS_l , les BS ajustent leur liste d'attente en conséquence et mettent à jour le nouveau matching solution (notée via μ'), en ajoutant le lien (k, i) à μ' .

Néanmoins, compte tenu de nos externalités considérées dans chaque progression μ' , les préférences seront rafraîchies en vue du matching en cours. En conséquence, une approche itérative sera adoptée. La BS_l évalue son utilité pour la nouvelle solution correspondante μ' , de cette façon, il prendra en compte toute UE demandant le transfert en même temps que UE_k . Par conséquent, pour tout BS_l dans l'agent BS_i continuera à rejeter le pire cas de son N^{req} jusqu'à ce qu'il obtienne une utilité avantageuse. Le résultat final N^{req} sera associé à l'agent BS_i . La procédure continue à s'exécuter jusqu'à obtention d'une favorable association basée sur $\succ_l$ décrit comme suit :

Definition 4.4.2. Étant donné une paire d'UEs $k, j \in N$ et BSs $m, i \in M$, un matching μ avec $(m, k), (i, j) \in \mu$ est stable s'il n'y a pas de correspondance de transfert stable $\mu_{m,i}^k = \mu \setminus (m, k) \cup (i, k)$ existe, de telle sorte que :

- $\forall x \in \{k, j, m, i\}, U_x(\mu_{m,i}^k) \geq U_x(\mu)$
- $\exists x \in \{k, j, m, i\}, U_x(\mu_{m,i}^k) \geq U_x(\mu)$

La stabilité du matching UE-BS μ avec $(m, k) \in \mu$, est atteinte si BS_i ou UE_j , où BS_i penche vers UE_j à UE_k ou UE_k penche vers BS_i à BS_m , existe. Autrement dit, tout en considérant les externalisations dans le matching UE-BS, dismissing-matching devrait se produire juste dans le cas où le BS inclus est entièrement désavantageux pour obtenir le matching favorable.

Algorithme 4.1 L'algorithme de transfert contextuel

Initialisation : chaque UE est initialement associé à un BS i basé sur l'association max-SINR de liaison descendante.

si Le UE_k déclenche le processus de transfert **alors**

Phase I - Sélection ABS

UE_k commence à créer l'agent BS pour satisfaire les exigences de QoS en fonction de la méthode d'affectation décrite dans la Section 4.4.2

UE_k classe l'agent BS en fonction $\succ_k$

si $\mu_{m,i}^k$ le plus préféré par $\succ_k$ **alors**

UE_k envoie une proposition à un agent BS_i

Chaque BS_l pour l'agent BS_i mis à jour $U_l(\mu)$ basé sur le matching μ

$\mu' \leftarrow \mu$

si $\forall BS_l \in BS_i(k, \mu_{ml}^k) \succ_l (k, \mu)$ **alors**

$N^{req} \leftarrow N^{req} \cup k$

$\mu' \leftarrow \mu' \cup \mu_{ml}^k$

sinon

$N^{rej} \leftarrow N^{rej} \cup k$

UE_k envoie Req à la préférence de l'agent BS suivante.

finsi

finsi

Phase II - dismissing-matching

si $|N^{req}| \neq 0$ **alors**

tantque $U_l(\mu')$ pas strictement bénéfique **faire**

Supprimer le pire UE de N^{req} basé sur $\succ_l$

Mettre à jour μ' basé su $\succ_l$

fin tantque

finsi

finsi

Selon le dernier N^{req} , chaque UE est associé à l'agent BS_i .

4.4.4 L'analyse de Convergence et Pareto-Optimalité

Dans cette section, nous étudions l'exécution de l'algorithme 4.1. En particulier, nous décrivons et étudions la convergence et Pareto-Optimalité. En disposant des études dans la sous-section ci-dessus, nous avons :

Lemma 4.4.1. *En ce qui concerne la convergence de l'étape de dismissing-matching, l'algorithme 4.1 réalise une correspondance stable.*

Démonstration. L'explication provient de deux facteurs. Pour commencer, nous avons trouvé que leur nature du déploiement de la transmission, amène à ce que les BSs atteignent un nombre prédéterminé de demandes d'UE dans leur région, et par conséquent, la quantité de rejets-appariements concevables est limitée. En outre, la fonction "dismissing-matching" est utilisée juste lorsqu'elle augmente entièrement l'utilité d'un joueur. Le deuxième facteur, lorsque tous les cas les plus défavorables imaginables ont été rejetés, l'étape dismissing-matching se termine et chaque UE (BS) reste lié à la BS la plus favorisée (UE). Par la suite, aucun changement supplémentaire ne peut être accompli en rejetant les demandes d'association des UEs. $\square$

Definition 4.4.3. S'il n'existe pas de pair de retournements Pareto dans une correspondance, cela implique que cette correspondance est Pareto-optimale. Un couple de UE (n, n') est considéré comme une paire améliorant Pareto dans un μ correspondant, si $\mu(n') \succ_n \mu(n)$ et $\mu(n) \succ_{n'} \mu(n')$.

Lemma 4.4.2. *L'algorithme de transfert contextuel intercellulaire est Pareto-optimal.*

Démonstration. Admettre qu'un retournement de Pareto (n, n') existe dans notre dernier matching μ , implique que nous pouvons former un autre matching μ' , où $\mu' = \mu - \{(n, \mu(n)), (n', \mu(n'))\} \cup \{(n, \mu(n')), (n', \mu(n))\}$ pour booster notre fonction d'utilité. Nous considérons l'utilité d'un matching accompli μ est $U(\mu)$ et l'utilité du résultat de Pareto-matching μ' est $U(\mu')$. Basé sur le concept de préférence, il est clair qu'un UE demande d'une manière fiable un matching avec le premier agent BS dans sa liste de préférence. De cette façon, si n préfère $\mu(n')$, il vient juste de le demander $\mu(n')$ et il a été renvoyé. Idem est valable pour n' . Par conséquent, $U(\mu') < U(\mu)$ et (n, n') ne peuvent pas être une combinaison de changement de Pareto. Par conséquent, notre coordination proposée est Pareto-optimale. $\square$

4.5 La simulation et les résultats

4.5.1 L'environnement de simulation

La validation est dirigée dans un système hétérogène comprenant les technologies LTE et Wi-Fi. Le scénario de simulation s'exécute sous un système similaire au travail décrit dans la section 3 où le standard MIH et le protocole de mobilité PMIPv6 sont sollicités. Le mécanisme

de déclenchement de transfert intercellulaire adopté est basé sur le système de gestion de la vitesse et de QoS approuvé dans la section 3, dans lequel le système HetNet à deux niveaux est transmis par le NS-3 [231].

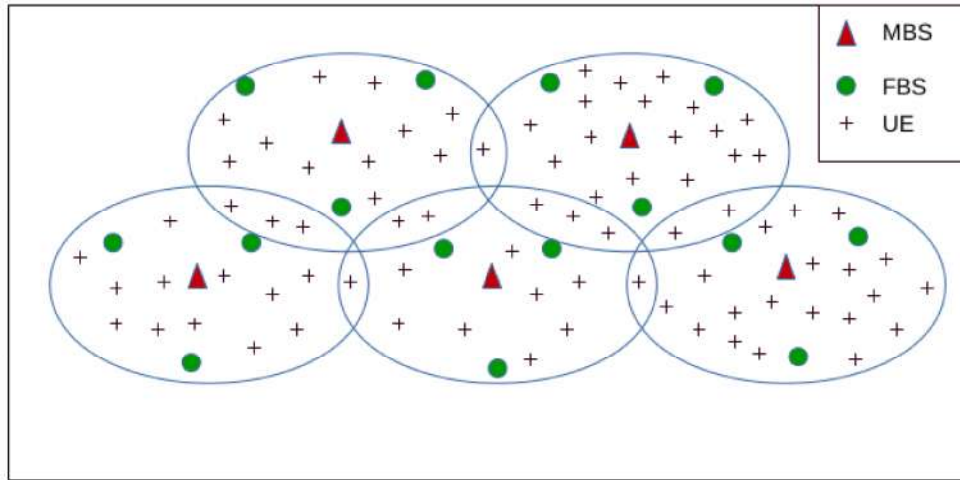


FIGURE 4.1 – La topologie de simulation

Concernant notre simulation, nous considérons 5 MBS de 500 m et une bande passante de 20 MHz. Dans ces BSs, N UE et M FBS sont déployés uniformément. La figure 4.1 illustre la topologie utilisée pour démontrer notre approche. La puissance d'émission de chaque FBS m est $p_m = 22dBm$ les transmissions sont soumises à l'affaiblissement de parcours et "path loss" dépendant de la distance. Le SINR minimum requis par chaque UE est $SINR_{min} = 9,56dB$, le niveau de bruit est $\sigma = -121dBm$. Le débit de trafic dépend de l'exigence de qualité de service de l'UE en supposant une taille de paquet standard de 2000 octets. Le reste des paramètres de simulation est trié dans le tableau 4.3.

TABLE 4.3 – Les paramètres de simulation

Paramètre	Valeur
Bande passante du canal	20 Mhz
Zone de couverture MBS	500 m
Zone de couverture FBS	40 m
Élément réseau	5 MBS et 15 FBS
Puissance Max de transmission MBS	46 dBm
Puissance Max d'émission FBS	22 dBm
Puissance Max de transmission du UE transmettre	20 dBm
Modèle d'affaiblissement de parcours	$15 + 36 \log_{10}(d)$
Log-normal shadow fading	4 dB
Vitesse du mobile	3 km/h
Aspect de la mobilité	Random
Niveau de bruit	-121 dBm
Région de chevauchement de MBS	100 m

4.5.2 Les résultats et discussions

Nous étudions les performances d'utilité pour les BSs dans HetNet où nous avons 15 FBS et 5 MBS, avec le nombre maximum d'UE associé pour UL et DL qui sont $q_{ul} = 10$ $q_{dl} = 10$ pour MBS et $q_{ul} = 5$ $q_{dl} = 5$ pour FBS. Comme résultat, la figure 4.2 prouve qu'il y a une amélioration considérable en termes de valeurs d'utilité pour les BSs offerts par notre proposition par rapport aux deux cas :

- 1] Handover DL traditionnel où l'UE est associé en fonction de la puissance reçue en liaison descendante.
- 2] Handover DUDe traditionnel où l'UE a choisi deux BS différents en fonction de l'intensité du signal reçu pour la liaison descendante et de la distance entre la BS et l'UE pour la liaison montante.

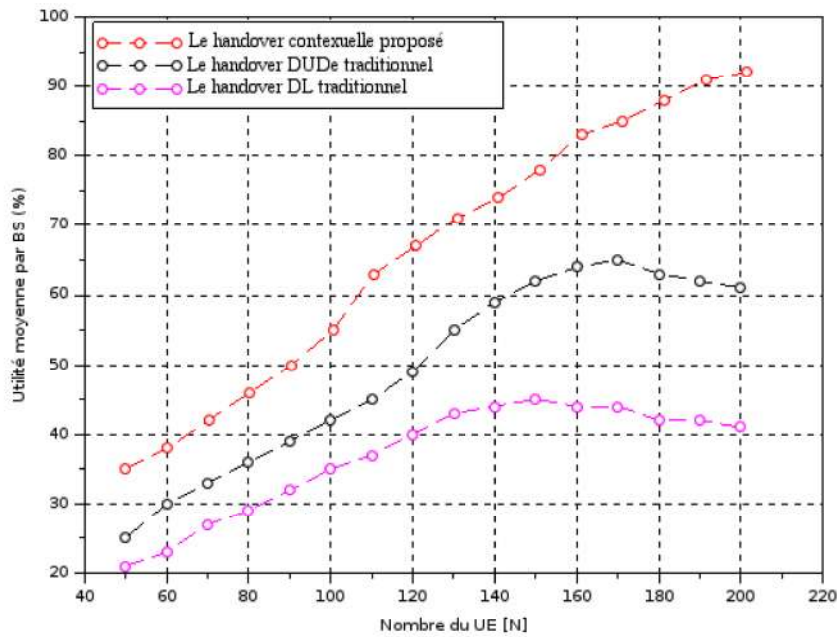


FIGURE 4.2 – Le taux d'utilité pour BS en fonction du nombre d'UEs N , sous les approches considérées : 5 MBS avec $q_{ul} = 10$ $q_{dl} = 10$ et 15 FBS avec $q_{ul} = 5$ $q_{dl} = 5$

Malgré la grande amélioration apportée par l'association avec les BSs qui offre une meilleur puissance reçue sur DL, on peut remarquer que pour un très grand nombre d'UEs, l'évolution de la courbe commence à ralentir, à un moment on peut même juger qu'elle prendra un aspect décroissant. Nous pouvons conclure que le choix d'une BS qui offre le meilleur puissance reçue sur DL dans les deux cas ne garantit pas un meilleur service ; puisque, à un moment donné, le problème du retard, de l'interférence et de la congestion apparaîtra avec une demande croissante. Néanmoins, notre algorithme contextuel offre une amélioration considérable surtout pour le réseau qui connaît une forte demande, ce qui signifie que l'amélioration de la congestion nous a offert d'une certaine manière la possibilité de réduire le retard et d'offrir une meilleure qualité de service pour une grande population. En termes de résultat numérique, nous trouvons qu'avec l'algorithme de Handover contextuel DUDe, nous pouvons atteindre jusqu'à 35% de plus par rapport au Handover DUDe traditionnel et 52% par rapport au Handover DL traditionnel en termes d'utilité.

En changeant le nombre de UE groupe N^{Req} , le tableau 4.4 montre le retard moyen dans la procédure de Handover quand le nombre du groupe des UEs N^{Req} demande le Handover en

même temps que le UE_k . En conséquence, nous supposons que le schéma proposé accorde une convergence rapide et stable.

TABLE 4.4 – Le retard basé sur le nombre de l'ensemble N^{Req}

Nombre l'ensemble de N^{Req}	50	60	70	80	90	100
Retard (ms)	14.440	27.340	39.490	52.615	64.340	76.167

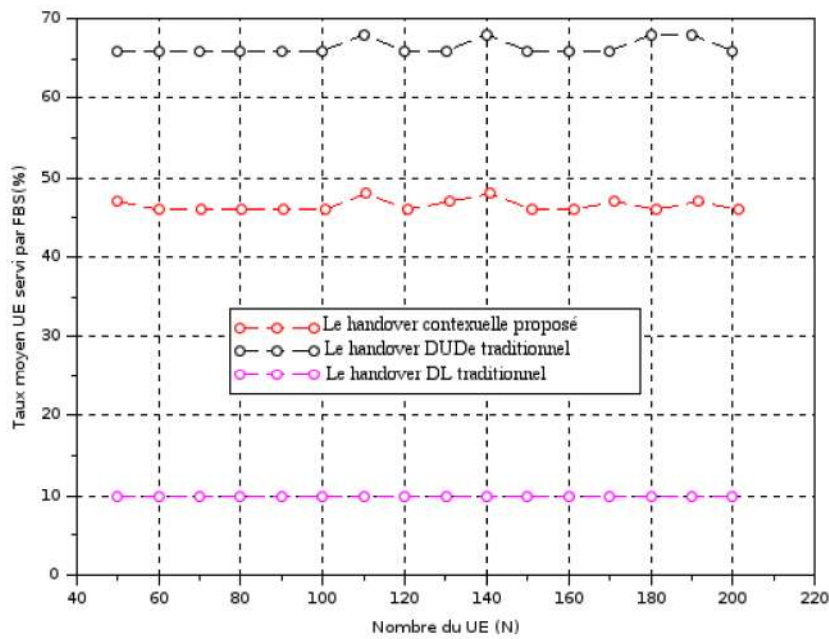


FIGURE 4.3 – Le taux moyen d'UE servis par FBS en fonction du nombre d'UE

Nous évaluons la distribution de la charge entre le MBS et le FBS en termes de taux moyen d'UE servi par FBS du système. La figure 4.3 montre le comportement du débit moyen du UE servi par FBS par rapport au nombre d'unités d'abonnés fluctuantes. Basé sur la figure 4.3, nous pouvons percevoir que généralement, le taux moyen des UE servis par les FBS ne change pas avec le nombre accru de clients pour tous les plans. Comme il devrait être évident dans cette figure, environ 66% des clients sont servis par le FBS dans Handover DUDe traditionnel. Là encore, seulement 10% sont servis par Handover DL traditionnel. Avec le plan proposé, le niveau de clients du FBS est d'environ la moitié. Considérant que dans notre cas il y a trois FBS par MBS et que le MBS a une grande puissance de transmission avec une efficacité de système importante que le FBS, cette distribution peut être considérée comme raisonnable.

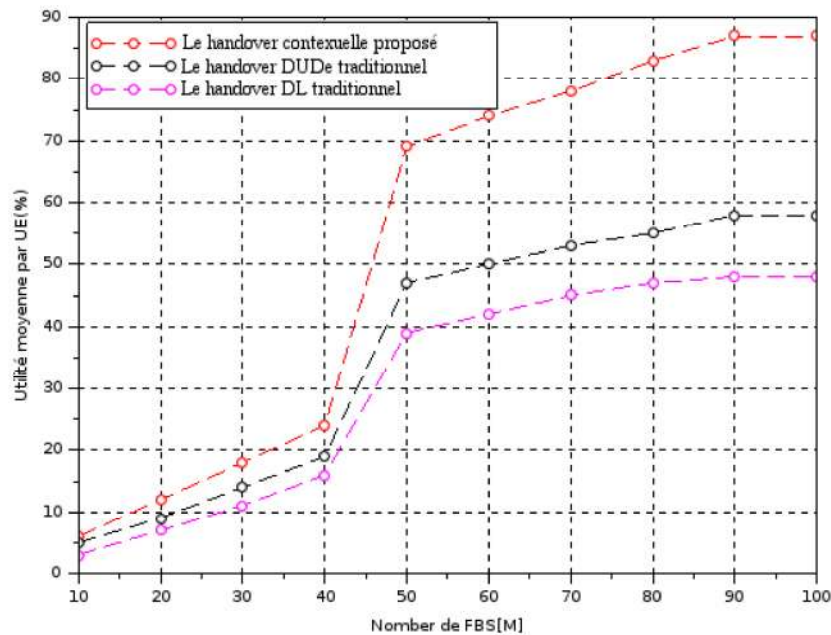


FIGURE 4.4 – Le taux d'utilité pour l'UE en fonction du nombre de FBS M , sous les approches considérées, $N = 100$ UE

Afin d'étudier l'impact et le gain apporté par la femto BS, donc contrairement à la topologie initiale, le nombre de femto BS sera variable. La figure 4.4 montre l'utilité moyenne par UE en fonction du nombre de FBS, dans un réseau avec $N = 100$ UE. Pour l'approche contextuelle proposée, les UE favorisent une association avec FBSs qui sont moins chargés et donnent un taux amélioré. Par conséquent, lors d'une décision contextuelle, l'association UE-BS suivante étend considérablement l'utilité du UE. Le Handover contextuel proposé génère un gain de performance énorme, croissant avec la croissance de la dimension réseau M , atteignant respectivement 31% et 43% de plus par rapport aux schémas basés sur Handover DUDe traditionnel et Handover DL traditionnel.

4.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons abordé le problème de l'association cellulaire lors d'un Handover dans un réseau hétérogène dense, où la préférence de l'équipement d'un utilisateur mobile en termes de trafic montant n'est pas la même que pour le trafic descendant. Par conséquent, étant donné que la mobilité est un élément intrinsèque des réseaux cellulaires, la conception d'un

Handover en perspective de la liaison montante et de la liaison descendante est obligatoire dans le contexte des réseaux cellulaires 5G. Sur la base de cette piste de course, nous avons proposé un schéma de Handover découplé en UL-DL, tout en utilisant des femtocellules afin de maximiser l'utilité globale de l'entité réseau et d'éviter de surcharger les macrocellules.

Cependant, le fait que le processus de Handover soit effectué dans un réseau hétérogène rend le problème NP-difficile. Par conséquent, en tenant compte du besoin de solutions auto-organisées, nous avons modélisé le processus de Handover en tant que matching-game avec externalité. Ainsi, nous fournirons un effet d'intelligence pour l'exécution du processus de Handover pour un UE mobile. Pour rendre la proposition plus efficace, nous intégrons une étape d'affectation pour assister le jeu d'association. Par conséquent, les stations de base seront étudiées et filtrées, afin de ne garder en tant que joueur que les stations de base utiles en termes de qualité de service pour la liaison montante et la liaison descendante. Les résultats de la simulation ont montré que l'approche proposée génère des gains bénéfiques significatifs par rapport aux techniques traditionnelles.

LES CONCLUSIONS ET LES PERSPECTIVES

Dans cette partie, nous allons succinctement rappeler l'ensemble des résultats obtenus dans cette thèse et ensuite, proposer des perspectives de recherche déduites de ces travaux.

5.1 Les conclusions

Afin de répondre à la demande sans cesse croissante de trafic sans fil, les futurs réseaux sans fil seront composés de milliers de types différents de petites cellules. En raison de l'augmentation de la densité des stations de base, de leur déploiement aléatoire et de leur hétérogénéité, le contrôle centralisé traditionnel du réseau et l'intervention manuelle ne seront pas réalistes pour les futurs réseaux sans fil. Par conséquent, les systèmes intelligents sont proposés comme une caractéristique importante pour le futur réseau sans fil hétérogène c'est-à-dire que les nœuds du réseau doivent prendre des décisions individuelles.

La connaissance du contexte, qui est une caractéristique puissante dans de nombreux systèmes intelligents, a récemment été appliquée pour améliorer les caractéristiques d'auto-organisation dans les réseaux de petites cellules. L'idée est d'utiliser les informations de contexte, c'est-à-dire les informations provenant de l'environnement et du comportement des utilisateurs, pour améliorer l'accès aux services et aux applications. Les algorithmes devraient être conçus en tenant compte de l'exploitation efficace d'informations contextuelles provenant de différentes sources. La fiabilité des différentes sources d'information serait également un problème important.

Dans cette thèse, nous avons proposé un cadre de gestion de transfert contextuelle pour les réseaux de petites cellules sous-jacents aux réseaux macrocellulaires. Cette proposition est supportée par un mécanisme d'accès qui fusionne IEEE 802.21 et PMIPv6. La solution proposée n'est déployée que du côté du réseau et étend PMIPv6 avec une mobilité de flux d'une manière totalement transparente aux UEs mobiles. En fait, il accorde une attention particulière aux mé-

canismes de transfert, en améliorant la détection et l'attachement des UEs dans le réseau, avec l'inclusion de la norme IEEE 802.21 dans la solution. Ceci fournit les détails d'implémentation et d'intégration nécessaires pour étendre une topologie de réseau avec des dispositifs femtocellulaires. En parallèle, le système supporte aussi deux entités, la première est une entité de décision qui gère le déclenchement du processus de handover. La deuxième est une entité de sélection réseau, elle sollicitera la théorie des jeux étant donné qu'elle fournit un outil mathématique puissant, qui peut modéliser et analyser les interactions distribuées entre des entités ayant des intérêts conflictuels. Plus précisément, dans cette thèse, on a utilisé un déclenchement sensible à la variation de la vitesse, et le matching-game pour maximiser le gain de tous les composants d'un réseau hétérogène tout en préservant un équilibre de charge qui garantie une QoS requise.

5.2 Les perspectives

Certaines des pistes de recherche potentielles dans la conception de techniques d'optimisation du handover pour les réseaux de petites cellules trouvent un compromis pour l'auto-organisation entre les frais de la signalisation et les performances optimales.

Il y a toujours un compromis entre les frais généraux de signalisation et les performances optimales d'un réseau. Un réseau peut offrir des performances optimales avec des informations complètes, mais le coût de la signalisation pour la mise en œuvre de tels algorithmes seraient très élevés. D'autre part, les algorithmes qui reposent sur moins d'informations ou d'informations incomplètes peuvent fournir des performances légèrement dégradées. Aborder ce problème et quantifier le compromis est important pour atteindre des performances optimales dans les HetNets.

En outre, le travail actuel ne considère que le mode d'accès ouvert pour les femtocellules. Il serait intéressant d'évaluer les performances de QoS au niveau des liaisons et des appels pour le réseau, compte tenu de l'accès fermé et hybride des femtocellules. Dans ce contexte, lorsque l'on considère l'équilibre de la charge de mobilité dans le réseau femtocell d'accès hybride, il est important d'étudier le nombre optimal de UEs non enregistrés qui peuvent être admis dans la femtocellule.

Nous avons aussi l'intention de coordonner notre schéma vers les systèmes de réseaux hétérogènes 5G en ajustant et en reformulant la façon dont nous traitons les modèles de trafic pour les réseaux IoT, comme décrit dans la version 3GPP 13. Il est important d'examiner de nouvelles

dispositions, par exemple, le handover sensible à la localisation et étudier comment déployer les avantages de la virtualisation des fonctions réseau, les SDN (Software-Defined Networking) et des technologies de services cloud pour les systèmes de gestion des services de la mobilité. Dans les futurs travaux, nous examinerons de nouvelles idées associées à la gestion de la mobilité, par exemple la virtualisation des ressources et l'abstraction des ressources.



LES PUBLICATIONS DE L'AUTEUR

Articles dans des revues

Asmae Ait Mansour, Nourddine Enneya, and Mohamed Ouadou. "Enhanced Matching Game for Decoupled UL/DL Context-aware Handover." *Future Internet* 10.4 (2018) : 35.

Asmae Ait Mansour, Nourddine Enneya, and Mohamed Ouadou. "A Velocity-Aware Handover Trigger in Two-Tier Heterogeneous Networks." *Future Internet* 10.1 (2018) : 9.

Articles dans des actes de conférences internationales

Asmae Ait Mansour, Nourddine Enneya, and Mohamed Ouadou. "A Seamless Handover Based MIH-Assisted PMIPv6 in Heterogeneous Network (LTE-WIFI)." *Proceedings of the 2nd international Conference on Big Data, Cloud and Applications*. ACM, 2017.

Asmae Ait Mansour, Nourddine Enneya, and Mohamed Ouadou. "Experimental Analysis of the Effect of Velocity on Vertical Handoff Latency Using IEEE 802.21." *Proceedings of the Mediterranean Conference on Information & Communication Technologies 2015*. Springer, Cham, 2016.

Asmae Ait Mansour, Nourddine Enneya, and Mohamed Ouadou. "Handoff between WiMax and WiFi networks." *Innovative Computing Technology (INTECH), 2012 Second International Conference on*. IEEE, 2012.

Journées nationales

Asmae Ait Mansour, Nourddine Enneya, and Mohamed Ouadou. "LTE HANDOVER SCENARIOS AND ALGORITHMS IN NS-3". *The Scientific Day on Computer Science, Optimization and Systems Modelization (CSOSM'15)*. 2015.

Asmae Ait Mansour, Nourddine Enneya, and Mohamed Ouadou. "Handoff between WIMAX and Wifi networks". Journées Scientifiques de l'Unité de Recherche Associée au CNRST n 29 Laboratoire de Recherche en Informatique et Télécommunications 2013.

Asmae Ait Mansour, Nourddine Enneya, and Mohamed Ouadou. "Gestion de la QoS et de la mobilité dans les reseaux de la 4G". Journées Scientifiques de l'Unité de Recherche Associée au CNRST n 29 Laboratoire de Recherche en Informatique et Télécommunications 2012.



BIBLIOGRAPHIE

- [1] N. Nasser, A. Hasswa, and H. Hassanein, "Handoffs in fourth generation heterogeneous networks," *IEEE Communications Magazine*, vol. 44, no. 10, pp. 96–103, 2006.
- [2] E. Gustafsson and A. Jonsson, "Always best connected," *IEEE Wireless communications*, vol. 10, no. 1, pp. 49–55, 2003.
- [3] L. Lei, Z. Zhong, K. Zheng, J. Chen, and H. Meng, "Challenges on wireless heterogeneous networks for mobile cloud computing," *IEEE Wireless Communications*, vol. 20, no. 3, pp. 34–44, 2013.
- [4] I. Broustis and M. Faloutsos, "Routing in vehicular networks : feasibility, modeling, and security," *International Journal of Vehicular Technology*, vol. 2008, 2008.
- [5] D. Lopez-Perez, I. Guvenc, G. De la Roche, M. Kountouris, T. Q. Quek, and J. Zhang, "Enhanced intercell interference coordination challenges in heterogeneous networks," *IEEE Wireless Communications*, vol. 18, no. 3, 2011.
- [6] A. Damnjanovic, J. Montojo, Y. Wei, T. Ji, T. Luo, M. Vajapeyam, T. Yoo, O. Song, and D. Malladi, "A survey on 3gpp heterogeneous networks," *IEEE Wireless Communications*, vol. 18, no. 3, 2011.
- [7] H. Attaullah, F. Iqbal, and M. Y. Javed, "Intelligent vertical handover decision model to improve qos," in *Digital Information Management, 2008. ICDIM 2008. Third International Conference on*. IEEE, 2008, pp. 119–124.
- [8] K. Y. Kim, D. G. Yun, J. C. Shim, K. S. Cho, and S.-G. Choi, "Qos-aware seamless handover schemes between heterogeneous networks in ngn," in *Advanced Communication*

-
- Technology (ICACT), 2010 The 12th International Conference on*, vol. 1. IEEE, 2010, pp. 184–189.
- [9] Q.-T. Nguyen-Vuong, N. Agoulmine, and Y. Ghamri-Doudane, “A user-centric and context-aware solution to interface management and access network selection in heterogeneous wireless environments,” *Computer Networks*, vol. 52, no. 18, pp. 3358–3372, 2008.
 - [10] P. Pawar, K. Wac, B.-J. Van Beijnum, P. Maret, A. van Halteren, and H. Hermens, “Context-aware middleware architecture for vertical handover support to multi-homed nomadic mobile services,” in *Proceedings of the 2008 ACM symposium on Applied computing*. ACM, 2008, pp. 481–488.
 - [11] T. Inzerilli, A. M. Vegni, A. Neri, and R. Cusani, “A location-based vertical handover algorithm for limitation of the ping-pong effect,” in *Networking and Communications, 2008. WIMOB’08. IEEE International Conference on Wireless and Mobile Computing*,. IEEE, 2008, pp. 385–389.
 - [12] J. Sen and A. Ukil, “A qos-aware end-to-end connectivity management algorithm for mobile applications,” in *Proceedings of the Third Annual ACM Bangalore Conference*. ACM, 2010, p. 4.
 - [13] M. Ylianttila, “Vertical handoff and mobility : System architecture and transition analysis.” 2005.
 - [14] H. Attaullah, F. Iqbal, and M. Y. Javed, “Intelligent vertical handover decision model to improve qos,” in *Digital Information Management, 2008. ICDIM 2008. Third International Conference on*. IEEE, 2008, pp. 119–124.
 - [15] D.-H. Kim, W.-T. Kim, H.-G. Lee, S.-J. Kim, and C.-H. Lee, “A performance evaluation of vertical hanover architecture with low latency handover,” in *Convergence and Hybrid Information Technology, 2008. ICHIT’08. International Conference on*. IEEE, 2008, pp. 66–69.
 - [16] K. Tsukamoto, T. Yamaguchi, S. Kashiara, and Y. Oie, “Implementation design of handover management scheme for efficient multimodal communication,” in *Networking and Communications, 2008. WIMOB’08. IEEE International Conference on Wireless and Mobile Computing*,. IEEE, 2008, pp. 684–689.

-
- [17] S.-C. Oh, C.-y. Lee, Y.-s. Shin, and J.-u. Kim, "A vertical handover based on software communications architectures," in *Vehicular Technology Conference, 2004. VTC2004-Fall. 2004 IEEE 60th*, vol. 3. IEEE, 2004, pp. 1973–1977.
 - [18] J.-M. Seigneur, X. Titi, and T. El Maliki, "Towards mobile/wearable device electrosmog reduction through careful network selection," in *Proceedings of the 1st Augmented Human international Conference*. ACM, 2010, p. 21.
 - [19] D. Griffith, R. Rouil, and N. Golmie, "Performance metrics for ieee 802.21 media independent handover (mih) signaling," *Wireless Personal Communications*, vol. 52, no. 3, pp. 537–567, 2010.
 - [20] Y. Wang, P. Zhang, Y. Zhou, J. Yuan, F. Liu, and G. Li, "Handover management in enhanced mih framework for heterogeneous wireless networks environment," *Wireless Personal Communications*, vol. 52, no. 3, pp. 615–636, 2010.
 - [21] B. Y. Jung, M. S. Choi, H. Y. Youn, and O. Song, "Vertical handover based on the prediction of mobility of mobile node," in *Pervasive Computing and Communications Workshops (PERCOM Workshops), 2010 8th IEEE International Conference on*. IEEE, 2010, pp. 534–539.
 - [22] I.-S. Jang, W.-T. Kim, J.-M. Park, and Y.-J. Park, "Mobile multicast mechanism based mih for efficient network resource usage in heterogeneous networks," in *Advanced Communication Technology (ICACT), 2010 The 12th International Conference on*, vol. 1. IEEE, 2010, pp. 850–854.
 - [23] S. Mansor and T.-C. Wan, "Mobility management in heterogeneous wireless access network with ieee 802.21 services," in *Computer and Network Technology (ICCNT), 2010 Second International Conference on*. IEEE, 2010, pp. 110–114.
 - [24] A. Widhiyasi, V. Mohanan, M. F. Pasha, and R. Budiarto, "Vertical handover scheme for car-to-car communication based on ieee 802.21 standard," in *Computer Engineering and Applications (ICCEA), 2010 Second International Conference on*, vol. 1. IEEE, 2010, pp. 143–147.
 - [25] I. Joe and M. Shin, "A mobility-based prediction algorithm with dynamic lgd triggering for

-
- vertical handover,” in *Consumer Communications and Networking Conference (CCNC), 2010 7th IEEE*. IEEE, 2010, pp. 1–2.
- [26] E. Stevens-Navarro, Y. Lin, and V. W. Wong, “An mdp-based vertical handoff decision algorithm for heterogeneous wireless networks,” *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 57, no. 2, pp. 1243–1254, 2008.
- [27] A. Dutta, S. Das, D. Famolari, Y. Ohba, K. Taniuchi, V. Fajardo, R. M. Lopez, T. Kodama, and H. Schulzrinne, “Seamless proactive handover across heterogeneous access networks,” *Wireless Personal Communications*, vol. 43, no. 3, pp. 837–855, 2007.
- [28] M. Kassar, B. Kervella, and G. Pujolle, “An overview of vertical handover decision strategies in heterogeneous wireless networks,” *Computer Communications*, vol. 31, no. 10, pp. 2607–2620, 2008.
- [29] P. Goyal and S. Saxena, “A dynamic decision model for vertical handoffs across heterogeneous wireless networks,” *World academy of science, engineering and technology*, vol. 31, no. 677-682, pp. 3–1, 2008.
- [30] D. Johnson, C. Perkins, and J. Arkko, “Mobility support in ipv6,” Tech. Rep., 2004.
- [31] C. E. Perkins, “Ip mobility support for ipv4, revised,” 2010.
- [32] A. Mankin, S. Bradner, R. Mahy, D. Willis, J. Ott, and B. Rosen, “Change process for the session initiation protocol (sip),” Tech. Rep., 2002.
- [33] V. Devarapalli, R. Wakikawa, A. Petrescu, and P. Thubert, “Network mobility (nemo) basic support protocol,” Tech. Rep., 2004.
- [34] J. Laganier and L. Eggert, “Host identity protocol (hip) rendezvous extension,” 2008.
- [35] M. Fouladian, F. Hendessi, A. Shafieinejad, M. Rahimi, and M. M. Bayat, “A new method for vertical handoff between wlans and umts in boundary conditions,” in *Advanced Computer Control, 2009. ICACC’09. International Conference on*. IEEE, 2009, pp. 438–443.
- [36] S. Jeong, M.-K. Shin, and H.-J. Kim, “A handover scheme supporting ipv4-ipv6 traversal over network-based mobility management domains,” in *Advanced Communication Technology, The 9th International Conference on*, vol. 2. IEEE, 2007, pp. 1033–1036.

-
- [37] K. Andersson, D. Granlund, M. Elkotob, and C. Åhlund, "Bandwidth efficient mobility management for heterogeneous wireless networks," in *Consumer Communications and Networking Conference (CCNC), 2010 7th IEEE*. IEEE, 2010, pp. 1–6.
 - [38] S. Asadullah, A. S. Mahmoud, M. Abu-Amara, and T. Sheltami, "Vertical handoff characterization for sip and msctp based umts-wlan integration solutions," *IEEEGCC 2007*, 2007.
 - [39] I.-C. Lin, C.-S. Shieh, and W. K. Lai, "Avoidance of redundant retransmission in vertical handover by modified stream control transmission protocol," in *Innovative Computing Information and Control, 2008. ICICIC'08. 3rd International Conference on*. IEEE, 2008, pp. 374–374.
 - [40] D. P. Kim and S. J. Koh, "Adaptive congestion control of msctp for vertical handover based on bandwidth estimation in heterogeneous wireless networks," *Wireless Personal Communications*, vol. 57, no. 4, pp. 707–725, 2011.
 - [41] L. Ma, F. Yu, V. C. Leung, and T. Randhawa, "A new method to support umts/wlan vertical handover using sctp," *IEEE Wireless communications*, vol. 11, no. 4, pp. 44–51, 2004.
 - [42] D. Howie, M. Ylianttila, E. Harjula, and J. Sauvola, "State-of-the-art sip for mobile application supernetworking," in *Nordic Radio Symposium, Oulu, Finland*, 2004.
 - [43] W. Wong, M. Giraldi, M. F. Magalhães, and F. Verdi, "An identifier-based architecture for native vertical handover support," in *Advanced Information Networking and Applications (AINA), 2010 24th IEEE International Conference on*. IEEE, 2010, pp. 252–259.
 - [44] P. Paakkonen, P. Salmela, R. Agüero, and J. Choque, "Performance analysis of hip-based mobility and triggering," in *World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks, 2008. WoWMoM 2008. 2008 International Symposium on a*. IEEE, 2008, pp. 1–9.
 - [45] J. Latvakoski, P. Valitalo, and T. Vaisanen, "Vertical handover during a voip call in hybrid mobile ad hoc networks," in *Wireless Telecommunications Symposium, 2008. WTS 2008*. IEEE, 2008, pp. 38–45.
 - [46] T.-C. Chu and Y. Lin, "An extension to fuzzy mcdm," *Computers & Mathematics with Applications*, vol. 57, no. 3, pp. 445–454, 2009.

-
- [47] M. Ylianttila, J. Mäkelä, and K. Pahlavan, "Analysis of handoff in a location-aware vertical multi-access network," *Computer Networks*, vol. 47, no. 2, pp. 185–201, 2005.
- [48] M. Emmelmann, T. Langgäertner, and M. Sonnemann, "System design and implementation of seamless handover support enabling real-time telemetry highly mobile users," in *Proceedings of the 6th ACM international symposium on Mobility management and wireless access*. ACM, 2008, pp. 1–8.
- [49] A. Haider, I. Gondal, and J. Kamruzzaman, "Dynamic dwell timer for hybrid vertical handover in 4g coupled networks," in *Vehicular Technology Conference (VTC Spring), 2011 IEEE 73rd*. IEEE, 2011, pp. 1–5.
- [50] N. Saxena and A. Roy, "Novel framework for proactive handover with seamless multimedia over wlans," *IET communications*, vol. 5, no. 9, pp. 1204–1212, 2011.
- [51] D. Li, E. Van Lil, and A. Van de Capelle, "Improving slow-start based probing mechanisms for flow adaptation after handovers," *Computer Networks*, vol. 56, no. 1, pp. 329–344, 2012.
- [52] Z. Becvar, P. Mach, and B. Simak, "Improvement of handover prediction in mobile wimax by using two thresholds," *Computer Networks*, vol. 55, no. 16, pp. 3759–3773, 2011.
- [53] A. H. Zahran, B. Liang, and A. Saleh, "Signal threshold adaptation for vertical handoff in heterogeneous wireless networks," *Mobile Networks and Applications*, vol. 11, no. 4, pp. 625–640, 2006.
- [54] B. Liang, A. H. Zahran, and A. O. Saleh, "Application signal threshold adaptation for vertical handoff in heterogeneous wireless networks," *Lecture notes in computer science*, vol. 3462, pp. 1193–1205, 2005.
- [55] J.-T. Park, J.-W. Nah, and S. Wang, "Application-aware handover with minimal power consumption for multimedia streaming service in wireless lan," in *Proceedings of the 7th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia*. ACM, 2008, pp. 198–204.
- [56] I. Ben Hamida and L. Boukhatem, "An adaptive resource reservation for vehicular mobile networks," *International Journal of Network Management*, vol. 19, no. 5, pp. 375–398, 2009.

-
- [57] K. Nolte, A. Kaloxylos, K. Tsagkaris, T. Rosowski, M. Stamatelatos, A. Galani, E. Bogenfeld, P. Magdalinos, J. Tiemann, J. Gebert *et al.*, “The e3 architecture : enabling future cellular networks with cognitive and self-x capabilities,” *International Journal of Network Management*, vol. 21, no. 5, pp. 360–383, 2011.
 - [58] X. Yan, N. Mani, and Y. A. Sekercioglu, “A traveling distance prediction based method to minimize unnecessary handovers from cellular networks to wlangs,” *IEEE communications letters*, vol. 12, no. 1, pp. 14–16, 2008.
 - [59] B.-J. Chang and J.-F. Chen, “Cross-layer-based adaptive vertical handoff with predictive rss in heterogeneous wireless networks,” *IEEE Transactions on vehicular technology*, vol. 57, no. 6, pp. 3679–3692, 2008.
 - [60] B.-J. Chang, J.-F. Chen, C.-H. Hsieh, and Y.-H. Liang, “Markov decision process-based adaptive vertical handoff with rss prediction in heterogeneous wireless networks,” in *Wireless Communications and Networking Conference, 2009. WCNC 2009. IEEE*. IEEE, 2009, pp. 1–6.
 - [61] L. Xia, J. Ling-ge, H. Chen, and L. Hong-Wei, “An intelligent vertical handoff algorithm in heterogeneous wireless networks,” in *Neural Networks and Signal Processing, 2008 International Conference on*. IEEE, 2008, pp. 550–555.
 - [62] W.-T. Chen and Y.-Y. Shu, “Active application oriented vertical handoff in next-generation wireless networks,” in *Wireless Communications and Networking Conference, 2005 IEEE*, vol. 3. IEEE, 2005, pp. 1383–1388.
 - [63] C. W. Lee, L. M. Chen, M. C. Chen, and Y. S. Sun, “A framework of handoffs in wireless overlay networks based on mobile ipv6,” *IEEE journal on selected areas in communications*, vol. 23, no. 11, pp. 2118–2128, 2005.
 - [64] A. Bazzi, “A softer vertical handover algorithm for heterogeneous wireless access networks,” in *Personal indoor and mobile radio communications (PIMRC), 2010 IEEE 21st international symposium on*. IEEE, 2010, pp. 2156–2161.
 - [65] K. Yang, I. Gondal, and B. Qiu, “Context aware vertical soft handoff algorithm for heterogeneous wireless networks,” in *Vehicular Technology Conference, 2008. VTC 2008-Fall. IEEE 68th*. IEEE, 2008, pp. 1–5.

-
- [66] S. Lee, K. Sriram, K. Kim, Y. H. Kim, and N. Golmie, "Vertical handoff decision algorithms for providing optimized performance in heterogeneous wireless networks," *IEEE transactions on vehicular technology*, vol. 58, no. 2, pp. 865–881, 2009.
 - [67] K. Ayyappan and R. Kumar, "Qos based vertical handoff scheme for heterogeneous wireless networks," *International Journal of Research and Reviews in Computer Science (IJRRCS)*, vol. 1, no. 1, pp. 1–6, 2010.
 - [68] K. Yang, I. Gondal, B. Qiu, and L. S. Dooley, "Combined sinr based vertical handoff algorithm for next generation heterogeneous wireless networks," in *Global Telecommunications Conference, 2007. GLOBECOM'07. IEEE*. IEEE, 2007, pp. 4483–4487.
 - [69] H.-L. Wang and S.-J. Kao, "A vertical handover scheme from wman to wlan by taking into account the maximum available resource," in *Computer Science & Education (ICCSE), 2011 6th International Conference on*. IEEE, 2011, pp. 1373–1378.
 - [70] H.-H. Choi, J. B. Lim, H. Hwang, and K. Jang, "Optimal handover decision algorithm for throughput enhancement in cooperative cellular networks," in *Vehicular Technology Conference Fall (VTC 2010-Fall), 2010 IEEE 72nd*. IEEE, 2010, pp. 1–5.
 - [71] H.-H. Choi, "An optimal handover decision for throughput enhancement," *IEEE Communications Letters*, vol. 14, no. 9, pp. 851–853, 2010.
 - [72] A. Svigelj, G. Kandus *et al.*, "A novel sip based procedure for congestion aware handover in heterogeneous networks," *Computer Communications*, vol. 33, no. 18, pp. 2176–2184, 2010.
 - [73] R. Corvaja, "Qos analysis in overlay bluetooth-wifi networks with profile-based vertical handover," *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 5, no. 12, pp. 1679–1690, 2006.
 - [74] M. J. Kim, S. W. Son, and B. H. Rhee, "Qos based provisioning vertical handover between ieee 802.11 and 802.16," in *Advanced Communication Technology, 2009. ICACT 2009. 11th International Conference on*, vol. 2. IEEE, 2009, pp. 1415–1418.
 - [75] G. Tamea, M. Biagi, and R. Cusani, "Soft multi-criteria decision algorithm for vertical handover in heterogeneous networks," *IEEE Communications Letters*, vol. 15, no. 11, pp. 1215–1217, 2011.

-
- [76] M. Biagi, G. Tamea, and R. Cusani, “Geometric cross-layer qos parameters based seamless vertical handover procedures in presence of adaptive modulation and coding,” in *Vehicular Technology Conference (VTC Spring), 2011 IEEE 73rd.* IEEE, 2011, pp. 1–5.
 - [77] O. Ormond, J. Murphy, and G.-M. Muntean, “Utility-based intelligent network selection in beyond 3g systems,” in *Communications, 2006. ICC’06. IEEE International Conference on*, vol. 4. IEEE, 2006, pp. 1831–1836.
 - [78] J. M. Lee, O. S. Yang, J. K. Choi, J. I. Lim, and V. Heo, “Handover decision algorithm for fixed to mobile handover in heterogeneous networks,” in *Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, 2006. WiCOM 2006. International Conference on.* IEEE, 2006, pp. 1–4.
 - [79] H. Wang, L. Ding, P. Wu, Z. Pan, N. Liu, and X. You, “Dynamic load balancing and throughput optimization in 3gpp lte networks,” in *Proceedings of the 6th international wireless communications and mobile computing conference.* ACM, 2010, pp. 939–943.
 - [80] X. Xu, Z. Hao, X. Tao, Y. Wang, and Z. Zhang, “Maximum utility principle slide handover strategy for multi-antenna cellular architecture,” in *Vehicular Technology Conference, 2008. VTC 2008-Fall. IEEE 68th.* IEEE, 2008, pp. 1–5.
 - [81] J. Gozálvéz, M. C. Lucas-Estañ, and J. Sanchez-Soriano, “Joint radio resource management for heterogeneous wireless systems,” *Wireless Networks*, vol. 18, no. 4, pp. 443–455, 2012.
 - [82] W. Shen and Q.-A. Zeng, “A novel decision strategy of vertical handoff in overlay wireless networks,” in *Network Computing and Applications, 2006. NCA 2006. Fifth IEEE International Symposium on.* IEEE, 2006, pp. 227–230.
 - [83] Y. Wei, X. Li, M. Song, and J. Song, “Cooperation radio resource management and adaptive vertical handover in heterogeneous wireless networks,” in *Natural Computation, 2008. ICNC’08. Fourth International Conference on*, vol. 5. IEEE, 2008, pp. 197–201.
 - [84] J. Park and J. Chung, “Network selection based on network service zone for macro mobility,” in *Proceedings of the 2nd International Conference on Interaction Sciences : Information Technology, Culture and Human.* ACM, 2009, pp. 295–299.
 - [85] T. Wu, J. Huang, X. Yu, X. Qu, and Y. Wang, “Cost-aware handover decision algorithm for

-
- cooperative cellular relaying networks,” in *Vehicular Technology Conference, 2008. VTC Spring 2008. IEEE*. IEEE, 2008, pp. 2446–2450.
- [86] N. Vulic, S. M. H. de Groot, and I. G. Niemegeers, “Vertical handovers among different wireless technologies in a umts radio access-based integrated architecture,” *Computer Networks*, vol. 55, no. 7, pp. 1533–1548, 2011.
- [87] X. Yang and T. J. Owens, “Intersystem soft handover for converged dvb-h and umts networks,” *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 57, no. 3, pp. 1887–1898, 2008.
- [88] T. Salam, S. Mushtaq, T. Khalid, M. Ali, and M. Amin, “Efficient vertical handover approaches for increased user satisfaction in next generation networks,” in *Computer Networks and Information Technology (ICCNIT), 2011 International Conference on*. IEEE, 2011, pp. 233–239.
- [89] E. K. Zavadskas, A. Kaklauskas, Z. Turskis, and J. Tamošaitienė, “Multi-attribute decision-making model by applying grey numbers,” *Informatica*, vol. 20, no. 2, pp. 305–320, 2009.
- [90] Y. Wang, P. Zhang, Y. Zhou, J. Yuan, F. Liu, and G. Li, “Handover management in enhanced mih framework for heterogeneous wireless networks environment,” *Wireless Personal Communications*, vol. 52, no. 3, pp. 615–636, 2010.
- [91] H.-W. Liu and G.-J. Wang, “Multi-criteria decision-making methods based on intuitionistic fuzzy sets,” *European Journal of Operational Research*, vol. 179, no. 1, pp. 220–233, 2007.
- [92] D. L. Olson, “Comparison of weights in topsis models,” *Mathematical and Computer Modelling*, vol. 40, no. 7-8, pp. 721–727, 2004.
- [93] M.-S. Kuo and G.-S. Liang, “A soft computing method of performance evaluation with mcdm based on interval-valued fuzzy numbers,” *Applied Soft Computing*, vol. 12, no. 1, pp. 476–485, 2012.
- [94] R. R. Yager, “On ordered weighted averaging aggregation operators in multicriteria decisionmaking,” *IEEE Transactions on systems, Man, and Cybernetics*, vol. 18, no. 1, pp. 183–190, 1988.

-
- [95] P. N. Tran and N. Boukhatem, "Comparison of madm decision algorithms for interface selection in heterogeneous wireless networks," in *Software, Telecommunications and Computer Networks, 2008. SoftCOM 2008. 16th International Conference on*. IEEE, 2008, pp. 119–124.
 - [96] J. R. Gallardo-Medina, U. Pineda-Rico, and E. Stevens-Navarro, "Vikor method for vertical handoff decision in beyond 3g wireless networks," in *Electrical Engineering, Computing Science and Automatic Control, CCE, 2009 6th International Conference on*. IEEE, 2009, pp. 1–5.
 - [97] R. Tawil, G. Pujolle, and O. Salazar, "A vertical handoff decision scheme in heterogeneous wireless systems," in *Vehicular Technology Conference, 2008. VTC Spring 2008. IEEE*. IEEE, 2008, pp. 2626–2630.
 - [98] R. Tawil, O. Salazar, and G. Pujolle, "Vertical handoff decision scheme using madm for wireless networks," in *Wireless Communications and Networking Conference, 2008. WCNC 2008. IEEE*. IEEE, 2008, pp. 2789–2792.
 - [99] M. M. Alkhawlan, "Mcdm based joint admission control for heterogeneous wireless networks," in *Computer Engineering & Systems (ICCES), 2012 Seventh International Conference on*. IEEE, 2012, pp. 3–8.
 - [100] —, "Intelligent vertical handover for heterogonous networks using fl and electre," *International Journal of Computer Networks and Communications (IJCNC)*, vol. 3, no. 4, 2011.
 - [101] L. Mohamed, C. Leghris, and A. Abdellah, "An intelligent network selection strategy based on madm methods in heterogeneous networks," *International Journal of Wireless & Mobile Networks*, vol. 4, no. 1, p. 83, 2012.
 - [102] M. Lahby, L. Cherkaoui, and A. Adib, "Network selection decision based on handover history in heterogeneous wireless networks," *arXiv preprint arXiv :1206.1587*, 2012.
 - [103] E. Stevens-Navarro and V. W. Wong, "Comparison between vertical handoff decision algorithms for heterogeneous wireless networks," in *Vehicular technology conference, 2006. VTC 2006-Spring. IEEE 63rd*, vol. 2. IEEE, 2006, pp. 947–951.

-
- [104] G.-M. Muntean, *Wireless Multi-Access Environments and Quality of Service Provisioning : Solutions and Application : Solutions and Application*. IGI Global, 2012.
 - [105] J. D. Martinez-Morales, U. Pineda-Rico, and E. Stevens-Navarro, "Performance comparison between madm algorithms for vertical handoff in 4g networks," in *Electrical Engineering Computing Science and Automatic Control (CCE), 2010 7th International Conference on*. IEEE, 2010, pp. 309–314.
 - [106] P. Bhattacharya, "Application of artificial neural network in cellular handoff management," in *Conference on Computational Intelligence and Multimedia Applications, 2007. International Conference on*, vol. 1. IEEE, 2007, pp. 237–241.
 - [107] N. Kohl and R. Miikkulainen, "Evolving neural networks for strategic decision-making problems," *Neural Networks*, vol. 22, no. 3, pp. 326–337, 2009.
 - [108] N. Nasser, S. Guizani, and E. Al-Masri, "Middleware vertical handoff manager : A neural network-based solution," in *Communications, 2007. ICC'07. IEEE International Conference on*. IEEE, 2007, pp. 5671–5676.
 - [109] S. Horrich, S. B. Jamaa, and P. Godlewski, "Adaptive vertical mobility decision in heterogeneous networks," in *Wireless and Mobile Communications, 2007. ICWMC'07. Third International Conference on*. IEEE, 2007, pp. 44–44.
 - [110] T. Lin, C. Wang, and P.-C. Lin, "A neural-network-based context-aware handoff algorithm for multimedia computing," *ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications, and Applications (TOMM)*, vol. 4, no. 3, p. 17, 2008.
 - [111] K. P. Demestichas, A. A. Koutsorodi, E. F. Adamopoulou, and M. E. Theologou, "Modeling user preferences and configuring services in b3g devices," *Wireless Networks*, vol. 14, no. 5, pp. 699–713, 2008.
 - [112] X. Haibo, T. Hui, and Z. Ping, "A novel terminal-controlled handover scheme in heterogeneous wireless networks," *Computers & electrical engineering*, vol. 36, no. 2, pp. 269–279, 2010.
 - [113] J.-M. Kang, J. Strassner, S.-s. Seo, and J. W.-K. Hong, "Autonomic personalized handover decisions for mobile services in heterogeneous wireless networks," *Computer Networks*, vol. 55, no. 7, pp. 1520–1532, 2011.

-
- [114] J.-M. Kang, S.-s. Seo, J. Strassner, and J. W.-K. Hong, "Hmntoolsuite : tool support for mobility management of mobile devices in heterogeneous mobile networks," in *Proceedings of the 14th Communications and Networking Symposium*. Society for Computer Simulation International, 2011, pp. 95–102.
 - [115] J.-M. Kang and J. W.-K. Hong, "Autonomic management for personalized handover decisions in heterogeneous wireless networks," in *IFIP International Conference on Autonomous Infrastructure, Management and Security*. Springer, 2011, pp. 57–60.
 - [116] C.-J. Huang, K.-W. Hu, I.-F. Chen, Y.-J. Chen, and H.-X. Chen, "An intelligent resource management scheme for heterogeneous wifi and wimax multi-hop relay networks," *Expert Systems with Applications*, vol. 37, no. 2, pp. 1134–1142, 2010.
 - [117] C. Çeken, S. Yarkan, and H. Arslan, "Interference aware vertical handoff decision algorithm for quality of service support in wireless heterogeneous networks," *Computer Networks*, vol. 54, no. 5, pp. 726–740, 2010.
 - [118] I. Chamodrakas and D. Martakos, "A utility-based fuzzy topsis method for energy efficient network selection in heterogeneous wireless networks," *Applied Soft Computing*, vol. 12, no. 7, pp. 1929–1938, 2012.
 - [119] T. Taleb and K. B. Letaief, "A cooperative diversity based handoff management scheme," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 9, no. 4, 2010.
 - [120] I. Vidal, J. Garcia-Reinoso, A. De la Oliva, A. Bikfalvi, and I. Soto, "Supporting mobility in an ims-based p2p iptv service : A proactive context transfer mechanism," *Computer Communications*, vol. 33, no. 14, pp. 1736–1751, 2010.
 - [121] I. Vidal, A. de la Oliva, J. Garcia-Reinoso, and I. Soto, "Trim : An architecture for transparent ims-based mobility," *Computer Networks*, vol. 55, no. 7, pp. 1474–1486, 2011.
 - [122] M. Li and K. Sandrasegaran, "A proxy based authentication localisation scheme for handover between non trust-associated domains," *ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review*, vol. 13, no. 4, pp. 47–58, 2010.
 - [123] W. He and R. Chen, "A proxy-based integrated cache consistency and mobility management scheme for client–server applications in mobile ip systems," *Journal of Parallel and Distributed Computing*, vol. 69, no. 6, pp. 559–572, 2009.

-
- [124] A. Ezzouhairi, A. Quintero, and S. Pierre, “Towards cross layer mobility support in metropolitan networks,” *Computer Communications*, vol. 33, no. 2, pp. 202–221, 2010.
 - [125] M. Alnas, I. Awan, and D. Holton, “Enhanced mobile ip handoff using link layer information,” in *Proceedings of the 11th International Conference on Information Integration and Web-based Applications & Services*. ACM, 2009, pp. 344–349.
 - [126] H.-J. Kim, J. Y. Kim, and S.-G. Choi, “A method to support multiple interfaces mobile nodes in pmipv6 domain,” in *Proceedings of the 2nd International Conference on Interaction Sciences : Information Technology, Culture and Human*. ACM, 2009, pp. 91–96.
 - [127] A. Taghizadeh and T.-C. Wan, “A network-based ip mobility scheme for fast and global handover in cellular networks,” in *Communications (APCC), 2011 17th Asia-Pacific Conference on*. IEEE, 2011, pp. 307–312.
 - [128] K. S. Munasinghe and A. Jamalipour, “A 3gpp-ims based approach for converging next generation mobile data networks,” in *Communications, 2007. ICC’07. IEEE International Conference on*. IEEE, 2007, pp. 5264–5269.
 - [129] J. Kempf, “Problem description : Reasons for performing context transfers between nodes in an ip access network,” 2002.
 - [130] U. Rathnayake, M. Ott, and A. Seneviratne, “A dbn approach for network availability prediction,” in *Proceedings of the 12th ACM international conference on Modeling, analysis and simulation of wireless and mobile systems*. ACM, 2009, pp. 181–187.
 - [131] —, “Network availability prediction with hidden context,” *Performance Evaluation*, vol. 68, no. 9, pp. 916–926, 2011.
 - [132] W. Wanalerlak, B. Lee, C. Yu, M. Kim, S.-M. Park, and W.-T. Kim, “Behavior-based mobility prediction for seamless handoffs in mobile wireless networks,” *Wireless Networks*, vol. 17, no. 3, pp. 645–658, 2011.
 - [133] T. Ali Yahiya and H. Chaouchi, “An optimized handover decision for heterogeneous wireless networks,” in *Proceedings of the 4th ACM workshop on Performance monitoring and measurement of heterogeneous wireless and wired networks*. ACM, 2009, pp. 137–142.

-
- [134] A. Sehgal, R. Agrawal *et al.*, “New handover scheme based on user profile : A comparative study,” in *Communication Software and Networks, 2010. ICCSN’10. Second International Conference on*. IEEE, 2010, pp. 18–21.
 - [135] Q.-b. Chen, Y. Liu, L. Tang, and R. Chai, “Handover algorithm based on movement state for cellular relaying networks,” in *Future Computer and Communication (ICFCC), 2010 2nd International Conference on*, vol. 3. IEEE, 2010, pp. V3–81.
 - [136] B. Wang, X. Wen, W. Zheng, and Y. Sun, “A novel optimising handover method based on user behavior,” in *Wearable Computing Systems (APWCS), 2010 Asia-Pacific Conference on*. IEEE, 2010, pp. 326–329.
 - [137] S. Murawwat, S. Ting-zhi, W. Weijang, and U. Farooq, “Mobility management with handover rate computation in wimax cellular system,” in *Computer Engineering and Technology (ICCET), 2010 2nd International Conference on*, vol. 1. IEEE, 2010, pp. V1–663.
 - [138] S. Murawwat and T. Javaid, “Speed & service based handover mechanism for cellular wimax,” in *Computer Engineering and Technology (ICCET), 2010 2nd International Conference on*, vol. 1. IEEE, 2010, pp. V1–418.
 - [139] H. Bo, C. Shanzhi, and Z. Jingjing, “A qos awareness network selection scheme for heterogeneous networks,” *Energy Procedia*, vol. 13, pp. 4875–4879, 2011.
 - [140] J. Wang, R. V. Prasad, and I. Niemegeers, “Solving the uncertainty of vertical handovers in multi-radio home networks,” *Computer Communications*, vol. 33, no. 9, pp. 1122–1132, 2010.
 - [141] F. Shi, K. Li, and Y. Shen, “Seamless handoff scheme in wi-fi and wimax heterogeneous networks,” *Future Generation Computer Systems*, vol. 26, no. 8, pp. 1403–1408, 2010.
 - [142] J. W. Mwangoka, P. Marques, and J. Rodriguez, “Cognitive mobility management in heterogeneous networks,” in *Proceedings of the 8th ACM international workshop on Mobility management and wireless access*. ACM, 2010, pp. 37–44.
 - [143] J. Mitola Iii, “Cognitive radio for flexible mobile multimedia communications,” *Mobile Networks and Applications*, vol. 6, no. 5, pp. 435–441, 2001.

-
- [144] X. Liu, X. Fang, X. Chen, and X. Peng, "A bidding model and cooperative game-based vertical handoff decision algorithm," *Journal of Network and Computer Applications*, vol. 34, no. 4, pp. 1263–1271, 2011.
- [145] A. Ismail and B.-h. Roh, "Adaptive handovers in heterogeneous networks using fuzzy madm," in *Mobile IT Convergence (ICMIC), 2011 International Conference on*. IEEE, 2011, pp. 99–104.
- [146] C.-Y. Wang, H.-Y. Huang, and R.-H. Hwang, "Mobility management in ubiquitous environments," *Personal and Ubiquitous Computing*, vol. 15, no. 3, pp. 235–251, 2011.
- [147] Z. Gao, Y. Ji, and F. Liu, "Performance analysis of cooperative handover in heterogeneous wireless networks," in *GLOBECOM Workshops (GC Wkshps), 2010 IEEE*. IEEE, 2010, pp. 191–195.
- [148] E. H. Ong and J. Y. Khan, "Cooperative radio resource management framework for future ip-based multiple radio access technologies environment," *Computer Networks*, vol. 54, no. 7, pp. 1083–1107, 2010.
- [149] A. Ahmed, L. Merghem-Boulahia, and D. Gaïti, "Cooperative agent based vertical handover scheme for heterogeneous networks," in *Telecommunications (AICT), 2010 Sixth Advanced International Conference on*. IEEE, 2010, pp. 410–415.
- [150] A. Ahmed, L. M. Boulahia, D. Gaïti, and R. R. Amoud, "Towards a knowledge-based intelligent handover in heterogeneous wireless networks," in *Local Computer Networks (LCN), 2010 IEEE 35th Conference on*. IEEE, 2010, pp. 284–287.
- [151] T. Zahariadis, K. Grüneberg, and L. Celetto, "Seamless content delivery over mobile 3g+/4g networks," *Mobile Networks and Applications*, vol. 16, no. 3, pp. 351–360, 2011.
- [152] P. Kulkarni, W. H. Chin, and T. Farnham, "Radio resource management considerations for lte femto cells," *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, vol. 40, no. 1, pp. 26–30, 2010.
- [153] R. Stankiewicz and A. Jajszczyk, "A survey of qoe assurance in converged networks," *Computer Networks*, vol. 55, no. 7, pp. 1459–1473, 2011.

-
- [154] M. W. Musa, M. Mokhtari, B. M. Ali, M. F. A. Rasid, and M. Ghorbel, "Seamless semantic service provisioning mechanism for ambient assisted living," in *Proceedings of the 8th International Conference on Advances in Mobile Computing and Multimedia*. ACM, 2010, pp. 119–125.
 - [155] J. Sen and A. Ukil, "A qos-aware end-to-end connectivity management algorithm for mobile applications," in *Proceedings of the Third Annual ACM Bangalore Conference*. ACM, 2010, p. 4.
 - [156] "Ieee standard for local and metropolitan area networks - part 21 : Media independent handover services amendment 2 : Extension for supporting handovers with downlink only technologies," *IEEE Std 802.21b-2012 (Amendment to IEEE Std 802.21-2008 as amended by 802.21a-2012)*, pp. 1–40, May 2012.
 - [157] T. Melia, G. Bajko, S. Das, N. Golmie, and J. Zuniga, "Mobility services framework design (msfd)," *draft-ietf-mipshop-mstp-solution-09. txt (Work in Progress)*, 2008.
 - [158] D. Corujo, M. Lebre, D. Gomes, and R. Aguiar, "Mindit : A framework for media independent access to things," *Computer Communications*, vol. 35, no. 15, pp. 1772–1785, 2012.
 - [159] Y. Kim, S. Pack, C. G. Kang, and S. Park, "An enhanced information server for seamless vertical handover in ieee 802.21 mih networks," *Computer Networks*, vol. 55, no. 1, pp. 147–158, 2011.
 - [160] P. Neves, J. Soares, S. Sargento, H. Pires, and F. Fontes, "Context-aware media independent information server for optimized seamless handover procedures," *Computer Networks*, vol. 55, no. 7, pp. 1498–1519, 2011.
 - [161] J. J. J. Roy, V. Vaidehi, and M. Sricharan, "Qos guaranteed integration methodology for a wlan-wimax heterogeneous network," *Computers & Electrical Engineering*, vol. 37, no. 3, pp. 261–274, 2011.
 - [162] S. Frei, W. Fuhrmann, A. Rinkel, and B. V. Ghita, "Improvements to inter system handover in the epc environment," in *New Technologies, Mobility and Security (NTMS), 2011 4th IFIP International Conference on*. IEEE, 2011, pp. 1–5.

-
- [163] W. Lee and D.-H. Cho, "Enhanced group handover scheme in multiaccess networks," *IEEE transactions on vehicular technology*, vol. 60, no. 5, pp. 2389–2395, 2011.
 - [164] R. Rouil, N. Golmie, and N. Montavont, "Media independent handover transport using cross-layer optimized stream control transmission protocol," *Computer Communications*, vol. 33, no. 9, pp. 1075–1085, 2010.
 - [165] G.-n. Kou, Y.-l. Tang, and Y. Jiang, "A novel scheme of vertical handover for ip multimedia subsystem," in *Advanced Computer Control (ICACC), 2010 2nd International Conference on*, vol. 1. IEEE, 2010, pp. 30–33.
 - [166] C.-P. Lin, H.-L. Chen, and J.-S. Leu, "A predictive handover scheme to improve service quality in the ieee 802.21 network," *Computers & Electrical Engineering*, vol. 38, no. 3, pp. 681–693, 2012.
 - [167] J.-Y. Baek, D.-J. Kim, Y.-J. Suh, E.-S. Hwang, and Y.-D. Chung, "Network-initiated handover based on ieee 802.21 framework for qos service continuity in umts/802.16 e networks," in *Vehicular Technology Conference, 2008. VTC Spring 2008. IEEE*. IEEE, 2008, pp. 2157–2161.
 - [168] J. Fu, H. Ji, and X. Li, "User-adaptive vertical handover scheme based on mih for heterogeneous wireless networks," in *Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, 2009. WiCom'09. 5th International Conference on*. IEEE, 2009, pp. 1–4.
 - [169] M. Fiterău, O. Ormond, and G.-M. Muntean, "Performance of handover for multiple users in heterogeneous wireless networks," in *Local Computer Networks, 2009. LCN 2009. IEEE 34th Conference on*. IEEE, 2009, pp. 257–260.
 - [170] W. C. Andi, C. K. Yeo, and B. S. Lee, "Environment-aware qos framework for multi-interface terminal," *Computer Communications*, vol. 33, no. 9, pp. 1049–1055, 2010.
 - [171] T. A. Yahiya, G. Pujolle, and A.-L. Beylot, "An autonomic-oriented framework based ieee 802.21 for mobility management in 4g networks," *ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review*, vol. 15, no. 1, pp. 37–51, 2011.
 - [172] A. Ahmed, L. Merghem-Boulahia, and D. Gaïti, "An intelligent agent-based scheme for vertical handover management across heterogeneous networks," *annals of telecommunications-Annales des telecommunications*, vol. 66, no. 9-10, pp. 583–602, 2011.

-
- [173] M. Ficco, R. Pietrantuono, and S. Russo, "Supporting ubiquitous location information in interworking 3g and wireless networks," *Communications of the ACM*, vol. 53, no. 11, pp. 116–123, 2010.
- [174] Z. Han, *Game theory in wireless and communication networks : theory, models, and applications*. Cambridge University Press, 2012.
- [175] K. Akkarajitsakul, E. Hossain, D. Niyato, and D. I. Kim, "Game theoretic approaches for multiple access in wireless networks : A survey," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 13, no. 3, pp. 372–395, 2011.
- [176] L. Wang and G.-S. G. Kuo, "Mathematical modeling for network selection in heterogeneous wireless networks-a tutorial," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 15, no. 1, pp. 271–292, 2013.
- [177] D. Niyato and E. Hossain, "Dynamics of network selection in heterogeneous wireless networks : An evolutionary game approach," *IEEE transactions on vehicular technology*, vol. 58, no. 4, pp. 2008–2017, 2009.
- [178] S. Vassaki, A. D. Panagopoulos, and P. Constantinou, "Bandwidth allocation in wireless access networks : Bankruptcy game vs cooperative game," in *Ultra Modern Telecommunications & Workshops, 2009. ICUMT'09. International Conference on*. IEEE, 2009, pp. 1–4.
- [179] J. Antoniou, V. Papadopoulou, V. Vassiliou, and A. Pitsillides, "Cooperative user–network interactions in next generation communication networks," *Computer Networks*, vol. 54, no. 13, pp. 2239–2255, 2010.
- [180] R. Trestian, O. Ormond, and G.-M. Muntean, "Reputation-based network selection mechanism using game theory," *Physical Communication*, vol. 4, no. 3, pp. 156–171, 2011.
- [181] D. Niyato and E. Hossain, "A cooperative game framework for bandwidth allocation in 4g heterogeneous wireless networks," in *Communications, 2006. ICC'06. IEEE International Conference on*, vol. 9. IEEE, 2006, pp. 4357–4362.
- [182] J. Antoniou, I. Kourkoutsidis, E. Jaho, A. Pitsillides, and I. Stavrakakis, "Access network synthesis game in next generation networks," *Computer Networks*, vol. 53, no. 15, pp. 2716–2726, 2009.

-
- [183] M. A. Khan, A. C. Toker, C. Troung, F. Sivrikaya, and S. Albayrak, "Cooperative game theoretic approach to integrated bandwidth sharing and allocation," in *Game Theory for Networks, 2009. GameNets' 09. International Conference on*. IEEE, 2009, pp. 1–9.
 - [184] K. Zhu, D. Niyato, and P. Wang, "Network selection in heterogeneous wireless networks : Evolution with incomplete information," in *Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), 2010 IEEE*. IEEE, 2010, pp. 1–6.
 - [185] M. Cesana, N. Gatti, and I. Malanchini, "Game theoretic analysis of wireless access network selection : models, inefficiency bounds, and algorithms," in *Proceedings of the 3rd International Conference on Performance Evaluation Methodologies and Tools*. ICST (Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering), 2008, p. 6.
 - [186] M. A. Khan, U. Toseef, S. Marx, and C. Goerg, "Game-theory based user centric network selection with media independent handover services and flow management," in *Communication Networks and Services Research Conference (CNSR), 2010 Eighth Annual*. IEEE, 2010, pp. 248–255.
 - [187] —, "Auction based interface selection with media independent handover services and flow management," in *Wireless Conference (EW), 2010 European*. IEEE, 2010, pp. 429–436.
 - [188] K. Radhika and A. Reddy, "Vertical handoff decision using game theory approach for multi-mode mobile terminals in next generation wireless networks," *International Journal of Computer Applications*, vol. 36, no. 11, pp. 31–37, 2011.
 - [189] M. Cesana, I. Malanchini, and A. Capone, "Modelling network selection and resource allocation in wireless access networks with non-cooperative games," in *Mobile Ad Hoc and Sensor Systems, 2008. MASS 2008. 5th IEEE International Conference on*. IEEE, 2008, pp. 404–409.
 - [190] D. E. Charilas, A. D. Panagopoulos, P. Vlacheas, O. I. Markaki, and P. Constantinou, "Congestion avoidance control through non-cooperative games between customers and service providers," *Mobile Lightweight Wireless Systems*, pp. 53–62, 2009.

-
- [191] D. Niyato and E. Hossain, "A noncooperative game-theoretic framework for radio resource management in 4g heterogeneous wireless access networks," *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 7, no. 3, pp. 332–345, 2008.
- [192] J. Antoniou and A. Pitsillides, "4g converged environment : Modeling network selection as a game," in *Mobile and Wireless Communications Summit, 2007. 16th IST*. IEEE, 2007, pp. 1–5.
- [193] V. Gajić, J. Huang, B. Rimoldi *et al.*, "Competition of wireless providers for atomic users : Equilibrium and social optimality," in *Communication, Control, and Computing, 2009. Allerton 2009. 47th Annual Allerton Conference on*. IEEE, 2009, pp. 1203–1210.
- [194] M. S. Z. Khan, S. Alam, and M. R. H. Khan, "A network selection mechanism for fourth generation communication networks," *Journal of Advances in Information Technology*, vol. 1, no. 4, pp. 189–196, 2010.
- [195] D. E. Charilas, O. I. Markaki, and P. T. Vlacheas, "Admission control as a non-cooperative multi-stage game between wireless networks," in *Systems, Signals and Image Processing, 2009. IWSSIP 2009. 16th International Conference on*. IEEE, 2009, pp. 1–5.
- [196] W. K. Lai and J. C. Chiu, "Improving handoff performance in wireless overlay networks by switching between two-layer ipv6 and one-layer ipv6 addressing," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 23, no. 11, pp. 2129–2137, Nov 2005.
- [197] G. Chandrasekaran, T. Vu, A. Varshavsky, M. Gruteser, R. P. Martin, J. Yang, and Y. Chen, "Tracking vehicular speed variations by warping mobile phone signal strengths," in *Pervasive Computing and Communications (PerCom), 2011 IEEE International Conference on*. IEEE, 2011, pp. 213–221.
- [198] Y. R. Zheng and C. Xiao, "Mobile speed estimation for broadband wireless communications over rician fading channels," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 8, no. 1, pp. 1–5, 2009.
- [199] G. Azemi, B. Senadji, and B. Boashash, "Mobile unit velocity estimation based on the instantaneous frequency of the received signal," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 53, no. 3, pp. 716–724, 2004.

-
- [200] J.-Y. Zhang, Z.-H. Tan, Z.-D. Zhong, and Y. Kong, "A multi-mode multi-band and multi-system-based access architecture for high-speed railways," in *Vehicular Technology Conference Fall (VTC 2010-Fall)*, 2010 IEEE 72nd. IEEE, 2010, pp. 1–5.
 - [201] V. Sharma, A. Agarwal, and M. A. Qadeer, "Media independent handover (ieee 802.21) : Framework for next generation vertical handover protocols," in *2011 International Conference on Computational Intelligence and Communication Networks*, Oct 2011, pp. 507–511.
 - [202] K. Taniuchi, Y. Ohba, V. Fajardo, S. Das, M. Tauil, Y. H. Cheng, A. Dutta, D. Baker, M. Yajnik, and D. Famolari, "Ieee 802.21 : Media independent handover : Features, applicability, and realization," *IEEE Communications Magazine*, vol. 47, no. 1, pp. 112–120, January 2009.
 - [203] C. J. Bernardos, M. Gramaglia, L. M. Contreras, M. Calderon, and I. Soto, "Network-based localized ip mobility management : Proxy mobile ipv6 and current trends in standardization," *Journal of Wireless Mobile Networks, Ubiquitous Computing, and Dependable Applications (JoWUA)(Special issue : Advances in Wireless Mobile and Sensor Technologies)*, vol. 1, no. 2/3, pp. 16–35, 2010.
 - [204] K. E. Baddour and N. C. Beaulieu, "Robust doppler spread estimation in nonisotropic fading channels," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 4, no. 6, pp. 2677–2682, 2005.
 - [205] A. Merwaday and I. Güvenç, "Handover count based velocity estimation and mobility state detection in dense hetnets," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 15, no. 7, pp. 4673–4688, 2016.
 - [206] A. Merwaday, I. Güvenç, W. Saad, A. Mehbodniya, and F. Adachi, "Sojourn time-based velocity estimation in small cell poisson networks," *IEEE Communications Letters*, vol. 20, no. 2, pp. 340–343, 2016.
 - [207] A. Merwaday and I. Guvenc, "Specific velocity estimation of wireless network devices," Feb. 28 2017, uS Patent 9,584,976.
 - [208] R. Arshad, H. ElSawy, S. Sorour, T. Y. Al-Naffouri, and M.-S. Alouini, "Velocity-aware handover management in two-tier cellular networks," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 16, no. 3, pp. 1851–1867, 2017.

-
- [209] R. Zhang, M. Wu, and Y. Zhang, "Analysis of handover trigger scheme based on distance for lte high-speed railway networks," *TELKOMNIKA (Telecommunication Computing Electronics and Control)*, vol. 14, no. 1, pp. 129–135, 2016.
 - [210] Y. Yang, P. Yu, and W. Li, "Handover self-optimization mechanism based on velocity for cellular networks," in *Communications and Networking in China (CHINACOM), 2012 7th International ICST Conference on*. IEEE, 2012, pp. 606–610.
 - [211] P. Xu, X. Fang, R. He, and Z. Xiang, "An efficient handoff algorithm based on received signal strength and wireless transmission loss in hierarchical cell networks," *Telecommunication Systems*, pp. 1–9, 2013.
 - [212] A. Jain and S. Tokekar, "Optimization of vertical handoff in umts_wlan heterogeneous networks," in *Emerging Trends in Communication, Control, Signal Processing & Computing Applications (C2SPCA), 2013 International Conference on*. IEEE, 2013, pp. 1–5.
 - [213] N. Sinclair, D. Harle, I. A. Glover, J. Irvine, and R. C. Atkinson, "An advanced som algorithm applied to handover management within lte," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 62, no. 5, pp. 1883–1894, 2013.
 - [214] J. Park and Y. Lim, "A handover prediction model and its application to link layer triggers for fast handover," *Wireless personal communications*, vol. 52, no. 3, pp. 501–516, 2010.
 - [215] A. Roy, J. Shin, and N. Saxena, "Multi-objective handover in lte macro/femto-cell networks," *Journal of Communications and Networks*, vol. 14, no. 5, pp. 578–587, 2012.
 - [216] J. Shi, J. Wu, A. Paul, L. Jiao, and M. Gong, "Change detection in synthetic aperture radar images based on fuzzy active contour models and genetic algorithms," *Mathematical Problems in Engineering*, vol. 2014, 2014.
 - [217] L. A. Magagula and H. A. Chan, "Ieee 802.21-assisted cross-layer design and pmipv6 mobility management framework for next generation wireless networks," in *Networking and Communications, 2008. WIMOB'08. IEEE International Conference on Wireless and Mobile Computing*,. IEEE, 2008, pp. 159–164.
 - [218] S. Gundavelli, K. Leung, V. Devarapalli, K. Chowdhury, and B. Patil, "Proxy mobile ipv6," Tech. Rep., 2008.

-
- [219] K.-S. Kong, W. Lee, Y.-H. Han, M.-K. Shin, and H. You, "Mobility management for all-ip mobile networks : mobile ipv6 vs. proxy mobile ipv6," *IEEE Wireless communications*, vol. 15, no. 2, pp. 36–45, 2008.
 - [220] C. Luo, P. Casaseca-de-la Higuera, S. McClean, G. Parr, and C. Grecos, "Analysis of coloured noise in received signal strength using the allan variance," in *2014 22nd European Signal Processing Conference (EUSIPCO)*. IEEE, 2014, pp. 994–998.
 - [221] "Ieee standard definitions of physical quantities for fundamental frequency and time metrology—random instabilities," *IEEE Std Std 1139-2008*, pp. c1–35, Feb 2008.
 - [222] P. Lesage and T. Ayi, "Characterization of frequency stability : analysis of the modified allan variance and properties of its estimate," *IEEE transactions on instrumentation and measurement*, vol. 33, no. 4, pp. 332–336, 1984.
 - [223] T. S. Rappaport *et al.*, *Wireless communications : principles and practice*. Prentice Hall PTR New Jersey, 1996, vol. 2.
 - [224] J. G. Andrews, S. Buzzi, W. Choi, S. V. Hanly, A. Lozano, A. C. K. Soong, and J. C. Zhang, "What will 5g be?" *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 32, no. 6, pp. 1065–1082, June 2014.
 - [225] I. Chih-Lin, C. Rowell, S. Han, Z. Xu, G. Li, and Z. Pan, "Toward green and soft : a 5g perspective," *IEEE Communications Magazine*, vol. 52, no. 2, pp. 66–73, 2014.
 - [226] M. N. Sial and J. Ahmed, "Analysis of k-tier 5g heterogeneous cellular network with dual-connectivity and uplink–downlink decoupled access," *Telecommunication Systems*, pp. 1–17, 2017.
 - [227] M. Kamel, W. Hamouda, and A. Youssef, "Ultra-dense networks : A survey," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 18, no. 4, pp. 2522–2545, 2016.
 - [228] H. Elshaer, F. Boccardi, M. Dohler, and R. Irmer, "Downlink and uplink decoupling : A disruptive architectural design for 5g networks," in *Global Communications Conference (GLOBECOM), 2014 IEEE*. IEEE, 2014, pp. 1798–1803.
 - [229] F. Boccardi, J. Andrews, H. Elshaer, M. Dohler, S. Parkvall, P. Popovski, and S. Singh, "Why to decouple the uplink and downlink in cellular networks and how to do it," *IEEE Communications Magazine*, vol. 54, no. 3, pp. 110–117, 2016.

-
- [230] S. Singh, X. Zhang, and J. G. Andrews, "Joint rate and sinr coverage analysis for decoupled uplink-downlink biased cell associations in hetnets," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 14, no. 10, pp. 5360–5373, 2015.
 - [231] G. F. Riley and T. R. Henderson, "The ns-3 network simulator," in *Modeling and tools for network simulation*. Springer, 2010, pp. 15–34.
 - [232] V. Naghshin, M. C. Reed, and Y. Liu, "Decoupled uplink-downlink association for finite multi-tier networks," in *Communication Workshop (ICCW), 2015 IEEE International Conference on*. IEEE, 2015, pp. 2593–2598.
 - [233] F. Muhammad, Z. H. Abbas, G. Abbas, and L. Jiao, "Decoupled downlink-uplink coverage analysis with interference management for enriched heterogeneous cellular networks," *IEEE Access*, vol. 4, pp. 6250–6260, 2016.
 - [234] L. Zhang, W. Nie, G. Feng, F.-C. Zheng, and S. Qin, "Uplink performance improvement by decoupling uplink/downlink access in hetnets," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 66, no. 8, pp. 6862–6876, 2017.
 - [235] Q. Liao, D. Aziz, and S. Stanczak, "Dynamic joint uplink and downlink optimization for uplink and downlink decoupling-enabled 5g heterogeneous networks," *arXiv preprint arXiv :1607.05459*, 2016.
 - [236] H. Boostanimehr and V. K. Bhargava, "Joint downlink and uplink aware cell association in hetnets with qos provisioning," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 14, no. 10, pp. 5388–5401, 2015.
 - [237] T. Zhou, Y. Huang, and L. Yang, "User association with jointly maximising downlink sum rate and minimising uplink sum power for heterogeneous cellular networks," *IET Communications*, vol. 9, no. 2, pp. 300–308, 2015.
 - [238] O. Semiari, W. Saad, S. Valentin, M. Bennis, and B. Maham, "Matching theory for priority-based cell association in the downlink of wireless small cell networks," in *Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), 2014 IEEE International Conference on*. IEEE, 2014, pp. 444–448.
 - [239] T. LeAnh, N. H. Tran, W. Saad, L. B. Le, D. Niyato, T. M. Ho, and C. S. Hong, "Matching theory for distributed user association and resource allocation in cognitive femtocell

-
- networks,” *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 66, no. 9, pp. 8413–8428, 2017.
- [240] L. Gao, L. Duan, and J. Huang, “Two-sided matching based cooperative spectrum sharing,” *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 16, no. 2, pp. 538–551, 2017.
- [241] Y. Gu, W. Saad, M. Bennis, M. Debbah, and Z. Han, “Matching theory for future wireless networks : fundamentals and applications,” *IEEE Communications Magazine*, vol. 53, no. 5, pp. 52–59, 2015.
- [242] S. Sekander, H. Tabassum, and E. Hossain, “Decoupled uplink-downlink user association in multi-tier full-duplex cellular networks : A two-sided matching game,” *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 2016.
- [243] A. E. Roth and M. Sotomayor, “Two-sided matching,” *Handbook of game theory with economic applications*, vol. 1, pp. 485–541, 1992.

ANNEXE A : LES SERVICES SUPPORTÉ PAR DES ENTITÉS DU MIH

Le MIHF fournit "media independent event service", "media independent command service" support et "media independent information service" qui facilitent les transferts sur des réseaux hétérogènes. La section 3.2.1 fournit une description générale de ces services. Ces services sont gérés et configurés via des primitives de gestion de service, comme indiqué par les tableaux.5.1,

Media independent event service

TABLE 5.1 – Les événement de lien

Link event name	Link eventtype	Description
Link_Detected	Changement d'état	Le lien d'un nouveau réseau d'accès a été détecté. Cet événement est généralement généré sur le MN lorsque le premier PoA d'un réseau d'accès est détecté. Cet événement n'est pas généré lors de la découverte des PoA suivants du même réseau d'accès.
Link_Up	Changement d'état	La connexion L2 est établie et le lien est disponible pour l'utilisation. Cet événement est un événement discret.
Link_Down	Changement d'état	La connexion L2 est rompue et le lien n'est pas disponible pour l'utilisation. Cet événement est un événement discret.
Link_Parameters_Report	Paramètres de lien	Les paramètres de liaison ont franchi des seuils prédéfinis.
Link_Going_Down	Prédictif	Les conditions de liaison se dégradent et la perte de connexion est imminente.
Link_Handover_Imminent	Transfert de lien.	Le transfert L2 est imminent en fonction des changements dans les conditions de liaison.
Link_Handover_Complete	Transfert de lien.	Le transfert de liaison L2 vers un nouveau PoA a été achevé.
Link_PDU_Transmit_Status	Lien de transmission.	Indiquer l'état de transmission d'une PDU.

TABLE 5.2 – Les événement MIH

Nom de l'événement MIH	(L)ocal (D)istant	Description
MIH_Link_Detected	L,D	Le lien d'un nouveau réseau d'accès a été détecté. Cet événement est généralement généré sur le MN lorsque le premier PoA d'un réseau d'accès est détecté. Cet événement n'est pas généré lors de la découverte des PoA suivants du même réseau d'accès.
MIH_Link_Up	L,D	La connexion L2 est établie et le lien est disponible pour l'utilisation. Cet événement est un événement discret.
MIH_Link_Down	L,D	La connexion L2 est rompue et le lien n'est pas disponible pour l'utilisation. Cet événement est un événement discret.
MIH_Link_Parameters_Report	L,D	Les paramètres de lien ont franchi un seuil spécifié et doivent être signalés.
MIH_Link_Going_Down	L,D	Les conditions de liaison se dégradent et la perte de connexion est imminente.
MIH_Link_Handover_Imminent	L,D	Le transfert L2 est imminent en fonction soit des changements dans les conditions de liaison, soit des informations supplémentaires disponibles sur le réseau. Par exemple, le réseau décide qu'une application nécessite une qualité de service spécifique qui peut être mieux fournie par une certaine technologie d'accès.
MIH_Link_Handover_Complete	L,D	Le transfert de liaison L2 vers un nouveau PoA a été achevé.
MIH_Link_PDU_Transmit_Status	L	Indiquer l'état de transmission d'une PDU.

Media independent command service

TABLE 5.3 – Les commandes de lien

Commande de liaison	Description
Link_Capability_Discover	Interrogez et découvrez la liste des événements de couche liaison pris en charge et les commandes de couche Liaison.
Link_Event_Subscribe	Abonnez-vous à un ou plusieurs événements à partir d'un lien.
Link_Event_Unsubscribe	Se désabonner d'un ensemble d'événements de couche liaison.
Link_Get_Parameters	Obtenir les paramètres mesurés par le lien actif, tels que le rapport signal sur bruit (SNR), le BER, l'indication de l'intensité du signal reçu (RSSI).
Link_Configure_Thresholds	Configurez les seuils pour l'événement de rapport des paramètres de liaison.
Link_Action	Demander une action sur une connexion de couche liaison.

TABLE 5.4 – Les commandes MIH

Command MIH	(L)ocal (D)istant	Description
MIH_Link_Get_Parameters	L,D	Obtenez le statut d'un lien.
MIH_Link_Configure_Thresholds	L,D	Configurez les seuils des paramètres de liaison.
MIH_Link_Actions	L,D	Contrôler le comportement d'un ensemble de liens.
MIH_Net_HO_Candidate_Query	D	Le réseau lance le transfert et envoie une liste de réseaux suggérés et de points de rattachement associés.
MIH_MN_HO_Candidate_Query	D	Commande utilisée par MN pour interroger et obtenir transfert des informations connexes sur les possibles réseaux candidats.
MIH_N2N_HO_Query_Resources	D	Cette commande est envoyée par l'entité MIHF desservante à l'entité MIHF cible pour permettre la requête de ressources.
MIH_MN_HO_Commit	D	Commande utilisée par MN pour notifier au réseau de desserte les informations de réseau cible décidées
MIH_Net_HO_Commit	D	.Commande utilisée par le réseau pour notifier le MN des informations de réseau cible décidées.
MIH_N2N_HO_Commit	D	Commande utilisée par un réseau serveur pour informer un réseau cible qu'un MN est sur le point de se déplacer vers ce réseau, lancer le transfert de contexte (le cas échéant) et effectuer une préparation de transfert
MIH_MN_HO_Complete	D	.Notification de MIHF du MN à la MIHF cible ou source indiquant l'état d'achèvement du transfert.
MIH_N2N_HO_Complete	D	Notification de MIHF source ou cible à l'autre MIHF (c'est-à-dire pair) indiquant la état de l'achèvement du transfert.

Service access points (SAPs) and primitives

TABLE 5.5 – Les primitives MIH_link_SAP

Primitives	Catégorie du service	Description
Link_Detected	Evenement	Un nouveau lien est détecté.
Link_Up	Evenement	La connectivité L2 est établie.
Link_Down	Evenement	La connectivité L2 est perdue.
Link_Parameters_Report	Evenement	Les paramètres de liaison ont franchi des seuils spécifiés.
Link_Going_Down	Evenement	La perte de connectivité L2 est imminente.
Link_Handover_Imminent	Evenement	Le transfert de L2 est imminent.
Link_Handover_Complete	Evenement	La remise de L2 a été complétée.
Link_PDU_Transmit_Status	Evenement	Indiquer l'état de transmission d'une PDU.
Link_Capability_Discover	Command	Interrogez et découvrez la liste des événements de couche liaison pris en charge et des commandes de couche liaison.
Link_Event_Subscribe	Command	Abonnez-vous aux notifications d'événements.
Link_Event_Unsubscribe	Command	Se désabonner des notifications d'événements.
Link_Get_Parameters	Command	Demande de paramètres du support
Link_Configure_Thresholds	Command	Configurez les seuils de liaison pour les événements de liaison
Link_Action	Command	Demander une action sur une connexion de couche liaison.

TABLE 5.6 – Les primitives MIH_NET_SAP

Primitive	Category du service	Description
MIH_TP_Data	Communication reseaux	Cette primitive est utilisée pour le transfert de données

TABLE 5.7 – Les primitives MIH_SAP

Primitives	Categorie du service	Description
MIH_Capability_Discover	management	Découvrez la liste des événements et des commandes pris en charge par MIHF.
MIH_Register	management	Inscrivez-vous avec un MIHF distant.
MIH_DeRegister	management	Désinscrivez-vous avec un MIHF distant.
MIH_Event_Subscribe	Service management	Abonnez-vous aux notifications d'événements MIH.
MIH_Event_Unsubscribe	Service management	Se désabonner des notifications d'événements MIH.
MIH_Link_Detected	Evenement	Un nouveau lien est détecté.
MIH_Link_Up	Evenement	La connexion L2 a été établie.
MIH_Link_Down	Evenement	La connectivité L2 est perdue.
MIH_Link_Parameters_Report	Evenement	Les paramètres de liaison ont franchi le seuil spécifié.
MIH_Link_Going_Down	Evenement	La connectivité L2 devrait diminuer.
MIH_Link_Handover_Imminent	Evenement	Le transfert de L2 est imminent.
MIH_Link_Handover_Complete	Evenement	La remise de L2 a été complétée.
MIH_Link_PDU_Transmit_Status	Evenement	Indiquer l'état de transmission d'une PDU.
MIH_Link_Get_Parameters	Command	Obtenir le statut du lien
MIH_Link_Configure_Thresholds	Commande	Configurez les seuils des paramètres de liaison.
MIH_Link_Actions	Commande	Contrôler le comportement d'un ensemble de liens.
MIH_Net_HO_Candidate_Query	Commande	Initier le transfert.
MIH_MN_HO_Candidate_Query	Commande	Lancer une requête d'interrogation MN pour le réseau candidat.
MIH_N2N_HO_Query_Resources	Commande	Interrogez les ressources réseau disponibles.
MIH_MN_HO_Commit	Commande	Notifiez le réseau de desserte des informations de réseau cible décidées.
MIH_Net_HO_Commit	Commande	Le réseau s'est engagé à le transférer.
MIH_N2N_HO_Commit	Commande	Notifier le réseau cible que le réseau de desserte s'est engagé à transférer.
MIH_MN_HO_Complete	Commande	Lancer la notification complète de transfert MN.
MIH_N2N_HO_Complete	Commande	La remise a été complétée.
MIH_Get_Information	Information	Demande d'obtention d'informations du référentiel.
MIH_Push_Information	Information	Avertissez le nœud mobile des stratégies de l'opérateur ou d'autres informations.

Résumé

La communication mobile sans fil a connu une croissance exponentielle au cours de la décennie écoulée, stimulée par l'abondance et la multiplication des appareils intelligents. Il y a un énorme consensus dans l'industrie du sans-fil selon lequel cette tendance est prévue. Pour répondre à ce développement remarquable dans le trafic mobile, le concept de réseaux sans fil hétérogènes avec une densification des stations de base a été introduit. Les réseaux hétérogènes sans fil déploient une combinaison de macro-cellules et de haute densité de petites cellules avec un objectif d'acheminer le système plus près des clients finaux. Dans ce contexte, afin de garantir l'accessibilité des services réseau à ses utilisateurs en tout lieu et à tout moment, il est nécessaire de décider du quand et du où un utilisateur demandera un réseau. En d'autres termes, il est nécessaire d'optimiser le processus de Handover.

Les principaux problèmes liés à l'organisation efficace du processus de Handover dans les réseaux hétérogènes sans fil sont la gestion du déclenchement et la sélection du réseau. Par conséquent, il est fondamental d'adopter un arrangement compétent et total qui garantit une meilleure fourniture de qualité de services. Dans cette thèse, l'amélioration de la procédure de Handover pour l'équipement de l'utilisateur sans fil est modélisée en tant que système de gestion qui définit un nouveau concept de déclenchement et le matching-game pour la sélection du réseau. Les performances de ce système sont évaluées par le biais du simulateur réseau-3 fusionné avec le standard IEEE 802.21 et le protocole de mobilité IPv6.

Mots-clés : Les réseaux hétérogènes sans fil, Liaison descendante/liaison montante découplée, matching-game, Sélection de réseau, NS-3