

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبي بكر بلقايد - تلمسان

Université Aboubakr Belkaïd - Tlemcen -

Faculté de TECHNOLOGIE



THESE

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

En : Télécommunications

Par : HACHEMI Mohammed Hicham

Sujet

**Etudes et modélisation des performances des réseaux
LTE/LTE-A: vers le Handover**

Soutenue publiquement, le 01 Juillet 2017, devant le jury composé de :

Mr KAMECHE Samir	MCA	Univ. Tlemcen	Président
Mr. FEHAM Mohammed	Professeur	Univ. Tlemcen	Directeur de thèse
Mr ALIPACHA Adda	Professeur	USTO	Examineur
Mr KECHE Mokhtar	Professeur	USTO	Examineur
Mr BOUACHA Abdelhafid	MCA	Univ. Tlemcen	Examineur

بسم الله الرحمن الرحيم والصلاة والسلام على أشرف المرسلين سيدنا محمد وعلى آله وصحبه ومن تبعه بإحسان إلى يوم الدين أما بعد

À mes très chers parents qui ont toujours été là pour moi,
un magnifique modèle de labeur, de patience, d'amour
et de persévérance que j'ai pu avoir en héritage.

À ma femme qui n'a jamais cessé
de me soutenir et de m'encourager.

À mon future garçon qui ma donner le courage
de finir cette thèse le plus tôt possible.

À mes frères, mes belles sœurs et leurs enfants
qu'ALLAH vous protège et vous bénisse.

À tous ce qui ont participé de près
ou de loin dans ce travail.

Qu'ALLAH nous apprenne ce qui est bénéfique
pour nous et nous aides à le transmettre.

Hicham

« Les petits ruisseaux font les grandes rivières »

Antoine Furetière

Remerciements

Louange à ALLAH le tout puissant, que ce travail s'est achevé.

Mes remerciements vont à mon directeur de thèse, le professeur FEHAM Mohammed de m'avoir donné le privilège d'intégrer le laboratoire de recherches « Systèmes et Technologies de l'Information et de la Communication – STIC », cela m'a permis par la suite de découvrir, de connaître et de collaborer avec ces membres. Ses qualités humaines, pédagogiques, sa ponctualité, et ses nombreux conseils m'ont apporté un encadrement déterminant pour réaliser ce travail.

Je tiens à remercier particulièrement le professeur SENOUCI Sidi Mohammed pour son hospitalité, sa gentillesse et sa qualité scientifique durant mon stage à l'Institut Supérieur de l'Automobile et des Transports – L'ISAT. Ces remarques m'ont vraiment beaucoup aidé sur tous les plans, pédagogiques et scientifiques. Ces pertinents conseils que j'ai retenus, vont sûrement m'aider de mon avenir professionnel.

Je tiens aussi à remercier Dr. HADJILA Mourad pour son aide précieuse, sa gentillesse, ces encouragements et sa qualité scientifique.

J'aimerais exprimer ma reconnaissance envers les membres du jury, qui ont accepté de juger ce travail, Dr. KAMECHE Samir d'avoir accepté de présider le jury, professeur ALIPACHA Adda, professeur KECHE Mokhtar et Dr. BOUACHA Abdelhafid d'en être les examinateurs.

Je remercie également tous les personnels des deux unités STIC et ISAT, qui m'ont aidé à accomplir mon travail dans de bonnes conditions et de complicité.

Résumé

L'arrivée sur le marché High-Tech des premiers équipements à très haut débit comme les téléphones intelligents (smartphones) puis les tablettes ont astreint les opérateurs à pousser l'organisme de normalisation des systèmes mobiles à l'idée d'une nouvelle technologie plus performante que la 3G. En effet, au sein du groupe 3GPP (3rd Generation Partnership Project), les études ont commencé en novembre 2004, donnant naissance sur ce qui a été appelé "LTE" (Long Term Evolution). Face à la progression fulgurante d'échanges de données, particulièrement l'audio-visuel en mobilité, la vision à long terme n'allait pas rester aussi longtemps. Déclenchant ainsi une initiative pour la mise de disposition d'une meilleure prestation, que ce soit en termes de débits disponibles ou en termes de temps de réponse afin d'accéder aux applications. La technologie LTE-A (Advanced) ou bien la 4G éprouve déjà un succès commercial énorme. Avec l'évolution, la surcharge des usagers mobiles sur la macrocellule et l'insuffisance spectrale pour couvrir les zones intérieures (indoor coverage) ont conduit la 3GPP à déployé des petites cellules à faible puissance de transmission, connu sous le nom "femtocell". Certes l'efficacité spectrale a été améliorée et la couverture à l'intérieure a été aussi étendue, mais ce nouveau concept cause des perturbations au niveau de la gestion de la mobilité, il est donc important d'expliquer en premier lieu les principes de la LTE et la gestion de la mobilité dans l'ensemble. À cet effet, la gestion de la mobilité sur ce nouveau mode de radio mobile reste toujours un sujet d'actualité. Dans ce contexte, cette thèse a pour objectif de traiter ce problème qui peut causer le déclenchement d'un/des handover(s) inutile(s) ou en retard et qui dépend de rapports spécifiques, essentiellement des signaux RSRP (Reference Signal Received Power) et SINR (Signal-to-Interference and Noise Ratio). Nous concevons deux approches basées sur la méthode de détection d'énergie utilisée dans la radio cognitive combinée avec un processus de prédiction afin de pronostiquer l'impact du handover et de prendre la bonne décision parmi les signaux détectés. Autrement dit, le sens technique du mot "déclenchement" sera remplacé sous le terme de "probabilité de détection". La première approche utilise le filtre adaptatif traditionnel LMS (Least Mean Square), appelé aussi FSS-LMS (Fixed Step-Size LMS). Tandis que la seconde utilise l'algorithme LMS à pas variable, une version améliorée de la première contribution lorsque les conditions de la mobilité des usagers sont près de la zone de couverture d'une cellule femto. Nos deux solutions proposées ont toutes été validées par des simulations dans la plateforme Matlab, et ont toutes apporté une amélioration par rapport aux approches classiques.

Mots clés : LTE/LTE-A, modèle de propagation, handover, filtres adaptatifs, FSS-LMS, VSS-LMS, détection d'énergie.

Abstract

The arrival on the High-Tech market of the first equipments with very high throughput such as a Smartphone then tablets, have shaken the operators to push the mobile device standards organization to the idea of a new technology much more efficient than 3G. Indeed, within 3GPP Group (3rd Generation Partnership Project), the studies began in November 2004, giving birth on what which been called "LTE" (Long Term Evolution). Faced with the fulgurating progression of data exchanges, particularly the audio-visual during mobility, a necessity which impose, and the long-term vision was not going to stay a long time. Thus, for better provision quality, an initiative was triggered, whether in terms of available throughputs or in terms of response time to access the applications. The LTE-A (Advanced) technology or 4G already knows a tremendous commercial success. With the evolution, the overload of users on the macro-cell and the spectral insufficiency for the indoor coverage have led the 3GPP to deploy a small cells with low transmission power known as "femtocells". Admittedly the spectral effectiveness was improved and the indoor coverage was also extended, but this new concept causes disturbances at the level of mobility management, therefore, it is important to explain initially, the principles of LTE and mobility management on the whole. To this end, mobility management always remains an actuality topic on this new mode of mobile radio. In this context, this thesis has for objective to treat this problem which causes the triggering of unnecessary or late handover(s) and that depends on specific reports, essentially RSRP (Reference Signal Received Power) et SINR (Signal-to-Interference and Noise Ratio) signals. We conceive two approaches based on the energy detection method used in the cognitive radio combined with a prediction process in order to predict the impact of the handover and make the right decision among the sensed signals. In other words, the technical meaning of the word "triggering" will be replaced under the notion "probability of detection". The first approach uses the traditional adaptive LMS filter (Least Mean Square) also called FSS-LMS (Fixed Step-Size LMS). Whereas the second uses the Variable Step-Size LMS algorithm (VSS-LMS), an improved version of the first contribution when mobility conditions of users are nears the coverage area of a femto cell. Our both proposed solutions have all been validated by simulations in the Matlab platform, and have all brought an improvement comparing with conventional approaches.

Keywords: *LTE / LTE-A, propagation model, handover, adaptive filters, FSS-LMS, VSS-LMS, energy detection.*

Table des matières

Introduction Générale.....	17
Chapitre I - LTE /LTE-Advanced – Un nouvel air de réseau d'accès radio mobiles	20
I.1. Introduction	20
I.2. Historique	21
I.3. Caractéristique de la technologie LTE	23
I.3.1. Connexion à haut débit	23
I.3.2. Temps de la transmission de données	23
I.3.3. Mobilité	23
I.3.4. Interopérabilité entre 2G /3G	23
I.3.5. Malléabilité dans l'allocation de bande fréquentielle	23
I.3.6. Débit sur l'interface radio.....	23
I.3.7. Couverture des zones urbaines et rurales	23
I.4. Aspect général de la technologie LTE	24
I.4.1. Définition du réseau LTE	24
I.4.2. Voie descendante du LTE	24
I.4.3. Voie ascendante du LTE	28
I.4.4. Bande passante du canal LTE	30
I.5. Architecture des réseaux LTE/LTE-A	30
I.5.1. HSS (Home Subscriber Server)	31
I.5.2. EPC (Evolved Packet Core)	32
I.5.2.1. MME (Mobility Management Entity)	32
I.5.2.2. S-GW (Serving Gateway)	32
I.5.2.3. PDN-GW (Packet Data Network Gateway)	33
I.5.2.4. PCRF (Policy and Charging Rules Function)	33
I.5.3. E-UTRAN (Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network)	33
I.5.4. UE (Équipement de l'Utilisateur)	34
I.6. Types d'interfaces dans le LTE	34
I.7. Femtocells	35
I.8. Applications des Femtocells	36
I.9. Architecture des Femtocells dans LTE	36
I.9.1. HeNB (Home eNodeB)	37
I.9.2. Home eNodeB Gateway (HeNB GW)	37
I.10. Conclusion	37

Chapitre II - Handover dans le réseau LTE/LTE-A	38
II.1. Introduction	38
II.2. Vue générale sur le Handover	39
II.2.1. Nécessité du Handover	39
II.2.2. Principe du Handover	39
II.2.3. Types de Handover	39
II.2.4. Phases du handover	41
II.2.4.1. Phase de mesure	41
II.2.4.2. Phase de préparation	42
II.2.4.3. Phase d'exécution	42
II.3. Handover au sein de la technologie LTE	43
II.3.1. Etape 1: les mesures	43
II.3.1.1. Détection des cellules adjacentes dans le LTE	43
II.3.1.2. Mesures d'intra/inter-fréquences	44
II.3.1.3. Remontée des mesures	44
II.3.2. Etape 2: La préparation	45
II.3.3. Etape 3: L'exécution	46
II.3.3.1. Gestion du plan usager	46
II.3.4. Cas échéant : Procédure de rétablissement du lien radio	50
II.3.4.1. Perte et rétablissement du lien radio en LTE	50
II.4. Paramètres de mesures du Handover	52
II.4.1. RSRP (Reference signal Receive Power)	53
II.4.2. RSSI (Received Signal Strength Indicator)	54
II.4.3. RSRQ (Reference Signal Receive Quality)	54
II.4.4. CQI (Channel Quality Indicator)	55
II.4.5. SINR (Signal Interference plus Noise Ratio)	56
II.5. Critère de décision du Handover en LTE	56
II.6. Événement A3	57
II.7. Handover dans le réseau femtocell	58
II.7.1. Hand-in	59
II.7.2. Hand-out	59
II.7.3. Inter-HeNB	59
II.8. Conclusion	59
Chapitre III - Première contribution : Probabilité de détection du Handover dans le réseau LTE/ LTE-A	61
III.1. Introduction	61

III.2. Problématique et travaux antérieurs	62
III.3. Motivation	66
III.4. Conception de l’algorithme proposé	66
III.4.1. Processus LMS (Least Mean Squared)	66
III.4.2. Modèles de propagation	67
III.4.3. Mécanisme de détection d’énergie	69
III.5. Etude comparative	71
III.6. Simulation	72
III.6.1. Scénario I	73
III.6.2. Scénario II	74
III.7. Analyses et Evaluations	75
III.7.1. LTE Hard Handover – Scénario I	75
III.7.2. Notre approche – Scénario I	76
III.7.3. Comparaison & Discussion – Scénario I	80
III.7.4. LTE Hard Handover – Scénario II	81
III.7.5. Notre approche – Scénario II	82
III.8. Conclusion	84
Chapitre IV - Deuxième contribution : Probabilité de détection du Handover dans le bord d’une cellule Femto	85
IV.1. Introduction	85
IV.2. Problématique et motivation	86
IV.3. Travaux liés	86
IV.4. Analyse comparative des algorithmes	91
IV.4.1. Processus Li-NLMS	92
IV.4.2. Processus Kwong-NLMS	92
IV.5. Simulation	93
IV.6. Conclusion	98
Conclusion Générale	99
Liste des publications	101
Bibliographie	101

Liste des tableaux

Tableau 1.1. Taux de données théoriques pour différentes normes de réseaux cellulaires	22
Tableau 1.2. Paramètre de la couche physique pour la liaison montante en LTE	22
Tableau 1.3. Blocs de ressources, FFT et préfixe cyclique pour chaque bande passante LTE	30
Tableau 2.1. Valeurs CQI en réseau LTE	55
Tableau 3.1. Paramètres de la simulation	73
Tableau 3.2. L'ordre chronologique de l'étude de la simulation	79
Tableau 4.1. MVSS-LMS d'Aboulnasr et al. et VSS-LMS de Kwong et al	87
Tableau 4.2. Première approche de l'algorithme Pazaitis et al	87
Tableau 4.3. Deuxième approche de l'algorithme Pazaitis et al	88
Tableau 4.4. Algorithme Shengkui et al	88
Tableau 4.5. Algorithme Huang et al	89
Tableau 4.6. Algorithme Zhang et al	90
Tableau 4.7. GVD-VSS-LMS de Bi et al	90
Tableau 4.8. Comparaison entre les deux méthodes Li et Zhang	91
Tableau 4.9. Paramètres de la simulation	94
Tableau 4.10. Paramètres des algorithmes adaptatifs	95

Liste des figures

Figure 1.1. Comparaison entre OFDM et OFDMA	24
Figure 1.2. Orthogonal Frequency Division Multiple Access	25
Figure 1.3. Schéma fonctionnel d'un système OFDMA	26
Figure 1.4. Principe du Préfixe Cyclique	26
Figure 1.5. Structure des trames OFDMA dans le LTE	27
Figure 1.6. Grille de ressources pour la transmission descendante	27
Figure 1.7. Exemple d'un spectre d'émission en liaison montante pour quatre UEs	28
Figure 1.8. L'OFDMA vs SC-FDMA dans le cas d'émission des symboles QPSK	28
Figure 1.9. Diagramme de base du système SC-FDMA	29

Figure 1.10. Architecture du LTE/ LTE-A	31
Figure 1.11. Domaines de commutateur Circuit/Paquets	32
Figure 1.12. Architecture du réseau EPC.....	32
Figure 1.13. Différence architecturale entre UTRAN et E-UTRAN (Ver.8)	33
Figure 1.14. Schéma d'interface radio entre UE/eNB.....	34
Figure 1.15. Architecture LTE/LTE-A avec des Femtocells	36
Figure 2.1. Principe du Handover	39
Figure 2.2. Les différents types du Handover	40
Figure 2.3. Principes du Soft/Hard Handover	40
Figure 2.4. Les phases du handover	41
Figure 2.5. Les sous-étapes de la phase de mesures.....	43
Figure 2.6. Mesures des cellules intra/inter-fréquences	44
Figure 2.7. Étapes de préparation	45
Figure 2.8. Handover en LTE via l'interface X2	47
Figure 2.9. Exemple de gestion du plan usager lors d'un HO en LTE	48
Figure 2.10. Exemple du mécanisme du rapport de réception	49
Figure 2.11. Détection et rétablissement de la rupture du lien radio.....	50
Figure 2.12. Procédure de détection de rupture du lien radio	51
Figure 2.13. Suite - Procédure de rétablissement de la rupture du lien radio.....	52
Figure 2.14. Filtrage et rapport de mesure du Handover	53
Figure 2.15. Localisation des symboles de référence dans un bloc de ressource (RB) pour un système LTE à une antenne dans le cas d'un CP normal	54
Figure 2.16. Événement A3.....	57
Figure 2.17. Scénarios du handover dans l'environnement femto/macro-cellulaire	58
Figure 3.1. Principe du processus LMS	66
Figure 3.2. (a). Algorithme LTE Hard Handover - (b). Algorithme proposé	71
Figure 3.3. Principe du LTE Hard Handover	72
Figure 3.4. Mobilité du piéton METIS #1 dans notre modèle de topologie.....	74
Figure 3.5. Mobilité de deux autres piétons METIS dans la même topologie proposée	74
Figure 3.6. Simulation de processus du HO conventionnel.....	75
Figure 3.7. Simulation de processus du HO conventionnel.....	76
Figure 3.8. $RSRP_{eNB 1, UE 1}$ réelles & prédites / Figure 3.9. $RSRP_{eNB 2, UE 1}$ réelles & prédites	77

Figure 3.10. $SINR_{HeNB,UE1}$ réels & prédits	77
Figure 3.11. $SINR_{eNB1,UE1}$ réels & prédits / Figure 3.12. $SINR_{eNB2,UE1}$ réels & prédits	77
Figure 3.13. $P_{HeNB,UE1}$ réelles & prédites.....	78
Figure 3.14. $P_{eNB1,UE1}$ réelles & prédites	78
Figure 3.15. $P_{eNB2,UE1}$ réelles & prédites	79
Figure 3.16. Probabilité du déclenchement du premier HO (Algorithmes : proposé & conventionnel).....	80
Figure 3.17. Probabilité du déclenchement du deuxième HO (Algorithmes : conventionnel et proposé).....	81
Figure 3.18. Conventionnel HO pour UE_2	81
Figure 3.19. Conventionnel HO pour UE_3	82
Figure 3.20. Probabilité de détection du processus HO (méthode proposée).....	82
Figure 3.21. Premier déclenchement du processus HO (méthode proposée).....	83
Figure 3.22. Deuxième déclenchement du processus HO (méthode proposée).....	83
Figure 4.1. Diagramme d'un filtre adaptatif	91
Figure 4.2. Mobilité des piétons METIS dans notre modèle de topologie.....	93
Figure 4.3. Mobilité des piétons METIS dans $HeNB_1$	94
Figure 4.4. Probabilité de détection d'autres spectres par les trois méthodes de prédiction pour UE_1	95
Figure 4.5. Probabilité de détection d'autres spectres par les trois méthodes de prédiction pour UE_2	96
Figure 4.6. Probabilité de détection d'autres spectres par les trois méthodes de prédiction pour UE_3	96
Figure 4.7. Probabilité de détection d'autres spectres par les trois méthodes de prédiction pour UE_4	97
Figure 4.8. Probabilité de détection d'autres spectres par les trois méthodes de prédiction pour UE_5	97

Acronymes

16-QAM	16-Quadrature Amplitude Modulation
1G	Première génération des téléphones mobiles
2G	Deuxième génération des téléphones mobiles
3G	Troisième génération des téléphones mobiles
3GPP	3rd Generation Partnership Project
4G	Quatrième génération des téléphones mobiles
8-PSK	8-Phase Shift Keying
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
AEC	Acoustic Echo Cancellation
CA	Carrier Aggregation
CDMA	Code Division Multiple Access
CN	Core Network
CP	Cyclic Prefix
CPL	Courant Porteur sur Ligne
CQI	Channel Quality Indicator
C-RNTI	Cell Radio Network Temporary Identifier
CS	Circuit-Switched
DFT	Discrete Fourier Transform
DFT-S-OFDM	Discrete Fourier Transform–Spread–OFDM
DL	DownLink
DP	Detection Probability
EDGE	Enhanced Data Rates for Global Evolution
EGCI	Evolved Cell Global Identifier
eNodeB (eNB)	evolved NodeB
EPC	Evolved Packet Core
EPS	Evolved Packet System
E-RAB	E-UTRAN Radio Access Bearer
E-UTRAN	Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network
FAP	False Alarm Probability

FFT	Fast Fourier Transform
FSPL	Free Space Path Loss
FSS-LMS	Fixed Step Size-LMS
FU	Femto User
GPRS	Generalized Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile communications
HeNB	Home evolved NodeB
HeNB GW	Home eNodeB Gateway
HNB	Home NodeB
HO	Handover
HOM	Handover Marge
HSDPA	High-Speed Downlink Packet Access
HSPA	High-Speed Packet Access
HSS	Home Subscriber Server
HSUPA	High-Speed Uplink Packet Access
IEEE	Institute of Electrical and Electronic Engineers
IFFT	Inverse Fast Fourier Transform
IMS	IP Multimedia Sub-system
Inter-FAP	Inter-Femto Access Point
IP	Internet Protocol
ITU IMT	International Telecommunications Union International Mobile Telecommunication
LD	Link Down
LMMSE	Linear Minimum Mean Square Error
LMS	Least Mean Squares
LTE	Long Term Evolution
LTE-A	Long Term Evolution –Advanced
MAC	Media Access Control
MCS	Modulation Code Scheme
METIS	Mobile and wireless communications Enablers for the Twenty-twenty Information Society
MIMO	Multiple Input Multiple Output

MME	Mobility Managment Entity
MMS	Multimedia Messaging Service
MNLMS	Modified Normalized LMS
MSE	Mean Square Error
MU	Macro User
MVSS-LMS	Modified Variable Step Size-LMS
NAS	Non-Access Stratum
NB	NodeB
NLMS	Normalized LMS
NLOS	Non-Line Of Sight
NPVSS	NonParametric VSS
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiple
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
PCI	Physical Cell ID
PCRF	Policy and Charging Rules Function
PDN	Packet Data Network
PDN-GW	Packet Data Network GateWay
PHY	Physical layer
PS	Packet-Switched
PU	Primary User
QoS	Quality of Service
QPSK	Quadrature Phase-Shift Keying
RACH	Random Access CHannel
RAN	Radio Access Network
RAT	Radio Access Technology
RB	Resource Block
RE	Resource Element
RL	Reinforcement Learning
RLC-AM	Radio Link Control-Acknowledge Mode
RN	Relay Nodes
RNC	Radio Network Controller

RRC	Radio Resource Control
RR-NLMS	Robust Regularized-NLMS
RS	Reference Signal
RSRP	Reference Signal Received Power
RSRQ	Reference Signal Received Quality
RSS	Receiver Signal Strength
RSSI	Received Signal Strength Indicator
SAE	System Architecture Evolution
SC-FDMA	Single Carrier-Frequency Division Multiple Access
SDU PDCP	Service Data Unit Packet Data Convergence Protocol
SGA-GAS	Stochastic Gradient Adaptive with Gradient Adaptive Step-size
SGSN	Serving GPRS Support Node
S-GW	Serving GateWay
SINR	Signal-to-Interference and Noise Ratio
SMS	Short Message Service
TDMA	Time Division Multiple Access
TS	Technical Specification
TTT	Time-To-Trigger
UE	User Equipment
UIT	Union Internationale des Télécommunications
UL	UpLink
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
VSS-LMS	Variable Step Size-LMS
VSS-NLMS-UM	VSS-NLMS-Unacknowledged Mode
WAP	Wireless Application Protocol
WiFi	Wireless Fidelity
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access
WLAN	Wireless Local Area Network

Introduction Générale

Contexte

L'engouement des consommateurs pour les systèmes de télécommunications mobiles à haut débit se traduit par le déploiement de plusieurs générations successives de réseaux cellulaires, exploitant de nouvelles techniques qui permettent la transmission dans un minimum de temps d'une quantité d'information importante sans interruption. Parmi ces dernières technologies d'accès radio mobile, il y a le LTE (Long Term Evolution). Ce dernier a été lancé en 2004 par le groupe 3GPP comme un premier pas vers l'évolution à très haut débit et permet d'atteindre un débit de données à 150 Mbps. Un autre support technologique a été créé par la suite, connu sous LTE-A (Long Term Evolution –Advanced) et fournissant un débit de données de 450 Mbps, réalisé en 2015 [1].

Problématique

La gestion de la mobilité (connu sous le nom *Handover*) dans les réseaux cellulaires LTE/LTE-A ou tout autre système sans fil, est provoquée lorsque la qualité de service se dégrade. Elle consiste à transférer un terminal mobile en communication d'une interface radio vers une autre. Cependant, la mobilité reste un problème majeur pour garantir la continuité des services, en particulier les services en temps réel. A vrai dire, le handover repose principalement sur des phases de mesures qui introduisent des délais relatifs au nombre de cellules voisines à scanner. Durant la phase du handover, le terminal mobile doit scanner continuellement son voisinage pour déterminer quelle station radio mobile offre une meilleure qualité du signal. Étant donné que les couvertures actuelles sont de plus en plus denses et que dans le but d'augmenter la capacité des réseaux, les opérateurs optent pour une planification cellulaire avec des cellules de faibles largeurs (ex. Picocells et Femtocells), induisant des temps qu'occupent ces phases de handover longs et critiques au point de ne pas respecter les contraintes temporelles imposées par les applications mobiles. Dans ce cas, le mobile risque de perdre sa communication avec sa station de base d'origine, avant que la liaison avec la nouvelle station, qui offre une meilleure qualité du service, ne soit établie.

Motivations

Dans le cadre de la gestion de la mobilité, de grands efforts ont été déployés afin de répondre aux attentes des usagers mobiles. Parmi ces mécanismes, on compte le *handover conventionnel* dans les LTE/LTE-A. Son utilisation réduit la complexité du mécanisme du handover en raison de l'architecture des réseaux LTE et LTE-A. De plus, il minimise le délai du handover.

Cependant, l'approche LTE Hard Handover a un impact très fort sur les applications qui peuvent entraîner des pertes de données importantes pendant la session, due à des paramètres qu'ils sont limité par le groupe 3GPP. Cette approche est prise comme un repère afin de le comparé avec la première contribution. Dans ce contexte et dans le cadre d'optimisation, nous nous sommes intéressés de plus près à cette thématique, elle constitue en soi un axe de recherche d'actualité et très prometteur.

Contributions

Nous vous proposons deux nouvelles solutions fondées sur la probabilité de détection du déclenchement du handover, prédit par des mécanismes de filtrages adaptatifs afin de garantir à la fois la continuité des communications aux utilisateurs mobiles et la qualité du service.

Dans un premier temps, nous avons mis une première solution qui consiste à combiner la méthode de détection d'énergie utilisée dans la radio cognitive, plus précisément, nous nous intéressons au modèle local de détection du spectre, avec un processus de prédiction LMS classique (connu aussi par FSS-LMS : Fixed Step Size Least Mean Squared) afin de pronostiquer l'impact du handover (Par une probabilité) et prendre par la suite sélectionner la plus haute probabilité qui désigne le meilleur spectre détecté. Tout cela enveloppé dans un environnement réel avec des traces de mobilités réelles. Cette étude nous a permis de voir le déclenchement du processus du HO d'un autre angle sous forme de probabilité, en se référant à celle de la méthode du handover classique dans les systèmes LTE/LTE-A.

Notre propre analyse détaillée sur la première solution nous a révélés des faiblesses et ces limitations, lorsque les UEs suivent l'effet utilisateur (mobilité des UEs à proximité d'une cellule), conduisant ainsi à une mauvaise gestion de mobilité, due à la probabilité de détection prédite du signal link-down de la cellule courante. Autrement, l'algorithme FSS-LMS est influencé par la taille du pas fixe (FSS), qui prend un rôle très important sur le contrôle de stabilité, la vitesse de convergence et l'état stationnaire de l'erreur, ce qui nous a amenés à définir de nouvelles exigences par un autre processus de prédiction à pas variable (VSS-NLMS : variable Step Size Normalized Least Mean Squared)

Organisation de la thèse

Afin de présenter clairement nos travaux, nous avons organisé cette thèse en quatre chapitres.

Le premier chapitre présente d'abord l'historique et l'évolution des recherches menés sur les réseaux cellulaires jusqu'à aujourd'hui, ensuite l'aspect général sur le concept de la technologie LTE (sa définition, les liaisons descendante/montante et sa bande passante) et par la suite l'architecture du réseau LTE et ses interfaces de connexion. En dernier lieu, nous abordons la cellule femto, à savoir sa définition, ses applications et son architecture.

Le deuxième chapitre évoque une vue générale sur le mécanisme du handover dont la nécessité et son principe, les différents types de handover et leurs phases, ainsi que le rôle du terminal mobile. En effet, grâce à ces points fondamentaux, la compréhension de ce processus au sein d'un système LTE va être mieux perçue, en particulier la phase de mesure (comment la détection des cellules voisines se fait et le principe des remontées des mesures), la phase de préparation et la phase d'exécution. Ensuite, nous verrons le cas échéant où le lien radio est perdu (la procédure de rétablissement à suivre), schématisé par des exemples afin de faciliter la compréhension. Les paramètres de mesures et les critères de décision sont aussi exposés selon la spécification de la 3GPP, sans oublier les types de handovers dans les femtos cellules.

Le troisième chapitre met en évidence notre première contribution, basée sur la méthode de détection d'énergie, utilisée dans la radio cognitive combinée avec un processus de prédiction appliqué dans le domaine du filtrage adaptatif. Nous présentons d'abord la problématique avec l'état de l'art sur la gestion de la mobilité et celle de la détection du spectre en signalant leurs forces et leurs faiblesses, puis notre motivation pour améliorer le bon fonctionnement du réseau Femto/Macro par rapport à la solution conventionnelle *LTE Hard Handover*. Ensuite, nous étudions le processus de prédiction d'un signal LTE/LTE-A par la méthode LMS (Least Mean Squares), le modèle de propagation des deux cellules (femto et macro) et la méthode de détection d'énergie, pour la conception de notre algorithme. Cette conception est comparée sur un plan algorithmique avec la solution LTE Hard Handover. En dernier, nous interprétons les résultats de la simulation sous MATLAB.

Le quatrième chapitre mettra en lumière la deuxième contribution qui traite la première solution dans le cas où la mobilité des UEs (User Equipments ou terminaux mobiles) sont à proximité d'une cellule femto et ce, en se basant sur des travaux liés à des algorithmes LMS à pas variable (*VSS-LMS: Variable Step-Size LMS*). Afin d'analyser les résultats de simulation de nos deux approches sur le même niveau, nous avons pris les mêmes paramètres de simulation utilisés dans la première contribution.

Enfin, nous dresserons une conclusion générale du travail accompli et nous proposerons d'autres perspectives.

Chapitre I

LTE /LTE-Advanced – Un nouvel air de réseau d'accès radio mobiles

I.1. Introduction

Les technologies des téléphones cellulaires sont en progression foudroyante, due à l'évolution de la technologie d'accès radio mobile. L'organisme de normalisation la 3GPP a standardisé une nouvelle génération du réseau cellulaire appelé LTE, pour accroître le débit afin de satisfaire la demande des usagers mobiles.

Comme son nom l'indique, le LTE-Advanced (appelé aussi LTE-A) est une version plus évoluée de la norme LTE (version 10) et elle est reconnue comme une technologie 4G par l'UIT (Union Internationale des Télécommunications) [2-3]. Les principales nouvelles fonctionnalités introduites dans le LTE-A sont l'agrégation des porteuses (Carrier Aggregation), l'amélioration des techniques multi-antennes et de nouveaux supports connus par les RN (Relay Nodes) [4]. En outre, cette technologie garde la compatibilité complète avec le LTE au niveau des terminaux (smartphones, tablettes, clés 4G) et au niveau du réseau (fréquences identiques et même codages radio « OFDMA : Orthogonal Frequency Division Multiple Access ; et SC-FDMA : Single Carrier-Frequency Division Multiple Access »).

Dans ce premier chapitre, nous allons présenter l'évolution des systèmes de communication radio mobiles, les caractéristiques du standard LTE, qui a retenu notre attention vis-à-vis de ses prédécesseurs, son architecture ainsi que ses différentes parties et ses dispositifs.

I.2. Historique

L'évolution du nombre d'abonnés mobiles ces dernières années, a créé un véritable nouveau secteur de l'industrie mondiale des télécommunications. La première génération des téléphones mobiles (appelée 1G) a été créée dans le début des années 80 en offrant un service modéré et très coûteux. Beaucoup de défauts ont été constatés, comme une transmission analogique peu sûre, incompatibilité des normes d'une région à une autre et pas de système à itinérance (roaming).

Avec l'apparition du traitement numérique des données, la 1G a été délaissée et remplacée par la seconde génération (2G). Lancée en 1991 (toujours active de nos jours), ce standard est exploité par le GSM (Global System for Mobile communications) où la technologie TDMA (Time Division Multiple Access) est utilisée. La particularité de la TDMA est que le canal de communication à bande étroite est subdivisé en un certain nombre de slots temporels et plusieurs utilisateurs partagent le spectre à des intervalles alloués. Les systèmes GSM prennent en charge les services de données jusqu'à 9,6 Kbps et vocaux jusqu'à 13 Kbps. GSM permet aussi d'accéder à divers services, tels que les messages SMS (Short Message Service) et l'accès à internet par l'utilisation du WAP (Wireless Application Protocol), ainsi que le roaming entre les pays qui exploitent cette technologie. Devant ce succès, d'autres services sont apparus comme le MMS (Multimedia Messaging Service). Par la suite, le GSM a évolué vers le GPRS (Generalized Packet Radio Service), connu aussi comme la 2.5G, en supportant un débit de données allant jusqu'à 171.2 Kbps [5]. Le standard GPRS a passé ensuite au standard EDGE (Enhanced Data Rates for Global Evolution) vers les années 2000, qui améliore le débit de données à 384 Kbps, grâce au système de modulation 8-PSK (8-Phase Shift Keying).

Des objectifs techniques ont été définis par l'UIT-T (International Telecommunications Union) à l'organisme de normalisation 3GPP pour établir un système mobile de troisième génération (3G). Ces spécifications étaient basées sur le basculement de la technologie GSM (2G) à base de la TDMA à une technologie 3G à large bande, à base du CDMA (Code Division Multiple Access), appelée UMTS (Universal Mobile Telecommunications System). L'avantage du CDMA est qu'une bande passante plus large est partagée par de multiples utilisateurs en utilisant des codes d'étalement orthogonaux. Normalisé en 2001, ce changement a représenté dans cette époque, une révolution importante dans les communications mobiles. Classé dans les standards 3GPP comme la version 4 avec une crête de débit de données à 1.92 Mbps dans la liaison descendante (downlink). Une version 5 a été normalisée en 2002 (mise à jour de l'UMTS) par la 3GPP, connue comme HSDPA (High-Speed Downlink Packet Access), offrant des débits de données de pointe à 14.4 Mbps, grâce à

l'introduction des sous-frames plus courtes et l'utilisation de la modulation 16QAM (Quadrature Amplitude Modulation). En 2004, la version 6 a été normalisée comme HSUPA (High-Speed Uplink Packet Access) avec un taux maximum de 5,76 Mbps. Les deux versions 5 et 6 se prénomment aussi comme HSPA (High-Speed Packet Access). En outre, l'utilisation de la technique MIMO (Multiple Input Multiple Output) dans la version 5, a donné naissance au standard HSPA+ (Ver.7) avec un taux de débit de données allant jusqu'à 84 Mbps (modulation 64QAM).

Poussés par la nécessité d'augmenter encore les débits de données, dès 2005, deux technologies sont entrées en concurrence [6], le WiMAX standardisé par IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers) et le LTE standardisé par la 3GPP [7]. A cette époque, les opérateurs de téléphonie mobile désignent le LTE (Ver. 8) comme la 4G, afin de s'en servir comme argument commercial, en se basant sur le critère du débit de données de 300 Mbps. En Octobre 2010, la version 10 du standard 3GPP a été définie comme le LTE-Advanced [2-3] [8], qui dispose d'un débit de données de pointe de 1Gbps. En Décembre 2010, l'UIT a accordé au LTE la possibilité commerciale d'être considérée comme une technologie 4G, du fait qu'elle possède des améliorations comparées à celles des trois premières générations [9]. En octobre 2015, la 3GPP a approuvé la version 13 comme un réseau amélioré d'LTE-A appelé LTE-Advanced Pro [10], tout en gardant toujours les mêmes spécificités du réseau mère (LTE). Le LTE-Advanced Pro est connu comme la 4.5G. Des progrès importants sont introduits dans cette version, tels que l'interopérabilité avec le Wifi en réduisant la latence afin de fournir une meilleure navigation, l'amélioration d'agrégation de porteuses et le renforcement de la sécurité publique, sans oublier un débit de 3 Gbps [11]. Le Tableau 1.1 résume le débit de données pour différentes technologies d'accès radio mobiles.

Technologie	Crête du débit de données (À faible mobilité)
GSM	9.6 Kbps
GPRS	171.2 Kbps
EDGE	473 Kbps
UMTS	1.92 Mbps
HSDPA (Ver. 5)	14.4 Mbps
HSPA+ (Ver. 6)	84 Mbps
LTE (Ver. 8)	300 Mbps
LTE-Advanced (Ver. 10)	1 Gbps
LTE-Advanced Pro (Ver. 13)	3 Gbps

Tableau 1.1. Taux de données théoriques pour différentes normes de réseaux cellulaires

I.3. Caractéristique de la technologie LTE

I.3.1. Connexion à haut débit

Le LTE possède une connexion d'Internet à haut débit permanente, autrement dit, le changement d'état des UEs est très rapide lorsqu'il veut échanger du trafic avec d'autres terminaux, moins de 100ms de l'état repos (IDLE) à l'état ACTIF [12].

I.3.2. Temps de la transmission de données

La durée de transmission de données est inférieure à 5 ms entre l'UE et la passerelle d'accès dans le contexte où un seul UE est actif sur l'interface radio (situation non-chargé). Par contre, un délai de 25 ms (valeur moyenne) en situation de charge moyenne. Cette propriété, permet aux UEs de supporter les services en temps réel, tels que le Streaming et la voix [13].

I.3.3. Mobilité

La technologie LTE assure seulement le LTE Hard Handover, une technique conventionnelle lorsque la mobilité intervient et non pas le Soft Handover. Nous verrons plus en détails la gestion de la mobilité [14] dans chapitre 2.

I.3.4. Interopérabilité entre 2G /3G

Le transfert de données entre les différentes technologies cellulaires est faisable. Par exemple, pour les services en temps réel entre la 4G et la 3G, ce transfert est réalisé en moins de 300 ms, par contre il nécessite 500 ms pour les services en temps non réel [14].

I.3.5. Malléabilité dans l'allocation de bande fréquentielle

Plusieurs tailles de blocs de ressources peuvent opérer dans différentes bandes de fréquence (Plus de détails dans la sous-section I.4.4 relative à la bande passante dans le LTE) [15].

I.3.6. Débit sur l'interface radio

Pour ce qui est de l'interface radio, le LTE présente 100 Mbps de flux de données pour la liaison descendante et 50 Mbps pour la liaison montante. Cela est rendu possible, grâce aux deux techniques utilisées OFDMA pour le sens descendant et SC-FDMA pour le sens montant [16].

I.3.7. Couverture des zones urbaines et rurales

Avec l'arrivée de la 4G et face aux attentes croissantes des UEs, la couverture des zones urbaines et rurales avec du très haut débit a été développée significativement en améliorant les petites cellules à faible puissance HNB (Home Node B) utilisées en 3G, en HeNB (Home evolved Node B).

I.4. Aspect général de la technologie LTE

L'évolution de l'UMTS à long terme a été envisagée dès novembre 2004 lors d'un atelier organisé par le groupe 3GPP appelé « Future Evolution Workshop ». Ce remarquable progrès appelé « LTE » était destiné à maintenir une concurrence à l'UMTS sur un horizon de dix ans et au-delà [17]. Nous allons voir par la suite quelles sont les principales nouveautés de cette technologie.

I.4.1. Définition du réseau LTE

Le LTE est une véritable évolution d'accès radio mobiles par rapport aux précédentes normes. L'originalité du LTE réside dans le procédé de multiplexage et de codage des données dans les deux sens de la liaison radio. L'OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) est utilisée pour la liaison descendante (DownLink) et la SC-FDMA (Single Carrier-Frequency Division Multiple Access) est utilisée pour la liaison montante (UpLink) [18]. En faveur de ces techniques, des réseaux mobiles à très haut débit ont été développés, présentant aux usagers des vitesses de téléchargement et une qualité de services d'internet mobile au-dessus des offres précédentes, que ce soit en mode stationnaire ou en mobilité.

I.4.2. Voie descendante du LTE

Le choix de la technique d'accès multiple notamment pour la liaison descendante s'est porté sur l'OFDMA dans les systèmes LTE. Le principe repose sur des blocs des sous porteuses attribués d'une façon ordonnée et rapide à des multiutilisateurs en un temps bien précis. La naissance de cette technique est liée à l'OFDM comme le montre la Figure 1.1. On peut notamment dire que, l'OFDM est une technique utilisée pour les contextes sans fil tel que WiFi et filaire comme l'ADSL.

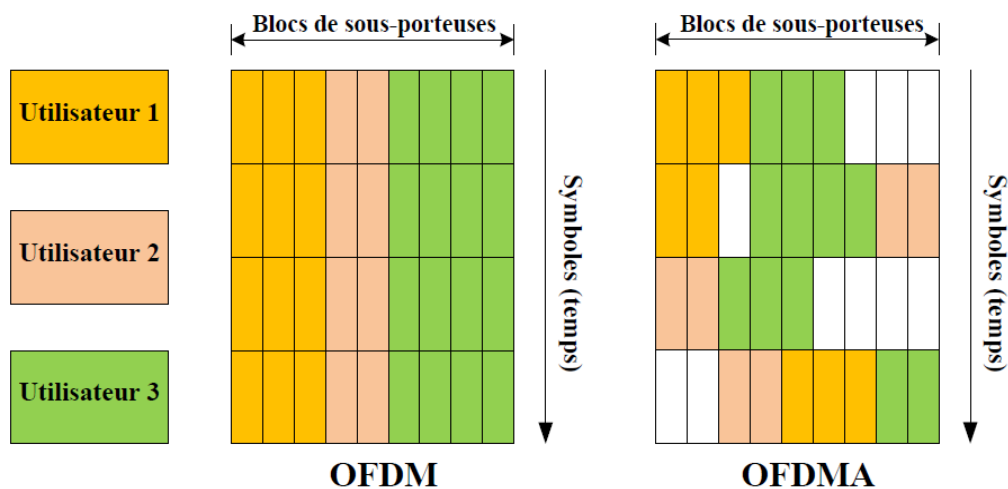


Figure 1.1. Comparaison entre OFDM et OFDMA [8]

L'OFDMA a hérité de l'OFDM un des avantages les plus essentiels, qui est l'orthogonalité aux utilisateurs au sein d'une cellule, cela rend l'interférence intra-cellule quasi nulle. Un autre point positif de l'OFDMA, c'est qu'elle permet d'atteindre le haut débit pour une même largeur spectrale même dans des environnements défavorables (échos et trajets multiples des ondes radio) en raison de sa robustesse et de sa grande efficacité spectrale [19].

La technique OFDMA divise la large bande passante disponible en plusieurs sous-porteuses étroites et mutuellement orthogonales, espacées indépendamment de 15 KHz (Figure 1.2) avec une durée d'un symbole OFDMA de 66.67 μ s.

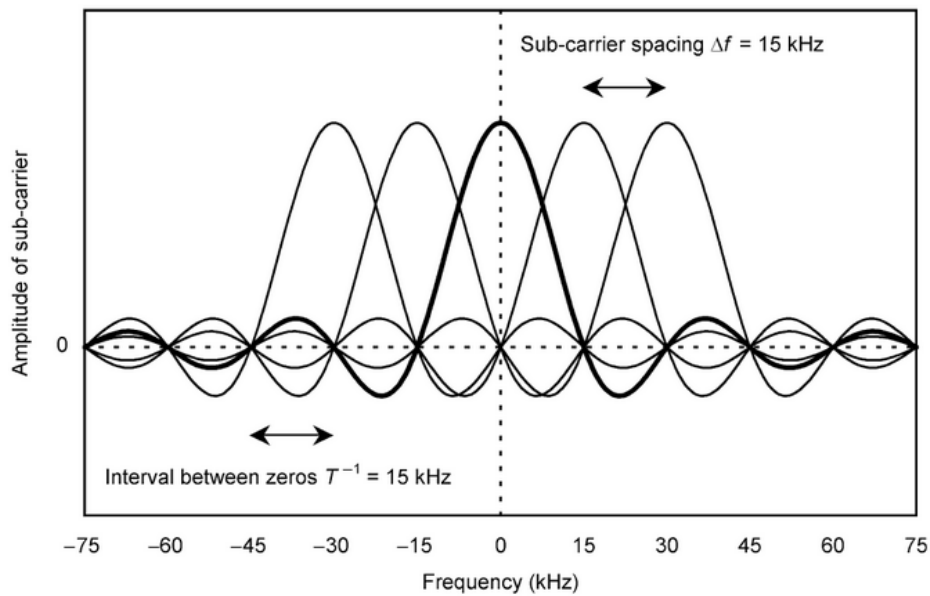


Figure 1.2. Orthogonal Frequency Division Multiple Access [20]

Le schéma de base d'un signal OFDMA pour un symbole OFDM est illustré sur la Figure 1.3. Le flux de données de différents utilisateurs sont mappés sur différentes sous-porteuses en fonction des bandes de fréquences attribuées à ces utilisateurs. L'information est ensuite soumise à une transformée de Fourier rapide inverse (IFFT) pour convertir les sous-porteuses de domaine fréquentiel en signaux dans le domaine temporel. Un préfixe cyclique (CP) est ensuite ajouté et le signal est prêt à être transmis. L'unité de transmission de base pour les données est une sous-trame qui s'étend sur plusieurs symboles OFDM. Au niveau du récepteur, l'opération inverse est effectuée. Le préfixe cyclique est supprimé, puis le signal temporel est soumis à une transformée de Fourier rapide (FFT) de sorte que les symboles de modulation sur chaque sous-porteuse puissent être extraits. Chaque utilisateur extrait ensuite les unités de ressources de fréquence correspondant à ses sous-porteuses attribuées. L'égalisation est effectuée et les données sont transmises pour le décodage [21].

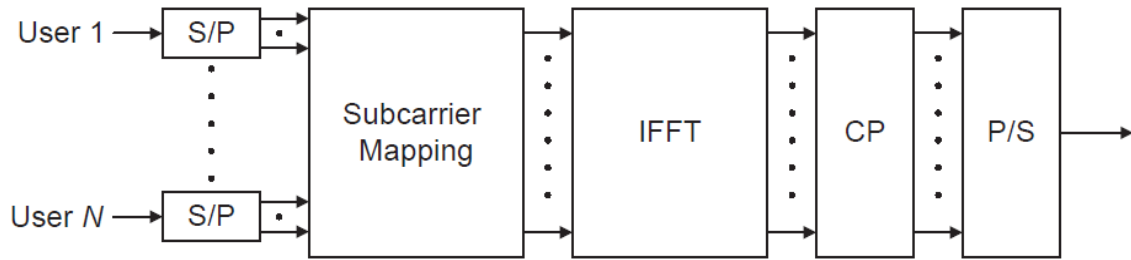


Figure 1.3. Schéma fonctionnel d'un système OFDMA [21]

Le principe du CP est de copier une partie de la fin du symbole et de l'attacher au début (Figure.1.4). La raison de cette copie est d'annuler l'Interférence Inter-Symbole au niveau du récepteur en le supprimant. Sa durée doit être supérieure à la réponse impulsionnelle du canal afin que l'effet du symbole précédent puisse être évité au niveau du récepteur.

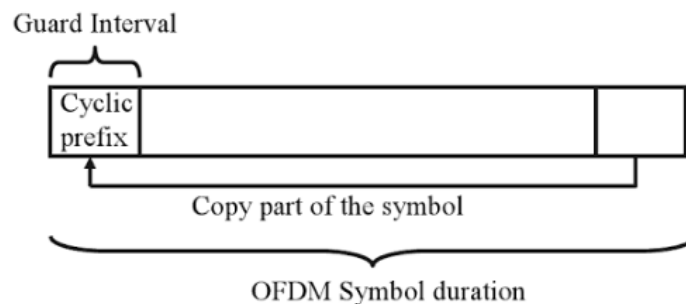


Figure 1.4. Principe du Préfixe Cyclique [18]

En LTE, l'OFDMA utilise deux types de CP: le CP normal et le CP étendu. Le CP normal est utilisé pour les zones urbaines, par contre le CP étendu est utilisé dans les zones rurales [19].

La structure du domaine temporel du LTE est illustrée sur la Figure 1.5. Comprendre la transmission du LTE repose sur la compréhension claire de la représentation temps-fréquence des données. Deux questions se posent ainsi, comment construire une trame OFDMA et comment elle est finalement transformée en symboles OFDM pour la transmission (la grille de ressource)? [5].

Dans le domaine temporel, le LTE organise la transmission sous la forme d'une séquence de trames radio de longueur de 10 ms (Figure 1.5). Chaque trame est ensuite subdivisée en 10 sous-trames de longueur 1 ms. Chaque sous-trame est composée de deux slots d'une longueur de 0,5 ms chacun. Enfin, chaque slot se compose d'un certain nombre de symboles OFDM, soit sept ou six, selon le préfixe cyclique utilisé, normal ou étendu [5].

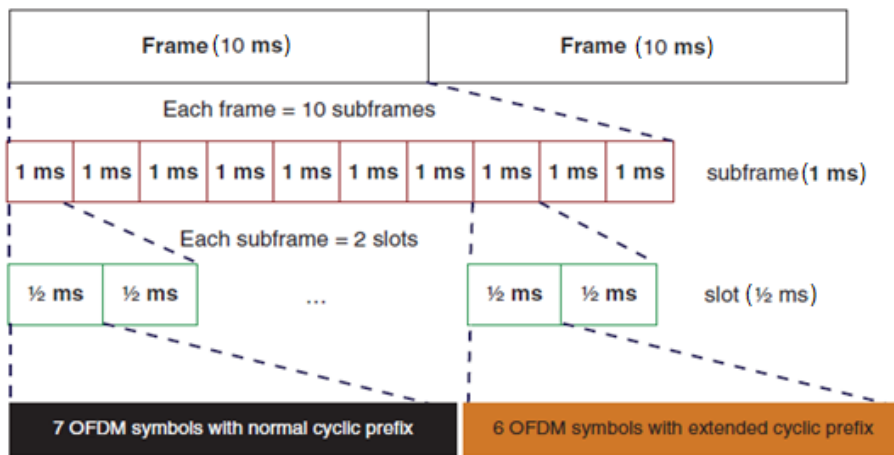


Figure 1.5. Structure des trames OFDMA dans le LTE [5]

Pour répondre à la deuxième question, la Figure 1.6 illustre une grille de ressources de la liaison descendante du LTE lorsqu'un CP normal est utilisé. Un Élément de Ressource (RE) est placé à l'intersection d'un symbole OFDM et d'une sous-porteuse. L'espacement de sous-porteuse est de 15 KHz et dans le cas d'un CP normal, il y a 14 symboles OFDM par sous-trame ou bien 7 symboles par slot. Un Bloc de Ressource (RB) est défini comme un groupe de REs qui correspond à 12 sous-porteuses ou à 180 KHz dans le domaine fréquentiel et un slot de 0,5 ms dans le domaine temporel. Dans le cas d'un CP normal avec 7 symboles OFDM par slot, chaque RB se compose de 84 REs. Dans le cas d'un CP étendu avec 6 symboles OFDM par slot, le RB contient 72 REs.

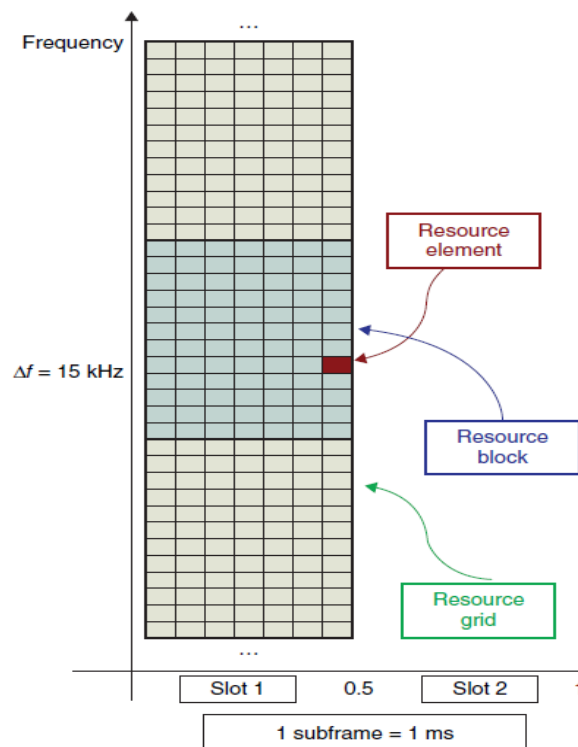


Figure 1.6. Grille de ressources pour la transmission descendante [5]

I.4.3. Voie ascendante du LTE

La liaison montante (Uplink) emploie la technique d'accès multiple à répartition en fréquences, avec une seule porteuse, appelée SC-FDMA. Pour chaque période bien déterminée, les UEs reçoivent de la part de la station de base une partie réservée du canal pour la liaison montante, espacé par des courts intervalles de temps (Figure 1.7). C'est pourquoi on parle de notion quasi-sous-porteuses [22] (un bloc des sous-porteuses adjacents se forme - Figure 1.8).

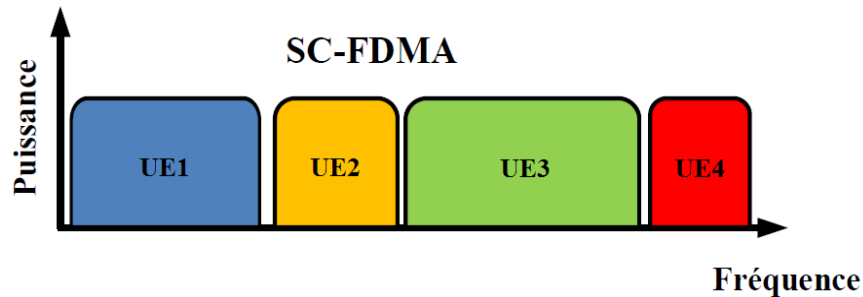


Figure 1.7. Exemple d'un spectre d'émission en liaison montante pour quatre UEs [8]

Cette conception quasi sous porteuses ne peut pas être utilisée en même temps par deux UEs actifs. Une comparaison entre l'OFDMA et le SC-FDMA dans le cas d'émission des symboles en QPSK est illustrée sur la Figure 1.8.

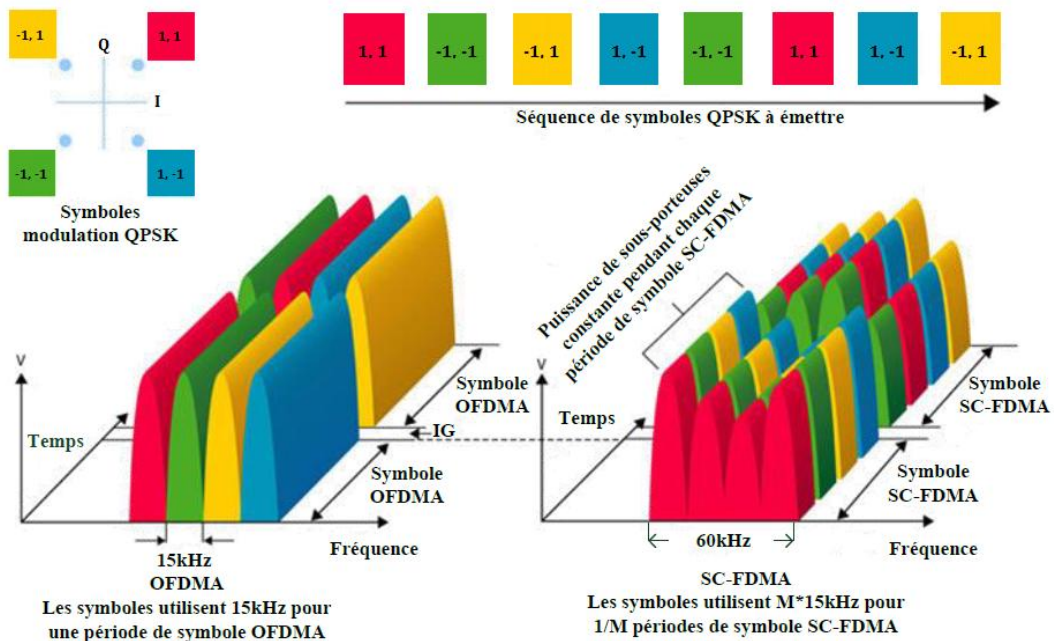


Figure 1.8. L'OFDMA vs SC-FDMA dans le cas d'émission des symboles QPSK [8]

En LTE, un système OFDM étalé par la transformée de Fourier rapide (DFT-S-OFDM: Discrete Fourier Transform-Spread-OFDM) est utilisé pour générer le signal SC-FDMA dans le domaine fréquentiel comme l'indique la Figure 1.9. Notons que la génération du signal SC-FDMA à l'aide de la DFT-S-OFDM est presque identique à celle de l'OFDM, à l'exception un block de M -point de la DFT est appliqué. Bien que le processus DFT est plus intensif en calcul que la FFT,

une mise en œuvre efficace pour certaines tailles DFT est disponible, en utilisant des algorithmes spécifiques de la FFT. Cela permet d'appliquer la modulation d'impulsion dans le domaine fréquentiel avant l'IFFT [21].

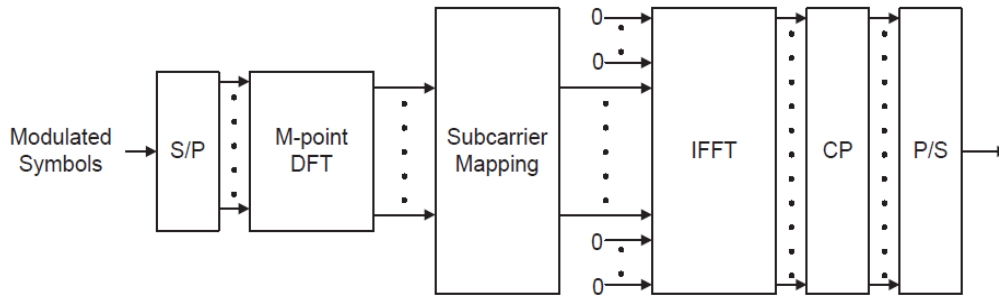


Figure 1.9. Diagramme de base du système SC-FDMA [21]

La même structure de base des ressources de transmission est utilisée pour la liaison montante comme pour la liaison descendante; une trame radio de 10 ms est divisée en dix sous-trames de 1 ms constituées chacune de deux slots de 0,5 ms. La SC-FDMA est basée sur le même traitement fondamental que l'OFDM et utilise le même espacement des sous-porteuses de 15 KHz, comme dans la liaison descendante.

Les ressources de transmission de liaison montante sont également définies dans le domaine fréquentiel (i.e. avant l'IFFT), avec la plus petite unité de ressource RE, qui consiste en une longueur de bloc de données SC-FDMA sur une sous-porteuse. Un RB comprend 12 REs dans le domaine fréquentiel pour une durée d'un slot. Deux durées de CP sont aussi pris en charge comme dans la liaison descendante, un CP normal d'une durée de 4,69 μ s et un CP étendu de 16,67 μ s. Sachant que le CP étendu est bénéfique pour les déploiements des grandes cellules. Le Tableau 1.2 récapitule la structure de transmission pour la liaison montante du LTE.

Paramètre	Valeur	Commentaires
Durée de la sous-trame	1 ms	
Durée de slot	0.5 ms	
Espacement de sous-porteuse	15 KHz	
Durée du symbole SC-FDMA	66.67 μ s	
Durée du CP	CP normal: CP étendu :	5.2 μ s pour le premier symbole dans chaque slot, 4,69 μ s pour tous les autres symboles. 16.67 μ s pour tous les symboles.
Nombre de symboles par slot	CP normal: 7 CP étendu : 6	
Nombre de sous-porteuses par RB	12	

Tableau 1.2 . Paramètre de la couche physique pour la liaison montante en LTE [15]

Un des avantages importants de la SC-FDMA se matérialise en une production de puissances proportionnellement faibles dans les canaux adjacents. Aussi, elle permet de bénéficier d'une grande efficacité énergétique à l'UE, en diminuant le pic de puissance de l'émission afin d'augmenter l'autonomie de sa batterie [8] [15] [23].

I.4.4. Bande passante du canal LTE

Le LTE prend en charge différentes largeurs de bande. Les techniques OFDM et SC-FDMA génèrent le signal transmis avec une opération IFFT. Nous pouvons donc accommoder différentes largeurs de bande en choisissant différentes longueurs FFT. Indépendamment de la largeur de bande utilisée, le LTE maintient une durée constante du symbole OFDM à 66,7 μ s [5]. Ceci permet l'utilisation de la même sous-porteuse de 15 KHz pour toutes les bandes passantes. Ces choix de conception signifie aussi avoir la même longueur de sous-trame dans différentes largeurs de bande, une fonctionnalité qui simplifie considérablement le temps de cadrage (framing) du modèle de transmission. Bien que la taille du FFT, utilisée dans chaque bande passante n'est pas spécifiée par la norme, alors une taille du FFT de 2048 est généralement associée à 20 MHz. Le Tableau 1.3 indique les tailles du FFT pour d'autres largeurs de bande. Ils sont généralement des versions à échelle réduite de cette valeur.

Paramètres OFDM pour la liaison descendante, durée sous-trame 1ms, espacement sous-porteuse 15 kHz						
Bande passante (MHz)	1.4	3	5	10	15	20
Taille de FFT	128	256	512	1024	1536	2048
Nombre de blocs de ressources	6	15	25	50	75	100
Symbole OFDM par slot	14/12 (Normal/Etendu)					
Longueur du CP	4.7/5.6 (Normale/Etendue)					

Tableau 1.3. Blocs de ressources, FFT et préfixe cyclique pour chaque bande passante LTE [5]

I.5. Architecture des réseaux LTE/LTE-A

Cette section expose les lignes directrices sur les blocs fonctionnels et les interfaces des réseaux LTE/LTE-A. Cette architecture est composée d'une partie réseau radio RAN (Radio Access Network) et une partie réseau cœur (Core Network). Le SAE (System Architecture Evolution) désigne le réseau cœur tandis que la partie d'accès radio est nommé «LTE». Le terme SAE a été utilisé au début de la normalisation, mais actuellement, le terme officiel de normalisation se reporte à l'EPC (Evolved Packet Core). Néanmoins, le terme SAE est connu dans l'environnement pratique. De même, pour l'interface radio «LTE », le terme de standardisation est l'E-UTRAN (Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network). Avec l'aide des cellules femto

améliorées (Home eNodeB) et les relais, le réseau fonctionne d'une manière plus efficace et uniforme [24]. La Figure 1.10, illustre les éléments principaux du réseau 3GPP. Cette architecture est valable pour les réseaux LTE/ LTE-A.

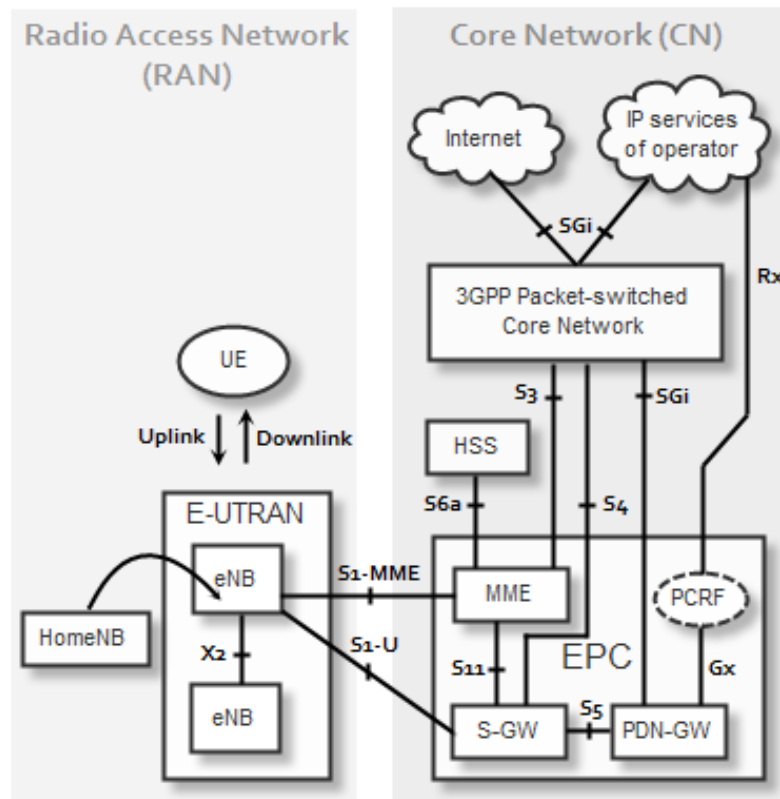


Figure 1.10. Architecture du LTE/ LTE-A [15] [24] [26-30]

Toutefois, la 3GPP a conçu une nouvelle technologie nommée EPS (Evolved Packet System) pour fournir de nombreuses fonctions d'interopérabilités avec les technologies existantes. En particulier, la nouvelle entité eNodeB remplace les fonctions des deux composants NodeB et RNC (Radio Network Controller) définis dans la 3G [26]. L'EPS se caractérise par une architecture simple à commutation par paquet [31], contrairement à celles de la 2G et de la 3G utilisant les deux types de commutations par circuit et par paquet. Sans oublier, l'interface radio du LTE/LTE-A est totalement répartie entre tous les UEs en mode ACTIFS.

Dans ce qui suit, nous allons décrire d'abord les blocs du réseau cœur, ensuite ceux du réseau radio.

I.5.1. HSS (Home Subscriber Server)

HSS est une base de données centrale qui contient toutes les données relatives aux UEs, comme les profils d'abonnés et la QoS. Il enregistre également l'emplacement de l'UE au niveau du nœud de contrôle du réseau visité, tel que le MME. Il s'agit de l'entité contenant les informations relatives à l'abonnement pour prendre en charge les entités réseau qui gèrent les appels/sessions [32] [33].

I.5.2. EPC (Evolved Packet Core)

Cette entité regroupe des équipements liés par des interfaces terrestres qui assurent l'intégralité de la fonctionnalité du réseau cœur par le domaine de commutation par paquets fondé sur le protocole « full-IP » contrairement aux précédentes générations de réseaux mobiles (2G et 3G), où le réseau cœur réalise l'acheminement des données à travers deux domaines séparés: le commutateur de circuit (Circuit-Switched) pour la voix et le commutateur de paquets (Packet-Switched) pour les données (Figure 1.11).

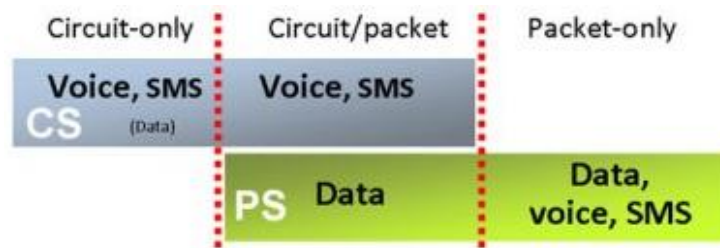


Figure 1.11. Domaines de commutateur Circuit/Paquets [30]

L'EPC se compose de plusieurs blocs (Figure 1.12), à savoir le MME, le S-GW et le PDN-GW [15] [25] [30]. Ces principaux éléments sont définis dans ce qui suit.

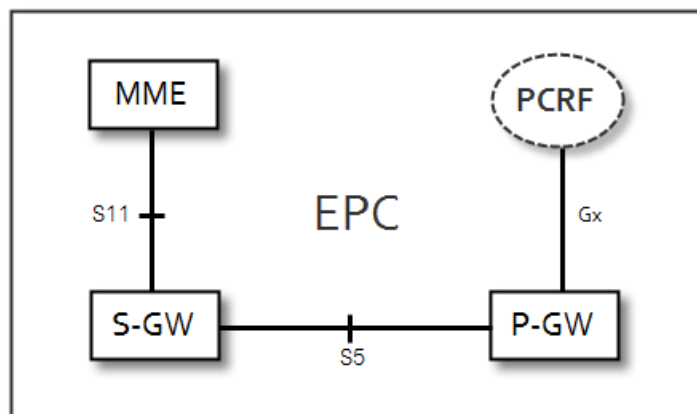


Figure 1.12. Architecture du réseau EPC

I.5.2.1. MME (Mobility Management Entity)

MME est un nœud de contrôle. Il gère la signalisation liée à la mobilité et la sécurité pour l'accès à l'E-UTRAN (gestion de la mobilité et l'authentification des UEs). Le MME est responsable du suivi (tracking) de l'UE en mode inactif. Les protocoles fonctionnant entre l'UE et le réseau cœur sont connus sous le nom de Non-Access Stratum (NAS).

I.5.2.2. S-GW (Serving Gateway)

Comme son nom l'indique, cette passerelle sert à acheminer les paquets IP entrants et sortants à l'UE. Ils transportent le trafic de données IP entre UE et les réseaux externes. C'est un point d'ancrage pour la mobilité intra-LTE.

I.5.2.3. PDN-GW (Packet Data Network Gateway)

PDN-GW (ou P-GW) est le point d'interconnexion entre l'EPC et les réseaux IP externes. Il est responsable de l'attribution des adresses IP pour les UEs, la mise en application de la tarification basée sur charge d'écoulement de la QoS selon les règles de la PCRF.

I.5.2.4. PCRF (Policy and Charging Rules Function)

PCRF est responsable de la prise de décision en matière de contrôle des politiques prédéfinies par l'opérateur comme la gestion de facturation de l'utilisateur.

I.5.3. E-UTRAN (Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network)

L'E-UTRAN est la partie d'accès radio du réseau LTE/LTE-A. Elle permet la connexion entre l'UE et le réseau cœur (EPC) par le biais des eNodeBs. L'E-UTRAN possède une architecture plus simple par rapport à celles des autres technologies en réduisant les entités de fonctions.

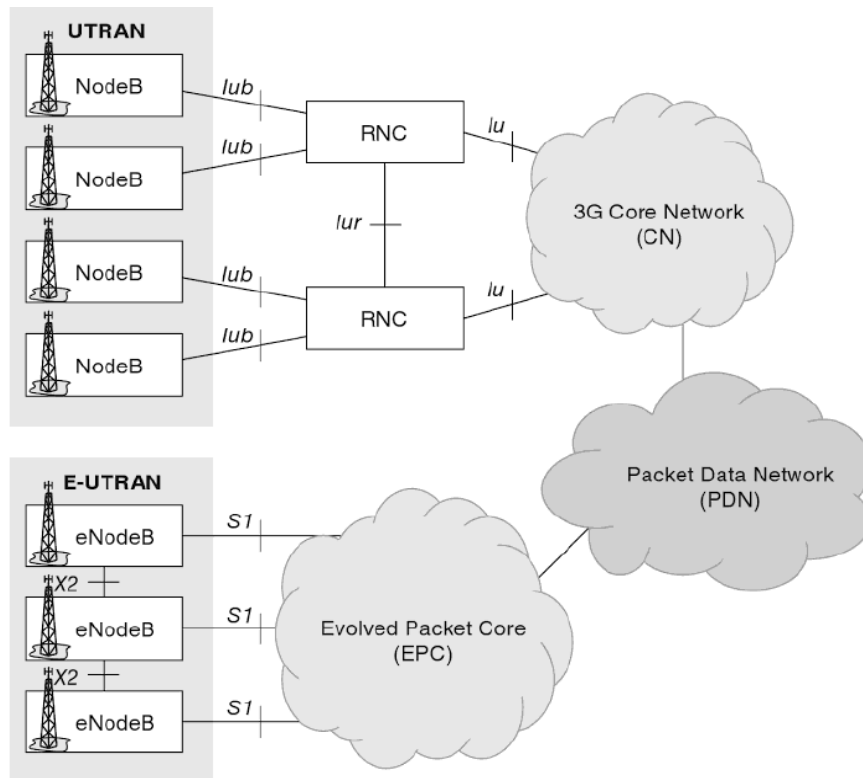


Figure 1.13. Différence architecturale entre UTRAN et E-UTRAN (Ver.8) [25]

Par exemple, si on compare avec la 3G, nous remarquons que les tâches distribuées sur les deux entités NodeB et RNC sont réduites en un seul élément eNodeB. L'interface aérienne a été aussi améliorée en utilisant un système de modulation multi porteuse OFDMA. Les interfaces internes et externes sont remplacées par X2 et S1 (S1-MME et S1-U). L'E-UTRAN offre enfin une plus grande souplesse dans le choix des largeurs de bandes de fréquence (de 1,4 à 20 MHz). La Figure 1.13 illustre la différence architecturale entre l'UTRAN et l'E-UTRAN d'après le rapport du 3GPP version 8.

I.5.4. UE (Équipement de l'Utilisateur)

UE est un terme normalisé, qui désigne un élément d'un réseau de la téléphonie mobile cellulaire de troisième ou de quatrième génération. Il peut être un simple téléphone mobile, un téléphone multifonction (Smartphone), une tablette tactile ou bien, un Laptop (ordinateur portable) équipé d'une clé 3G/ou 4G. L'UE est authentifiée et autorisée à accéder au réseau mobile de l'opérateur. L'UE se connecte par une liaison radio (Figure 1.14) aux eNodeBs tel qu'il est spécifié dans la norme du 3GPP.

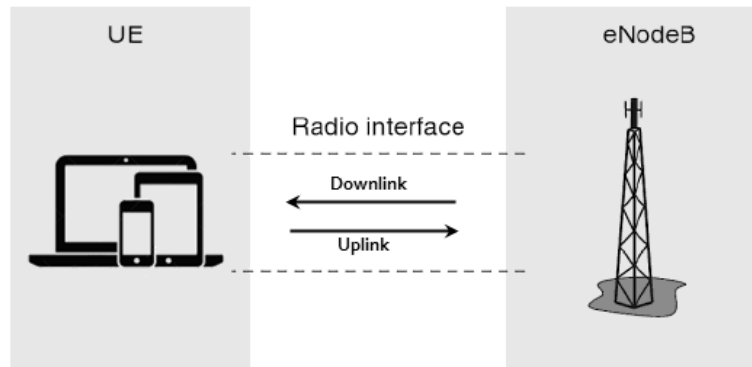


Figure 1.14. Schéma d'interface radio entre UE/eNB

I.6. Types d'interfaces dans le LTE

On distingue plusieurs types d'interfaces de connexion définies dans la technologie LTE selon les équipements qu'elles relient [32]:

- Les interfaces dans la partie réseau cœur :
 - Notamment, dans le box d'EPC, on découvre :
 - > S11 transmet la signalisation entre le MME et le S-GW.
 - > S5 sert à l'échange des paquets de données (plan usager) entre S-GW et le P-GW.
 - Entre MME et HSS, l'interface S6 (S6a), sert à remplir les tâches d'enregistrement, d'authentification et d'autorisations des UEs au niveau du HSS.
 - S3 accorde l'échange entre SGSN (Serving GPRS Support Node) et MME.
 - S4 transmet le contrôle du support de mobilité entre la 2G et S-GW.
 - Gx communique les règles de tarification et les politiques entre PCRF et P-GW.
 - L'interface Rx relie PCRF à une Fonction d'Application (AF) dans l'IMS (IP Multimedia Sub-system, servant à fournir des services multimédias fixe (i.e. Internet dans un foyer) ou mobile (IP services of operators) Figure 1.10).
 - SGi est un point de référence entre le P-GW et le réseau de données par paquets. PDN (Packet Data Network) peut être un réseau de données mobile de l'opérateur (IP services of operators) ou un réseau de données fixe.

- Les interfaces de connexion dans la partie réseau d'accès radio
 - On trouve les interfaces X2 entre les eNodeBs voisines. Leurs tâches est de réduire les pertes de paquets lors du processus du handover. A savoir, X2-CP pour le trafic de control, permet la signalisation entre les eNodeBs et X2-UP permet le transfert de flux des données d'application entre les e-NodeBs.
- Les interfaces de liaison entre le réseau d'accès radio et le réseau cœur :
 - S1-MME rattache l'eNodeB avec le MME. Elle traite la signalisation du plan de contrôle entre ces deux entités.
 - S1-U transporte les paquets de données des utilisateurs entre l'eNodeB et S-GW.

I.7. Femtocells

Pour maintenir des débits plus élevés, la 4G exige un bon niveau de signal de réception afin d'augmenter les performances du système. Toutefois, plusieurs résultats de recherche insinuent que la majorité des utilisateurs mobiles souffrent d'insuffisance du signal intérieur (indoor), ce qui conduit réellement à une couverture médiocre. Cela est due aux interférences qui vont certainement diminuer la qualité des applications en temps réel et vont ralentir considérablement les services de données à haute vitesse. Dans le réseau Macrocell, il est très difficile pour les opérateurs de fournir des services de haute qualité et une couverture cellulaire pour les utilisateurs « indoor » à cause du grand nombre d'installation de sites des stations de base (eNBs), ce qui est quasi impossible dans les zones densément peuplées. Même si les opérateurs parviennent à installer plus de stations de base, la planification du réseau et l'optimisation deviennent une tâche difficile, où la planification des fréquences et la gestion de la mobilité nécessitera plus de soins dans ces réseaux. C'est pour cela que les efforts récents de la 3GPP pour améliorer la couverture «indoor», ont apporté un nouvel élément technologiquement plus performant, nommé le HeNB (Home eNodeB). Cet élément est spécifié dans la version 8 [34]. Son introduction dans le paradigme de communication existant a déjà ouvert de nouvelles opportunités pour les opérateurs. Le HeNB (Femtocell) est aussi une petite cellule privée qui couvre une gamme de couverture allant de 30-50 mètres avec une puissance de sortie faible typiquement inférieure à 50 mW [35]. C'est une solution rentable et prometteuse pour améliorer la QoS. Elle fonctionne avec les terminaux mobiles sans modifications supplémentaires [36-37]. Un de ces nombreux avantages est que lorsqu'un abonné arrive à sa maison, son terminal mobile percevra un signal faible de la Macrocell, alors, il déclenchera le processus du Handover automatiquement vers le HeNB. [37]

I.8. Applications des Femtocells

L'application de ces Femtocells permet aux opérateurs mobiles d'étendre la couverture de leurs services. En particulier dans les zones à accès limité où indisponible. Les Femtocells peuvent également être utilisée pour réduire la charge de la Macrocell active où le trafic mobile des UEs est très élevé. Non seulement, la Femtocell augmente la capacité de la couverture mais aussi elle garantie une meilleure qualité de la voix où la réception du réseau Macrocell dans certains endroits est indisponible (connu comme le creux de couverture). La femtocell a un impact positif sur l'autonomie de la batterie de l'UE et cela grâce à sa conception où la distance entre l'UE et HeNB est réduite (Un faible cout énergétique) [37].

Certaines compagnies les prévoient comme des petites cellules qui couvrent des zones extérieures, par exemple, installés sur des lampes publiques, où dans des pôles de services publics. Dans ce cas, les données sont transmises à l'opérateur mobile via la communication par ligne électrique (CPL: Courant Porteur sur Ligne) ou les technologies classiques [36].

I.9. Architecture des Femtocells dans LTE

Le réseau Femto est une extension du réseau Macro, il est donc très important pour la Femtocell de collaborer avec la Macrocell. De là, l'architecture qui a été proposé par la 3GPP est similaire à celle du réseau EPS avec quelques éléments de réseau supplémentaires comme le HeNB et la passerelle HeNB (HeNB GW) (Figure 1.15), sans oublier que tous les éléments fonctionnels du réseau femto héritent des fonctionnalités opérationnelles du système de communication LTE telles qu'elle est définie par 3GPP [38].

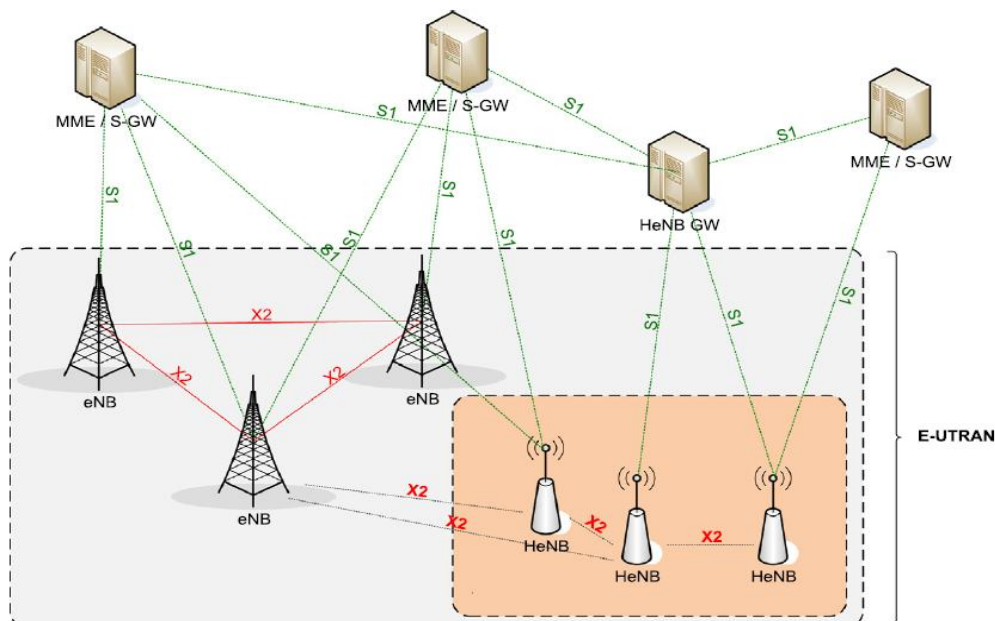


Figure 1.15. Architecture LTE/LTE-A avec des Femtocells [39]

I.9.1. HeNB (Home eNodeB)

HeNB remplit la même fonction d'un eNodeB. Cet équipement est optimisé pour le déploiement dans des zones de couverture plus petite que celle du eNodeB. Un support portatif, qui s'installe facilement par l'abonné lui-même dans les environnements indoor, tels que dans des bureaux d'une entreprise ou dans un foyer, sans avoir besoin d'une formation, ni connaissances particulières comme le placement de l'antenne ou la configuration du système [40].

HeNB communique avec des passerelles (MME/S-GW et HeNB GW), en utilisant des interfaces S1 [43]. Mais actuellement, elle supporte l'interface X2 (Figure 1.15) [39] [42]. Cette amélioration joue un rôle très important où le Handover peut s'effectuer entre les HeNBs uniquement, sans l'assistance du MME [43].

I.9.2. Home eNodeB Gateway (HeNB GW)

HeNB GW est basé sur une architecture innovante qui fournit le contrôle des capacités nécessaires pour gérer le réseau femto. Placé entre HeNB et MME/S-GW, cette passerelle a la fonction principale de permettre un accès simple, sans coupure et hautement sécurisé. Elle fournit également, une fonctionnalité d'agrégation ou de concentration d'un groupe de HeNBs, tout en préservant l'architecture hiérarchique actuelle du réseau cœur. Elle permet aussi de réduire le trafic dans le réseau cœur en déchargeant les utilisateurs du réseau cellulaire (eNB) [44].

I.10. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons introduit le concept et les caractéristiques d'une communication d'accès radio mobile de nouvelle génération LTE/LTE-A. A travers nos lectures, nous avons remarqué la persévérance des scientifiques et industriels pour offrir toujours une meilleure qualité de service, ce qui a permis la création et le développement de nouveaux terminaux, les femtocells...

Nous allons présenter dans le chapitre suivant les challenges liés à la gestion de la mobilité dans ce type de réseaux.

Chapitre II

Handover dans le réseau LTE/LTE-A

II.1. Introduction

Au cours de l'utilisation d'un service de données sur un réseau, l'utilisateur peut être amené à se déplacer hors de sa zone de couverture, le conduisant ainsi à l'échec d'appel ou à l'interruption de ces services momentanément. Pour assurer cette continuité, il est essentiel, pour l'utilisateur comme pour l'opérateur, que le changement de cellule ne soit pas un mur à franchir. C'est pourquoi, le réseau mobile met en œuvre des mécanismes qui aident l'UE à basculer vers la meilleure cellule disponible sur le réseau. Ces actions reposent sur des mesures radio effectuées par l'UE sur la cellule desserte et les cellules voisines. En fonction de ces mesures, un ensemble de protocoles choisit la meilleure cellule voisine. Cette procédure est connue sous le nom de Handover.

L'objectif de ce deuxième chapitre est d'apporter les éléments essentiels qui participent à la gestion de la mobilité au sein des systèmes LTE d'une part, et entre le LTE et les autres technologies d'autre part. Pour cela, nous relatons dans un premier temps, des généralités pertinentes sur le Handover au sein du réseau LTE, tels que son principe fondamental, ses différents types et ses principales phases. Ensuite, nous verrons comment le Handover se présente dans le LTE, où nous expliquerons le cas de perte de la liaison radio et quelles sont les mesures pour le rétablissement de ce lien perdu. Puis, nous exposerons les paramètres de mesures et les critères de décision pour le déclenchement du Handover et enfin les différents scénarios de basculement entre les cellules femto/macro avant de conclure.

II.2. Vue générale sur le Handover

II.2.1. Nécessité du Handover

Le Handover (HO) est à effectuer: [45]

- Lorsque l'UE change son point d'attachement vers une autre cellule pour améliorer la qualité de service.
- Pour basculer vers une autre technologie.
- Lorsque l'UE subit une grande interférence sur la cellule courante, le besoin du HO s'impose pour passer sur une autre cellule présentant moins d'interférences.
- Lorsque la bande passante est insuffisante due aux nombres des UEs dans la cellule courante, engendrant ainsi une détérioration de la qualité du service.

II.2.2. Principe du Handover

Le processus du HO est la solution pour conserver la liaison de la communication. Sans cette gestion de la mobilité, des problèmes vont certainement perturber les services et le trafic. En général, le HO se déclenche lorsque l'UE est en mobilité vers une autre zone cellulaire, autrement dit, lorsque le niveau de puissance du signal courant est trop faible pour conserver une qualité de service acceptable. La Figure 2.1 explique le principe de base du HO lorsque la puissance du signal de la cellule courante descend en dessous d'un niveau de seuil. Ce processus n'est pas instantané, il nécessite un temps de latence. Pour assurer une meilleure qualité de service, il est très important que ce délai doit être aussi faible que possible.

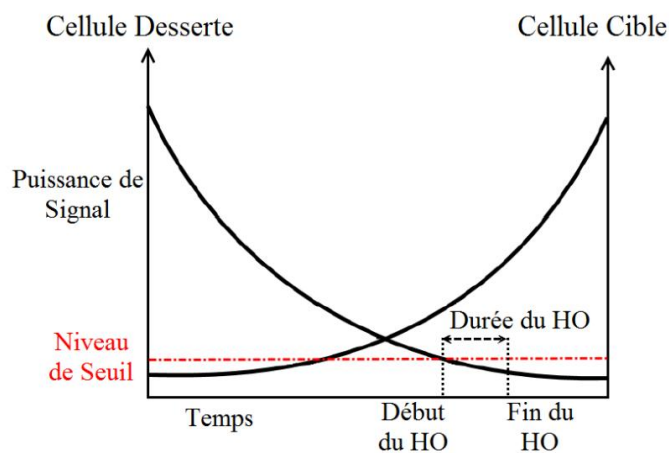


Figure 2.1. Principe du Handover

II.2.3. Types de Handover

Le HO se distingue par plusieurs critères, notamment [46] :

- La technologie d'accès radio (RAT : Radio Access Technology).
- La fréquence respective des cellules source et cible.
- La perte ou non du lien radio lors du basculement.

Un HO (Figure 2.2) entre deux cellules de la même technologie est connu sous le Handover Horizontal. Ce dernier est divisé en deux scénarios. Si les cellules sont portées par la même fréquence radio, alors on parle d'un Handover Intra-Fréquence. Par contre, si les cellules sont portées sur différents niveaux de fréquences, on parle d'un Handover Inter-Fréquence. Lorsque les deux cellules appartiennent à deux technologies différentes, on l'appelle un Handover Vertical, connu aussi sous les noms Intersystèmes ou Inter-RAT.

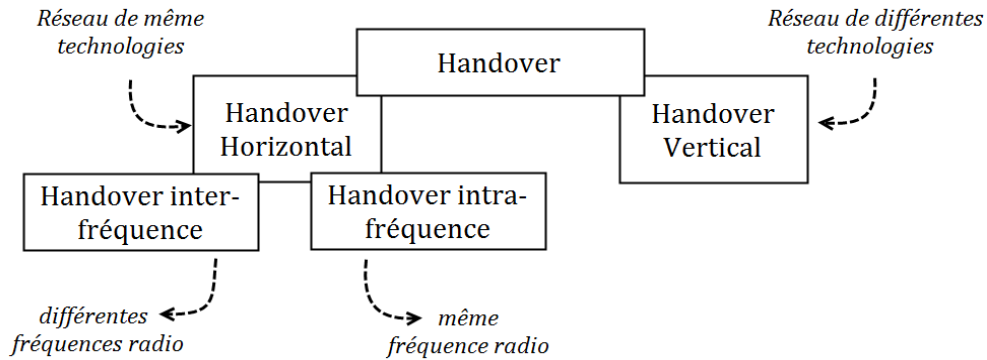


Figure 2.2. Les différents types du Handover

Dans le cas où le lien radio avec la cellule source est perdu avant l'établissement du pont radio avec la cellule cible, un temps d'absence entre l'UE et le réseau s'impose (le cas du HO en GSM ou en UMTS). Ce type est connu sous le nom Hard Handover (Figure 2.3). Rappelons qu'en GSM un HO est de catégorie Inter-Fréquence (fréquences différentes des cellules voisines).

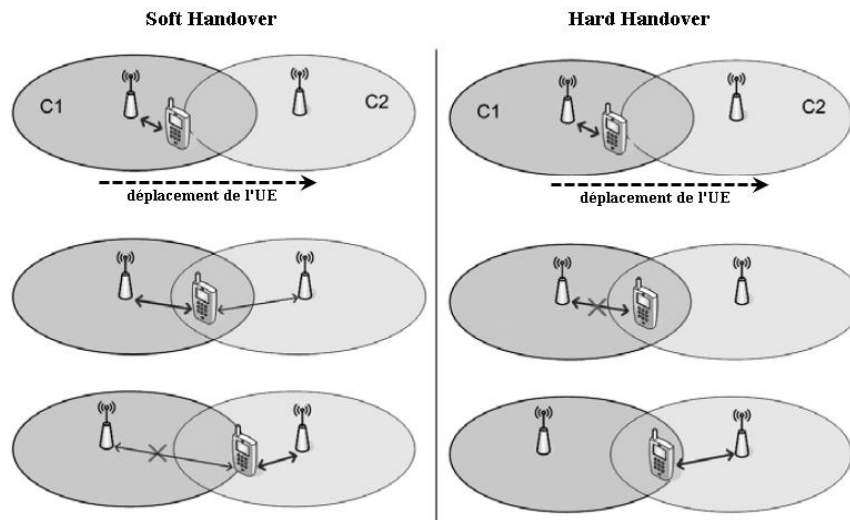


Figure 2.3. Principes du Soft/Hard Handover [46]

Dans l'autre cas, si la liaison radio est établie entre la cellule cible et l'UE, tandis que la connexion est toujours active sur la cellule source, deux transmissions radio sont alors actives. De ce fait, la liaison radio initiale peut être gardée ou supprimée selon la qualité du service. Par exemple, lorsque la qualité du signal de la cellule source deviendra trop basse pour transférer

une information utile à l'UE, alors ce lien sera supprimé (Figure 2.3). Ce basculement sans coupure du tunnel radio entre l'UE et le réseau est désigné par le terme Soft Handover.

II.2.4. Phases du handover

Dans l'ensemble, le processus du HO se présente en trois phases consécutives (Figure 2.4) [46]:

1. Phase de mesure sur les cellules (desserte et voisines) ;
2. Phase de préparation de la cellule cible ;
3. Phase d'exécution (basculement).

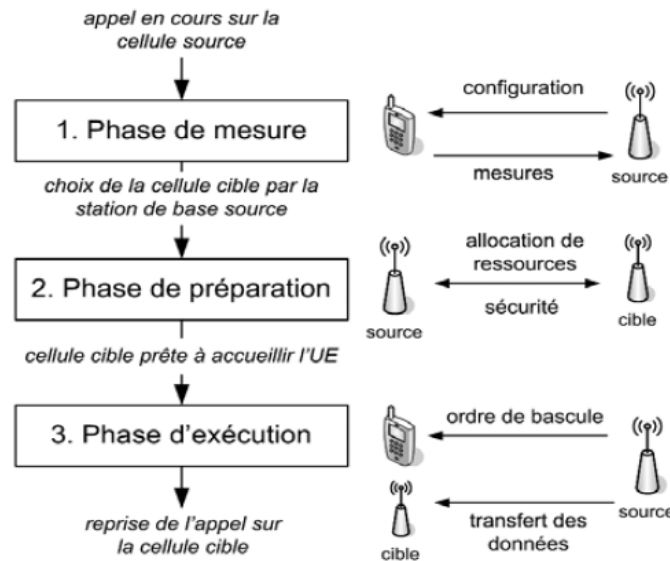


Figure 2.4. Les phases du handover [46]

II.2.4.1. Phase de mesure

Grâce à cette phase, l'UE découvre son environnement par des critères de mesures. Essentiellement, la qualité et/ou le niveau du signal des cellules voisines. L'UE réalise ces mesures avec la complicité de la station desserte, en lui envoyant une requête de configuration (la qualité de signal, niveau de puissance reçue, fréquence porteuse, cellule, le mode de remontée des mesures: sur événement ou périodique). Néanmoins, réaliser des mesures nécessite des arrangements dans la trame radio (des intervalles de temps vide). Par exemple en UMTS, dans le cas des cellules Intra-Fréquences, l'UE réalise ses mesures sans modifier la trame radio de la cellule desserte. Autrement, l'UE est capable de garder sa connexion radio avec sa cellule courante et d'opérer de façon simultanée des mesures sur les cellules Intra-Fréquences. Dans le cas contraire, où les cellules UMTS sont portées par une autre fréquence ou une autre technologie (forcément la fréquence porteuse est différente), le changement sur la trame en émission et réception (consacrer des intervalles de temps vides) peut être utile. Ces intervalles (ou gaps) permettent à l'UE, pour une période déterminée, de régler son récepteur sur la fréquence à mesurer. Lorsque cette durée s'achève, l'UE balance à nouveau sur la fréquence d'origine et sa cellule courante. Ce processus est nommé *mode compressé*

(Compressed Mode en anglais). Son utilisation permet d'éviter la désynchronisation entre l'UE et la station de base, malgré qu'il engendre des coupures très courtes mais souvent utiles pour que l'UE réalise des mesures sur différentes fréquences (le cas d'une seule chaîne de réception radio UMTS/GSM pour l'UE).

L'UE remonte les mesures à sa station desserte, qui les intègres dans son algorithme de décision afin de les vérifier avec les critères de déclenchement du HO, définis auparavant par l'opérateur.

De manière générale, le temps et la précision que prend l'UE pour mesurer les cellules voisines sont des points déterminant pour la continuité des services.

II.2.4.2. Phase de préparation

En effet, dès que la station de base desserte a pris la décision de réaliser un HO basé sur le rapport des conditions radio mesurées par l'UE. Par exemple un handover intersystème est envisagé lorsque la puissance du signal d'une cellule voisine est supérieure à un seuil prédéfini par l'opérateur et la qualité de la cellule desserte est inférieure à un autre seuil. Pour un handover intra ou interfréquence, la puissance ou la qualité du signal d'une cellule voisine doit être supérieure à celle de la cellule desserte. Cette phase de préparation doit être accomplie rapidement afin d'éviter l'interruption des données de services. Ainsi, des échanges de messages entre les cellules courante et cible vont être exécutés, visant à :

- Demander au contrôleur de la station de base cible l'éventualité d'effectuer un HO;
- Obtenir les informations et les paramètres de configurations de la cellule cible afin que l'UE puisse obtenir de façon fiable et rapide ses ressources.

A la fin de cet échange, avant l'arrivée de l'UE à sa nouvelle cellule, les données reçues par le réseau cœur au contrôleur source sont conservées en mémoire de la cellule cible pour veiller à maintenir l'ordre chronologique des paquets.

II.2.4.3. Phase d'exécution

Pour la dernière phase du HO, le contrôleur de la cellule desserte envoie une requête à l'UE lui donnant l'ordre de basculer vers sa nouvelle cellule (identifiant, fréquence...) avec les informations sur sa configuration afin de faciliter l'accès rapide aux paquets qui ont été conservées en mémoire de la cellule cible auparavant. Dès que l'UE reçoit cette commande, il entame la recherche de cette nouvelle cellule. Dans le cas où la fréquence de la nouvelle cellule est différente à celle de l'UE, ce dernier arrange la fréquence de son récepteur de façon qu'il puisse démoduler le signal sur cette nouvelle fréquence. Une fois la nouvelle cellule est repérée, l'UE transmet à la nouvelle station de base une commande du succès du HO par le biais de ressources radio de la liaison montante, signalant ainsi au réseau cœur que l'itinéraire du flux

de données doit être modifié sur la nouvelle cellule. A cette issue, les paquets de données ne seront plus envoyés vers le contrôleur source, mais directement acheminés du réseau cœur au contrôleur de la nouvelle station de base.

II.3. Handover au sein de la technologie LTE

Nous allons expliquer la procédure du handover Intra-LTE, c.à.d. à l'intérieur du système LTE. Ce type de HO utilise le Hard Handover et les étapes sont énumérées comme suit.

- Etape 1 : les mesures ;
- Etape 2 : la préparation;
- Etape 3 : l'exécution.
- Cas échéant: procédure d'échec.

II.3.1. Etape 1: les mesures

La Figure 2.5 illustre les trois procédures à suivre pour cette première étape. Ces trois procédures sont détaillées dans la suite.

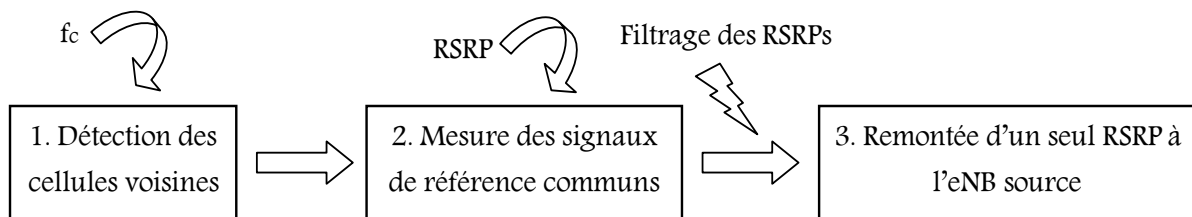


Figure 2.5. Les sous-étapes de la phase de mesures

II.3.1.1. Détection des cellules adjacentes dans le LTE

Quel que soit le mode de l'UE (connecté ou en veille), celui-ci peut découvrir les cellules voisines (Intra et Inter-Fréquences) sur un seul indice (leurs fréquences porteuses). Cela implique, un gain de temps pour indiquer à la station de base desserte la liste qui contient toutes les cellules voisines LTE. En revanche, l'eNB source peut donner une liste noire (blacklist en anglais) des cellules que l'UE ne doit pas mesurer. Cela permet de diminuer sa consommation d'énergie en limitant les mesures à effectuer. Toutefois, l'UE n'est pas dans la nécessité d'avoir d'intervalles de mesure (gaps) pour les cellules Intra-Fréquences. Il est apte à mesurer ces cellules et de façon simultanée, continuer à recevoir des données de la station de base desserte. Par ailleurs, pour les cellules Inter-Fréquences, ces gaps peuvent avoir un impact positif sur l'UE. Par exemple, un UE doté de deux chaînes de réception radio du LTE, peut en même temps continuer la réception de flux de données sur sa station de base desserte et effectuer des mesures Inter-Fréquences, mais cette configuration matérielle entraîne un coût important sur le terminal.

II.3.1.2. Mesures d'intra/inter-fréquences

Une cellule LTE se caractérise par sa fréquence centrale f_c et sa largeur de bande.

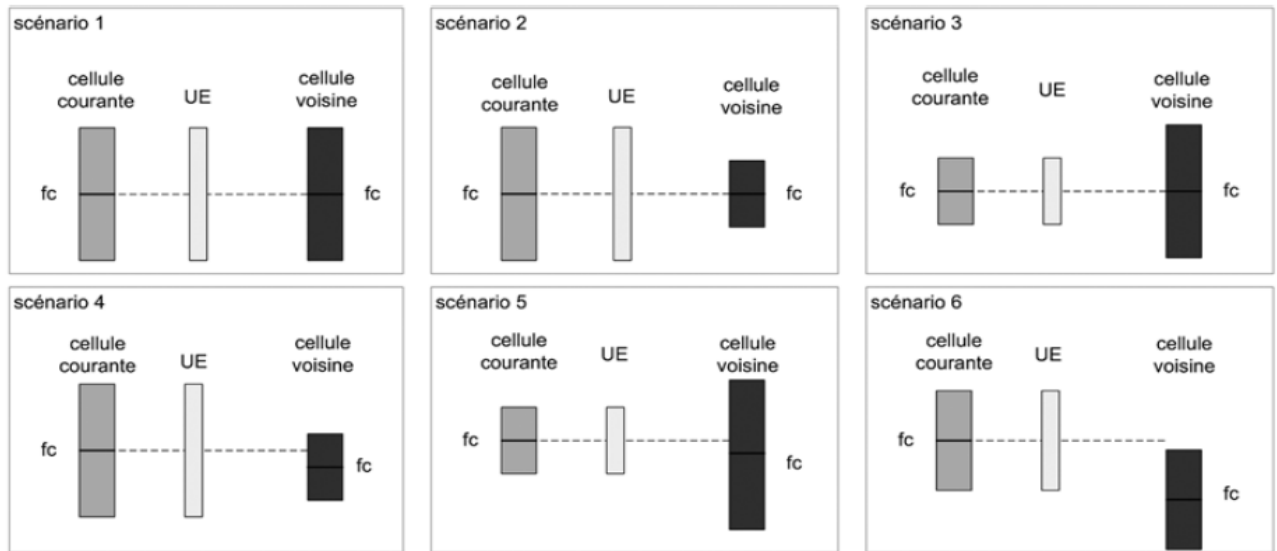


Figure 2.6. Mesures des cellules intra/inter-fréquences [46]

Lorsque deux cellules adjacentes ont la même fréquence centrale avec une largeur de bande différente, cela correspond aux cellules Intra-Fréquences (Figure 2.6 : scénarios 2 et 3). Le scénario 1, Figure 2.6 est un cas particulier et il fait aussi partie d'Intra-Fréquences. Alors que pour une fréquence centrale différente quelle que soit leur largeur de bande, on parle de cellules Inter-Fréquences (Figure 2.6 : scénarios 4, 5 et 6). Toutefois, l'UE réalise les mesures avec la coopération de sa station de base courante en lui indiquant dans ses informations systèmes, la largeur de la bande de fréquence à scanner. Cependant, les éléments sur lesquels portent les mesures, sont les Signaux de Référence Communs des cellules voisines, en particulier les RSRPs.

II.3.1.3. Remontée des mesures

Les éléments sur lesquels portent les mesures, sont les Signaux de Référence Communs des cellules voisines, en particulier les RSRPs. L'UE mesure le niveau de signal RSRP qu'il reçoit de chacune des cellules détectées. IL récupère ensuite la valeur filtrée après avoir traité les mesures des RSRPs données par sa couche physique et l'envoi à l'eNB source. Cette valeur est comparée avec le seuil d'événement du HO (critère de déclenchement) configuré antérieurement. La remontée des mesures suit l'un des trois plans suivants :

- Une marge fixe entre les niveaux des signaux desserte et cible, se stabilise pendant une durée bien définie, nommée TTT : Time-To-Trigger, l'UE informe l'eNB source que l'événement du déclenchement du HO (*Event-Triggered*) se présente afin de procéder à la décision du HO dans la prochaine phase (préparation).
- L'UE envoie de façon périodique des rapports de mesure à l'eNB source.

- Après que l'événement Event-Triggered est atteint, l'UE envoie des rapports de mesures d'une manière régulière, avec un nombre de rapports limité.

Le contrôle régulier par ces remontées permet à l'eNB de surveiller l'évolution de l'UE. Par exemple, lorsque le niveau de mesure remontée s'abaisse de manière continue, un HO est déclenché.

II.3.2. Etape 2: La préparation

Deux cas se présentent dans cette phase, soit la préparation se fait par l'interface X2 entre les eNBs (desserte et cible) ou bien à travers MME par l'interface S1. Toutefois, dans les deux cas, le processus appliqué sur l'interface radio est le même. Rappelons dans certains cas d'eNBs, l'opérateur ne peut pas installer d'interface X2, alors la mise en place d'interface S1 est inévitable. Ce qui implique des délais considérable sur la préparation et le transfert des flux de données (les paquets passent d'abord par le MME ensuite franchissent deux interfaces S1, entre eNB desserte et MME, puis entre MME et eNB cible). Dans le cas où la cellule cible se situe dans la zone d'eNB, aucune procédure de préparation est entamée. La Figure 2.7 illustre la procédure de la phase de préparation. Après avoir pris la décision du HO, l'eNB source envoie le message X2AP Handover Request à l'eNB cible qui fournit les informations suivantes :

- ECGI (Evolved Cell Global Identifier), l'identifiant global de la cellule évoluée, afin de permettre d'identifier la cellule eNB cible sans ambiguïté.
- L'origine du HO (réduire la charge, statut de la liaison radio, optimisation des ressources).
- La liste et la description des E-RAB (E-UTRAN Radio Access Bearer) à configurer.
- Paramètres de sécurité (les algorithmes implémentés pour le cryptage des clés de chiffrement d'eNB).
- L'état du RRC (Radio Resource Control) de l'UE, pour informer la configuration radio de la connexion RRC sur la cellule desserte.
- L'historique de mobilité de l'UE (liste des 16 dernières eNBs visitées par l'UE).

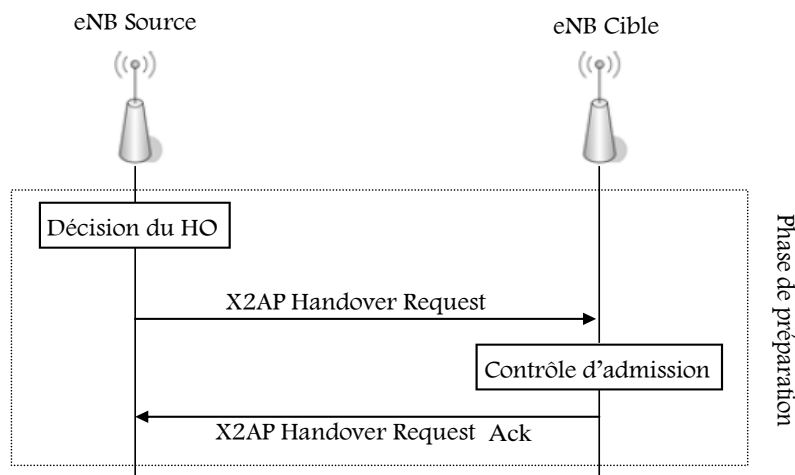


Figure 2.7. Étapes de préparation [46]

Dès la réception de ce message, l'eNB cible exécute le contrôle d'admission pour vérifier la disponibilité des ressources radio afin de recevoir l'UE. Dans le cas positif, l'eNB cible répond à l'eNB source par une requête appelée X2AP Handover Request Ack indiquant le ou les E-RAB qui peuvent être maintenu(s).

II.3.3. Etape 3: L'exécution

Après l'étape de préparation, l'eNB source exécute la commande du déclenchement du HO nommée RRC Connection Reconfiguration à l'UE qui signale :

- la station cible (sa fréquence et son PCI : Physical Cell ID),
- son identifiant C-RNTI (Cell Radio Network Temporary Identifier),
- et les paramètres de sécurité.

Quand l'UE reçoit cette commande, le transfert de flux de données du eNB source vers l'UE est déjà en arrêt (plus de détail dans la sous section suivante – gestion du plan usager). Cependant, l'UE tente de basculer sur sa nouvelle cellule en réinitialisant sa couche MAC et la configuration de ses couches suivant les paramètres inclus dans *RRC Connection Reconfiguration*. L'UE poursuit alors à l'accès aléatoire sur le canal d'eNB cible (RACH - Random Access CHannel). En cas de réussite, UE envoie à l'eNB cible la commande *RRC Connection Reconfiguration Complete* afin de terminer la procédure de signalisation. L'accès aléatoire au canal peut être accompli à l'aide de la méthode *Préambule Dédié*. Ce mode offre un service important, il écarte le risque d'accrochage avec d'autres préambules d'UEs, ce qui permet d'accroître les chances de réussite de cette étape et diminuer son délai global. L'UE cesse d'envoyer les remontées de mesures à l'eNB source et supprime la configuration des intervalles de mesures employés pour les mesures *Inter-Systèmes* ou *Inter-Fréquences*.

II.3.3.1. Gestion du plan usager

Lors d'un HO, le transfert des données s'accompagne d'une interruption temporaire de la liaison radio dans les deux sens (montant et descendant). Sans la coopération des eNBs (source et cible), les paquets de données reçues de la S-GW par l'eNB source seront perdus et la retransmission de ces paquets revient alors aux couches supérieures. Cependant, réaliser une retransmission par ces couches supérieures provoque une diminution du débit due à la distance des entités, causant ainsi, une dégradation sur la qualité de services aux UEs. Pour éviter ces dommages, la 3GPP a spécifié dans son rapport TS 36.323 [47] un protocole de transfert des paquets de données (Figure 2.8) du eNB source vers l'eNB cible nommé SDU PDCP (Service Data Unit Packet Data Convergence Protocol). Ce service permet d'accomplir un HO sans perte de données, sauf qu'il doit être combiné avec l'utilisation des rapports de réception dont nous verrons leurs intérêts par la suite.

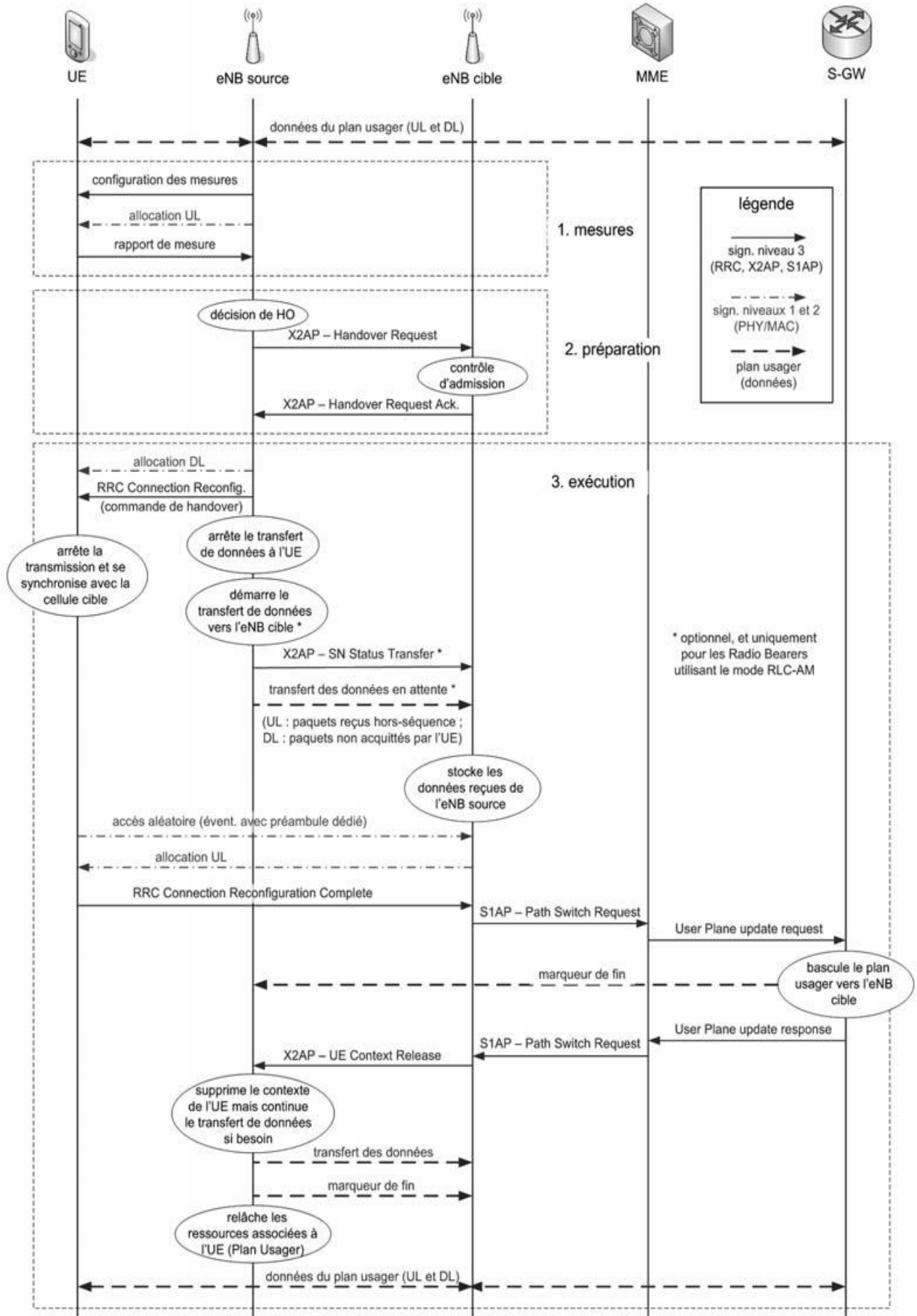


Figure 2.8. Handover en LTE via l'interface X2 [46]

Penons maintenant un exemple (Figure 2.9) sur la gestion du plan usager lors d'un HO avec le protocole SDU PDCP, sans prendre en considération les rapports de réception.

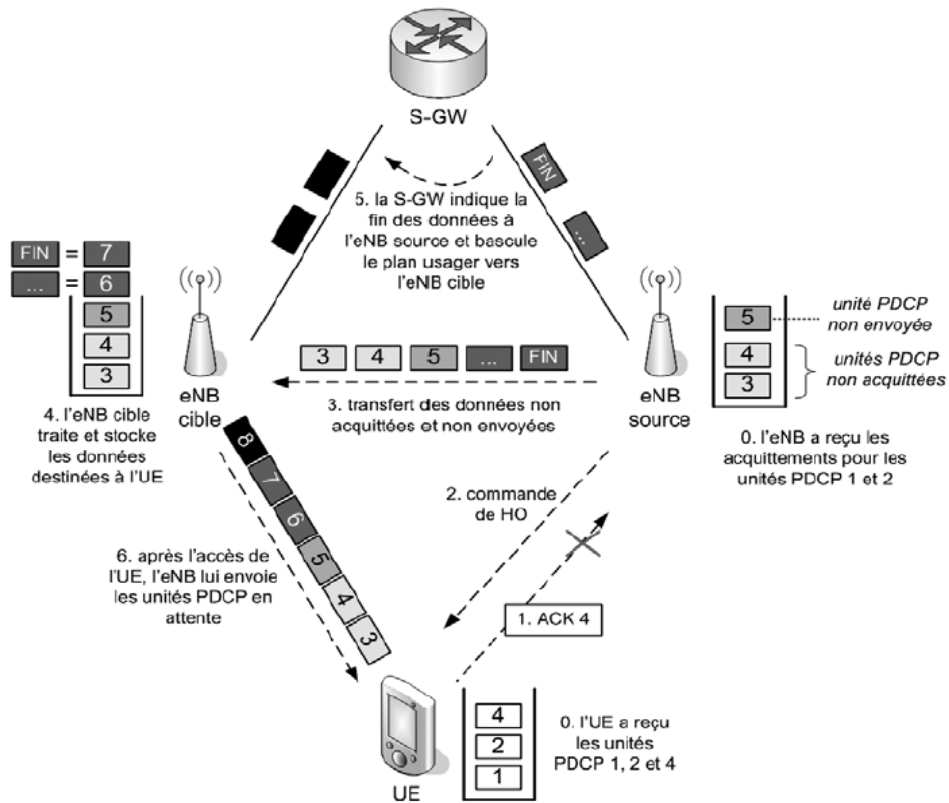


Figure 2.9. Exemple de gestion du plan usager lors d'un HO en LTE [46]

À l'instant t_0 : l'UE est en cours d'un appel sur l'eNB source et il se déplace vers la cellule cible. Cependant, l'eNB source a pu transmettre à l'UE les SDU PDCP de 1 à 4. De l'autre coté, l'UE n'a reçu que les SDU 1, 2 et 4 (SDU 3 perdu). Donc, l'eNB source va conserver les SDU 3 et 4 dans son buffer de transmission, ainsi que le SDU 5 qui n'a pas été transmis du tout à l'UE, tout ceci sur la base des requêtes d'acquiescement.

À l'instant t_1 : l'UE est sur le point de basculer sur la cellule cible. La liaison radio entre l'UE et l'eNB source est à sa fin, ce qui implique, que l'acquiescement du SDU 4 est perdu.

À l'instant t_2 : L'eNB source envoie la commande du HO à l'UE.

À l'instant t_3 : L'eNB source commence alors de transférer les unités SDU non acquittées (SDU 3 et 4) et non envoyées (SDU 5) vers l'eNB cible. En même temps, L'eNB source continue de recevoir de la S-GW des unités de données, sauf qu'il va les transférer à l'eNB cible sans les numéroter.

À l'instant t_4 : L'eNB cible stocke d'abord les SDU 3, 4 et 5. Ensuite, l'eNB cible traite les autres SDU en leur attribuant des numéros de séquence restante (SDU 6 et 7).

À l'instant t_5 : l'UE accède à sa nouvelle cellule, celle-ci informe le S-GW de basculer les unités de données vers l'eNB cible. Cette dernière envoie à l'eNB source un indicateur de fin de trafic.

À l'instant t_6 : L'eNB cible envoie à l'UE d'abord les données SDU en attente (SDU 3, 4 et 5), puis celles qui sont envoyées vers la fin (SDU 6 et 7) par l'eNB source à l'eNB cible, ensuite, SDU 8 (de S-GW à l'eNB cible). Il est tout à fait clair, que l'UE a reçu une copie du SDU 4, donc une utilisation non optimale de l'interface radio (un doublon).

II.3.3.1.1. Les rapports de réception

Cette technique employée en LTE évite la retransmission de copie(s) SDU PDCP vers la cellule cible, déjà reçues auparavant par l'UE ou par l'eNB source. Elle ne peut être utilisée que pour les radios bearers qui emploient le mode RLC-AM (Radio Link Control-Acknowledge Mode). Ce dernier consiste à numéroté les unités SDU PDCP en continu entre la cellule source et la cellule cible. Rappelons que, ce rapport optionnel (configuré au niveau de la cellule source), aide l'eNB cible à déterminer qu'elles sont les unités SDU PDCP qui doivent être retransmises à l'UE. Rappelons aussi que les radios bearers ce sont des canaux radios entre l'UE et l'eNB, offerts par la couche 2 aux couches supérieures pour transférer de l'information du type *user data* ou bien de la signalisation du type *control data*) [48-49].

Reprenons l'exemple précédent avec le mécanisme du rapport de réception (Figure 2.10). Lors d'arrivée de l'UE à sa nouvelle cellule, l'UE envoie un rapport (PDCP Status Report) à l'eNB cible lui indiquant que le SDU 4 a été bien reçu. L'eNB cible le supprime de son buffer d'envoi, et ainsi un doublon sur l'interface radio est évité.

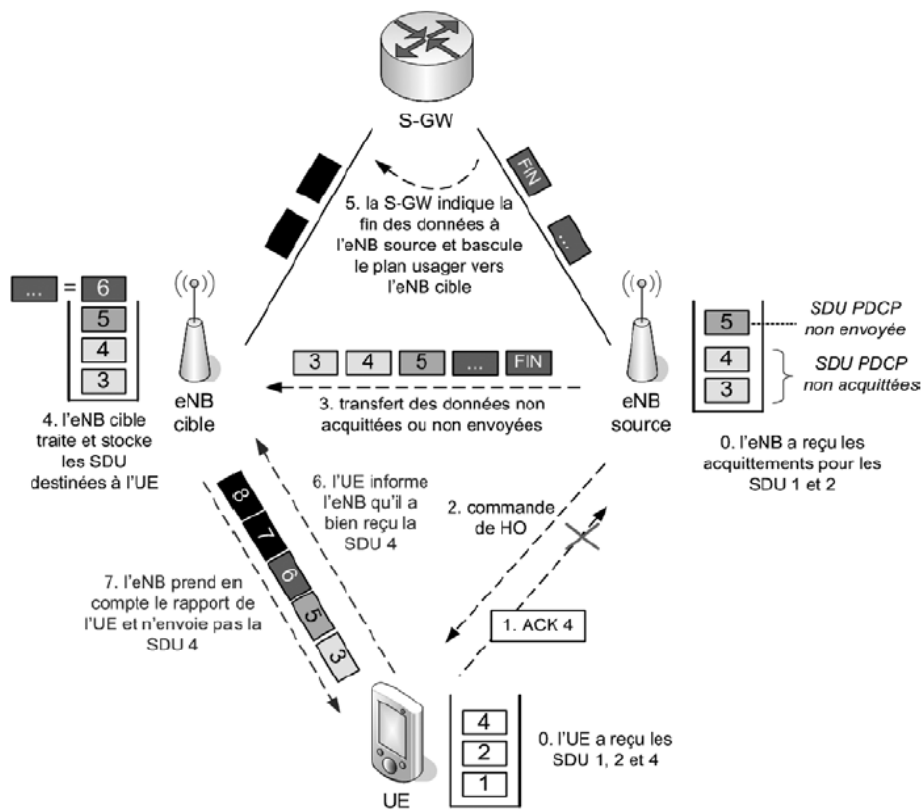


Figure 2.10. Exemple du mécanisme du rapport de réception [46]

En résumé :

- Un HO sans pertes de données réside dans l'utilisation du eNB source d'un *radio bearer* en mode *RLC-AM*.
- Le dispositif du rapport de réception améliore l'efficacité de l'interface radio en évitant le renvoi de données déjà transmises.

II.3.4. Cas échéant : Procédure de rétablissement du lien radio

Quand l'UE reçoit la commande du HO (*RRC Connection Reconfiguration*), l'UE passe par une phase de temporisation, où il procède à l'accès aléatoire sur le canal (RACH) de la cellule cible. S'il parvient à achever ce processus avant l'expiration de cette phase, alors le mécanisme du HO est réussi, sinon l'UE le considère comme un échec et démarre la procédure de rétablissement du lien radio. Les configurations RRC et PDCP utilisées dans la cellule source sont repris et les configurations des couches PHY et MAC établies pour la cellule cible, sont supprimées.

II.3.4.1. Perte et rétablissement du lien radio en LTE

La dégradation d'une communication radio est liée principalement par la conduite de l'UE au sein de la cellule source. En effet, l'opérateur a pour objectif d'éviter cette dégradation à l'aide des procédures de la gestion de la mobilité. Toutefois, d'autres facteurs, comme la mobilité rapide de l'UE, la charge du réseau ou les perturbations sur le canal radio (obstacle, interférences...) peuvent entraîner des dégâts considérables sur la liaison UE/eNB, conduisant ainsi à la rupture du lien radio avant même du déclenchement du HO.

Comme dans les technologies GSM et UMTS, une procédure a été spécifiée fondamentalement, afin que l'UE puisse bénéficier des services de l'opérateur. Nous allons décrire maintenant les deux étapes de ce mécanisme (Figure 2.11), à savoir :

1. Détection d'un trouble sur la liaison radio courante.
2. La procédure de reconnexion en elle-même.

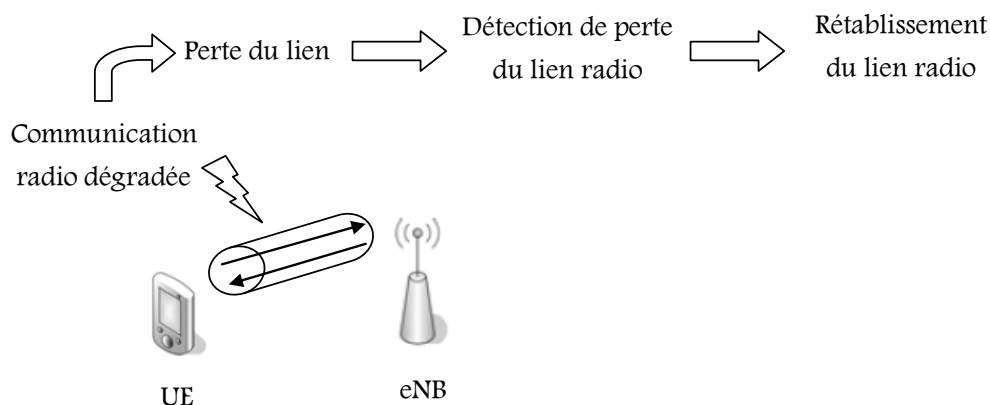


Figure 2.11. Détection et rétablissement de la rupture du lien radio

II.3.3.1.2. Perte et détection du lien radio

Supposons qu'une liaison radio est déjà établie entre l'UE et l'eNB. Les mesures effectuées par l'UE (par sa couche physique et remontées à sa couche RRC après filtrage), lui permettent de surveiller la qualité de service. Lorsqu'un problème surgit sur le lien radio, sa couche RRC détecte que sa couche physique ne lui envoie pas les mesures (par exemple, N indications successives de pertes de synchronisation), alors, une temporisation T_1 est déclenchée par sa couche RRC. Deux cas se présentent ici: le premier cas, si sa couche physique remonte M indications consécutives de synchronisation avant que cette temporisation expire, alors sa couche RRC ne lance aucune procédure particulière et considère que la synchronisation est rétablie. Le deuxième cas, si la temporisation T_1 expire, ou si le nombre maximal de retransmissions RLC a été atteint, la couche RRC de l'UE comprend qu'une rupture du lien radio s'est produite. La Figure 2.12 décrit la procédure complète de détection de rupture du lien radio.

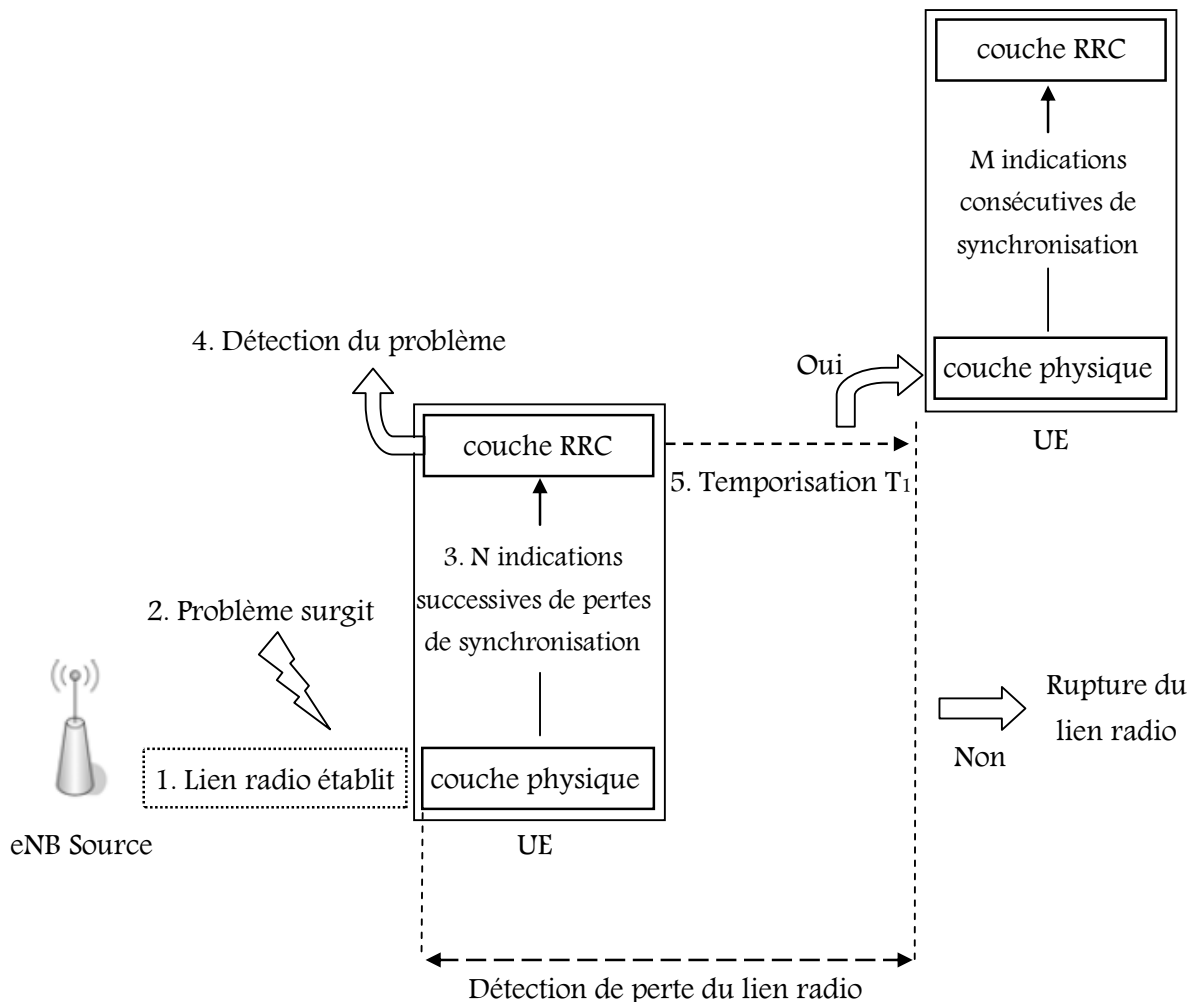


Figure 2.12 . Procédure de détection de rupture du lien radio

II.3.3.1.3. Le rétablissement du lien radio

Après avoir confirmé que le lien radio est perdu, l'UE démarre la procédure de rétablissement de la connexion RRC (Figure 2.13), en lançant une autre phase de temporisation T_2 afin qu'il puisse procéder au choix des cellules cibles. Si une cellule éligible est détectée alors elle sera sélectionnée par la suite et l'UE arrête T_2 et prépare le message *RRC Connection Reestablishment Request*. Sinon, si aucune cellule n'est détectée, ou si l'UE choisit une cellule d'une autre technologie d'accès (GSM ou UMTS), le mode veille est déclenché et tous les *radios bearers* établis en LTE sont libérés.

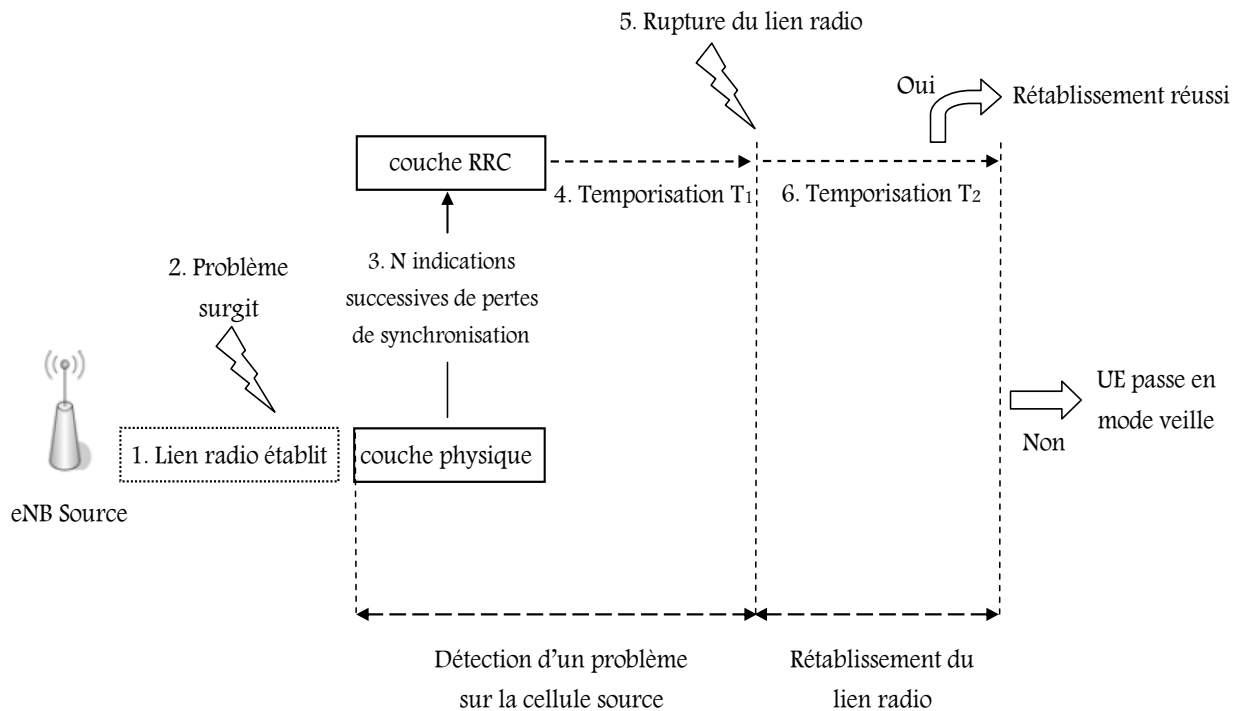


Figure 2.13. Suite - Procédure de rétablissement de la rupture du lien radio

Rappelons que, les paramètres N , M , T_1 et T_2 sont configurés par l'opérateur et diffusés sur les *Informations Système* de chaque cellule.

II.4. Paramètres de mesures du Handover

Nous avons évoqué précédemment que l'UE mesure périodiquement la puissance du signal et la qualité de sa propre cellule desserte et celles des autres cellules voisines afin de connaître la qualité du lien radio. Ces mesures sont basées en liaison descendante et jouent un rôle important sur la re-sélection des cellules. L'UE mesure deux paramètres RSRP et RSRQ (Reference Signal Received Quality) sur le signal de référence RS (Reference Signal en anglais). [50-51].

II.4.1. RSRP (Reference signal Receive Power)

RSRP est la mesure la plus simple effectuée par la couche PHY de l'UE [52], elle permet d'obtenir une valeur moyenne de la puissance reçue du RS transmit par la station de base par RE. La valeur du RSRP est calculée en utilisant la partie utile d'un symbole OFDM, sans le préfixe cyclique. Cette mesure s'accorde en unités linéaires (Watt ou en dBm).

Autrement, les RSRPs des signaux, que l'UE reçoit, sont calculés [53-54] à partir de l'équation suivante :

$$RSRP_{s,ue} = P_s - L_{ue} - L_{fad} \quad (2.1)$$

Avec,

P_s : La puissance d'émission du eNB source.

L_{ue} : Les valeurs de perte de multi-trajets de l'UE à l'eNB source.

L_{fad} : L'effet de masque accompagné de l'évanouissement (shadow fading) qui suit une distribution log-normale et un écart-type (standard deviation) de 3dB.

Le but principal du RSRP est de déterminer la meilleure cellule cible sur l'interface radio descendante et de la sélectionner comme la cellule desserte. Les rapports de mesures RRC qui incluent les résultats de mesures RSRP (comprise entre -140 dBm à -44 dBm par pas de 1dBm [55-56]) seront filtrés et envoyés par l'UE s'il atteint le critère prédéfini de déclenchement de l'événement HO, tel que le montre la Figure 2.14.

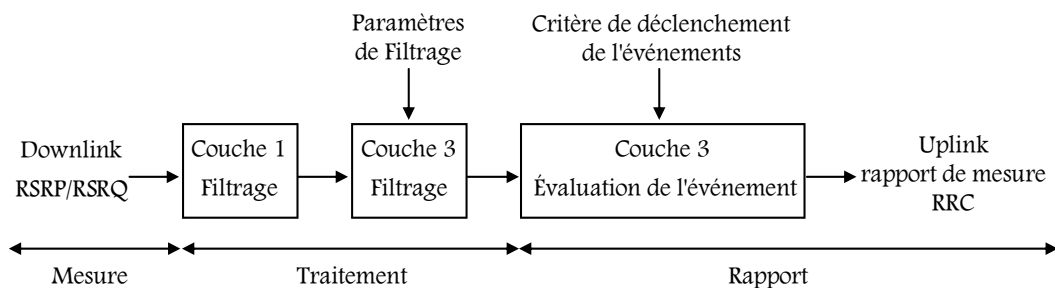


Figure 2.14. Filtrage et rapport de mesure du Handover [6] [25]

Les résultats de mesures RSRP peuvent être classés en trois gammes : pour RSRP supérieur à -75 dBm, la QoS est excellente. Entre -75 dBm et -95 dBm, une légère dégradation de la qualité de service est enregistrée (comme exemple, le débit diminuera de 30-50% si RSRP descend de -75 dBm à -95 dBm). Au dessous de -95 dBm, la QoS devient inacceptable et le débit tend vers zéro à environ -108 dBm jusqu'à -100 dBm. Dans de telles conditions de transmission radio, des échecs d'appel/service doivent être attendus [55]. Rappelons que, le RS est transmit sur une seule bande de fréquence avec une période bien déterminée, ce qui implique que la mesure correspondant à un RE [52].

Pour permettre une démodulation cohérente au niveau de l'UE, les symboles de référence (ou symboles pilotes) sont insérés dans la grille temps-fréquence de l'OFDM afin de permettre

d'estimer le canal. Comme exemple [57], la Figure 2.15 illustre les positions des symboles de référence dans la liaison descendante d'un système LTE avec une antenne en mode CP normal. Les RS sont insérés dans le premier symbole de l'OFDM et le troisième du dernier symbole de l'OFDM (lecture de droite à gauche) pour chaque slot avec un espacement dans le domaine fréquentiel de six sous-porteuses, ce qui correspond aux cinquième ou quatrième symboles de l'OFDM par slot, respectivement dans le cas du préfixe cyclique normal ou étendu,.

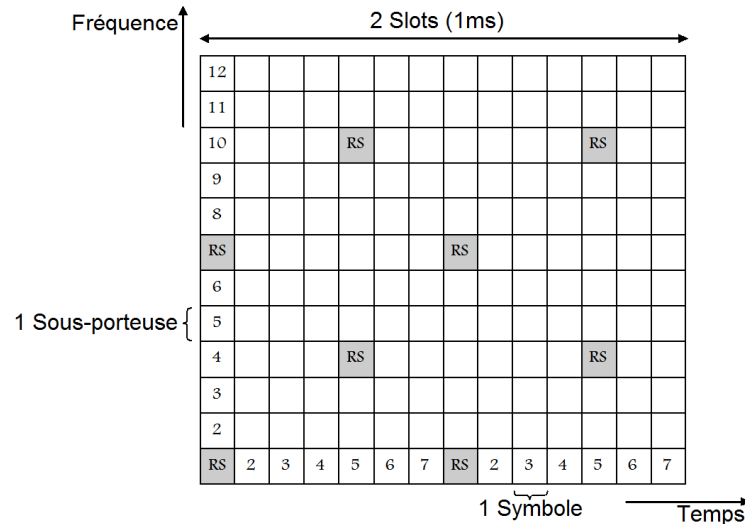


Figure 2.15. Localisation des symboles de référence dans un bloc de ressource (RB) pour un système LTE à une antenne dans le cas d'un CP normal [52] [57]

De là, l'UE est capable de récupérer les mesures du RSRP de la cellule principale et celles des cellules voisines.

II.4.2. RSSI (Received Signal Strength Indicator)

RSSI est la moyenne linéaire de la puissance totale reçue observée seulement dans les symboles OFDM portant des symboles de référence par l'UE de toutes les sources [58]. D'une autre manière équivalente, le RSSI représente la puissance de signal provenant de la cellule desserte ainsi que les interférences de toutes les puissances de canaux adjacents et d'autres sources de bruit (bruit thermique), dans la bande passante de mesure sur N_{RB} [33] [56] [59-60]. On le résume par :

$$\begin{aligned}
 RSSI &= \text{Puissance reçue sur toute la largeur de la bande} \\
 &= \text{Puissance de la cellule desserte} + \text{Puissance d'interférences} + \text{Bruit} \quad (2.2)
 \end{aligned}$$

Ce paramètre aide à déterminer les informations des interférences et du bruit, sachant qu'il n'est pas signalé à l'eNB par l'UE, mais plutôt utilisé par lui-même [56].

II.4.3. RSRQ (Reference Signal Receive Quality)

RSRQ est défini comme le rapport entre le RSRP et le RSSI (Received Signal Strength Indicator). Il est à noter que la différence principale entre le RSRP et le RSSI réside sur la mesure du signal

reçu sur toute la bande de fréquence (englobant le signal transmis, le bruit et les interférences), et pas seulement sur un RE comme c'est le cas pour le RSRP [53] [58].

Cette métrique est utilisée principalement pour fournir le classement des différentes cellules candidates en fonction de leur qualité de signal. Elle devient particulièrement importante comme une entrée dans la re-sélection de cellules cibles et la décision du HO, surtout dans les scénarios dont lequel les mesures du RSRP ne sont pas suffisantes pour prendre une décision fiable de re-sélection de cellules cibles et de HO [59].

La formule donnant le RSRQ est décrite comme suit [33] [60-63] :

$$RSRQ(dB) = N_{RB} * RSRP / RSSI \quad (2.3)$$

Où, N_{RB} représente le nombre de ressources blocks (RBs) sur lequel le RSSI est mesuré [56]. A noter également que les mesures du numérateur et du dénominateur de l'équation 2.2 sont effectuées sur le même ensemble de blocs de ressources [33] [60] [62].

En plus des paramètres RSRP, RSRQ, il existe d'autres critères de décision du HO, tels que le CQI (Channel Quality Indicator) et le SINR (Signal Interference plus Noise Ratio),

II.4.4. CQI (Channel Quality Indicator)

Comme son nom l'indique, ce paramètre est un indicateur de la qualité du canal de communication envoyé par l'UE comme retour afin d'aider l'eNB à sélectionner le débit de données approprié pour la transmission descendante (i.e. Schéma de Modulation et de Codage

Indice CQI	Modulation	Taux de code X 1024	Efficacité
0	Pas de transmission	Hors de portée	
1	QPSK	78	0.1523
2	QPSK	120	0.2344
3	QPSK	193	0.3770
4	QPSK	308	0.6016
5	QPSK	449	0.8770
6	QPSK	602	1.1758
7	16QAM	378	1.4766
8	16QAM	490	1.9141
9	16QAM	616	2.4063
10	64QAM	466	2.7305
11	64QAM	567	3.3223
12	64QAM	666	3.9023
13	64QAM	772	4.5234
14	64QAM	873	5.1152
15	64QAM	948	5.5547

Tableau 2.1. Valeurs CQI en réseau LTE

– MCS en anglais). L'UE détermine le CQI à rapporter sur la base de mesures des signaux de référence de liaison descendante [64]. Ce rapport indique non seulement la qualité du canal descendant, mais prend également en compte, les capacités du récepteur de l'UE. Un bon récepteur de l'UE (de meilleure qualité) signale un meilleur CQI. Ainsi, il peut recevoir des données de liaison descendante avec des MCS plus élevés. En LTE, il existe 15 valeurs CQI différentes (Tableau. 2.1) allant de 1 à 15 (de 4 bits) pour divers schémas de modulation et taux de codage tels qu'ils sont présentés dans la spécification 3GPP LTE [65-67].

II.4.5. SINR (Signal Interference plus Noise Ratio)

En pratique, il est courant d'utiliser le SINR comme un indicateur pour la qualité du réseau. Cependant, il convient de noter que les spécifications 3GPP ne définissent pas SINR [58] [68]. Donc, l'UE ne signale pas SINR au réseau. Le SINR est toujours mesuré en sein de la plupart des UEs et enregistré par des outils de test d'optimisation du réseau tel que le *Drive Test*.

La base générale du SINR est définie comme la puissance d'un certain signal mesuré sur la somme de la puissance d'interférence (de tous les autres signaux interférents) et la puissance d'un certain bruit de fond [69]. Autrement dit, SINR est calculé à partir du RSRP du eNB desserte ($RSRP_{s,ue}$) et le RSRP de la cible (cellule interférente) en plus du bruit thermique. Les valeurs RSRP d'interférences et le bruit thermique sont ajoutés à $RSRP_{int,noise}$ [53-54], ce qui implique les valeurs de SINR résultantes, données par:

$$SINR_{ue} = RSRP_{s,ue} - RSRP_{int,noise} \quad (2.4)$$

Un bon SINR, veut dire qu'un MCS d'ordre supérieur peut être sélectionné (par exemple 64QAM), ce qui implique, plus de bits par symbole de modulation peuvent être transmis et par conséquent un plus haut débit peut être atteint. Par contre, si la valeur du SINR est faible, alors, on doit choisir un MCS d'ordre inférieur (QPSK), ce qui engendre moins de bits par symbole transmis, entraînant ainsi un faible débit [58].

II.5. Critère de décision du Handover en LTE

Afin de prendre la meilleure décision du HO, de nombreux facteurs sont pris en considération. Le réglage de ces paramètres aux valeurs optimales est une tâche très importante. Il est généralement basé sur la mesure de la qualité de la liaison (RSRP/RSRQ) et d'autres paramètres que nous verrons par la suite. Il existe plusieurs critères de notification pour la décision du HO, selon le type de mobilité de l'UE (mobilités *Inter/Intra-LTE* ou bien *Inter-RAT*) [33]. Pour une mobilité dans la *même technologie du LTE*, les événements suivants ont été spécifiés par des critères selon la 3GPP LTE :

Événement A1. La puissance du signal reçu de la cellule desserte devient supérieure à un seuil absolu.

- Événement A2. La puissance du signal reçu de la cellule desserte devient inférieure à un seuil absolu.
- Événement A3. La puissance du signal recueilli de la cellule voisine est supérieure à un décalage relatif par rapport à la cellule desserte.
- Événement A4. La puissance du signal recueilli de la cellule voisine est supérieure à un seuil absolu.
- Événement A5. La puissance du signal reçu de la cellule desserte devient inférieure à un seuil absolu et la puissance du signal recueilli de la cellule voisine est supérieure à un autre seuil absolu.
- Événement A6. La puissance du signal recueilli de la cellule voisine est supérieure à un décalage relatif par rapport à autre cellule voisine (concurrente).

Pour une mobilité *Inter-RAT*, il existe deux événements :

- Événement B1. La puissance du signal recueilli de la cellule voisine est supérieure à un seuil absolu.
- Événement B2. La puissance du signal reçu de la cellule desserte devient inférieure à un seuil absolu et la puissance du signal recueilli de la cellule voisine est supérieure à un autre seuil absolu.

II.6. Événement A3

Il est connu aussi comme le *Handover Conventionnel dans le système LTE* [70]. Nous allons le décrire ici d'une façon générale, mais en détail dans le chapitre suivant, car il fait l'objet de notre contribution.

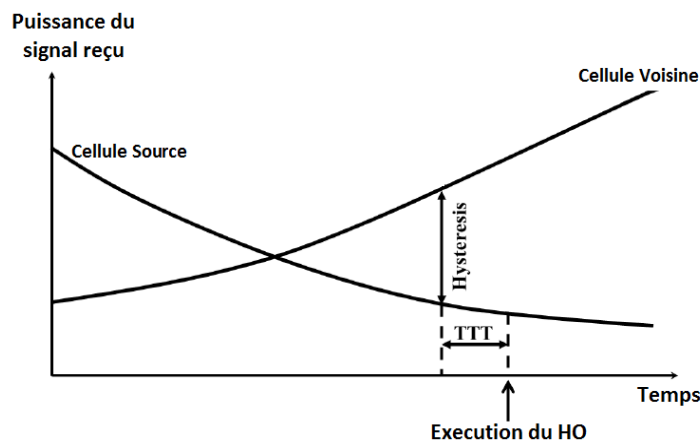


Figure 2.16. Événement A3

La Figure 2.16 illustre le principe de l'événement A3, qui est déclenché si les deux conditions suivantes sont réunies:

- La différence des puissances reçues entre une cellule voisine et celle de la cellule desserte est inférieure à un écart constant appelé *Hystérésis*.

- La première condition est constante pendant un certain temps (appelé *Temps de déclenchement*, en anglais *Time To Trigger - TTT*).

Voyons maintenant ces deux paramètres et leurs spécifications telles qu'elles sont définies par la 3GPP LTE [71].

> Marge d'hystérésis, appelée également *marge du HO*

C'est le paramètre principal qui régit l'algorithme HO entre deux eNBs (source/cible). Autrement dit, elle est utilisée comme condition pour déclencher cet événement. Ses valeurs varient entre 0 et 30 dB, par un pas de 0.5dB.

> TTT

Cette période est le complément de la *marge du HO* pour exécuter le HO. Ce dernier n'est déclenché que si cette marge est constante pendant cet intervalle de temps. Toutefois, ce paramètre peut diminuer le nombre de HO inutile et éviter efficacement les effets de *ping-pong*. Mais il peut également retarder le HO, suite à une haute probabilité d'échecs du HO. Ses valeurs sont 0, 40, 64, 80, 100, 128, 160, 256, 320, 480, 512, 640, 1024, 1280, 2560, et 5120 ms. Ces 16 valeurs sont les seuls moments valables pour déclencher le processus du HO conventionnel [54].

II.7. Handover dans le réseau femtocell

Trois types de HO de base peuvent se produire dans le réseau femtocell comme le montre la Figure 2.17. On cite la procédure *Hand-in*, le *Hand-out*, qui est l'opposée du *Hand-in*, et enfin le *Inter-HeNB* appelé aussi *Inter-FAP* [72], *Hand-off* [73].

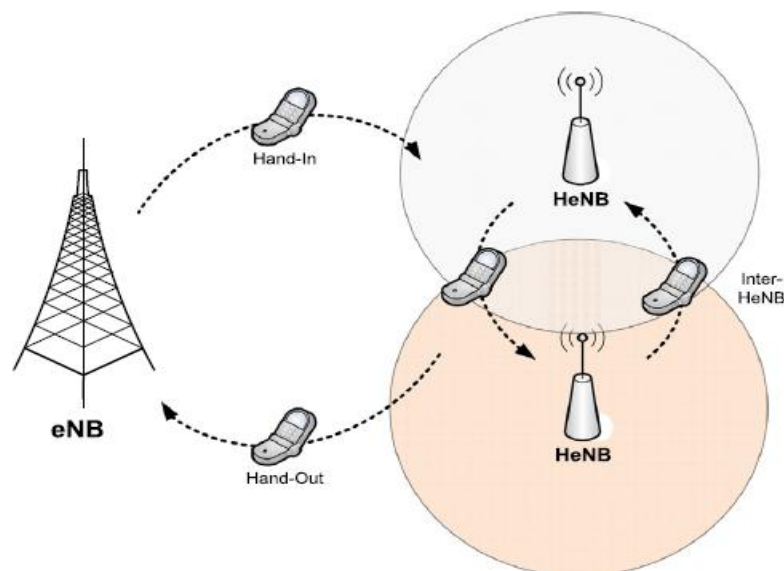


Figure 2.17. Scénarios du handover dans l'environnement femto/macro-cellulaire [36]

II.7.1. Hand-in

Ce type de HO se produit lorsqu'un UE se déplace de la zone de couverture macro cellulaire vers la zone femto cellulaire. C'est l'un des scénarios du HO le plus complexe et difficile en comparaison à d'autres handovers [74]. Pour cette situation, l'UE doit sélectionner la bonne cible du HeNB parmi les centaines des HeNBs [73]. Par exemple, dans les zones très peuplées, les HeNBs peuvent être déployées en milliers, et si la procédure du HO classique sera appliquée dans le réseau macro cellulaire, la liste de tous les HeNBs disponibles au voisinage sera trop longue impliquant ainsi des demandes énormes sur les ressources du système [75].

II.7.2. Hand-out

Ce scénario s'effectue lorsqu'un UE change d'une zone de couverture femto cellulaire à une couverture macro cellulaire. Ce type de HO ne pose pas beaucoup de problèmes par rapport à la procédure *Hand-in*, étant donné que la cellule cible est une macro. D'une autre façon, lorsque l'UE mesure la puissance du signal pour effectuer le HO à la cellule la plus appropriée, il doit choisir parmi les cellules trouvées seulement quelques-unes, typiquement une ou deux, en choisissant simplement celle avec le signal le plus fort. Ce type de transfert est très similaire au HO entre les cellules macros. A savoir, l'un des challenges est de garder le temps de HO très faible [73, 75-76].

II.7.3. Inter-HeNB

Il correspond au scénario de HO d'un HeNB à un autre HeNB. Dans ce troisième type, tous les HeNBs sont supposés placer dans une même cellule macro [72]. De ce fait, l'UE sera confronté à plus de nombre de HeNBs cibles, lorsque la cellule desserte est hors de portée [73]. La procédure *Inter-HeNB* est très similaire à celle de *Hand-in* puisque dans les deux cas, la cellule cible doit être choisie parmi beaucoup de cellules cibles [75].

II.8. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté dans un premier temps une vue d'ensemble du handover, afin de préparer le lecteur par la suite, à comprendre ce processus au sein du système LTE. Une communication radio mobile nécessite ce type de mécanisme lorsque l'UE change de cellule. Ce dernier possède trois phases : phase de mesure, phase de préparation et enfin la phase d'exécution. Dans le cas où le lien radio est perdu, une procédure de rétablissement est engagée par des règles bien définies. C'est clair que le handover se base sur des paramètres de décision, les plus connus sont RSRP/RSRQ. N'oublions pas qu'ils existent d'autres paramètres tels que CQI, RSSI et le SINR. Selon le type de mobilité de l'UE se dirigeant vers la même technologie ou une autre différente, la 3GPP LTE a spécifié les critères de décision

du HO. Prenons le cas *Inter/Intra-LTE*, six évènements se présentent par contre dans l'*Inter-RAT*, deux évènements seulement. L'évènement A3, connu aussi sous le nom *LTE Hard Handover*, ou *Handover Conventionnel dans LTE*, a attiré notre attention et fait l'objet de notre contribution dans le chapitre suivant. Cet évènement se caractérise par deux paramètres essentiels pour le bon fonctionnement du HO, la *marge du HO* connue aussi comme la *marge d'hystérésis* et le *temps de déclenchement*. La naissance des femtos cellules a été elle aussi affectée par ce processus de basculement de cellules. Trois types de HO se présentent : le *Hand-In*, le *Hand-Out* et le *Hand-Off*.

Dans le chapitre trois, nous allons présenter notre première contribution qui s'appuie sur les informations détaillées dans les deux premiers chapitres.

Chapitre III

Première contribution : Probabilité de détection du Handover dans le réseau LTE/LTE-A

III.1. Introduction

Recevoir des services de communication en continu est une tâche primordiale aussi bien pour les usagers que pour les opérateurs mobiles. Avec l'évolution de la technologie LTE/LTE-A, le déploiement des cellules femtos a pu améliorer l'efficacité spectrale, alléger la charge sur la macro-cellule, accroître le débit et corriger les lacunes de la couverture intérieure, produites par les multi-trajets. Rappelons que la raison derrière une faible couverture intérieure est que les signaux radio, en particulier dans les bandes à haute fréquence, ne pénètrent pas bien les murs. Actuellement jusqu'à 60% de la voix et 70% du trafic de données se produit à l'intérieur [77]. Par conséquent, le concept du déploiement des cellules femtos dans les cellules macros cause des perturbations au niveau de la gestion de la mobilité.

Divers approches ont amélioré la gestion de la mobilité, la plus connue est le *LTE Hard Handover* ou bien la technique *Conventionnelle du Handover LTE* [70]. Avec cette solution, le changement de la cellule peut conduire à des pertes de données très importantes.

Dans ce chapitre, nous présentons notre première contribution qui améliore le mécanisme du HO par rapport à celle du *LTE Hard Handover*. Cette solution proposée est inspirée d'une part des méthodes utilisées dans la radio cognitive et d'autre part des processus de prédiction. Nous expliquons par la suite, la problématique et les travaux de recherches liés à plusieurs paramètres dans la gestion de la mobilité, notre motivation, la relation entre les deux algorithmes du *LTE Hard Handover* et de la solution proposée et enfin les résultats de la simulation interprétée avec une conclusion.

III.2. Problématique et travaux antérieurs

La gestion de la mobilité est une tâche très sensible en raison de plusieurs paramètres tels que les interférences, les trajets multiples, l'effet de masque (*shadowing*), les évanouissements rapides (*fast fading*), la vitesse de déplacement de l'UE et l'architecture du réseau (nombre de femto-cellules dans la macro-cellule). Tout cela entraîne une sévère perturbation au niveau des services utilisés par l'utilisateur d'une part et d'autre part, les paramètres utilisés dans le mécanisme du HO sont aussi impliqués par ces perturbations, essentiellement le RSRP et le SINR, causant ainsi un/des handover(s) inutile(s) ou bien un faux déclenchement du processus du HO. De même, la fiabilité de détection du signal est aussi limitée par ces paramètres [78].

Plusieurs travaux de recherche relatifs à la gestion de la mobilité et à la détection du signal ont été publiés. En ce qui concerne, le problème de décision du HO, les efforts de recherche menés par la 3GPP ont adopté le *Hard Handover* pour les systèmes LTE/LTE-A (ou bien le *Standard Handover* [36] [79]). Son utilisation réduit la complexité du mécanisme du HO en raison de l'architecture des réseaux LTE et LTE-A. De plus, il minimise le délai du HO. Cependant, l'approche *LTE Hard Handover* a un impact très fort sur les applications qui peuvent entraîner des pertes de données importantes pendant la session.

Gódor et al. [36] ont présenté un état de l'art sur la gestion de la mobilité dans les réseaux LTE/LTE-A. Ils ont clarifiés les challenges et les enjeux relatifs à la gestion du HO en classant les travaux récents en quatre groupes, selon la nature de leurs algorithmes :

- Algorithmes basés sur l'emplacement des HeNBs/UE qui utilisent l'emplacement réel des HeNBs comme paramètre d'entrée pour améliorer l'efficacité du HO [80-86].
- Algorithmes basés sur la mobilité de l'UE prenant en compte la vitesse de déplacement de l'UE comme paramètre de base lors de la décision du HO et en outre, les informations prédites (vitesse et position) de l'UE, utilisées comme paramètres de base pour de futures décisions du HO [72] [84] [87-93].
- Algorithmes de décision fondés sur des politiques. Des règles prédéfinies ont été mises en place pour prendre la bonne décision [80-81] [83] [94-95].
- Enfin, des algorithmes reposants sur l'étude de l'environnement qui appliquent des mécanismes d'apprentissage pour récolter certaines informations sur l'environnement et les utiliser pour améliorer la décision du HO [96-100].

Liu et al. [82] ont publié un algorithme de décision basé sur la distance. Ce modèle est très simple et les auteurs ont supposé que la zone de couverture de la femto-cellule à une géométrie circulaire et que la trajectoire de déplacement de l'UE est droite. Dans ce cas, la distance de l'UE

peut être calculée à partir de la femto-cellule par une équation simple en utilisant uniquement le taux de changement du RSS (modèle de propagation). Ensuite une estimation sur la distance parcourue (d) est appliquée sur deux points différents à partir des mesures du RSS (Receiver Signal Strength). De là, la vitesse de l'UE peut être prédite (v). Les auteurs ont défini également un seuil de distance T_{THR} qui sera utilisé dans la prise de décision du HO. Lorsque la distance parcourue estimée est supérieure à T_{THR} , alors le processus du HO se déclenche. En revanche, si la distance parcourue estimée est supérieure à T_{THR} et en plus inférieure à $v\tau$ alors un échec du HO est probable, où τ est le temps de latence du HO. L'avantage de cet algorithme est qu'il réduit le nombre de HO inutiles et minimise la probabilité d'échec du HO. Son inconvénient porte sur la précision de l'estimation de la vitesse, étant donné que c'est un point crucial pour la prédiction d'une mobilité.

Jeong et al. [84] ont expliqué le problème des nombres inutiles des HO de la macro-cellule vers les femto-cellules lorsque les utilisateurs mobiles se déplacent avec une faible vitesse. L'idée est de maintenir la connexion macro-cellule plutôt que de déclencher le HO en identifiant les *visiteurs temporaires de la femto-cellule*. Pour cela, Jeong et al. ont proposé de diviser la zone femto-cellule et les alentours en sous-zones, en utilisant la technologie de positionnement. Grâce à cette découpe, ils ont pu prédire l'approche de l'UE de la femto-cellule. Cette proposition nécessite un ou plusieurs serveurs de base de données pour stocker des données de localisation.

Wu et al. [87] ont pris en compte les vitesses des UEs pour la décision du HO lorsque les UEs se déplacent à des vitesses élevées dans un environnement où il y a un grand nombre de femto-cellules. Cette situation augmente considérablement le nombre des HO qui affectent la qualité de la communication. Pour réduire les HO inutiles, ils ont introduit en plus d'un seuil RSSI pour le déclenchement du HO ($RSSI_{threshold}$), un mécanisme de scan périodique (T_{scan}) et un seuil de vitesse (V_0). Rappelons que, cet algorithme, prend en compte tous les scénarios de HO possible, y compris l'*inter-HeNBs*, le *Hand-in* et le *Hand-out*. Dans ce cadre, deux cas se présentent :

- Si la cellule desserte est une macro-cellule, la condition de déclenchement du RSSI est utilisée ($RSSI < RSSI_{threshold}$), en plus du scan périodique. Deux cas du HO sont probables: si l'UE se déplace plus vite ($V_{UE} > V_0$) alors la décision prise est de rester dans sa station desserte, sinon l'UE bascule vers la cellule femto ($V_{UE} < V_0$).
- Si la cellule desserte est une femto-cellule, seule la condition de déclenchement du RSSI est utilisée. A cet effet, Deux cas du HO se présentent aussi: si $V_{UE} > V_0$ alors l'UE bascule vers la macro-cellule. Tandis que, si $V_{UE} < V_0$ est vérifiée alors l'UE commence à

chercher une meilleure cellule femto, s'il la trouve, l'UE bascule vers celle-ci, sinon vers une macro-cellule.

Malheureusement, Wu et al. se sont contentés d'un seul scénario, par conséquent l'analyse de cette proposition sur d'autres scénarios s'avère nécessaire pour déterminer la robustesse de cet algorithme.

Chang et al. [81] ont présenté deux problèmes. Tout d'abord, celui de la liste surchargée des eNBs et HeNBs voisines. Lorsque l'UE a besoin d'un HO, il reçoit une liste des eNBs et HeNBs voisines, alors que, mesurer toutes ces stations (eNBs et HeNBs) sur cette liste prend un temps considérable pour sélectionner une station appropriée (eNB ou HeNB). De plus, des mesures inutiles doivent être effectuées lorsqu'il s'agit des HeNBs, tandis que la plupart d'entre eux sont hors de leurs portées (transmission de courtes portées). Cette procédure est connue sous le nom de *mesure insensée*. Le problème d'oisiveté des HeNBs est le deuxième problème. Dans de nombreuses zones urbaines, la puissance du signal des réseaux sans fil dans un environnement *indoor* est assez bonne en raison du déploiement dense des eNBs. En conséquence, un UE qui entre dans une zone de couverture d'un HeNB n'effectuera pas une mesure du réseau pour vérifier l'existence du HeNB. Parce que, l'eNB source peut encore fournir une bonne intensité de signal souhaitable, l'UE va camper dans la cellule de desserte et ne peut pas utiliser le grand débit de données fourni par le HeNB. Pour éviter ces deux problèmes, les auteurs ont proposé une règle de gestion des eNBs voisins afin d'atténuer le problème de mesure insensé en réduisant considérablement la taille de la liste des eNBs voisins en plus d'un schéma de flux de messages *HeNB-assisted HO* pour aider l'UE à déterminer le temps du HO vers HeNBs dans un foyer. Par conséquent, il apporte un délai supplémentaire pour le HO dû à la stratégie de flux de messages, cela génère une surcharge du réseau.

Dhahri et al. [97] se sont intéressés à la communication *indoor*, plus exactement, le réseau femto-cellule à accès ouvert. En général, pour un grand nombre de femto-cellules voisines, l'UE se heurte à plusieurs choix (une liste) durant le processus du HO afin de sélectionner une meilleure cellule femto voisine. Traditionnellement, les méthodes de sélection sont basées sur la qualité du canal/cellule telle que la capacité du canal, la charge de la cellule candidate, la force du signal reçue (RSS)... Les auteurs se sont focalisés sur les travaux menés sur la capacité du canal, ils ont constaté que le problème qui se pose, c'est la garantie de la capacité à l'instant actuelle t et qu'elle ne sera pas maintenue au futur (à l'instant $t + \Delta t$) due aux conditions du canal. Alors, ils ont proposé une méthode de sélection qui assure la bonne décision du HO en garantissant une meilleure capacité et élimine les redondances du HO (rester dans la cellule voisine le plus longtemps possible). La solution se décompose en trois étapes. D'abord, l'UE collecte des informations sur ses cellules voisines (estime le gain du canal entre lui-même et les

cellules voisines en utilisant l'estimateur LMMSE tel qu'il est présenté dans [101]), ensuite, l'UE prédit la meilleure cellule grâce à l'apprentissage de renforcement RL (Reinforcement Learning en anglais) et enfin, l'UE rejoint la nouvelle cellule desserte. Le désavantage de cette proposition est que la décision est prise par l'UE sur la base d'une Q-table (méthode Q-learning) stockée localement.

Voyons maintenant les travaux menés sur la détection du spectre. Pour améliorer l'utilisation de ce dernier, les algorithmes de détection dans la radio cognitive sont considérés comme une solution. Plusieurs études ont proposé des algorithmes de détection pour localiser l'utilisateur principale (eNB/HeNB) par l'utilisateur secondaire (UE) tels que la détection d'énergie, la détection par ondelettes, la détection de fonction en cycle stationnaire et le filtrage adapté [102-104].

Gentner et al. [105] ont présenté leur problématique sur l'estimation de position de l'UE dans un environnement macro-cellule urbain. Notamment, lorsque la propagation entre émetteur/récepteur est en mode NLOS (Non-Line Of Sight), cela provoque des erreurs de positionnement de l'ordre de plusieurs centaines de mètres. La solution proposée est basée sur une nouvelle dérivation analytique de la probabilité de détection de fausse alarme (FAP : False Alarm Probability) et la probabilité de détection (DP : Detection Probability) des signaux NLOS. Les auteurs ont précisé que leur concept est inspiré du travail dans [36].

Fodor et al. [106] ont examiné le problème de détection du spectre dans le cas où les systèmes principaux et secondaires opèrent sur la même échelle en termes de puissance d'émission. De plus, l'emplacement des émetteurs mobiles est inconnu pour détecter ces signaux primaires. La solution est de déployer un réseau de capteurs (ils ont proposé une topologie triangulaire) pour fournir des informations sur la disponibilité du spectre aux UEs. Pour effectuer cette détection, Fodor et al. se sont penchés sur la méthode de détection d'énergie locale pour chaque capteur, ce dernier prend sa propre décision sur deux hypothèses binaires (présence d'un bruit seulement ou présence d'un signal reçu en plus du bruit). Ensuite, une coopération d'un ensemble de capteurs pour prendre la décision est prise sous forme de combinaison logique (OR = Si au moins un capteur juge qu'un signal est présent / AND = Si tous les capteurs jugent une présence d'un signal). Après, l'évaluation des performances du réseau de capteurs se fait en termes de probabilité de détection (Probabilité de détection de fausse alarme qui présente la présence d'un signal mais en réalité ce signal n'est que le bruit, donc, pas de présence du signal principal d'une technologie sans fil ; Probabilité de détection manquée (missed sensing probability) qui dépend de la position de l'UE à l'intérieur du réseau capteur et le nombre de capteurs). Les résultats de la simulation ont prouvé que l'approche à l'accès au spectre assisté par réseau de capteurs est possible dans les deux technologies WLAN et LTE.

III.3. Motivation

La nature dynamique de l'environnement de propagation, le mode de déplacements des utilisateurs et le type du réseau LTE (Femto-cellule ou Macro-cellule) sont nos plus grands défis. Dans notre état de l'art, nous avons étudié plusieurs efforts de recherche sur les solutions de gestion de la mobilité selon différents paramètres pris en compte (environnement, vitesses des UEs, positions des UEs...). Parmi eux, la solution *LTE Hard Handover* adoptée par la 3GPP sera notre modèle de comparaison par la suite. Cependant, il est connu que cette propriété implique la perte de données et nécessite un temps considérable d'optimisation des paramètres *TTT* et *la marge du HO*. Sachant que, les valeurs sont limitées par la 3GPP, pour un bon fonctionnement d'un réseau (Femto/Macro), une détection précoce de la perte du signal courant est nécessaire. L'idée consiste à combiner la méthode de détection d'énergie utilisée dans la radio cognitive avec un processus de prédiction LMS afin de pronostiquer l'impact du HO (Par une probabilité) dans un scénario réaliste (les valeurs de déplacements des UEs (piétons) prises par le groupe METIS [107]) dans un réseau LTE (Femto/Macro cellule).

III.4. Conception de l'algorithme proposé

Dans cette section, nous allons présenter une vue d'ensemble de notre algorithme avec un modèle de système dans lequel nous dévoilons :

- Le mécanisme de prédiction d'un signal par la méthode LMS.
- Le modèle de propagation entre l'UE et les deux cellules (femto et macro).
- Et la méthode de détection d'énergie d'un signal basée sur une probabilité de détection.

III.4.1. Processus LMS (Least Mean Squared)

La méthode LMS est considérée comme un élément prometteur dans les applications de traitement du signal en raison de sa simplicité et de ses bonnes performances sur l'état futur d'un système.

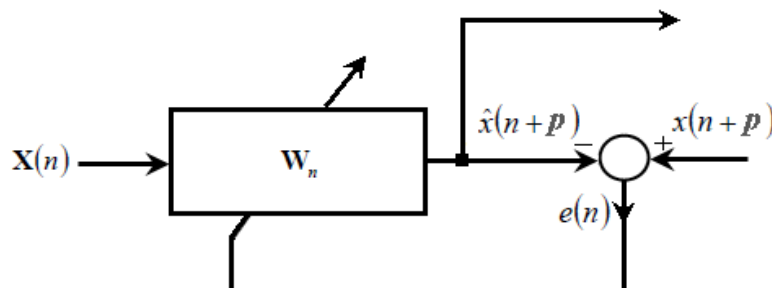


Figure 3.1. Principe du processus LMS

Comme représenté dans la Figure 3.1, pour avoir la valeur estimée $\hat{x}(n+p)$ d'ordre p , une combinaison linéaire entre le vecteur d'entrée $X(n)$ et le vecteur de pondération W_n est essentielle. L'algorithme LMS surveille l'erreur de prédiction $e(n)$ en permanence par une

soustraction entre la valeur désirée $x(n + p)$ et estimée $\hat{x}(n + p)$ afin de minimiser l'erreur de prédiction quadratique moyenne $E\{e(n)^2\}$ et met à jour le vecteur de pondération \mathbf{W}_{n+1} en utilisant un paramètre d'adaptation fixe μ , connu sous le nom *step-size* qui détermine la vitesse de convergence du processus de prédiction.

$$\mathbf{X}(n) = [x(n) \ x(n-1) \ \dots \ x(n-p+1)]^T \quad (3.1)$$

$$\mathbf{W}_n = [w_n(0) \ w_n(1) \ \dots \ w_n(p-1)] \quad (3.2)$$

$$\hat{x}(n+p) = \sum_{l=0}^{p-1} w(l) x(n-l) = \mathbf{W}_n^T \mathbf{X}(n) \quad (3.3)$$

$$e(n) = x(n+p) - \hat{x}(n+p) \quad (3.4)$$

$$\mathbf{W}_{n+1} = \mathbf{W}_n + \mu \times e(n) \times \mathbf{X}(n) \quad (3.5)$$

La lettre T désigne la transposée.

Si à l'instant n , la valeur $x(n+p)$ n'est pas disponible pour calculer $e(n)$, alors on peut calculer $e(n-p)$ à la place de $e(n)$ [108] :

$$e(n-p) \approx x(n) - \hat{x}(n) \quad (3.6)$$

LMS normalisé (NLMS) est fréquemment utilisé dans la pratique. La modification apportée à l'algorithme LMS réside dans l'équation de mise à jour définie comme suit :

$$\mathbf{W}_{n+1} = \mathbf{W}_n + \mu \times e(n) \times (\mathbf{X}(n)/\|\mathbf{X}(n)\|^2) \quad (3.7)$$

Dans le processus NLMS, si $0 < \mu < 2$, alors les résultats du filtre convergent vers la moyenne.

III.4.2. Modèles de propagation

Afin d'avoir une probabilité de détection par la suite, nous devons avoir un modèle RSRP. Ce modèle est traduit par des équations mathématiques dans un réseau LTE hétérogène, composé de cellules macro et femto.

En général, RSRP est calculé à partir de : [53-54] [58] [109-110]

- P_s : puissance d'émission de la cellule source.
- $PL_{s,ue}$: valeurs de perte de trajets de la cellule source à l'UE.
- $PL_{s,fad}$: évanouissement lent (shadow fading) avec une distribution logarithmique normale et un écart-type σ .

RSRP est représenté dans l'équation suivante :

$$RSRP_{s,ue} = P_s - PL_{s,ue} - PL_{s,fad} \quad (3.8)$$

Deux modèles de propagation de perte de trajets sont utilisés pour calculer $RSRP_{s,ue}$:

- $RSRP_{macro,ue}$: entre l'émetteur de la macro-cellule (eNB) et l'utilisateur extérieur de la macro cellule (outdoor Macro User (MU)).

- $RSRP_{femto,ue}$: entre l'émetteur de la femto-cellule (HeNB) et l'utilisateur extérieur de la femto cellule (outdoor Femto User (FU)) associé à la cellule femto qui se trouve à l'intérieur d'un foyer (indoor HeNB).

D'abord $RSRP_{macro,ue}$: Le modèle de propagation dans une macro-cellule pour un MU qui se déplace dans une zone urbaine peut être exprimé en dB [111-114] comme :

$$PL_{macro,ue} = 2.7 + 42.8\log_{10}(R) \quad (3.9)$$

Où, R représente la distance entre l'eNB et MU, exprimée en mètres.

Dans le cas où l'UE se trouve à l'intérieur de la macro cellule (indoor MU), on ajoute L_{ow} à l'équation (3.9) qui représente la perte de pénétration du mur extérieure. De là, le résultat de perte de trajets est donné en dB par :

$$PL_{macro,ue} = 2.7 + 42.8\log_{10}(R) + L_{ow} \quad (3.10)$$

Le modèle de perte de trajet de l'évanouissement lent est représenté en dB par :

$$PL_{macro,fad} = PL_0 + 10\beta\log_{10}(d/d_0) + \chi_{\sigma_{macro}} \quad (3.11)$$

Où :

PL_0 : le trajet multiple à une distance de référence d_0 mesurée en dB.

β : l'exposant de perte de trajet (sans unité).

d : la distance entre l'eNB et MU (en mètres).

$\chi_{\sigma_{macro}}$: représente une variable aléatoire qui suit une distribution gaussienne avec la moyenne nulle et l'écart-type σ_{macro} (en dB) [115].

PL_0 : calculé par le modèle de perte de trajet dans l'espace libre (FSPL : Free Space Path Loss) comme :

$$PL_0 = 10\log_{10}(4\pi d_0/\lambda)^2 \quad (3.12)$$

Avec λ est la longueur d'onde du signal (en mètres).

Ainsi donc, nous aurons :

$$RSRP_{macro,ue} = P_{macro} - PL_{macro,ue} - PL_{macro,fad} \quad (3.13)$$

Ensuite pour $RSRP_{femto,ue}$, le modèle de perte de trajet $PL_{femto,ue}$ entre un HeNB et un FU qui est dans le même foyer, peut être calculé en dB [111-114] comme :

$$PL_{femto,ue} = 38.46 + 20\log_{10}(R) + 0.7d_{2D,indoor} + 18.3n^{((n+2)/(n+1)-0.46)} + qL_{iw} \quad (3.14)$$

Où :

$0.7d_{2D,indoor}$: représente la perte de pénétration due aux murs à l'intérieur d'un foyer (exprimée en mètres).

n : le nombre d'étages de la construction.

q : le nombre de murs qui séparent HeNB et FU.

L_{iw} : la perte de pénétration due aux murs internes du foyer.

Dans ce travail, nous considérons que nous avons un outdoor FU associé à un indoor HeNB. Avec HeNB qui se situe au rez de chaussée du foyer ($n = 0$) et 3 murs qui séparent HeNB et FU ($q = 3$). Ce qui donne :

$$PL_{femto,ue} = \max[PL_{macro,ue}, 38.46 + 20\log_{10}(R)] + 0.7d_{2D,indoor} + qL_{iw} + L_{ow} \quad (3.15)$$

En ce qui concerne le modèle de perte de trajet de l'évanouissement lent $PL_{femto,fad}$ c'est la même équation de $PL_{macro,fad}$ sauf que la différence réside dans l'écart-type (σ_{femto}). Ainsi, nous aurons :

$$RSRP_{femto,ue} = P_{femto} - PL_{femto,ue} - PL_{femto,fad} \quad (3.16)$$

Observant maintenant SINR. En générale, il peut être calculé entre RSRP de la cellule source $RSRP_{s,ue}$ et la cellule perturbatrice en plus du bruit thermique $RSRP_{int,noise}$. Le résultat est calculé en dB comme suite [53-54] [109] :

$$SINR_{ue} = RSRP_{s,ue} - RSRP_{int,noise} \quad (3.17)$$

En particulier, nous représentons SINR pour un MU et FU respectivement avec ces équations

$$SINR_{MU} = RSRP_{macro,ue} - RSRP_{int,noise} \quad (3.18)$$

$$SINR_{FU} = RSRP_{femto,ue} - RSRP_{int,noise} \quad (3.19)$$

III.4.3. Mécanisme de détection d'énergie

Après avoir défini les modèles de propagation des MU et FU, nous nous intéressons au modèle de détection des spectres. Plus précisément, nous nous adressons au modèle local de détection du spectre tel qu'il est présenté dans [116]. Le résultat de cette méthode donne une valeur de décision par rapport à ρ , qui représente le seuil de la décision d'énergie. Si cette valeur est supérieure au seuil, alors la détection d'une station de base (PU : Primary User) est présente. En effet, On distingue deux hypothèses binaires, $H_{0,i}$ l'hypothèse nulle qui indique l'absence de PU par rapport au UE_i et $H_{1,i}$ qui désigne l'hypothèse de présence du signal PU en fonction d' UE_i . Ces deux hypothèses sont données par : [78] [117-119]

$$\begin{cases} H_{0,i} : y_{ue_i}(t) = n_i(t) \\ H_{1,i} : y_{ue_i}(t) = x_{eNB}(t) + n_i(t) \end{cases} \quad (3.20)$$

Où :

$y_{ue_i}(t)$: le signal reçu par UE_i .

$x_{eNB}(t)$: désigne le signal transmis d'un eNB.

$n_i(t)$: représente le bruit blanc Gaussien additif au UE_i .

Pour simplifier l'écriture de l'équation (3.20), on suppose que nous avons un seul UE. De là, nous aurons deux observations H_0 et H_1 .

Pour prendre la décision entre H_0 et H_1 , l'énergie du signal reçu E est exprimée par :

$$E = \int_0^T y_{ue}^2(t) dt = \frac{1}{2TW} \sum_{n=1}^{2TW} y_n^2 \quad (3.21)$$

Avec, T est l'intervalle de temps de détection (appelé aussi l'intervalle de temps d'observation) en secondes et W représente la largeur de la bande en Hz. Ce qui donne, les valeurs d'observations pour H_0 , une détection d'énergie écrite comme :

$$E_0 = \frac{1}{2TW} \sum_{n=1}^{2TW} n_n^2 \quad (3.22)$$

Et pour les observations H_1 , la détection d'énergie est notée comme suite :

$$E_1 = \frac{1}{2TW} \sum_{n=1}^{2TW} x_n^2 + n_n^2 \quad (3.23)$$

Pour traduire E_0 et E_1 en métriques de probabilité de détection, on applique la théorie de probabilité (la loi *chi-squared* ou bien la loi du χ^2). Pour E_0 , la décision statique est vue comme une distribution *chi-squared centrée* avec $2TW$ comme degré de liberté. Tandis, E_1 suit une distribution *chi-squared non-centrée* avec $2TW$ comme degré de liberté et un paramètre de non-centralité 2γ où γ représente ici le $SINR_{ue}$ [119] :

$$E \sim \begin{cases} H_0 : \chi_{2TW}^2 \\ H_1 : \chi_{2TW}^2(2\gamma) \end{cases} \quad (3.24)$$

Rappelons que la distribution *chi-squared* est un cas particulier de la distribution *gamma* [120], d'où résulte le calcul d'une probabilité de fausse alarme P_{fa} . En outre, pour évaluer la probabilité de détection P_d , la fonction *Q de Marcum* est employée [102] [116-119] :

$$\begin{cases} \text{Prob}(E > \rho | H_0) : P_{fa} = \Gamma(\tau, \rho/2) / \Gamma(\tau) \\ \text{Prob}(E > \rho | H_1) : P_d = Q_r(\sqrt{2\gamma}, \sqrt{\rho}) \end{cases} \quad (3.25)$$

Où [121-123] :

$Q_r(.,.)$: la fonction *Q de Marcum*.

$\Gamma(.,.)$: représente la fonction *gamma incomplète*.

$\Gamma(\tau)$: représente la fonction *gamma*.

τ : le produit temporel de la bande passante.

III.5. Etude comparative

Comme nous avons évoqué dans le chapitre 2, *LTE Hard Handover* possède deux variables essentielles pour déclencher le processus du HO. Ces variables sont la *marge du HO* (HOM) et le *temps de déclenchement* (TTT). Nous allons voir le plan algorithmique *LTE Hard Handover* et les améliorations apportées par notre approche.

La Figure 3.2.a montre que le processus du HO est initié par l'envoi du rapport de mesure à la cellule source, lorsque la condition de l'événement est constante pendant une période TTT. Ce processus commence par l'observation des intervalles de temps consécutifs entrants. D'une autre manière, si la différence RSRP (entre cible / source) est inférieure ou égale à HOM dans l'un des intervalles de temps consécutifs entrants, le mécanisme du HO sera réinitialisé, sinon, le processus passe à l'étape d'envoi de la commande du HO. Cette étape est connu sous *la décision du HO*. Le temps de préparation de l'envoi de la commande du HO est modélisé par un protocole d'une période constante exprimée en millisecondes [124-125]. L'envoi de cette commande se fait dans la liaison descendante (entre la cellule source et l'UE).

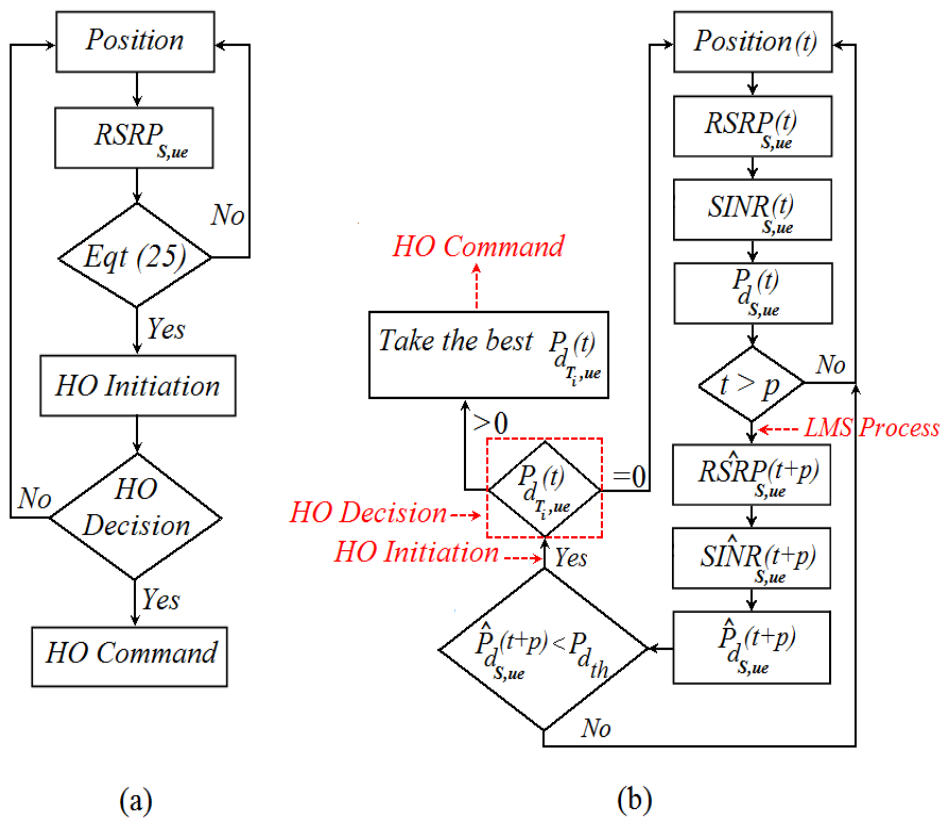


Figure 3.2. (a). Algorithme LTE Hard Handover - (b). Algorithme proposé

L'amélioration apportée par rapport à la méthode *LTE Hard Handover* est d'éviter les ajustements des valeurs HOM et TTT en traquant constamment le signal RSRP afin d'estimer à quel moment la probabilité de déconnection du signal de la cellule source se produira par la

méthode de prédiction LMS. Que se soit dans une cellule femto ou macro (Figure 3.2.b), l'algorithme proposé récolte p échantillons des $RSRP_{S,ue}$ pour prédire $\widehat{RSRP}_{S,ue}$ à l'instant $t+p$. L'étape suivante consiste à calculer la probabilité de détection $\widehat{P}_{d,S,ue}$ à l'instant $t+p$ en utilisant $\widehat{SINR}_{S,ue}$ comme paramètre d'entrée. Dès que la condition $\widehat{P}_{d,S,ue}(t+p) < P_{d,th}$ est atteinte, l'initiation du HO est déclenchée. Sans perdre de temps, le processus de décision est autorisé à calculer les probabilités de détection pour chaque signal détecté $P_{d_{T_i,ue}}$ à l'instant t . Ensuite, l'algorithme compare et sélectionne la plus haute probabilité qui fait l'objet du meilleur spectre trouvé. A cet effet, la cellule source envoie directement l'ordre de basculement à l'UE par le message *commande HO*, évitant ainsi le protocole de préparation de cette commande (le délai constant 'C' du protocole – Figure 3.3).

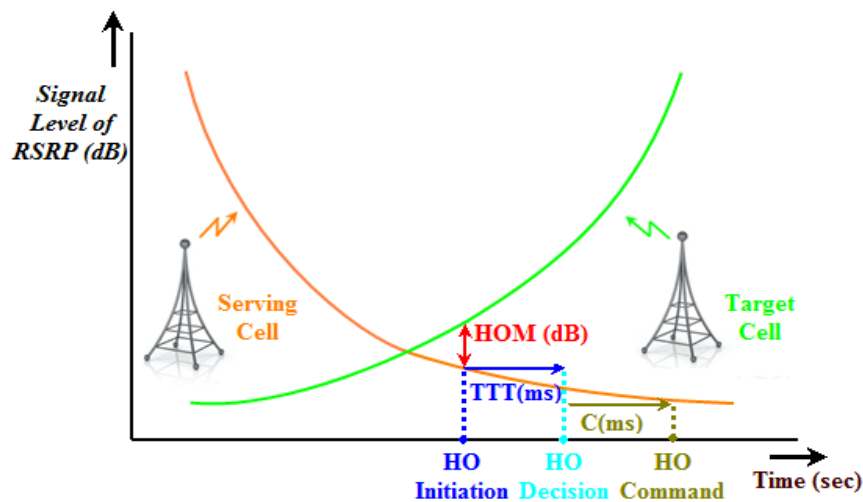


Figure 3.3. Principe du LTE Hard Handover

III.6. Simulation

Pour l'évaluation, nous mettons en œuvre sous la plate-forme MATLAB les deux algorithmes étudiés dans une même topologie composée d'une cellule femto (HeNB) et de deux macro-cellules (eNB_1 et eNB_2), où HeNB se situe dans l' eNB_1 .

Pour se rapprocher le maximum du scénario réel, nous prenons trois traces de déplacements piétonnières parmi les 1500 abonnés, prises par le groupe METIS [107]. Toutefois, Les trois UEs sont implémentés dans notre topologie proposée. Rappelons qu'une cellule femto peut supporter huit abonnés à la fois [126]. Deux scénarios vont être exposés dans la même topologie proposée :

- Scénario I : Mouvement d'un seul UE.
- Scénario II : Mobilité de deux UEs.

Le Tableau 3.1 fournit les paramètres de simulation.

Paramètre	Valeur
Temps de Simulation	483 sec
Surface de Simulation	1000 m x 1850 m
Nombres des UEs	1
Rayon de la Macro-cellule	500 m
Rayon de la Femto-cellule	50 m
Fréquence	2 GHz
Exposant du Multi-trajets	3
Distance de référence	Point de départ des UEs
Affaiblissement dû à la pénétration extérieure	20 dB
Affaiblissement dû à la pénétration intérieure	5 dB
Puissance de transmission du eNB	46 dBm
Puissance de transmission du HeNB	23 dBm
Longueur d'onde du signal radio	0.124 m
Nombres des murs qui séparent HeNB / UEs	3
Type de mobilité des UEs	Mobilités piétonnières - Groupe METIS
Canal d'observation	AWGN
L'ordre de prévision - macro/femto cellule	11 / 3
L'écart-type - macro/femto cellule	8 / 3
Bruit thermique	-174 (dBm/Hz)
Bruit	9 dB
Taille du pas - macro/femto cellule	0.05 / 0.1
Seuil de détection - macro/femto cellule	-86 / -75 dBm
Marge du HO - macro/femto cellule	10 dB
Temps de déclenchement	512 ms

Tableau 3.1. Paramètres de la simulation

III.6.1. Scénario I

Supposant que le piéton #1 (UE_1) commence à se déplacer de la cellule femto jusqu'à la deuxième macro cellule tout en traversant la première macro cellule, comme le montre la Figure 3.4.

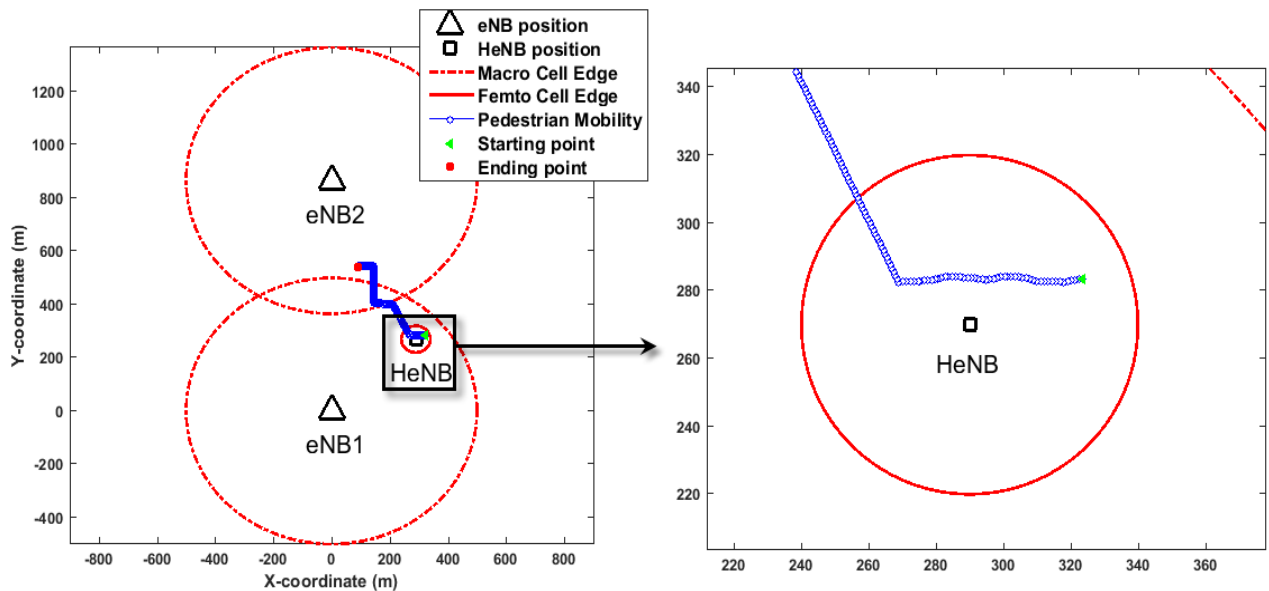


Figure 3.4. Mobilité du piéton METIS #1 dans notre modèle de topologie

III.6.2. Scénario II

Le piéton #2 (UE_2) commence à se déplacer dans la première macro cellule en traversant la cellule femto et termine sa trajectoire dans la première macro cellule. Par contre, Le piéton #3 (UE_3) commence à se déplacer depuis la seconde macro cellule jusqu'à la femto-cellule tout en traversant la première macro cellule (Figure 3.5).

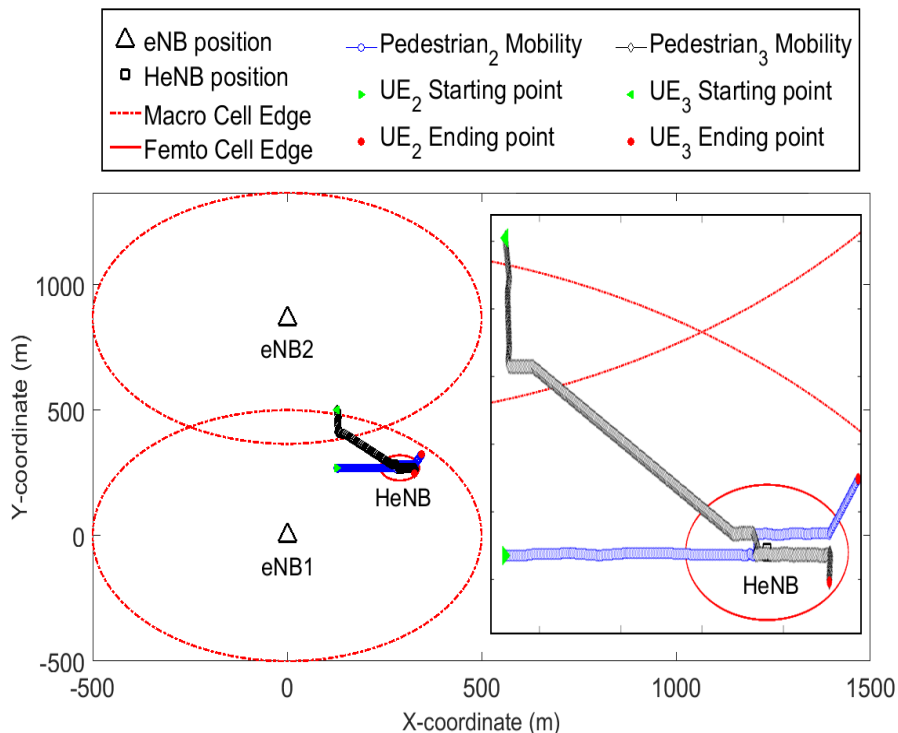


Figure 3.5. Mobilité de deux autres piétons METIS dans la même topologie proposée

III.7. Analyses et Evaluations

L'étude comparative est basée sur le critère de probabilité de détection du signal sur les deux algorithmes, conventionnel et proposé. Voyons maintenant le premier scénario dans le cas où le standard handover LTE est appliqué.

III.7.1. LTE Hard Handover – Scénario I

Evidemment, à partir de la Figure 3.4 nous constatons que l'UE₁ va être basculé sur deux zones,

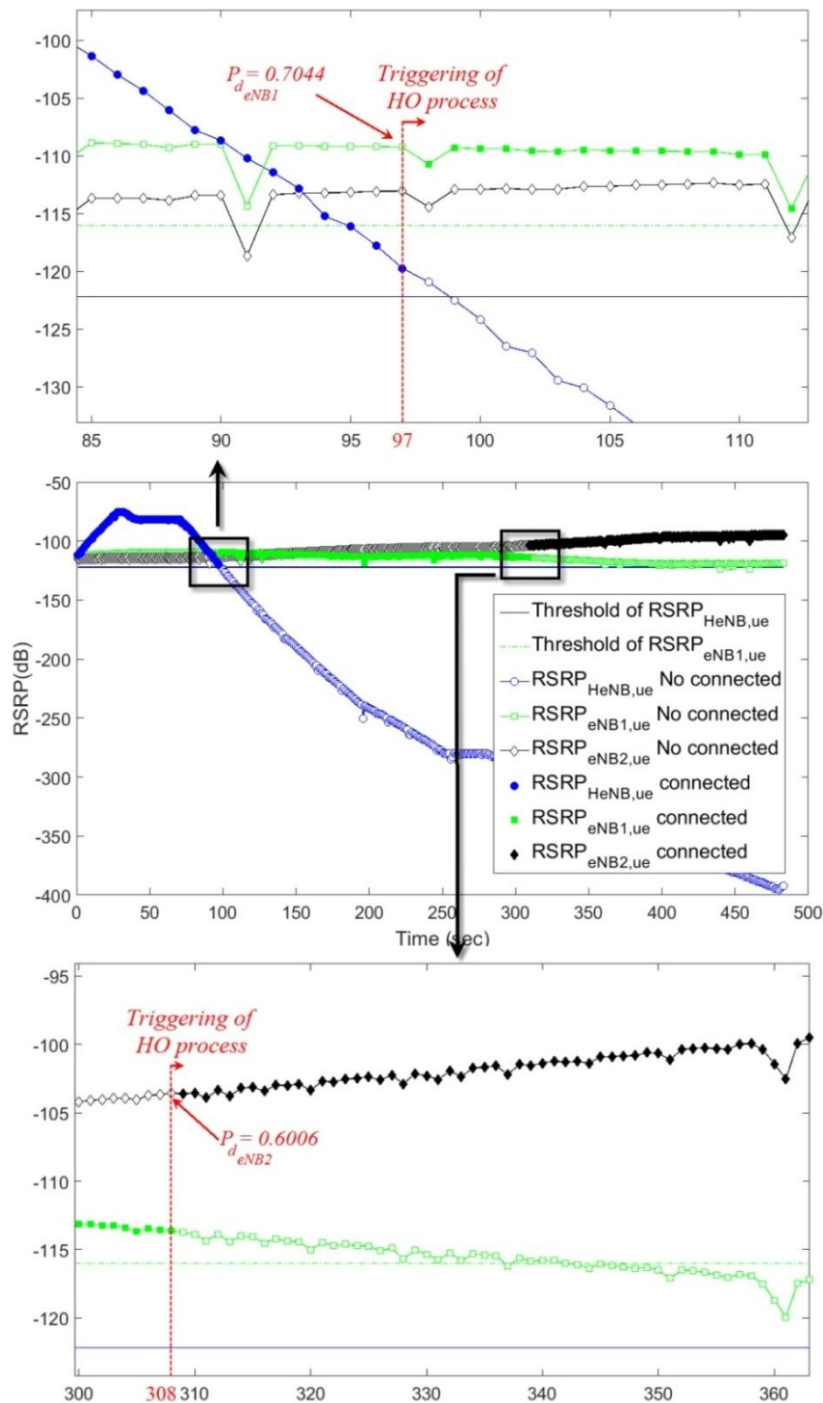


Figure 3.6. Simulation de processus du HO conventionnel

eNB₁ et eNB₂ respectivement. Donc, le processus du HO sera déclenché en deux fois tel que le montre la Figure 3.6. Le premier déclenchement se produira à l'instant $t = 97$ sec, d'où la condition $RSRP_{eNB_1,UE_1} > RSRP_{HeNB,UE_1} + HOM$ reste constante pendant une durée $TTT = 512$ ms. Nous supposons que la valeur de $TTT +$ la procédure du HO est égale à 1 sec. Ce qui en résulte une probabilité de détection du eNB₁ $P_{d_{eNB_1}}|t_{97} = 0.7044$. Même chose pour le deuxième déclenchement, à l'instant $t = 308$ sec la condition $RSRP_{eNB_2,UE_1} > RSRP_{eNB_1,UE_1} + HOM$ est vérifiée, donnant ainsi une probabilité de détection du eNB₂ $P_{d_{eNB_2}}|t_{308} = 0.6006$.

III.7.2. Notre approche – Scénario I

Le processus commence lorsqu'il récolte p_{femto} échantillons des $RSRP_{femto,UE_1}$. Toutefois, la cellule femto est connue comme une petite cellule, ce qui influe sur le mécanisme de convergence du processus LMS.

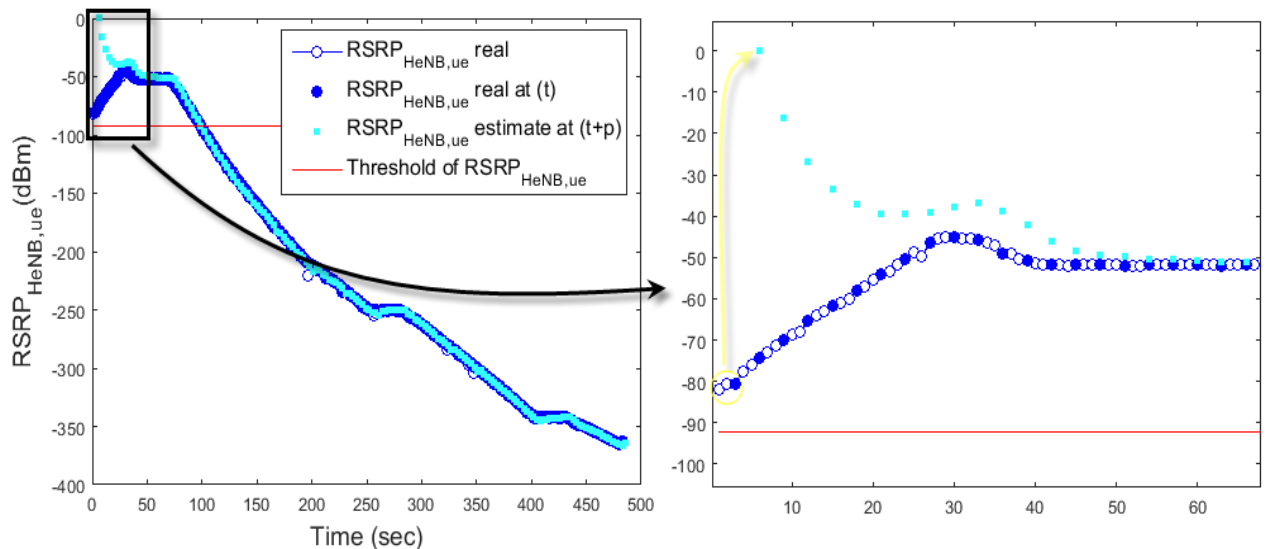


Figure 3.7. Simulation de processus du HO conventionnel

Afin d'accélérer la convergence avec une faible marge d'erreur, nous prenons $p_{femto} = 3$ et la taille du pas (*step-size*) $\mu_{femto} = 0.1$. Ainsi, nous profitons d'une bonne prédiction des $\widehat{RSRP}_{femto,UE_1}$ tel qu'elle est illustrée dans la Figure 3.7.

En revanche, pour chaque vecteur $RSRP_{macro,UE_1}$ nous prenons $p_{macro} = 11$ et la taille du pas $\mu_{macro} = 0.05$ dans la mesure de contourner les creux du signal qui cause une fausse mise à jour de l'erreur et par la suite, l'en-tête de prédiction de la probabilité de détection sera inexacte. Les résultats des $RSRP_{macro,UE_1}$ réels et prédits sur les deux cellules macros sont présentés dans la Figure 3.8 et Figure 3.9.

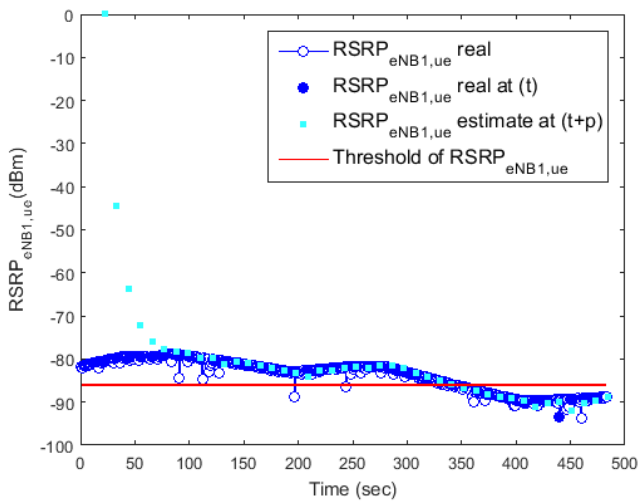


Figure 3.8. $RSRP_{eNB1,UE1}$ réelles & prédites

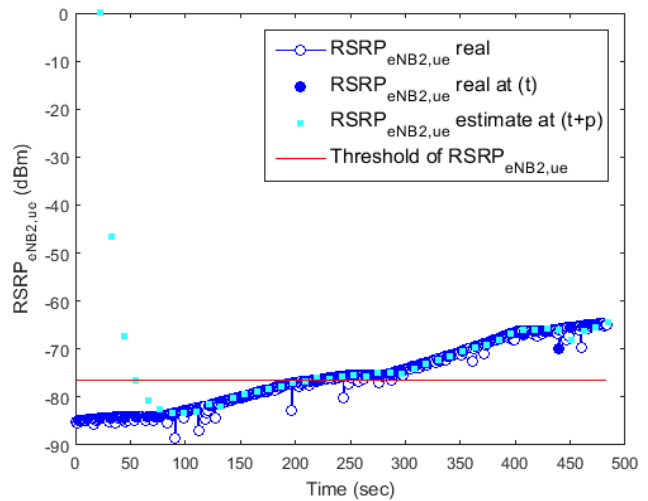


Figure 3.9. $RSRP_{eNB2,UE1}$ réelles & prédites

Selon le cycle proposé (Figure 3.2.b) et les équations (3.18) et (3.19), le signal SINR est évalué pour chaque position de l'UE₁ conformément à sa trajectoire. Les résultats sont illustrés dans les figures : 3.10, 3.11 et 3.12.

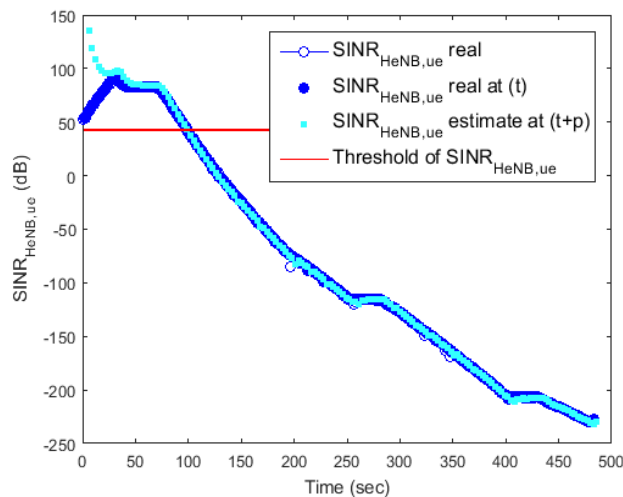


Figure 3.10. $SINR_{HeNB,UE1}$ réels & prédits

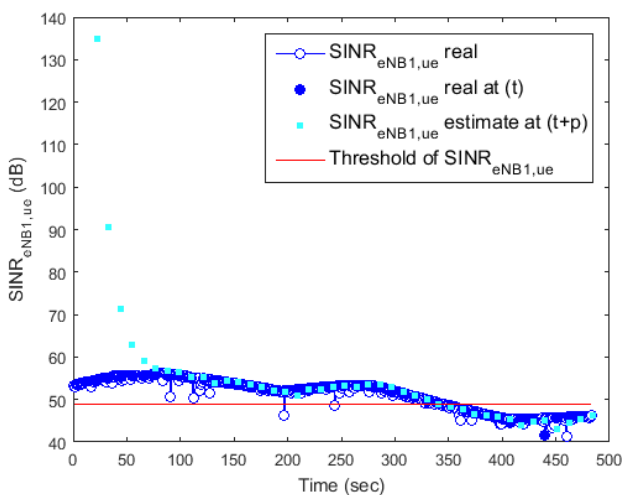


Figure 3.11. $SINR_{eNB1,UE1}$ réels & prédits.

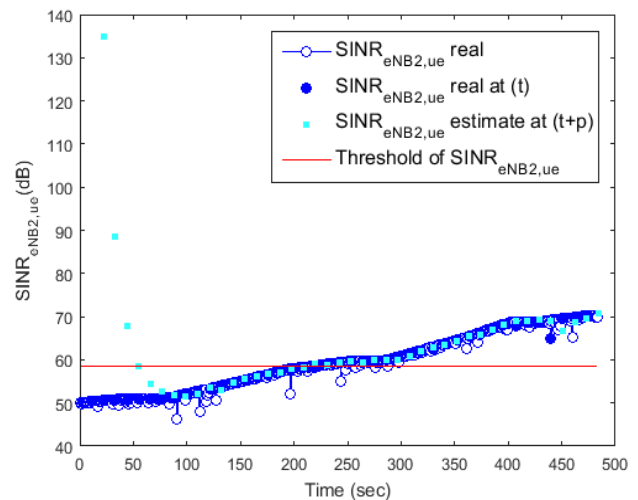


Figure 3.12. $SINR_{eNB2,UE1}$ réels & prédits

C'est ainsi que nous arrivons à la dernière étape du cycle proposé dont les résultats sont représentés dans les figures : 3.13, 3.14 et 3.15. Nous remarquons l'anticipation de la probabilité de détection du signal *link-down* qui permet d'explorer d'autres spectres (Enclenchement d'initiation du HO) de façon à calculer la probabilité de chaque signal trouvé et ainsi de prendre la meilleure probabilité (l'étape de décision du HO).

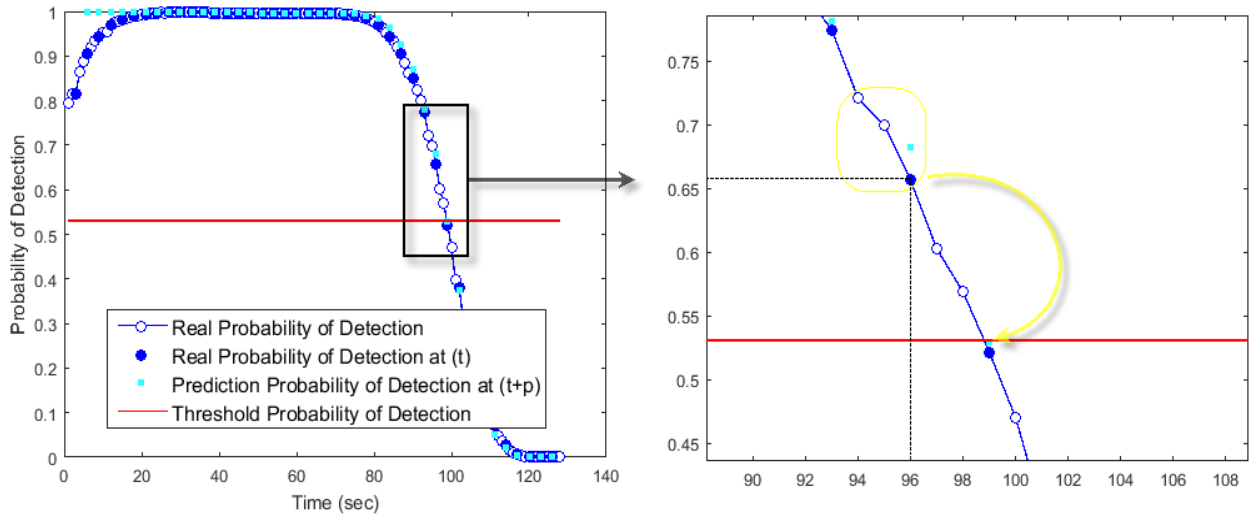


Figure 3.13. P_{HeNB,UE_1} réelles & prédites

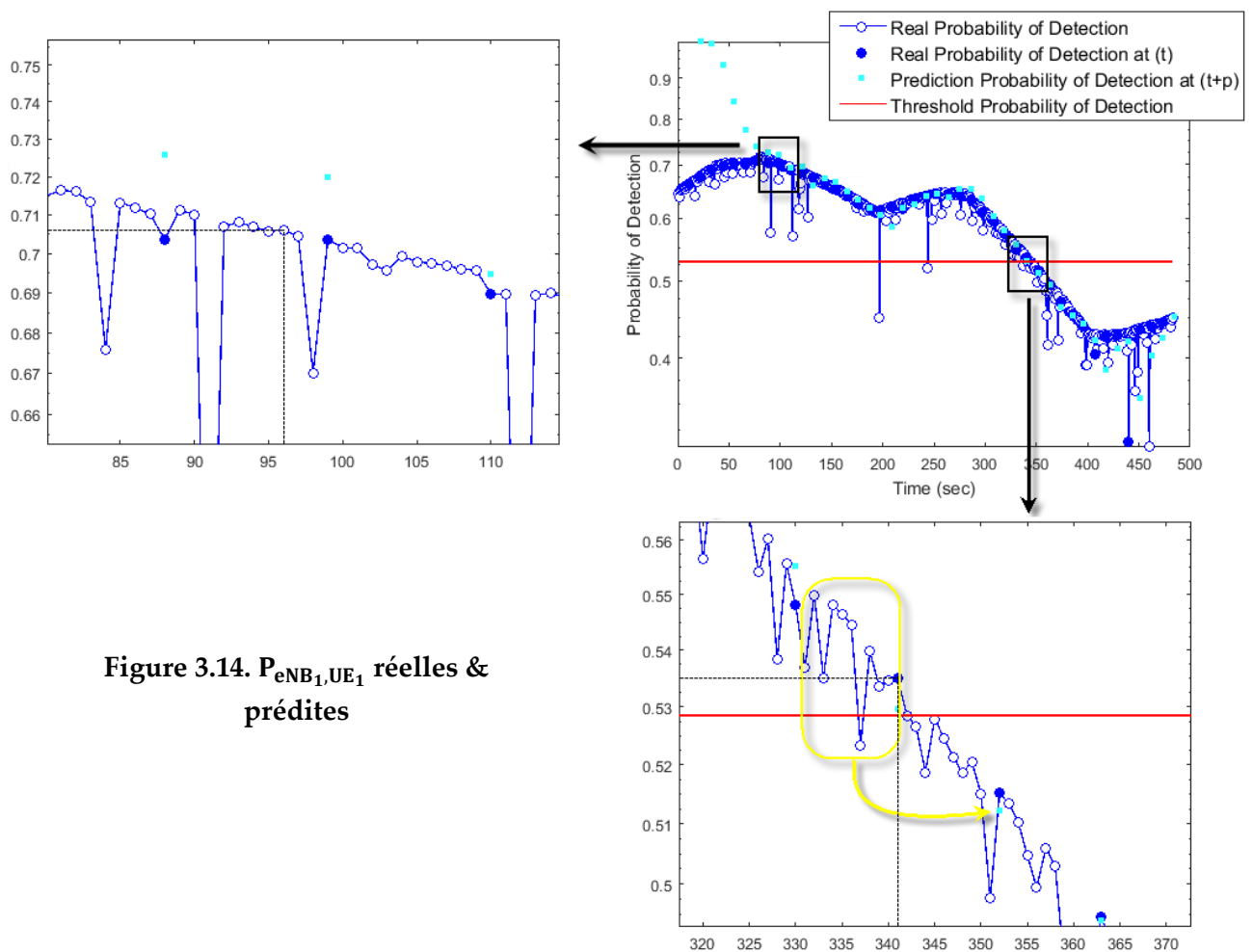


Figure 3.14. P_{eNB_1,UE_1} réelles & prédites

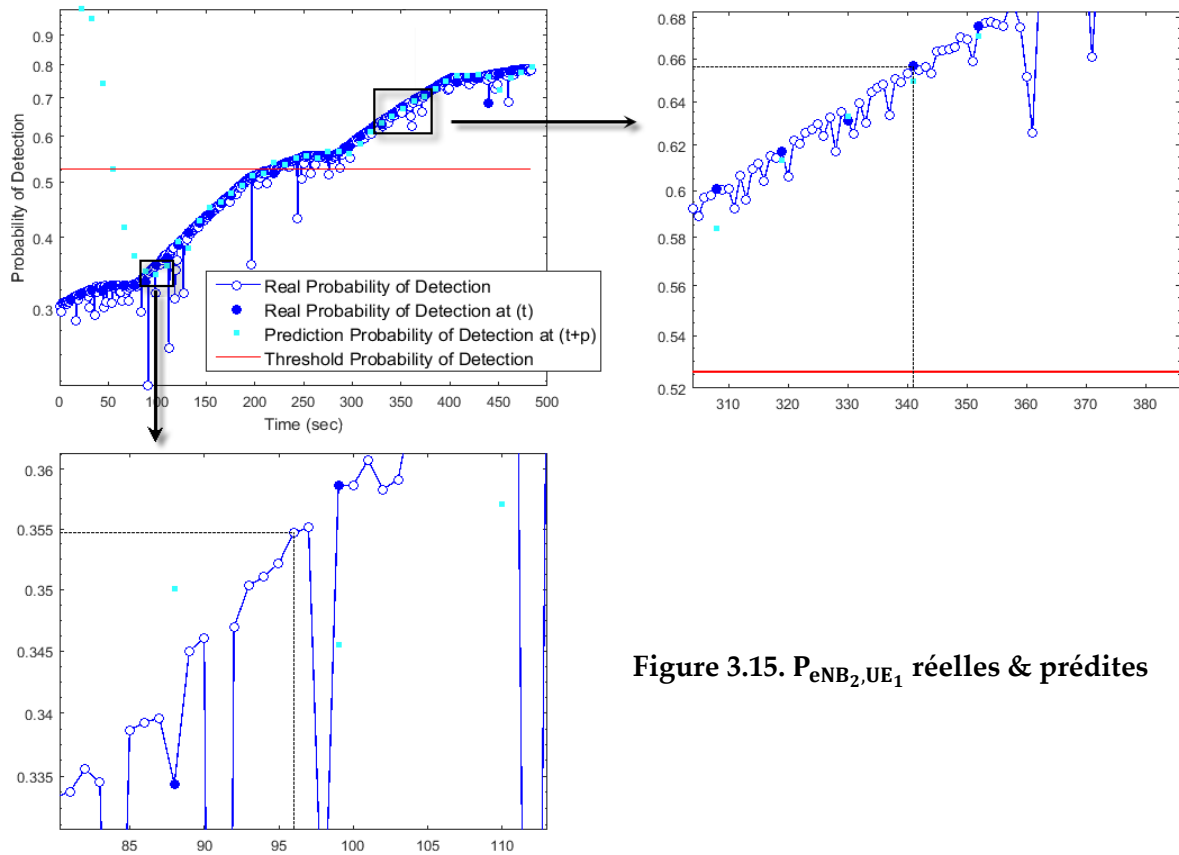


Figure 3.15. P_{eNB_2,UE_1} réelles & prédites

Pour mettre les choses au clair, nous résumons dans le Tableau 3.2 les points des probabilités de détection des HOs dans l'ordre chronologique.

t (sec)	P_d	$P_{d_{th}}$	$P_d(t+p)$	$\hat{P}_d(t+p)$	L'erreur de prédiction
1	UE est connecté à la cellule femto				
96	0.6564	0.5306	0.5215	0.5292	0.0105
Détection d'autres signaux					
Macro cellule #1					
96	0.7060				
Macro cellule #2					
96	0.3547				
UE est connecté à la cellule macro #1					
341	0.5351	0.5286	0.5152	0.5122	0.0030
Détection d'autres signaux					
Cellule femto					
341	0				
Macro cellule #2					
341	0.6566				
UE est connecté à la macro cellule #2					
483	0.7830	0.5261			

Tableau 3.2 . L'ordre chronologique de l'étude de la simulation

A l'instant $t = 1$ sec, UE₁ a déjà établi une connexion avec la cellule femto et commence à se déplacer dans la direction vers le bord de sa cellule. A l'instant $t = 96$ sec, la condition $\hat{P}_{d_{\text{HeNB}, \text{UE}_1}} | t_{96+P_{\text{femto}}} < P_{d_{\text{th}, \text{HeNB}}}$ est atteinte avec une faible erreur de prédiction égale à 0.0105. De ce fait, le calcul des probabilités de détection des autres spectres est exploité à cet instant. Deux candidats se présentent, eNB₁ et eNB₂. Leurs probabilités sont égales à $P_{d_{\text{eNB}_1, \text{UE}_1}} | t_{96} = 0.7060$ et $P_{d_{\text{eNB}_2, \text{UE}_1}} | t_{96} = 0.3547$. La sélection est évidente puisque la Macro cellule #1 admet la probabilité la plus élevée. Après le premier basculement vers l'eNB₁, l'UE₁ continue son chemin jusqu'à l'instant $t = 341$ sec. Où la détection du spectre de la cellule macro #2 est incontestable ($P_{d_{\text{eNB}_2, \text{UE}_1}} | t_{341} \gg P_{d_{\text{HeNB}, \text{UE}_1}} | t_{341}$), avec une excellente précision de 99,7%. Après l'instant $t = 341$ sec, la probabilité d'intercepter d'autres spectres ne se manifestera plus, en raison de la valeur estimée $\hat{P}_{d_{\text{eNB}_2, \text{UE}_1}}$ qui restera toujours supérieure à $P_{d_{\text{th}, \text{eNB}_2}}$. Nous pouvons le confirmer en observant la Figure 3.15.

III.7.3. Comparaison & Discussion – Scénario I

Pour l'évaluation du premier scénario, nous allons illustrer dans une même figure les résultats des deux algorithmes. La Figure 3.16 représente la courbe de la probabilité de détection du premier déclenchement du HO pour les deux méthodes. En effet, notre approche indique à l'instant $t = 96$ sec une $P_{d_{\text{HO}_1}} = P_{d_{\text{eNB}_1, \text{UE}_1}} = 0.7060$. Par contre, la méthode conventionnel reflète à $t = 97$ sec une $P'_{d_{\text{HO}_1}} = P_{d_{\text{eNB}_1, \text{UE}_1}} = 0.7044$ moins convaincante.

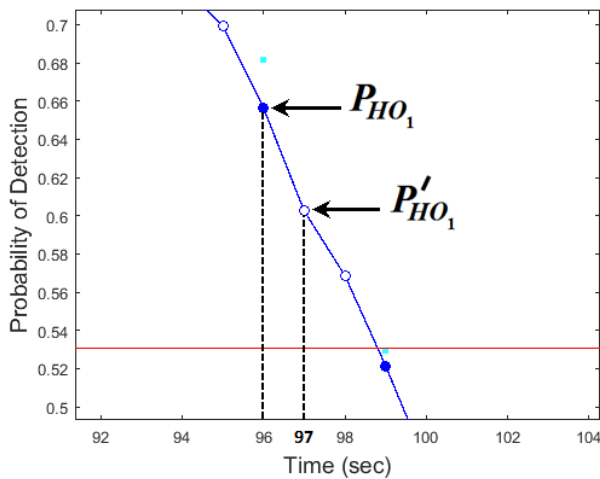


Figure 3.16. Probabilité du déclenchement du premier HO (Algorithmes : proposé & conventionnel)

Pour le deuxième déclenchement du HO, (Figure 3.17) le mode standard déclenche le HO trop tôt malgré l'ajustement de la constante HOM qui est à son maximum avec une $P'_{d_{\text{HO}_1}} = P_{d_{\text{eNB}_2, \text{UE}_1}} = 0.6006$. Tandis que, l'approche proposée révèle une probabilité de détection du déclenchement du HO plus exacte ($P_{d_{\text{HO}_1}} = P_{d_{\text{eNB}_2, \text{UE}_1}} = 0.6566$).

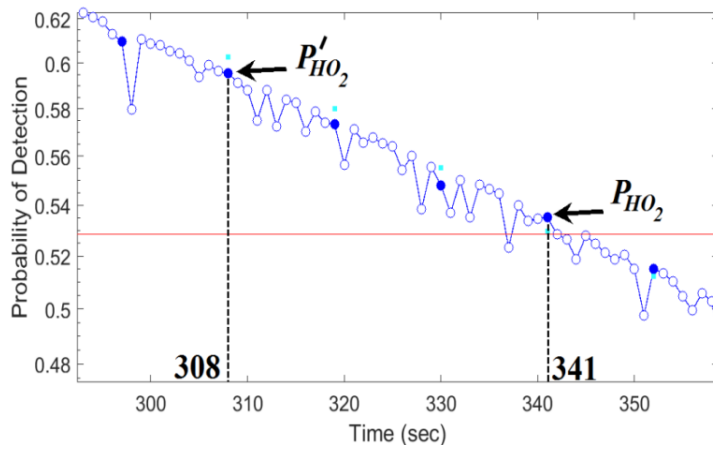


Figure 3.17. Probabilité du déclenchement du deuxième HO (Algorithmes : conventionnel et proposé)

Pour valider notre algorithme, deux autres traces de mouvement piétonnières du groupe METIS [107] sont prises dans la même topologie (Figure 3.5) avec les mêmes paramètres de simulation (Tableau. 3.1).

III.7.4. LTE Hard Handover – Scénario II

Pour le piéton # 2 (UE₂). Deux points de déclenchement du HO par le mode conventionnel sont soulevés (Figure 3.18). Le premier point se lancera à l’instant $t = 125$ sec et le deuxième à $t = 243$ sec .

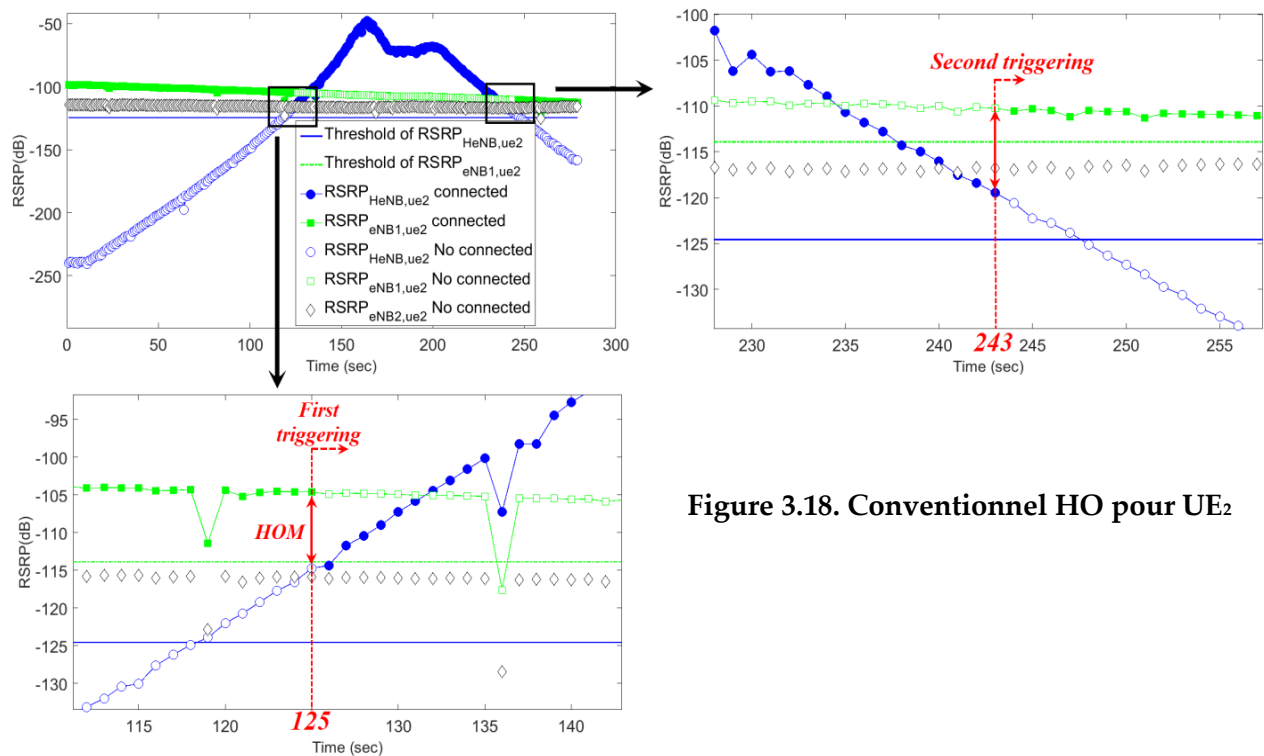
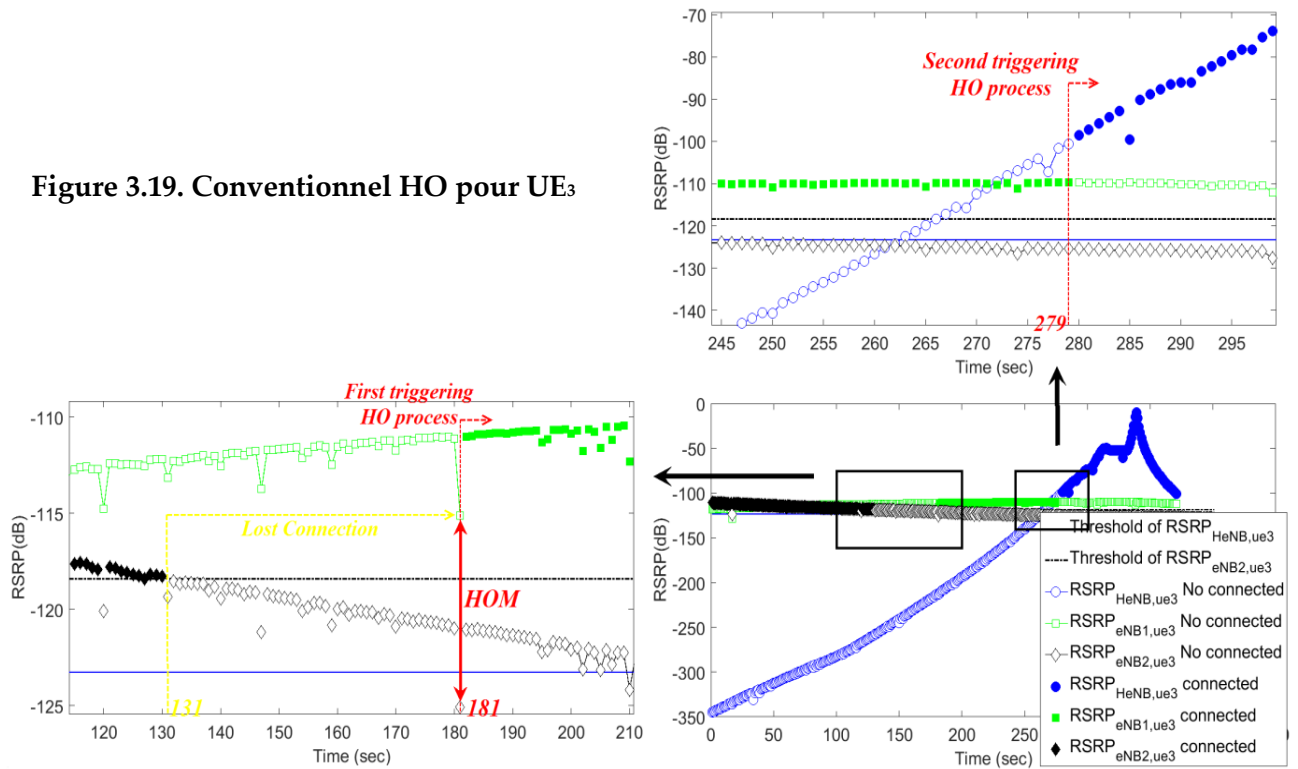


Figure 3.18. Conventiennel HO pour UE₂

Pour le piéton # 3 (UE₃), la Figure 3.19 affiche aussi deux points de déclenchement du HO conventionnel. Le premier aura lieu à $t = 181$ sec avec une perte de liaison de 50 sec et le deuxième se déclenchera à $t = 279$ sec pour changer de secteur d’eNB₁ vers HeNB.

Figure 3.19. Conventiennel HO pour UE₃



III.7.5. Notre approche – Scénario II

Les impacts du processus LMS sur les probabilités de détection du spectre pour les deux UE sont illustrés par les figures 3.20, 3.21 et 3.22 respectivement.

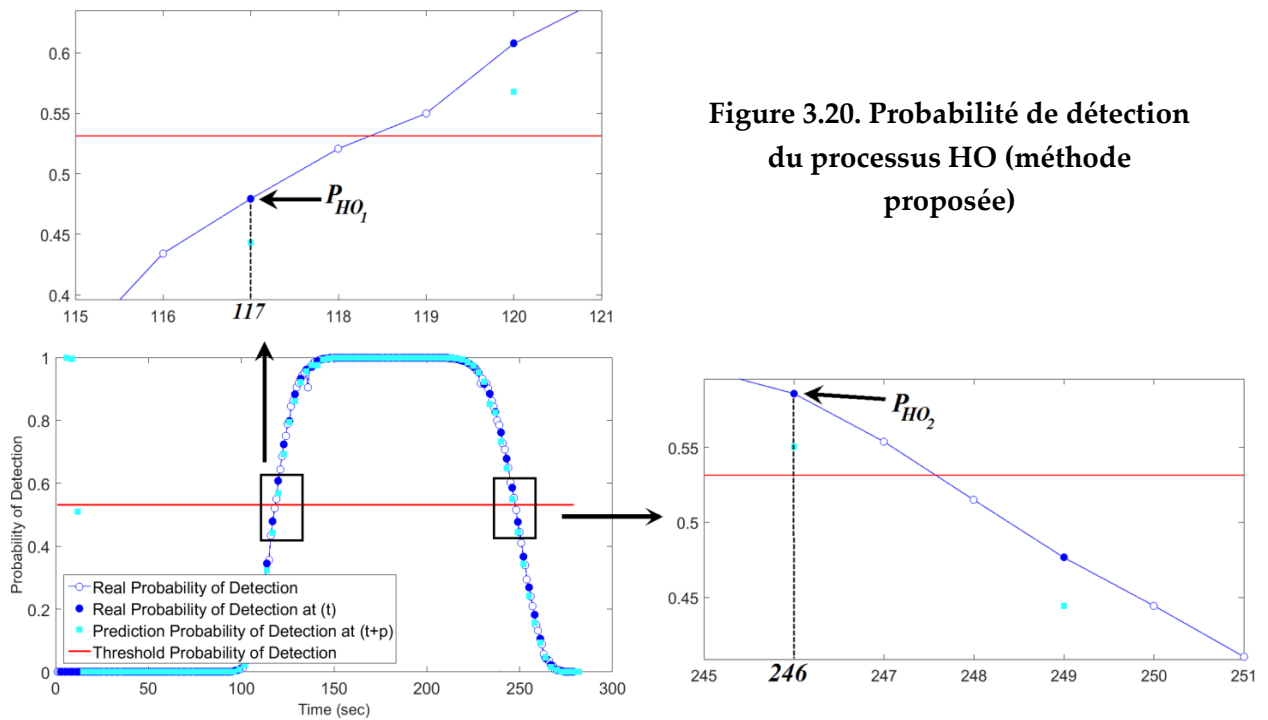


Figure 3.20. Probabilité de détection du processus HO (méthode proposée)

Pour UE₂, A t = 117 sec un premier déclenchement du HO vers HeNB est détecté par une probabilité de détection $P_{d_{HO_1}}$ égale à $P_{d_{HeNB,UE_2}} = 0.4794$, contrairement au signal d'eNB₂ découvert qui possède une $P_{d_{eNB_2,UE_2}} = 0.3258$. Le deuxième déclenchement du HO est vu à

l'instant $t = 246$ sec vers l'eNB₁ par une probabilité de détection $P_{d_{HO_2}}$ égale à $P_{d_{eNB_1,UE_2}} = 0.6193$ par rapport au signal d'eNB₂ détecté par $P_{d_{eNB_2,UE_2}} = 0.3056$.

Voyons maintenant UE₃. A $t = 121$ sec, la procédure de HO est provoquée en signalant le basculement vers l'eNB₁ qui présente une probabilité de détection $P_{d_{eNB_1,UE_3}}$ égale à 0.6534 par rapport au signal HeNB ($P_{d_{HeNB,UE_3}} = 8.6926e - 10$).

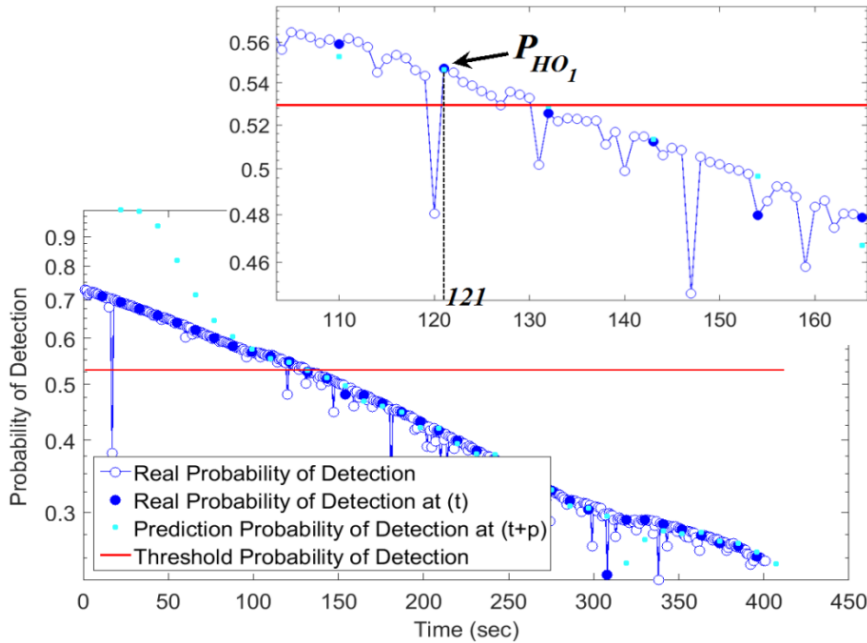


Figure 3.21. Premier déclenchement du processus HO (méthode proposée)

Un second HO est aussi provoqué à $t = 261$ sec vers HeNB par une probabilité de détection $P_{d_{HeNB,UE_3}} = 0.4713$ qui indique le meilleur signal détecté, comparé à celui d'eNB₂ ($P_{d_{eNB_2,UE_3}} = 0.3448$).

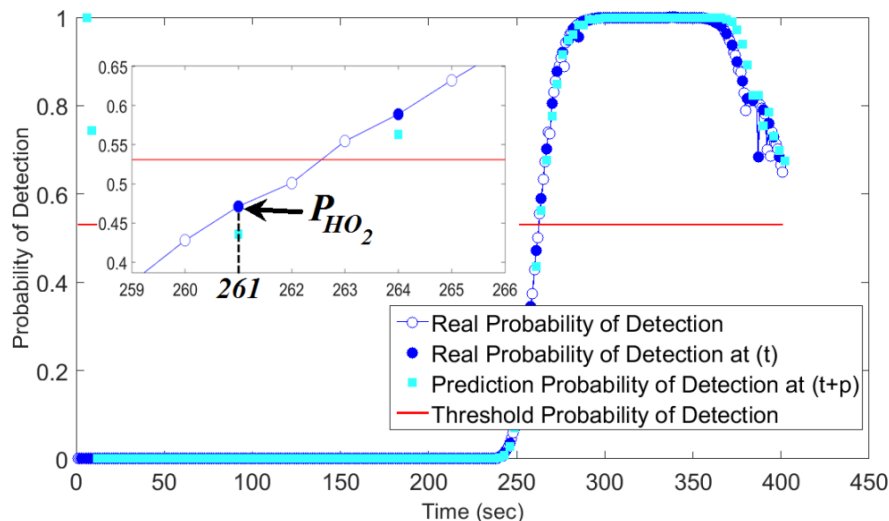


Figure 3.22. Deuxième déclenchement du processus HO (méthode proposée)

III.8. Conclusion

Cette première contribution est le fruit des travaux approfondis dans le domaine du HO. Tout d'abord, nous avons exposé les problématiques liés à la gestion de la mobilité et les travaux antérieurs. De là, notre objectif a été fixé en évaluant sur le plan algorithmique les deux techniques, le HO conventionnel LTE et l'approche proposée. L'idée est basée sur la technique de détection d'énergie associée au filtre de prédiction LMS. Cette étude nous a permis de voir le déclenchement du processus du HO d'un autre angle sous forme de probabilité, en se référant à celle de la méthode du HO classique dans les systèmes LTE/LTE-A. Les résultats de la simulation montrent que l'algorithme proposé atteint de meilleures performances avec une excellente précision de l'état future du signal d'une part et d'autre part, le choix de la bonne cellule cible, tout cela englobé dans un environnement réel avec des traces de mobilités réelles. Contrairement au processus du HO conventionnel, qui dépend des ajustements du HOM et TTT, sans oublier que le nombre des valeurs HOMs limitées, a un impact paralysant sur le réseau LTE/LTE-A.

Chapitre IV

Deuxième contribution : Probabilité de détection du Handover dans le bord d'une cellule Femto

IV.1. Introduction

A l'heure actuelle, les femto-cellules sont utilisées, pour combler les excès de demande en débit dans un réseau LTE/LTE-A, fournir de hauts débits en mode intérieur aussi bien qu'en mode extérieur et lutter contre les trous de couverture. Toutefois, ces petites stations de base à courte couverture, à très faible puissance, introduisent plusieurs nouveaux défis. Ces derniers doivent être surmontés afin de tirer le maximum d'avantages de cette technologie prometteuse.

L'algorithme LMS traditionnel à pas fixe (*FSS : Fixed Step-Size*) ne répond pas aux exigences de vitesse de convergence rapide, de l'état stationnaire de l'erreur du processus et d'une bonne performance du *tracking* en même temps. Afin de surmonter ces faiblesses, l'algorithme NLMS lui succède et ce processus est capable de surmonter un bruit fort, mais il ne peut pas toujours équilibrer la vitesse de convergence et l'état stationnaire de l'erreur d'ajustement. Alors, l'algorithme LMS à pas variable (*VSS : Variable Step-Size*) a été proposé pour combler les lacunes des deux algorithmes en augmentant la plage d'entrée dynamique de l'algorithme.

Dans ce chapitre, nous présentons une deuxième contribution, une version améliorée de la première contribution, qui traite le sujet du FSS dans le cas où l'*effet utilisateur* est présent dans une cellule femto. Cette solution proposée est inspirée par le travail de *Li et al* [127] dans le domaine du filtrage adaptatif à pas variable.

IV.2. Problématique et motivation

Le déploiement des cellules femtos a pu améliorer les performances des réseaux cellulaires LTE/LTE-A. Par conséquent, le problème de mobilité des UEs à proximité d'une cellule, connue sous le nom, *l'effet utilisateur* [128], déstabilise la solution proposée dans la première contribution, causant ainsi une mauvaise gestion de mobilité. D'une autre façon, la probabilité de détection prédite du signal *link-down* de la cellule courante est influencée par la taille du pas fixe de l'algorithme NLMS, qui prend un rôle très important sur le contrôle de stabilité, la vitesse de convergence et l'état stationnaire de l'erreur [127].

L'effet utilisateur et FSS sont relevés comme des challenges et notre motivation principale est d'améliorer la probabilité de détection de déclenchement du HO par un autre algorithme de prédiction à pas variable.

IV.3. Travaux liés

Dans l'ensemble des algorithmes LMS et NLMS classiques, si la taille du pas μ est importante, l'algorithme a une vitesse de convergence plus rapide avec une erreur de convergence plus grande. Cependant, si la taille du paramètre μ est petite, l'algorithme a une vitesse de convergence plus faible avec une erreur de convergence plus petite [127].

Afin de surmonter cette contradiction, plusieurs groupes de chercheurs ont créé un certain nombre d'algorithmes LMS/NLMS à pas variable. Nous citons par ordre chronologique, les travaux qui ont attiré notre attention. Nous avons remarqué au cours de nos investigations que l'idée de base été d'utiliser une gamme de la taille du pas dans l'étape initiale du processus, ce qui rend la vitesse de convergence rapide, avec l'état de l'erreur plus petite et stationnaire.

Comme l'erreur de sortie du système est progressivement réduite, *Kwong et al.* dérive un algorithme LMS à pas variable (VSS-LMS : Variable Step-Size LMS) en utilisant une énergie d'erreur instantanée [129]. L'équation d'ajustement $\mu(n)$ est simple à mettre en œuvre et sa forme simplifie l'analyse de l'algorithme LMS. La comparaison se fait par rapport aux deux algorithmes, LMS classique connu aussi comme FSS-LMS (Fixed Step Size LMS) et la méthode Harris [130]. Nous détaillerons par la suite cette proposition.

Aboulnasr et al. [131] ont approuvé que l'algorithme *Kwong* surpasse les algorithmes LMS à pas fixe et affiche une performance favorable par rapport aux autres algorithmes VSS existants à cette époque. Cependant, les auteurs [131] ont montré que la performance de la méthode *Kwong* se détériore en présence de bruit. Pour atténuer l'influence de ce dernier, ils ont utilisé une fonction de corrélation croisée des erreurs adjacentes $e(n)$ et $e(n - 1)$ au lieu de l'énergie

d'erreur $e^2(n)$ dans l'algorithme de *Kwong*. Autrement, l'équation de mise à jour du pas $\mu(n+1)$ du *Kwong* a été modifiée par la fonction de corrélation croisée des erreurs adjacentes $p^2(n)$. Le Tableau. 4.1 résume l'algorithme Modifié-VSS-LMS d'*Aboulnasr*:

	<i>Aboulnasr</i>	<i>Kwong</i>
$\mu(n+1)$	$\alpha \mu(n) + \gamma p^2(n)$	$\alpha \mu(n) + \gamma e^2(n)$
$p(n)$	$\beta p(n-1) + (1-\beta) e(n) e(n-1)$	

Tableau 4.1. MVSS-LMS d'*Aboulnasr et al.* et VSS-LMS de *Kwong et al.*

Les résultats montrent que l'algorithme d'*Aboulnasr* permet un contrôle plus souple du temps de désadaptation et de convergence par rapport aux méthodes *Kwong*-LMS, SGA-GAS (gradient stochastique avec gradient adaptatif du pas) [132] et FSS-LMS.

Pazaitis et al. [133] constatent que la plupart des algorithmes VSS-LMS proposés à cette époque sont susceptibles de se dégrader en présence d'un bruit fort. La solution est d'employer la théorie de probabilité et en statique d'ordre supérieur, plus précisément, le cumulants du quatrième ordre, connu sous le nom de *Kurtosis*. Deux raisons d'utiliser des cumulants, le premier est qu'ils sont additifs dans leurs arguments (les cumulants des sommes égales aux sommes des cumulants), le deuxième point, les cumulants d'ordre supérieur à deux d'un processus gaussien est égal à zéro. Ainsi, l'ajustement de la taille du pas μ_n est indiqué sous forme de deux fonctions telles qu'il est indiqué dans le Tableau. 4.2.

	<i>Pazaitis VSS-LMS</i>
μ_n	$\alpha C_4^e(n) $
	$\mu_{\max} (1 - \exp(-\alpha C_4^e(n)))$
$C_4^e(n)$	$E\{e^4(n)\} - 3E^2\{e^2(n)\}$
H_{n+1}	$H_n + \mu_n e(n) X_n$

Tableau 4.2 . Première approche de l'algorithme *Pazaitis et al.*

Pazaitis et al. ont analysé la convergence de cette première approche dans les conditions d'un bruit Gaussien. L'estimation de *Kurtosis* limite l'utilité de l'algorithme. Pour surmonter ce problème et étendre l'applicabilité de l'algorithme quelque soit le type de bruit rencontré, une version modifiée connu sous *Self-Adjusted Kurtosis* est proposé, qui s'adapte en lui-même pour conserver les performances souhaitable, de convergence rapide avec l'erreur faible en état stationnaire. Le Tableau. 4.3 récapitule cette deuxième approche.

		<i>Pazaitis VSS-LMS</i>
μ_n	$\mu_{\max} (1 - \exp(-\alpha C_4^e(n)))$	
$C_4^e(n)$	$E\{e_n^4\} - \rho_n E^2\{e_n^2\}$	
ρ_{n+1}	$\rho_n + \delta \operatorname{sgn}\{C_4^e(n)\}$	sgn: La fonction signe
H_{n+1}	$H_n + \mu_n e(n) X_n$	

Tableau 4.3. Deuxième approche de l'algorithme Pazaitis et al.

La deuxième technique est avantageuse, car elle n'a besoin d'aucune connaissance a priori du bruit, ce qui la rend un outil très utile dans des environnements de traitement de signaux inconnus ou variants dans le temps. La comparaison se fait par rapport aux deux méthodes, *Mathews* [132] et *Harris* [130].

Shengkui et al. [134] ont présenté une modification de l'équation de mise à jour de l'énergie pondérée des deux algorithmes LMS et NLMS, plus précisément, le facteur de convergence μ_n est présenté comme un rapport des sommes de l'énergie pondérée de l'erreur de sortie avec deux facteurs exponentiels α et β . Pour une faible erreur avec un état stationnaire, les valeurs α et β doivent être choisies correctement. Le but du rapport est d'obtenir un grand pas au début du processus d'adaptation afin de converger le processus rapidement. Le Tableau. 4.4 indique le concept du *Shengkui*.

		<i>Shengkui-LMS</i>	<i>Shengkui-NLMS</i>
μ_n	$\varepsilon_i(n)/\varepsilon_j(n)$		
$\varepsilon_i(n)$	$\alpha \varepsilon_i(n-1) + e^2(n)$		
$\varepsilon_j(n)$	$\beta \varepsilon_j(n-1) + e^2(n)$		
$W(n+1)$	$W(n) + \mu_n e(n) X(n)$	$W(n) + \mu_n \frac{e(n) X(n)}{\lambda + \ X(n)\ ^2}$	

Tableau 4.4. Algorithme Shengkui et al.

Quatre algorithmes sont introduits dans la simulation pour l'étude comparative, MVSS [131], MNLMS [135] et les standards LMS et NLMS [136].

Huang et al. [137] ont vu que pour bâtir leur idée, ils doivent se référer aux travaux de *Kwong* [129] et *Asif Iqbal* [138]. Leur nouvel algorithme VSS-NLMS emploie l'erreur quadratique moyenne (MSE : Mean Square Error) estimée et la puissance de bruit estimée du système afin de contrôler la mise à jour de la taille du pas $\mu(n)$. Ces choix en des objectifs : un grand MSE augmente la taille du pas et un gros bruit du système diminue le pas, et vice versa. Le Tableau. 4.5 montre les équations déployées pour avoir le $\mu(n)$.

	<i>Huang</i> -NLMS
$\mu(n)$	$\alpha^n \mu(0) \frac{(1-\alpha)}{\beta} \sum_{i=1}^n \alpha^{n-i} \frac{\hat{\sigma}_e^2(i)}{\hat{\sigma}_v^2(i)}$
$\hat{\sigma}_e^2(n)$	$\alpha \hat{\sigma}_e^2(n-1) + (1-\alpha) e^2(n)$
$\hat{\sigma}_v^2(n)$	$\hat{\sigma}_e^2(n) - \frac{1}{\hat{\sigma}_x^2(n)} \hat{r}_{eX}(n)^T \hat{r}_{eX}(n)$
$\hat{\sigma}_x^2(n)$	$\alpha \hat{\sigma}_x^2(n-1) + (1-\alpha) x^2(n)$
$\hat{r}_{eX}(n)$	$\alpha \hat{r}_{eX}(n-1) + (1-\alpha) X(n)e(n)$

Tableau 4.5. Algorithme *Huang et al.*

Afin de voir les performances de cette proposition qui est facile à implémenter, *Huang et al.* ont comparé cette proposition avec d'autres algorithmes, NLMS, VSS-LMS de *Kwong* [129], NPVSS de *Benestry* [139] et RR-NLMS de *Choi* [140].

Wang et al. [141] ont présentés un filtrage adaptatif VSS-LMS basé sur L2-norm. L'idée cœur de l'ajustement de $\mu(n)$ est prise du travail [142] qui utilise la norme Euclidienne entre la valeur de l'erreur courante $e(n)$ et celle du vecteur de signal d'entrée $\mathbf{X}(n)$, cela a pour tâche de modifier la valeur de l'erreur au carré $|e(n)|^2$ telle quelle est définie dans le travail [143]. Ce processus est résumé par ces deux équations suivantes:

$$\mu(n) = \beta(1 - \exp(-\alpha|e(n)|^2)) \quad \text{éq. proposé par [143]}$$

$$\mu(n) = \beta(1 - \exp(-\alpha|e(n)| \times \|\mathbf{e}(n)\mathbf{X}(n)\|^2)) \quad \text{éq. proposé par [141]}$$

Wang et al. ont analysé leur proposition et ils ont constaté que pour tenir compte de l'influence de $\mu(n)$ sur la performance de l'algorithme, le vecteur $\mathbf{P}(n)$ est introduit avec deux paramètres essentiels : a et b , qui représentent les facteurs de lissages, où β détermine la portée de la valeur du pas et α indique la forme de la fonction du pas.

$$\mathbf{P}(n) = a \times \mathbf{P}(n-1) + b \times e(n)\mathbf{X}(n)$$

$$\mu(n) = \beta(1 - \exp(-\alpha|e(n)| \times \|\mathbf{P}(n)\|^2)) \quad \text{éq. proposé par [141]}$$

Du côté simulation, ils ont étudié d'abord l'influence des paramètres a , b , α et β , sur la vitesse de convergence, sur l'état stationnaire du MSE et sur la performance du *tracking*. Ils ont déduit que β influence principalement sur la vitesse de convergence de l'algorithme, par contre α , a et b non seulement ils affectent le taux de convergence, mais décide également sur l'état stationnaire du MSE. Dans un deuxième temps, ils ont comparé leur algorithme avec quatre d'autres ([129] [143-145]). Les résultats affirment l'avantage de leur conception vis-à-vis de la convergence rapide et l'état stationnaire de l'erreur.

Zhang et al. [146] ont développé une autre branche des algorithmes VSS, qui utilise un vecteur gradient $\mathbf{g}(n)$ pour mettre à jour $\mu(n)$. Ils ont proposé un vecteur gradient lissé $\bar{\mathbf{g}}(n)$ qui joue

un rôle clé, car il contrôle la variation de la taille du pas $\mu_{\text{VSSLMS}}(n)$ et aide à réduire l'impact du bruit. Pour améliorer la vitesse de convergence, $\mu_{\text{VSSLMS}}(n)$ est modélisée par la norme L2 au carré du vecteur gradient $\|\bar{\mathbf{g}}(n)\|_2^2$. Le Tableau. 4.6 résume le travail de *Zhang et al.*

	<i>Zhang-LMS</i>
$\bar{\mathbf{g}}(n)$	$\beta \bar{\mathbf{g}}(n-1) + (1-\beta) e(n) \mathbf{X}(n)$
$\mu_{\text{VSSLMS}}(n)$	$P \ \bar{\mathbf{g}}(n)\ _2^2$
$\mathbf{W}(n+1)$	$\mathbf{W}(n) + \mu_{\text{VSSLMS}}(n) e(n) \mathbf{X}(n)$

Tableau 4.6 . Algorithme *Zhang et al.*

Les résultats de simulation de l'algorithme de *Zhang et al.* sont comparés avec ceux des deux méthodes *Mathews* [132] et *Wee-Peng* [141] et démontrent que le contrôle de la taille du pas de leur algorithme est plus raisonnable avec une bonne vitesse de convergence.

Bi et al. [147] ont présenté leur algorithme comme une version améliorée du travail [148] dans le contexte de sous-modélisation de l'annulation de l'écho acoustique (AEC : Acoustic Echo Cancellation). La sous-modélisation signifie que la longueur du filtre adaptatif est plus courte que le chemin de l'écho (le cas pratique). Ce travail se concentre sur le cas d'une seule conversation, où l'entrée du filtre adaptatif LMS est alimentée par le signal $x(n)$ lointain (signal de l'interlocuteur avant de percuter la baffle du combiné téléphonique). $\hat{\mathbf{h}}(n)$ représente le vecteur de pondération du filtre LMS et il est utilisé pour identifier le chemin d'écho h . L'erreur est : $e(n) = d(n) - \hat{y}(n)$. Où $d(n)$ est la sortie du microphone (signal désiré) et $\hat{y}(n)$ est l'estimation du signal d'écho $y(n)$. L'erreur moyenne quadratique $E[e^2(n)]$ est représentée comme une fonction du coût $J(n)$ et le vecteur gradient $\nabla(n)$ est obtenu en dérivant $J(n)$ par rapport à $\hat{\mathbf{h}}(n)$, ce qui représente la base du VSS. L'exponentielle p dans le Tableau 4.7 est utilisée pour contrôler la vitesse d'adaptation de la taille variable du pas, de manière à l'adapter au vecteur de pondération. Cette proposition est résumée dans le Tableau. 4.7.

	<i>Bi-LMS</i>	<i>Commentaire</i>
\mathbf{R}_{xd}	$E[\mathbf{X}(n)d(n)]$	Intercorrélation
\mathbf{R}_{xx}	$E[\mathbf{X}(n)\mathbf{X}^T(n)]$	Autocorrélation
$\nabla(n)$	$-\mathbf{R}_{\text{xd}} - \mathbf{R}_{\text{xx}} \hat{\mathbf{h}}(n)$	
$\mu(n)$	$\mu (\ \nabla(n)\ _2^2)^p$	μ : taille constante du pas $\ \cdot\ _2^2$: L2-norm $p = 1/M$ où M : entier positif
$\mathbf{h}(n+1)$	$\mathbf{h}(n) + \mu(n) e(n) [\mathbf{R}_{\text{xd}} - \mathbf{R}_{\text{xx}} \mathbf{h}(n)]$	

Tableau 4.7. GVD-VSS-LMS de *Bi et al.*

L'algorithme de *Bi et al.* ne nécessite aucune information sur l'environnement d'écho acoustique, ce qui est pratique pour les applications d'AEC en monde réel.

Les résultats montrent de cet algorithme montrent une bonne vitesse de convergence et de précision, une bonne capacité du *tracking* et de robustesse par rapport aux standard NLMS, NPVSS-NLMS [139] et VSS-NLMS-UM [148].

Le concept de *Li et al.* [127] est presque le même que celui de *Zhang* [146]. La différence réside dans la mise à jour du vecteur de pondération du processus. *Li* utilise NLMS classique avec le paramètre γ pour empêcher le dénominateur d'être trop proche de zéro et *Zhang* emploie le filtre LMS standard. Le résumé de cette comparaison est présenté sur le Tableau 4.8.

	<i>Li</i>	<i>Zhang</i>
$g(n)$	$\beta g(n) + (1 - \beta) \frac{e(n)X(n)}{\gamma + \alpha X^T(n)X(n)}$	$\beta g(n - 1) + (1 - \beta)e(n)X(n)$
$\mu_g(n)$	$p \ g(n)\ ^2$	
$W(n + 1)$	$W(n) + \mu_g(n) \frac{e(n)X(n)}{\gamma + \mu_g(n)X^T(n)X(n)}$	$W(n) + \mu_g(n)e(n)X(n)$

Tableau 4.8. Comparaison entre les deux méthodes *Li* et *Zhang*.

Les résultats de simulations de cette proposition, comparés avec *Kwong*-NLMS et le standard NLMS [136], présentent une meilleure performance avec une vitesse de convergence rapide et une faible erreur stable.

IV.4. Analyse comparative des algorithmes

Nous avons vu précédemment une brève description sur les deux algorithmes de filtrage adaptatif à pas variable, *Kwong*-LMS et *Li*-NLMS. Nous allons maintenant les décrire car ils sont la clé de notre deuxième contribution. Rappelons que, la version NLMS est déjà présentée dans le précédent chapitre. Rappelons aussi que le diagramme schématique d'un filtre adaptatif est représenté sur la Figure 4.1, où $\mathbf{X}(n)$, $d(n)$, $\mathbf{W}(n)$, $y(n)$ et $e(n)$ désignent respectivement le vecteur d'entrée, le signal de sortie désiré, le vecteur de pondération, le signal de sortie réel et le signal d'erreur.

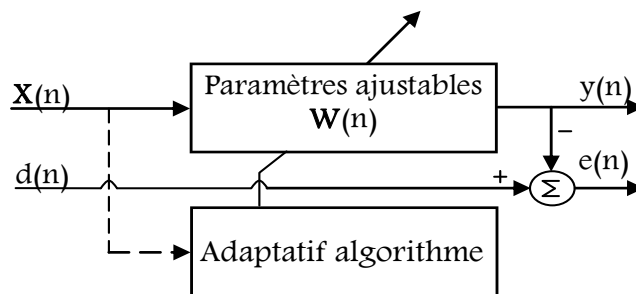


Figure 4.1. Diagramme d'un filtre adaptatif [127]

Le paramètre principal qui change dans les deux algorithmes VSS se trouve dans l'écriture de l'équation de $\mu(n)$ afin d'ajuster le vecteur de pondération $\mathbf{W}(n)$.

IV.4.1. Processus Li-NLMS

Ce nouvel algorithme garde la structure de base du principe de gradient qui réside à utiliser un filtre du premier ordre afin de lisser les vecteurs de gradient (réduire l'impact du bruit). L'indicateur principal pour la stabilité de l'erreur $e(n)$ en minimum se loge entre le signal de sortie souhaité $d(n)$ et le signal de sortie réel $y(n)$. Ce paramètre est appelé la *déviatio*n ou bien *l'écart* entre la solution optimale et la solution du processus adaptatif (Eq. 4.1). Si la *déviatio*n est importante, un grand pas devrait être utilisé pour accélérer la vitesse de convergence et lorsque *l'écart* est petit, un pas petit doit être utilisé pour réduire l'erreur avec un état stationnaire.

$$e(n) = d(n) - y(n) = d(n) - \mathbf{W}^T(n)\mathbf{X}(n) \quad (4.1)$$

Autrement, la mise à jour de l'erreur $e(n)$ repose sur la mise à jour du vecteur de pondération $\mathbf{W}(n)$ qui dépend de $\mu_g(n)$, où il utilise la norme euclidienne du vecteur de gradient au carré $\|\mathbf{g}(n)\|^2$ afin de faire un compromis entre la vitesse de convergence et l'erreur en état stationnaire.

$$\mathbf{W}(n+1) = \mathbf{W}(n) + \mu_g(n) \frac{e(n)\mathbf{X}(n)}{\gamma + \mu_g(n)\mathbf{X}^T(n)\mathbf{X}(n)} \quad (4.2)$$

$$\mu_g(n) = p\|\mathbf{g}(n)\|^2 \quad (4.3)$$

$$\mathbf{g}(n) = \beta\mathbf{g}(n) + (1 - \beta) \frac{e(n)\mathbf{X}(n)}{\gamma + \alpha\mathbf{X}^T(n)\mathbf{X}(n)} \quad (4.4)$$

Dans les formules ci-dessus, $\mathbf{g}(n)$ est le vecteur de gradient lissé, $\|\cdot\|^2$ est la norme euclidienne au carré, β est une constante proche de 1, γ a pour but d'empêcher le filtre de diverger [127] [149]. α et p sont des constantes supérieures à zéro.

IV.4.2. Processus Kwong-NLMS

Comme nous avons évoqué auparavant dans le travail de *Kwong et al.* [129], ils ont utilisé le VSS-LMS basé sur l'énergie d'erreur instantanée $e^2(n)$. Par contre *Li et al.* ont proposé VSS-NLMS de *Kwong* en version modifiée. Le principe reste toujours le même, c'est bâtir un VSS.

L'ajustement de la taille des pas $\mu(n)$ est contrôlé par le carré de l'erreur de prédiction $e^2(n)$. Une grande erreur de prédiction $e(n)$ augmentera la taille du pas $\mu(n)$, induisant un *tracking* plus rapide. Tandis qu'une petite erreur de prédiction entraînera une diminution de la taille du pas, produisant ainsi une désadaptation plus petite. L'équation de mise à jour de la taille du pas est exprimée comme suit :

$$\mu(n) = \alpha \mu(n-1) + \gamma e^2(n) \quad (4.5)$$

α et γ sont deux constantes, avec $0 < \alpha < 1$ et $\gamma > 0$. A partir de cette équation, la taille du pas augmente lorsque l'erreur quadratique moyenne (MSE) augmente, et la formule de réajustement du vecteur de pondération est la suivante :

$$\mathbf{W}(n+1) = \mathbf{W}(n) + 2\mu(n) \frac{e(n)\mathbf{X}(n)}{\gamma + \mathbf{X}^T(n)\mathbf{X}(n)} \quad (4.6)$$

IV.5. Simulation

Pour évaluer notre deuxième proposition, nous rappelons que le schéma de l'algorithme tel qu'il est représenté sur la Figure 3.2 du chapitre précédent, reste le même, sauf que, la modification se fait au niveau du processus de filtrage adaptatif, au lieu d'utiliser le NLMS, on considère *Kwong*-NLMS et *Li*-NLMS. Ces trois algorithmes ont été implémentés sous Matlab. Nous supposons que le scénario est composé de deux femtos cellules (HeNB₁ et HeNB₂) et d'une macro cellule (eNB). Les deux HeNBs sont situés dans la macro cellule (Figure 4.2). Cinq UEs suivent l'effet utilisateur avec différentes positions (Figure 4.3) placées dans la première cellule femto (HeNB₁). La mobilité des cinq piétons a été prise du groupe METIS [107] et implémentée dans notre topologie proposée. Le temps de simulation de chaque UE dépend de sa mobilité.

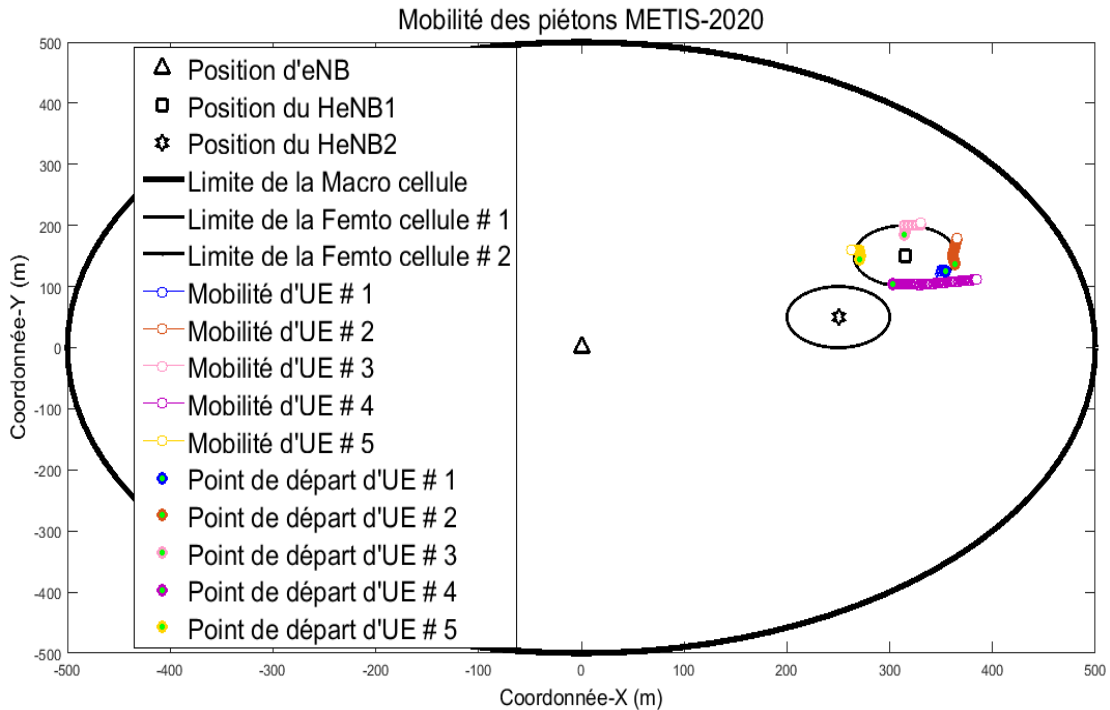


Figure 4.2 . Mobilité des piétons METIS dans notre modèle de topologie

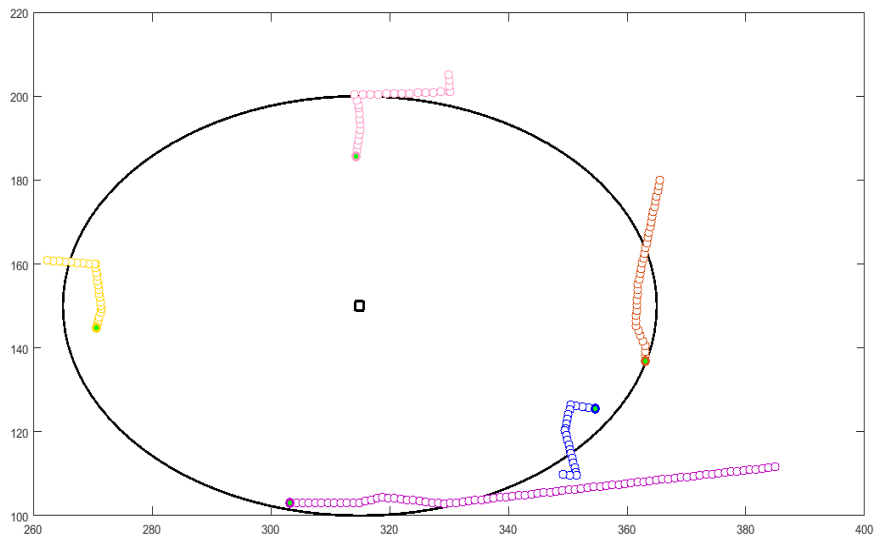


Figure 4.3. Mobilité des piétons METIS dans HeNB₁

Les tableaux 4.9 et 4.10 résument respectivement les paramètres de simulation et les paramètres des algorithmes adaptatifs.

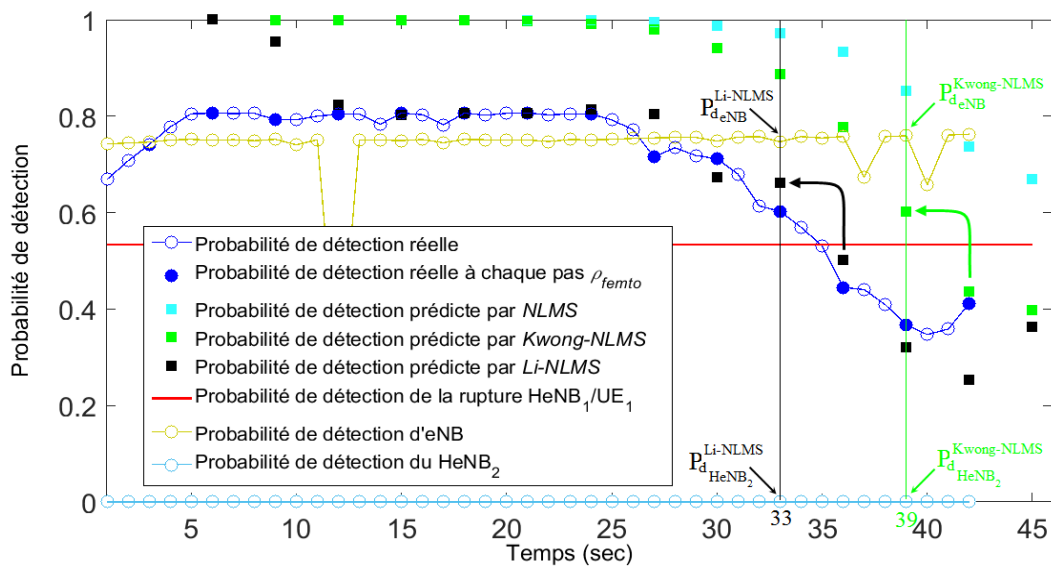
Paramètre	Valeur
Surface de Simulation	1000 m x 1000 m
Nombres des UEs	5
Rayon de la Macro-cellule	500 m
Rayon de la Femto-cellule	50 m
Fréquence	2 GHz
Exposant du Multi-trajets	3
Distance de référence	Point de départ des UEs
Affaiblissement dû à la pénétration extérieure	20 dB
Affaiblissement dû à la pénétration intérieure	5 dB
Puissance de transmission de l'eNB	46 dBm
Puissance de transmission du HeNB	23 dBm
Longueur d'onde du signal radio	0.124 m
Nombres des murs qui séparent HeNB / UEs	3
Type de mobilité des UEs	Mobilités piétonnières - Groupe METIS
Canal d'observation	AWGN
L'ordre de prédiction pour la cellule femto	3
L'écart-type - macro/femto cellule	8 / 3
Bruit thermique	-174 (dBm/Hz)
Bruit	9 dB
Seuil de détection - femto cellule	-75 dBm

Tableau 4.9. Paramètres de la simulation

Type de l'algorithme adaptatif	Paramètres	
NLMS	$\mu = 0.08$	
<i>Kwong</i> -NLMS	$\alpha = 0.997$	$\gamma = 4.8 \times 10^{-6}$
	$\mu(0) = 0.01$	$\mu_{\max} = 1$
<i>Li</i> -NLMS	$\alpha = 0.25$	$\beta = 0.999$
	$\gamma = 0.02$	$\mu(0) = 0.01$
	$p = 1$	$g(0) = 0$

Tableau 4.10. Paramètres des algorithmes adaptatifs

Les tracés communs des figures 4.4 à 4.8 s'expriment comme suit : la ligne rouge représente le seuil de la probabilité de détection de *Link-Down* HeNB₁. Les deux courbes dessinées par des cercles vides bleus et verts bouteille représentent respectivement les probabilités de détection du HeNB₂ et du eNB. La courbe tracée par une succession de deux cercles vides, suivie d'un cercle rempli représente le vecteur de la probabilité de détection du signal courant HeNB₁ à l'entrée du filtre adaptatif. Les carrés remplis de couleurs Cyan, Vert et Noir représentent respectivement les probabilités de détection prédites du HeNB₁ par les algorithmes NLMS classique, *Kwong*-NLMS et *Li*-NLMS. Autrement, ce sont les sorties des filtres adaptatifs.


 Figure 4.4. Probabilité de détection d'autres spectres par les trois méthodes de prédiction pour UE₁

Nous avons remarqué pendant toute la durée de notre simulation que la probabilité de détection du signal de la deuxième cellule femto est nulle, ce qui résulte de la phase de décision de notre mécanisme proposé, la probabilité de trouver le signal du eNB est imminente. Selon la Figure 4.4, la probabilité de détecter le déclenchement du HO durant tout le parcours de l'UE₁ par la méthode NLMS est nulle. Par contre, les deux processus *Kwong*-NLMS et *Li*-NLMS,

éveillent le début du HO à l'instant $t=39$ sec et $t=33$ sec avec une probabilité de détection du signal du eNB égale à 0.7594 et 0.7469 respectivement.

La Figure 4.5 illustre les différents points de déclenchement du HO pour l'UE₂ par les trois méthodes proposées. Premièrement, la méthode NLMS prévoit le point de basculement à l'instant $t=45$ sec avec une probabilité de 0.6171. Cependant, Kwong-NLMS prédit le changement de cellule à $t= 39$ sec avec une probabilité égale à 0.6969. Tandis que Li-NLMS prévoit le point de déclenchement du HO par une probabilité de détection de 0.7087 à l'instant $t=30$ sec.

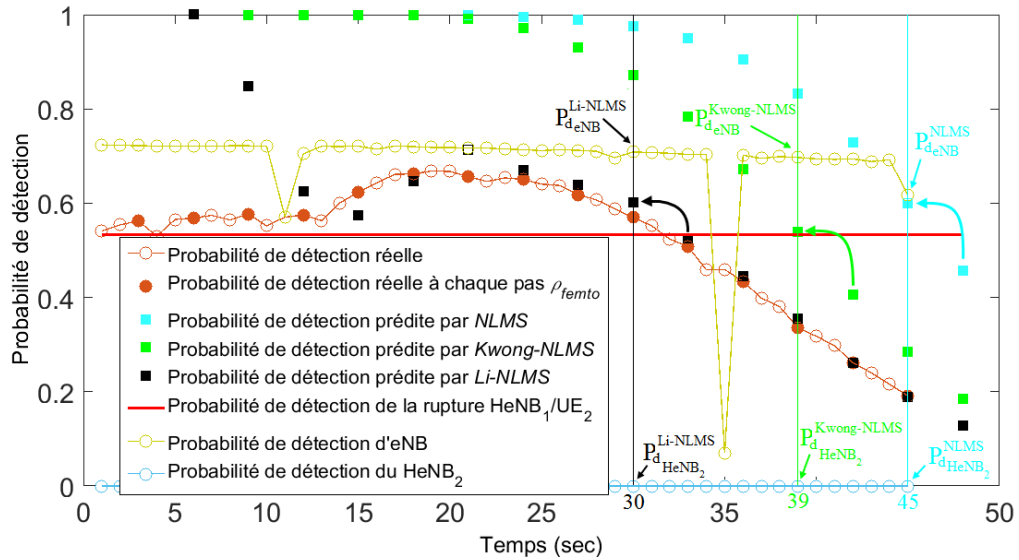


Figure 4.5. Probabilité de détection d'autres spectres par les trois méthodes de prédiction pour UE₂

Pour UE₃, les résultats de l'algorithme, qui calcule les instants et les points des probabilités de détection de déclenchement du HO par les trois techniques de prédiction, sont illustrés sur la Figure 4.6. Où l'on remarque : $P_{d_{eNB}}^{NLMS} \Big|_{t=54 \text{ sec}} = 0.7240$, $P_{d_{eNB}}^{Kwong-NLMS} \Big|_{t=45 \text{ sec}} = 0.7317$ et

$$P_{d_{eNB}}^{Li-NLMS} \Big|_{t=15 \text{ sec}} = 0.7480.$$

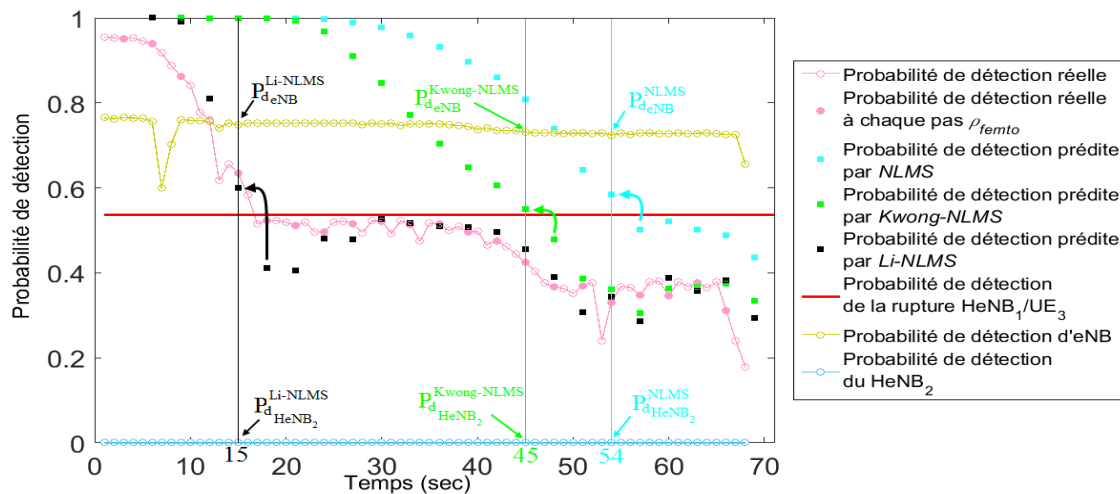


Figure 4.6. Probabilité de détection d'autres spectres par les trois méthodes de prédiction pour UE₃

Grâce aux pronostiques du signal de rupture du HeNB₁ / UE₄ par des probabilités de détection pour les trois méthodes proposées, la Figure 4.7 illustre bien les instants auxquels se produira le déclenchement du HO. À t=48 sec, la méthode standard du NLMS prédit le basculement avec une probabilité de détection égale à 0.7671. À t=39 sec, la méthode Kwong-NLMS prévoit le HO une probabilité de détection à 0.7816. La méthode Li-NLMS anticipe le HO à t=27 sec avec une probabilité de détection de 0.8028.

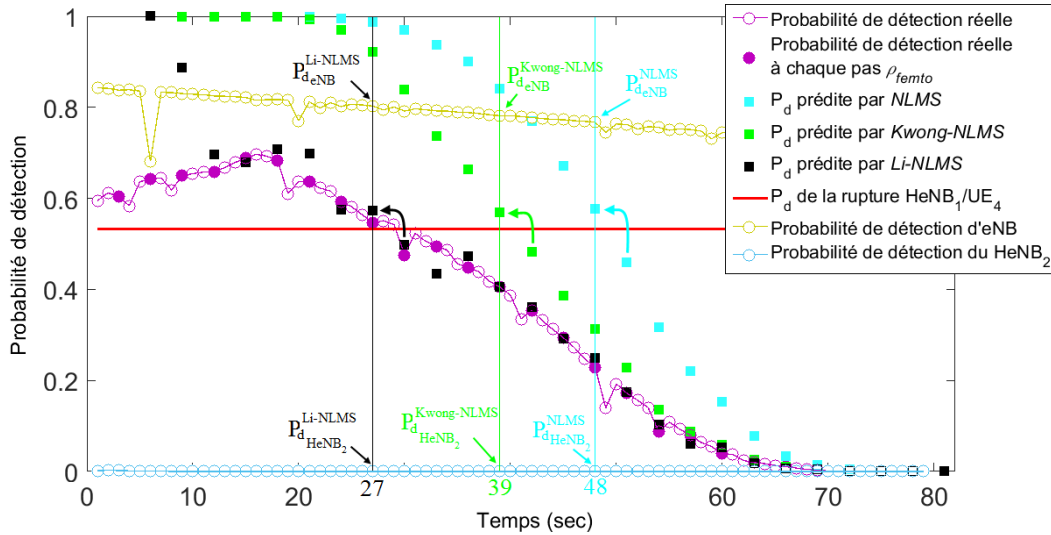


Figure 4.7. Probabilité de détection d'autres spectres par les trois méthodes de prédiction pour UE₄

Comme le montre la Figure 4.8, la méthode standard du NLMS ne détecte aucun déclenchement du HO. En revanche, à t=42 sec et t=39 sec, les deux mécanismes Kwong-NLMS et Li-NLMS prévoient le point de basculement avec des probabilités de détection égale respectivement à 0.8597 et 0.8551.

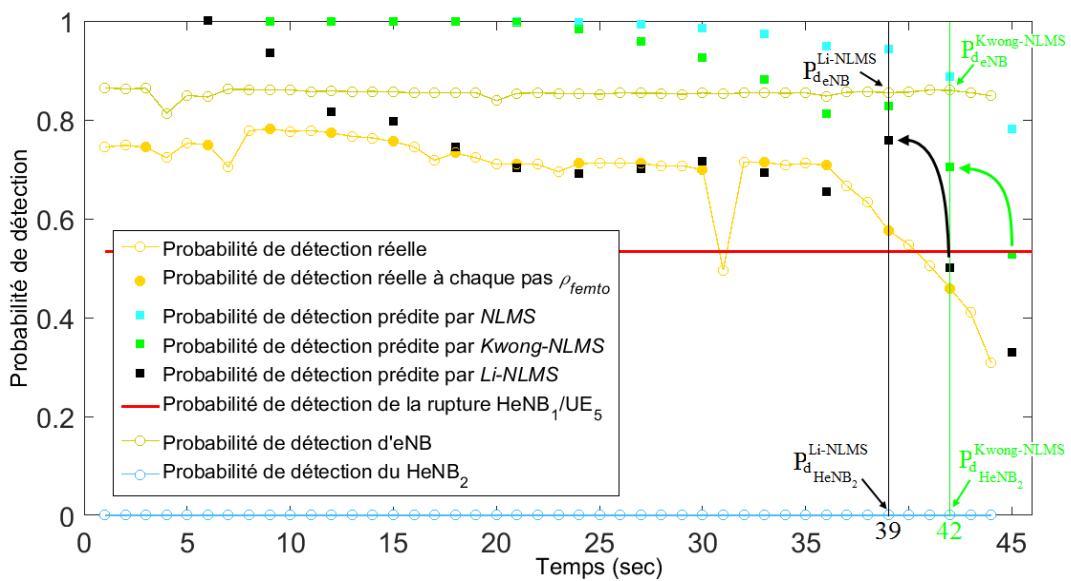


Figure 4.8. Probabilité de détection d'autres spectres par les trois méthodes de prédiction pour UE₅

IV.6. Conclusion

Nous avons proposé dans ce dernier chapitre un deuxième algorithme qui améliore parfaitement la première contribution où le défaut principal réside dans le FSS des algorithmes standards LMS et NLMS. Ce défaut handicape *l'effet de l'utilisateur*, causant ainsi une perte de données considérable par un retard dans le déclenchement du HO, dû à la vitesse de convergence du processus. Les résultats de simulation révèlent que la probabilité de détection par la méthode de prédiction Li-NLMS présente de meilleures performances en terme de précision, de vitesse de convergence et de stabilité par rapport aux deux autres techniques, Kwong-NLMS et NLMS classique.

Conclusion Générale

Les réseaux mobiles ont connu ces dernières années des développements spectaculaires donnant naissance au LTE. Cette évolution, qui ne cesse d'accroître, vise à améliorer la couverture cellulaire et la capacité du réseau par le déploiement des stations de base de faible puissance et de faible portée, correspondant aux cellules femtos. Un tel déploiement de ces petites cellules apporte une amélioration significative à la couverture des utilisateurs dans des environnements internes et au bord de la macro-cellule et assure une meilleure qualité de service (QoS) aux utilisateurs. En revanche, il apparaît clairement que pour offrir une meilleure qualité de service à des utilisateurs mobiles, il faut réaliser de manière transparente une bonne gestion de mobilité. Dans ce contexte, de grands efforts de recherche, menés par la 3GPP, sont dirigés vers le *LTE Hard Handover*, dans le but de réduire la complexité du mécanisme du handover en raison de l'architecture des réseaux LTE/LTE-A. Mais avec cette solution, le changement de la cellule peut conduire à des pertes très importantes de données.

Ce genre de problème n'est pas du tout acceptable dans les services en temps-réel. Nous avons pris dans cette thèse cette solution comme un repère et nous avons apporté deux contributions.

Avant de présenter le contexte dans lequel ces travaux ont été réalisés, deux notions de base ont été exploitées dans les deux premiers chapitres. Le chapitre 1 consiste en une introduction sur la technologie LTE, un passage obligatoire pour la compréhension de cette communication d'accès radio mobile de nouvelle génération, visant à améliorer l'efficacité spectrale du réseau cellulaire dans les environnements domestique et rurale. L'autre point important que nous avons présenté dans le deuxième chapitre repose sur le mécanisme du handover, d'abord sur une vue d'ensemble ensuite sur le plan LTE/LTE-A.

Notre première contribution s'adresse au problème de gestion de mobilité du *LTE Hard Handover*. Nous étions inspirés par les méthodes utilisées dans la radio cognitive pour la détection du spectre et les processus de prédiction, ce qui nous a permis d'étudier le déclenchement du processus du handover sous forme de probabilité prédite. L'idée est de combiner la méthode de détection d'énergie avec le filtre adaptatif NLMS. Les premiers résultats de la simulation montrent que l'algorithme proposé admet de meilleures performances en termes de précision sur l'état future du signal d'une part et d'autre part, sur le choix des cellules cibles (Macro/Femto cellules) détectées, avec des traces de mobilités réelles

(Groupe METIS). Nous avons ajouté deux autres tracés de mobilités réelles dans la même topologie avec les mêmes paramètres de simulation. Les résultats de la simulation valide notre proposition, contrairement au processus du handover conventionnel LTE, qui dépend des ajustements du HOM et du TTT, et où le nombre des valeurs HOMs est limité, paralysant ainsi l'optimisation du réseau LTE/LTE-A.

Dans notre seconde contribution, nous nous sommes focalisés sur le problème de gestion de mobilité des UEs à proximité d'une cellule femto lorsque la première contribution est appliquée. La taille du pas fixe (FSS) de l'algorithme NLMS influe sur le contrôle de stabilité, la vitesse de convergence et l'état stationnaire de l'erreur, impliquant ainsi un retard dans le déclenchement du handover. Pour accélérer le processus de convergence tout en équilibrant la vitesse de convergence et l'état stationnaire de l'erreur d'ajustement, l'algorithme LMS/NLMS à pas variable (*VSS : Variable Step-Size*) est pris comme une version améliorée de la première solution. Nous avons introduit deux VSS-NLMS (Li-NLMS et Kwong-NLMS) dans notre algorithme précédent. Les résultats de simulation montrent que notre deuxième proposition avec l'algorithme Li-NLMS offre une meilleure probabilité de détection du déclenchement du handover par rapport à la méthode Kwong-NLMS et celle de la première proposition NLMS classique.

Nous rappelons que dans nos deux contributions, le modèle de perte de trajet prend une distribution logarithmique. Comme perspectives à nos travaux, il serait intéressant d'étudier l'impact d'autres modèles de propagation tels que Longley-Rice, Durkin's, Okumura et Hata. Etudier l'influence des paramètres q (Nombre de Mur) et N (Nombre d'étage). En outre, pour améliorer la vitesse de convergence du processus du filtrage adaptatif, utilisé pour la détection du signal au niveau de l'UE, nous proposons d'envisager l'utilisation d'autres algorithmes comme le filtre de Kalman, les filtres adaptatifs à pas variable ou fixe (LMS classique, Li-NLMS, Kwong-NLMS...) et les combiner avec d'autres modèles de radio cognitivités (Détection par ondelettes ou bien Détection cyclostationnaires) avec d'autres.

Liste des publications

H.E. ADARDOUR, M. MELIANI, **M.H. HACHEMI**, "Improved local spectrum sensing in cluttered environment using a simple recursive estimator", *Elsevier: Computers and Electrical Engineering* - In Press, Available online 3 January 2017.

M.H. HACHEMI, M. FEHAM, H.E. ADARDOUR, "Predicting the Probability of Spectrum Sensing with LMS Process in Heterogeneous LTE Networks", *Base Thomson: Radioengineering Journal* - December 2016, vol. 25, No. 4, pp. 809-822.

H.E. ADARDOUR, M. MELIANI, **M.H. HACHEMI**, "Estimation of the Spectrum Sensing for the Cognitive Radios: Test Analysing Using Kalman Filter", *Springer: Wireless Personal Communications Journal* - September 2015, vol. 84, No. 2, pp. 1535-1549.

Bibliographie

- [1] H. Holma, A. Toskala and J. Reunanen, "LTE Small Cell Optimization 3GPP Evolution to Release 13", *Wiley Edition Jan. 2016*.
- [2] ITU-R meeting, Oct. 20th 2010, Chongqing (China).
- [3] 3GPP Presentation, "FemtoZone", Feb. 16th 2011, Mobile World Congress.
- [4] J. Wannstrom for 3GPP on "LTE-Advanced", June 2013. Available at: <http://www.3gpp.org>
- [5] H. Zarrinkoub, "Understanding LTE with MATLAB: From Mathematical Modeling to Simulation and Prototyping", *Wiley Edition March 2014*.
- [6] H. Holma and A. Toskala "WCDMA for UMTS – HSPA Evolution and LTE, fourth Edition", Chapter 18. *Wiley Edition Sept. 2007*.
- [7] F. Khan, "LTE for 4G Mobile Broadband: Air Interface Technologies and Performances", *Cambridge University Press March 2009*.
- [8] A. Tuffery, Thèse de Doctorat en Electronique, "Conception d'amplificateurs de puissance reconfigurables en technologie CMOS avancée pour une application 4G LTE", Université de Bordeaux I (France), Soutenu le 20 Déc. 2012.
- [9] Media Center of International Telecommunication Union, Available at: <http://www.itu.int>
- [10] 3GPP news on "LTE-Advanced Pro". Oct. 28th 2015. Available at: <http://www.3gpp.org>
- [11] Nokia Solutions and Networks, "LTE-Advanced Pro Pushing LTE capabilities towards 5G", 2015.
- [12] Site Web d'Etudes et FORMations en Télécommunications, www.efort.com

- [13] Roke Manor Research Ltd, "LTE eNodeB MAC Scheduler Introduction", pp. 1-4, UK, 2009.
- [14] Qualcomm Incorporated, "LTE Mobility Enhancements", RFC 12/20079, Feb. 2010, pp. 1-8.
- [15] S. Sesia, I. Toufik and M. Baker, "LTE – The UMTS Long Term Evolution from Theory to Practice, Second Edition", *Wiley Edition June 2011*.
- [16] A. Furuskär, T. Jönsson, and M. Lundevall, "The LTE Radio Interface Key Characteristics and Performance", *IEEE Conference Publications: IEEE 19th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC' 08)*, Cannes (France), 15-18 Sept. 2008, pp. 1-5.
- [17] Y. Bouguen, E. Hardouin and F-X. Wolff, "LTE et les réseaux 4G", Chapitre 1, *Eyrolles Edition Oct. 2012*.
- [18] H. Holma and A. Toskala, "LTE for UMTS – OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access", Chapter 11, *Wiley Edition Apr. 2009*.
- [19] M. A. N. Sukar and M. Pal, "SC-FDMA & OFDMA in LTE physical layer", *International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)*, Jun. 2014, vol. 12, no. 2. pp. 74-85.
- [20] C. Cox, "An Introduction to LTE: LTE, LTE-Advanced, SAE and 4G Mobile Communications", *Wiley Edition Mar. 2012*.
- [21] A. Ghosh and R. Ratasuk, "Essentials of LTE and LTE-A", *The Cambridge Wireless Essentials Series Edition Aug. 2011*.
- [22] H. G. Myung and D.J. Goodman, "Single Carrier FDMA – A New Air Interface for Long Term Evolution", *Wiley Edition Oct. 2008*.
- [23] H. Bouchentouf et R. Boudghene Stambouli, Mémoire de Master en Télécommunications, "Etude des Performances des Réseaux 4G (LTE)", Université de Tlemcen (Algérie), Soutenu en Juin 2013.
- [24] G. C. Logroño Presentation, "LTE-Advanced, Release 10". Lund University, (Sweden), May 10th 2010.
- [25] Jyrki T. J. Penttinen, "The LTE/SAE Deployment Handbook", *Wiley Edition Nov. 2011*.
- [26] T. Bchinih, Thèse de Doctorat en Réseaux et Télécoms, "Gestion de la Mobilité, de la Qualité de Service et Interconnexion de Réseaux Mobiles de Nouvelle Génération", Université de Toulouse (France), Soutenu le 10 Juin 2010.

- [27] H. A. Salman, L. F. Ibrahim and Z. Fayed, "Overview of LTE-Advanced Mobile Network Plan Layout", *IEEE Conference Publications: IEEE Fifth International Conference on Intelligent Systems, Modelling and Simulation (ISMS'14)*, Langkawi (Malaysia), 27-29 Jan. 2014, pp. 585 – 590.
- [28] A. Abdelghani, Mémoire de Maitrise en Mathématiques et Informatique Appliquées, "Impact des Interférences de la Couche Physique sur la Couche MAC dans la Technologie LTE". Université du Québec (Canada), Juin 2011.
- [29] Artiza Networks, "LTE Tutorials", Japan Company.
- [30] F. Firmin for 3GPP on "Evolved Packet Core". Available at: www.3gpp.org
- [31] Tektronix communications, "LTE Networks: Evolution and Technology Overview", Sept. 2010.
- [32] C. Tata, Thèse de Doctorat en Génie, "Conception d'un Modèle Novateur Améliorant la Performance dans les Réseaux de la Sécurité Publique Sur LTE Hétérogènes", Université du Québec (Canada), Soutenue le 18 Sept. 2014.
- [33] S. Ahmadi, "LTE-Advanced A Practical Systems Approach to Understanding the 3GPP LTE, Releases 10 and 11 Radio Access Technologies", *Academic Press Dec. 2013*.
- [34] 3GPP TS 25.467, "3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; UTRAN architecture for 3G Home Node B (HNB); Stage 2", Release 8 and Release 9.
- [35] S.R. Saunders, S. Carlaw, A. Giustina, R. Rai Bhat, V. Srinivasa Rao and R. Sieberg "Femtocells Opportunities and Challenges for Business And Technology", *Wiley Edition Jun. 2009*.
- [36] G. Gódor , Z. Jakó, Á. Knapp and S. Imre, "A survey of handover management in LTE-based multi-tier femtocell networks: Requirements, challenges and solutions", *Elsevier: Computer Networks*, Jan.2015, vol.76, pp. 17–41.
- [37] N. Rathod, "Efficient Handover Scheme for LTE Networks", Degree of Master of Technology, Indian Institute of Technology Hyderabad, Jul. 2013.
- [38] 3GPP TS 36.300 V8.12.0 (04/2010), "3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Overall description; Stage 2 (Release 8)".

- [39] 3GPP TS 36.300 V11.4.0 (01/2013), "3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Overall description; Stage 2 (Release 11)".
- [40] J. Chen, P. Rauber, D. Singh, C. Sundarraman, P. Tinnakornsriruphap and M. Yavuz, "Femtocells – Architecture & Network Aspects", *Qualcomm*, Jan. 28th 2010.
- [41] 3GPP TS 36.300 V9.10.0 (01/2013), "3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Overall description; Stage 2 (Release 9)".
- [42] G. M. Iturralde Ruiz, Thèse de Doctorat, "Performances des Réseaux LTE", Université de Toulouse (France), Soutenu le 02 Oct. 2012.
- [43] J. YU, M. Peng and Y. LI, "A physical cell identity self-organization algorithm in LTE-advanced systems", *IEEE Conference Publications: 7th International Conference on Communications and Networking in China (CHINACOM'12)*, Kunming, (China), 8-10 Aug. 2012, pp. 576 – 580.
- [44] Polaris Networks Company, "LTE Network Equipment: HeNB and HeNB-GW".
- [45] A. RAHIL. Thèse de doctorat en informatique, "Gestion du Handover dans les Réseaux Hétérogènes Mobiles et sans Fil". Université de Bourgogne (France), Soutenu le 12 Mars 2015.
- [46] Y. Bouguen, E. Hardouin and F-X. Wolff, "LTE et les réseaux 4G", Chapitre 19, *Eyrolles Edition Oct. 2012*.
- [47] 3GPP TS 36.323, "3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Packet Data Convergence Protocol (PDCP) specification (Release 8)".
- [48] Web site on Telecom Techniques Guide, "Radio Bearer in LTE", Available at: <http://www.teletopix.org>
- [49] On Wikipedia Web site, "Radio Bearer in UMTS".
- [50] J. B. I. Chavarria, Master degree, "LTE Handover Performance Evaluation Based on Power Budget Handover Algorithm", Polytechnic University of Catalonia (Spain), Feb. 2014.
- [51] M. Anas, F.D. Calabrese, P.E. Mogensen, C.Rosa and K.I. Pedersen, "Performance Evaluation of Received Signal Strength Based Hard Handover for UTRAN LTE", *IEEE Conference*

Publications: IEEE 65th Vehicular Technology Conference (VTC2007-Spring), Dublin (Ireland), 22-25 April 2007, pp. 1046 - 1050.

- [52] F. Launay, Blogs d'Université de Poitiers (France), "4G – LTE, RSRP et RSRQ".
- [53] L. Luan, M. Wu, J. Shen, J. Ye and X. He, "Optimization of Handover Algorithms in LTE High-speed Railway networks", *International Journal of Digital Content Technology and its Applications (JDCTA)*, March 2012, vol.6, no.5, pp. 79–87.
- [54] T. Jansen, I. Balan, J. Turk, I. Moerman and T. Kürner, "Handover parameter optimization in LTE self-organizing networks", *IEEE Conference Publications: IEEE 72nd Vehicular Technology Conference Fall (VTC 2010-Fall)*, Ottawa (Canada), 6-9 September 2010, pp. 1–5.
- [55] R. Kreher and K. Gaenger, "LTE Signaling: Troubleshooting and Performance Measurement, 2nd Edition", *Wiley Edition Jan. 2016*.
- [56] S. K. Das, "Mobile Terminal Receiver Design: LTE and LTE-Advanced", *Wiley Edition Nov. 2016*.
- [57] Presentation of Apeksha Telecom Services, "Reference Signal Transmission LTE", Bengaluru, Karnataka (India), March. 2016.
- [58] F. Afroz, R. Subramanian, R. Heidary, K. Sandrasegaran and S. Ahmed, "SINR, RSRP, RSSI and RSRQ Measurements in Long Term Evolution Networks", *International Journal of Wireless & Mobile Networks (IJWMN)*, Aug. 2015, vol. 7, no. 4, pp. 113–123.
- [59] S. Sesia, I. Toufik and M. Baker, "LTE – The UMTS Long Term Evolution from Theory to Practice", *Wiley Edition Feb.2009*.
- [60] 3GPP TS 36.214 v11.1.0 (2013), "LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical layer; Measurements (Release 11)". Available at: <http://www.etsi.org>
- [61] M. Rumney, "LTE and the Evolution to 4G Wireless: Design and Measurement Challenges, 2nd Edition", *Wiley Edition March.2013*.
- [62] H. Holma, A. Toskala and J. Reunanen, "LTE Small Cell Optimization: 3GPP Evolution to Release 13", *Wiley Edition Jan. 2016*.
- [63] B. Furht, S. A. Ahson, "Long Term Evolution: 3GPP LTE Radio and Cellular Technology", *Auerbach Book Apr. 2016*.
- [64] K. Zhu, "What is LTE CQI", Blog WorkingNow. Nov. 2013.

- [65] 3GPP TS 36.212, "3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Multiplexing and Channel Coding (Release 8)".
- [66] 3GPP TS 36.213, "3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical Layer Procedures (Release 8)".
- [67] 3GPP TS 36.213 v11.0.0 (Sept. 2012), "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical layer procedures (Release 11)".
- [68] Maurizio La Rocca, "RSRQ to SINR Relation", Iaroccasolutions Engineering Company. April 2016.
- [69] V. Ermolayev, "Handover Parameter Optimisation in LTE", professor and technical expert in MERA development company, Russia.
- [70] J. Kim, G. Lee and H. P. In, "Adaptive Time-to-Trigger Scheme for Optimizing LTE Handover", *Springer: International Journal of Control and Automation (IJCA)*, April 2014, vol.7, no.4, pp.35-44.
- [71] ETSI TS 136 331 v11.3.0 (2013), "LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Radio Resource Control (RRC); Protocol specification (3GPP TS 36.331 version 11.3.0 Release 11)".
- [72] A. Ulvan, R. Bestak and M. Ulvan, "Handover Scenario and Procedure in LTE-based Femtocell Networks", *The Fourth International Conference on Mobile Ubiquitous Computing, Systems, Services and Technologies (UBICOMM'10)*, Florence (Italy), 25-30 Oct. 2010, pp.213-218.
- [73] D.K. Bhargavi and A.M. Vijaya Prakash, "A Novel Handover Algorithm for LTE Based Macro-Femto Heterogeneous Networks", *International Journal of VLSI design & Communication Systems (VLSICS)*, Aug. 2015, vol.6, no.4, pp.25-33.
- [74] 3GPP TS 23.009 V8.1.0 (2009-03), "Handover Procedures (Release 8)".
- [75] D. Blagodárný, Bachelor Thesis, "Handover in mobile network with femtocells", Czech Technical University in Prague, May 2015.
- [76] A. Ben Cheikh, M. Ayari, R. Langar, G. Pujolle and L. Azouz Saidane, "Optimized Handover Algorithm for Two-tier Macro-Femto Cellular LTE Networks", *IEEE Conference Publications: IEEE 9th International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob'13)*, Lyon (France), 7-9 Oct-2013, pp. 608 – 613.

- [77] M. Qutqut and H. Hassanein, "Mobility Management in Wireless Broadband Femtocells", Technical Report 2012-590, Queen's University, Kingston, Ontario (Canada), 2012, pp.1-43.
- [78] A. Sahai, N. Hoven, S. M. Mishra and R. Tandra, "Fundamental Tradeoffs in Robust Spectrum Sensing for Opportunistic Frequency Reuse", University of California, Berkeley, (USA), 2006, pp.1-75.
- [79] K.L. Tsai, H.Y. Liu and Y.W. Liu, "Using fuzzy logic to reduce ping-pong handover effects in LTE networks", *Springer: Soft Computing*, May 2016, vol. 20, no. 5, pp. 1683-1694.
- [80] M.Z. Chowdhury, M. T. Bui, Y. M. Jang, "Neighbor cell list optimization for femtocell-to-femtocell Handover in dense femtocellular networks", *IEEE Conference Publications: Third International Conference on Ubiquitous and Future Networks (ICUFN'11)*, Dalian (China), 15-17 June 2011, pp. 241-245.
- [81] C.W. Chang, Y. H. Lin, R.H. Jan and C. Chen, "Efficient measurement procedure for handover in LTE femtocell networks", *IEEE Conference Publications: International Conference on Selected Topics in Mobile and Wireless Networking (iCOST'12)*, Avignon (France), 2-4 July 2012, pp. 119-123.
- [82] C. Liu, J. Wei, S. Huang and Y. Cao, "A distance-based handover scheme for femtocell and macrocell overlaid networks" *IEEE Conference Publications: 8th International Conference on Wireless Communications Networking and Mobile Computing (WiCOM'12)*, Shanghai (China), 21-23 Sept. 2012, pp. 1-4.
- [83] T. Bai, Y. Wang, Y. Liu and L. Zhang, "A policy-based handover mechanism between femtocell and macrocell for LTE based networks", *IEEE Conference Publications: 13th International Conference on Communication Technology (ICCT'11)*, Jinan (China), 25-28 Sept. 2011, pp. 916-920.
- [84] B. Jeong, S. Shin, I. Jang, N. W. Sung and H. Yoon, "A smart handover decision algorithm using location prediction for hierarchical macro/femto-cell networks", *IEEE Conference Publications: IEEE Vehicular Technology Conference (VTC2011-Fall)*, San Francisco, California (USA) 5-8 Sept. 2011, pp. 1-5.
- [85] S. NakWoon, P. N. Thai, Y. Hyunsoo, L. Sookjin and H. WonJoo, "Base station association schemes to reduce unnecessary handovers using location awareness in femtocell networks", *Springer: Wireless Networks*, July 2013, vol. 19, no. 5, pp 741-753.
- [86] Y. H. Wang, G. R. Huang and Y. C. Tung, "A handover prediction mechanism based on LTE-A UE history information", *IEEE Conference Publications: International Conference*

- on *Computer, Information and Telecommunication Systems (CITS'14)*, Jeju Island (South Korea), 7–9 July 2014, pp. 1–5.
- [87] C. S. Wu, Y. S. Chu and C. H. Fang, "The periodic scan and velocity decision handover scheme for next generation femtocell/macrocell overlay networks", *IEEE Conference Publications: International Conference on ICT Convergence (ICTC'13)*, Jeju Island (South Korea), 14–16 Oct. 2013, pp. 201–206.
- [88] W. Khalid, K.S. Kwak, "Handover optimization in femtocell networks", *IEEE Conference Publications: International Conference on ICT Convergence (ICTC'13)*, Jeju Island (South Korea), 14–16 Oct. 2013, pp. 122–127.
- [89] H. Li, S. Ci and Z. Wang, "Prediction handover trigger scheme for reducing handover latency in two-tier femtocell networks", *IEEE Conference Publications: IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM'12)*, Anaheim, California (USA), 3–7 Dec. 2012, pp. 5130–5135.
- [90] H. Zhang, W. Ma, W. Li, W. Zheng, X. Wen and C. Jiang, "Signalling cost evaluation of handover management schemes in LTE-advanced femtocell", *IEEE Conference Publications: IEEE 73rd Vehicular Technology Conference (VTC2011-Spring)*, Budapest (Hungary), 15–18 May 2011, pp. 1–5.
- [91] G. Yang, X. Wang and X. Chen, "Handover control for LTE femtocell networks", *IEEE Conference Publications: International Conference on Electronics, Communications and Control (ICECC'11)*, Ningbo (China), 9–11 Sept. 2011, pp. 2670–2673.
- [92] M.Z. Chowdury, W. Ryu, E. Rhee and Y.M. Jang, "Handover between macrocell and femtocell for UMTS based networks", *IEEE Conference Publications: 11th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT'09)*, Gangwon-Do (South Korea), 15–18 Feb. 2009, pp. 237–241.
- [93] Haijun Zhang, Xiangming Wen, Bo Wang, Wei Zheng, Yong Sun, "A novel handover mechanism between femtocell and macrocell for LTE based networks", *IEEE Conference Publications: Second International Conference on Communication Software and Networks (ICCSN'10)*, Singapore, 26–28 Feb. 2010, pp. 228–231.
- [94] S. J. Wu, "A new handover strategy between femtocell and macrocell for LTE-based network", *IEEE Conference Publications: 4th International Conference on Ubi-Media Computing (U-Media'11)*, Sao Paulo (Brazil), 3–4 July 2011, pp. 203–208.
- [95] M.S. Shbat and V. Tuzlukov, "Handover technique between femtocells in LTE network using collaborative approach", *IEEE Conference Publications: 18th Asia-Pacific*

- Conference on Communications (APCC'12)*, Jeju Island (KOREA), 15–17 October 2012, pp. 61–66.
- [96] K. Toshihito and O. Tomoaki, "Cell range expansion using distributed Q-learning in heterogeneous networks", *Springer: EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, Dec. 2013, 2013:61, pp. 1–10.
- [97] C. Dhahri and T. Ohtsuki, "Learning-based cell selection method for femtocell networks", *IEEE Conference Publications: IEEE 75th Vehicular Technology Conference (VTC2012-Spring)*, Yokohama (Japan), 6–9 May 2012, pp. 1–5.
- [98] C. Dhahri and T. Ohtsuki, "Q-learning cell selection for femtocell networks: single- and multi-user case", *IEEE Conference Publications: IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM'12)*, Anaheim, California (USA), 3–7 Dec. 2012, pp. 4975–4980.
- [99] H. Tabrizi, G. Farhadi and J. Cioffi, "A learning-based network selection method in heterogeneous wireless systems", *IEEE Conference Publications: IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM'11)*, Houston, Texas (USA), 5–9 Dec. 2011, pp. 1–5.
- [100] H. Tabrizi, G. Farhadi and J. Cioffi, "Dynamic handoff decision in heterogeneous wireless systems: Q-learning approach", *IEEE Conference Publications: IEEE International Conference on Communications (ICC'12)*, Ottawa (Canada), 10–15 June 2012, pp. 3217–3222.
- [101] M. Noh, Y. Lee, and H. Park, "Low complexity LMMSE channel estimation for OFDM", *IET Journals & Magazines: IEE Proceedings - Communications*, 23 Oct. 2006, vol. 153, no. 5, pp. 645–650.
- [102] I. F. Akyildiz, B. F. LO and R. Balakrishnan, "Cooperative spectrum sensing in cognitive radio networks: A survey", *Elsevier: Physical Communication*, March 2011, vol. 4, no. 1, pp. 40–62.
- [103] I. F. Akyildiz, W. Y. Lee, M. C. Vuran and S. Mohanty, "NeXt generation/dynamic spectrum access/cognitive radio wireless networks: A survey". *Elsevier: Computer Networks*, 15 Sept. 2006, vol. 50, no. 13, pp. 2127–2159.
- [104] K. Ben Letaief and W. Zhang, "Chapter 4: Cooperative Spectrum Sensing". *Springer Book: Cognitive Wireless Communications Networks*, 2007, pp. 115–138.
- [105] C. Gentner, I. Groh, S. Sand and A. Dammann, "False alarm and detection probability for NLOS detection in LTE environments". *IEEE Conference Publications: 8th*

- International Workshop on Multi-Carrier Systems & Solutions (MC-SS 2011)*, Herrsching (Germany), 3-4 May 2011, pp. 1-5.
- [106] V. Fodor, I. Glaropoulos and L. Pescosolido. "Detecting low-power primary signals via distributed sensing to support opportunistic spectrum access", *IEEE Conference Publications: IEEE International Conference on Communications (ICC'09)*, Dresden (Germany), 14-18 June 2009, pp. 1-6.
- [107] Mobile and wireless communications Enablers for Twenty-twenty (2020) Information Society (METIS). Development Group of the future mobile and wireless communications system, Available at: <https://www.metis2020.com/documents/simulations/>
- [108] S.J. Yoo. "Efficient traffic prediction scheme for real-time VBR MPEG video transmission over high-speed networks", *IEEE Journals & Magazines: IEEE Transactions on Broadcasting*, March 2002, vol. 48, no. 1, pp. 10-18.
- [109] M. Dashiti and J. Chen. "WP2-M8: Handover strategies between femto and macro-cells", the results of this work was submitted in July 2014 to the *IEEE International Conference on Computer Communications (IEEE INFOCOM'14)*, Toronto (Canada), 11 pages.
- [110] 3GPP TS 36.214 v8.0.0 (2007), "3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical layer; Measurements (Release 8)". Available at: www.3gpp.org/ftp/Specs/36214
- [111] A. Anpalagan, M. Bennis and R. Vannithamby, "Design and Deployment of Small Cell Networks", *Cambridge University Press Edition Dec. 2015*.
- [112] Z. Becvar, P. Mach and M. Vondra. "Handover Procedure in Femto-cells", Chapter 9 (pp. 157-179) in "Femto-cell Communications and Technologies: Business Opportunities and Deployment Challenges", Editors: R. Saeed, B. S. Chaudhari and R. A. Mokhtar, *IGI Global Edition Jan. 2012*.
- [113] C. Sree Vardhan, D. Venkat Ratnam, N. Bhagyasree and A. Hema Dattu, "Analysis of path loss models of 4G femto-cells". *IEEE Conference Publications: Eleventh International Conference on Wireless and Optical Communications Networks (WOCN'14)*, Vijayawada (India), 11-13 Sept. 2014, pp. 1-6.
- [114] A. Alexiou, C. Bouras, V. Kokkinos, K. Kontodimas and A. Papazois, "Interference behavior of integrated femto and macro-cell environments". *IEEE Conference Publications: IFIP Wireless Days (WD)*, Niagara Falls (Canada), 10-12 Oct. 2011, pp. 1-5.

- [115] T. S. Rappaport, "Wireless Communications: Principles and Practice, 2nd edition", *Prentice Hall Edition Jan. 2002*.
- [116] H.E. Adardour, M. Meliani, and M. H. Hachemi, "Estimation of the spectrum sensing for the cognitive radios: Test analysing using Kalman filter". *Springer: Wireless Personal Communications*, Sept. 2015, vol. 84, no. 2, pp. 1535–1549.
- [117] R. Suresh Babu and M. Suganthi, "Review of energy detection for spectrum sensing in various channels and its performance for cognitive radio applications". *American Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2012, vol. 5, no. 2, pp. 151–156.
- [118] S. W. Wu, J. K. Zhu, L. Qiu and M. Zhao, "SNR-based weighted cooperative spectrum sensing in cognitive radio networks". *Elsevier: The Journal of China Universities of Posts and Telecommunications*, April 2010, vol. 17, no. 2, pp. 1–7.
- [119] F. F. Digham, M. S. Alouini and M. K. Simon, "On the energy detection of unknown signals over fading channels", *IEEE Conference Publications: IEEE International Conference on Communications 2003 (ICC '03)*, Anchorage (USA), 11–15 May 2003, vol. 5, no. 1, pp. 3575–3579.
- [120] From Wikipedia web site: "Chi-squared distribution".
- [121] I. S. Gradshteyn (Author), I. M. Ryzhik (Author), Alan Jeffrey (Editor), "Table of Integrals, Series, and Products, 5th Edition", *Academic Press Edition Jan. 1994*.
- [122] A. H. Nuttall, "Some integrals involving the Q_M function (Corresp.)". *IEEE Journals & Magazines: IEEE Transactions on Information Theory*, Jan. 1975, vol. 21, no. 1, pp. 95–96.
- [123] I. S. Gradshteyn, I. M. Ryzhik, A. Jeffrey and D. Zwillinger, "Table of Integrals, Series, and Products, 6th Edition", *Academic Press Edition July 2000*.
- [124] D. Aziz and R. Sigle, "Improvement of LTE handover performance through interference coordination", *IEEE Conference Publications: IEEE 69th Vehicular Technology Conference (VTC2009-Spring)*, Barcelona (Spain), 26–29 April 2009, pp. 1–5.
- [125] C-C. Lin, K. Sandrasegaran, H. Adibah Mohd Ramli and R. Basukala, "Optimized performance evaluation of LTE hard handover algorithm with average RSRP constraint", *International Journal of Wireless & Mobile Networks (IJWMN)*, April 2011, vol. 3, no. 2, pp. 1–16.

- [126] Y-C. Wang and C-A. Chuang, "Efficient eNB deployment strategy for heterogeneous cells in 4G LTE systems", *Elesvier: Computer Networks*, 14 March 2015, vol. 79, pp. 297–312.
- [127] M. Li and X. Xi, "A New Variable Step-Size NLMS Adaptive Filtering Algorithm", *IEEE Conference Publications: International Conference on Multimedia, Information Technology and its Applications (MITA'13)*, Bali (Indonesia), 16–17 Nov. 2013, pp. 236 – 239.
- [128] S. Agarwal, S. De, S. Kumar and H. Mohan Gupta, "QoS-Aware Downlink Cooperation for Cell-Edge and Handoff Users", *IEEE Journals & Magazines: IEEE Transactions on Vehicular Technology*, June 2015, vol. 64, no. 6, pp. 2512 – 2527.
- [129] R. H. Kwong and E. W. Johnston, "A variable step size LMS algorithm", *IEEE Journals & Magazines: IEEE Transactions on Signal Processing*, July 1992, vol. 40, no 7, pp. 1633 –1642.
- [130] R. W. Harris, D. M. Chabries. and F. A. Bishop, "A variable step (VS) adaptive filter algorithm", *IEEE Journals & Magazines: IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, Apr. 1986, vol. 34, no.2, pp. 309 – 316.
- [131] T. Aboulnasr and K. Mayyas, "A Robust Variable Step-Size LMS-Type Algorithm: Analysis and Simulations", *IEEE Journals & Magazines: IEEE Transactions on Signal Processing*, March 1997, vol. 45, no. 3, pp. 631 – 639.
- [132] V. J. Mathews and Z. Xie, "A stochastic gradient adaptive filter with gradient adaptive step size", *IEEE Journals & Magazines: IEEE Transactions on Signal Processing*, June 1993, vol. 41, no. 6, pp. 2075–2087.
- [133] D. I. Pazaitis and A. G. Constantinides, "A novel kurtosis driven variable step-size adaptive algorithm", *IEEE Journals & Magazines: IEEE Transactions on Signal Processing*, March 1999, vol. 47, no. 3, pp. 864 – 872.
- [134] Z. Shengkui, M. Zhihong and K. Suiyang, "Modified LMS and NLMS Algorithms with a New Variable Step Size", *IEEE Conference Publications: 9th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision (ICARCV '06)*, Singapore, 5–8 Dec. 2006, pp. 1 – 6.
- [135] S. C. Douglas and T. H. Meng, "Normalized data nonlinearities for LMS adaptation", *IEEE Journals & Magazines: IEEE Transactions on Signal Processing*, June 1994, vol. 42, no. 6, pp. 1352–1365.
- [136] S. Haykin, "Adaptive Filter Theory, 4th Edition", *Prentice Hall Edition Sept. 2001*.

- [137] H-C. Huang and J. Lee, "A New Variable Step-Size NLMS Algorithm and Its Performance Analysis", *IEEE Journals & Magazines: IEEE Transactions on Signal Processing*, Apr. 2012, vol. 60, no. 4, pp. 2055 – 2060.
- [138] M. Asif Iqbal and S. L. Grant, "Novel variable step size NLMS algorithms for echo cancellation", *IEEE Conference Publications: IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP'o8)*, Las Vegas, Nevada (USA), 31 March-4 April 2008, pp. 241-244.
- [139] J. Benesty, H. Rey, L. R. Vega and S. Tressens, "A nonparametric VSS NLMS algorithm", *IEEE Journals & Magazines: IEEE Signal Processing Letters*, Oct. 2006, vol. 13, no. 10, pp. 581-584.
- [140] Y-S. Choi, H-C. Shin, and W-J. Song, "Robust regularization for normalized LMS algorithms", *IEEE Journals & Magazines: IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs*, Aug. 2006, vol. 53, no. 8, pp. 627-631.
- [141] Y. Wang, X. Sun and L. Liu, "A Variable Step Size LMS Adaptive Filtering Algorithm Based on L2 Norm", *IEEE Conference Publications: IEEE International Conference on Signal Processing, Communications and Computing (ICSPCC'16)*, Hong Kong (China), 5-8 Aug. 2016, pp. 1 -6.
- [142] Z-S. Lv and J-S. Xiong, "A novel improved variable step-size LMS algorithm", *CNKI Journal: Journal of Signal Processing*, 2008, no. 1, pp. 144-146.
- [143] Gao Y, Xie S L, "A variable step size LMS adaptive filtering algorithm and analysis", *Journal of electronics*, 2001, 29(8):1094-1097.
- [144] J. Qin and J. Ouyang, "A Novel Variable Step Size LMS Adaptive Filtering Algorithm Based on Sigmoid Function". *Journal of Data Acquisition and Processing*, 1997, no. 3, pp. 171-174.
- [145] Q-Y. Huan, X-H. Qiu and X-F. Liu, "Variable step LMS algorithm using norm of the hyperbolic tangent function", *CNKI Journal: Journal of Signal Processing*, 2014, no.1, pp. 93-99.
- [146] Y. Zhang, N. Li and J. A. Chambers, "New Gradient Based Variable Step-Size LMS Algorithm", *IEEE Conference Publications: 8th International Conference on Signal Processing (ICSP'06)*, Beijing (China), 16-20 Nov. 2006, vol. 1, pp. 1- 4.
- [147] Y-L. Bi, F-C. Lai and Y-Z. Ye, "Gradient Vector Driven Variable Step Size Least Mean Square Algorithm", *IEEE Conference Publications: 2nd International Asia Conference*

on Informatics in Control, Automation and Robotics (CAR'10), Wuhan (China), 6-7 March 2010, vol.2, pp. 41 – 44.

- [148] C. Paleologu, S. Ciochina, and J. Benesty, "Variable Step-Size NLMS Algorithm for Under-Modeling Acoustic Echo Cancellation", *IEEE Journals & Magazines: IEEE Signal Processing Letters*, Jan., 2008, vol. 15, pp. 5-8.
- [149] J. Lee, J-W. Chen and H-C. Huang, "Performance Comparison of Variable Step-Size NLMS Algorithms", *International Association of Engineers (IAENG): Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science 2009 (WCECS'09)*, San Francisco (USA), 20-22 Oct. 2009, vol. I.

Résumé

L'apparition des premiers équipements mobiles à très haut débit (smartphones, tablettes) sur le marché grand public, a conduit les opérateurs à agir sur l'organisme de standardisation des systèmes mobiles pour créer une nouvelle génération plus performante que celle de la 3G. Les recherches ont abouti au réseau LTE (Long Term Evolution). Face aux besoins croissants d'échanges de données, en particulier l'audiovisuel en mobilité, le LTE a évolué vers le LTE-Advanced plus performant. Mais le manque d'efficacité spectrale dans les environnements intérieurs (indoor) et la surcharge des usagers sur la macro-cellule ont donné naissance à des petites cellules à faible puissance de transmission, connue sous le nom de femtocell. Cependant, ce nouveau concept cause des perturbations au niveau de la gestion de la mobilité tel que le déclenchement d'un/des handover(s) inutile(s) ou bien en retard. Dans ce contexte, cette thèse a pour objectif d'apporter le bon déclenchement du handover avec de bon critère de décision. Nous avons conçu deux approches basées sur la méthode de détection d'énergie, utilisée dans la radio cognitive, combinée avec un processus de prédiction afin de pronostiquer l'impact du handover et de prendre la bonne décision parmi les signaux détectés.

Mots clés : LTE/LTE-A, modèle de propagation, handover, filtres adaptatifs LMS à pas fixe/variable, détection d'énergie.

Abstract

The appearance of the first mobile equipments with very high throughput (Smartphone, tablets) on the mainstream market has led the operators to act on the mobile systems standards organization to create a new generation much more efficient than 3G. The researches have succeeded to the LTE (Long Term Evolution) network. In the face to the growing needs of data exchanges, particularly, the broadcasting in mobility, the LTE evolved to the more powerful LTE-A. With the evolution, the lack of spectral efficiency in the indoor environments and the overload of users on macrocell have given birth to small cells with low transmission power known as femtocell. However, this new concept causes disturbances at the level of mobility management, such as triggering of one or a lots useless handovers or in late. In this context, this thesis has for objective to bring the right trigger with good decision criterion. We conceive two approaches based on the energy detection method used in the cognitive radio combined with a prediction process in order to predict the impact of the handover and to make the right decision among the detected signals.

Keywords: LTE / LTE-A, propagation model, handover, adaptive LMS filters with fixed/variable step-size, energy detection.

ملخص

بظهور أول المعدات المتنقلة المتميزة بسرعة التدفق جد العالية (الهواتف الذكية، اللوحات الإلكترونية) إلى السوق الاستهلاكي، أدى بتعاملي شبكات الهاتف المحمول إلى دفع هيئة المواصفات والمقاييس للأنظمة المتنقلة بالتفكير في إنشاء تكنولوجيا جديدة أكثر كفاءة بكثير مقارنة بالجيل الثالث. أسفر البحوث بالموافقة على ما يسمى بـ "آل.تي.إي" والتي تعني "تطوير الشبكات الخلوية غير محدودة الآجال". غير أن أمام الاحتياجات المتزايدة والمستمرة لتبادل البيانات، خاصة السمي-البصري، تطورت "آل.تي.إي" إلى "آل.تي.إي-أ" أكثر كفاءة. لكن مع نقص الكفاءة الطيفية داخل البيئات المغلقة والحمولة الزائدة على خلية "الماكرو" من المستخدم المعدات النقالة أدى ذلك إلى إفراز خلايا صغيرة ذات طاقة الإرسال منخفضة والمعروفة باسم "خلايا فميتو". إلا هذا تصميم الجديد سبب اضطرابات على مستوى إدارة تسيير التنقل، مثل اندلاع الغير الضروري أو المتأخر لآلية التسليم اليد إلى خلية أخرى. في هذا السياق، هذه الأطروحة هدفها هو تحقيق إستراتيجية لنقطة انطلاق تسليم اليد إلى خلية أخرى مع اتخاذ معيار قرار محكمة. لقد تمكنا من تصميم منهج على أساس تقنية الكشف الطاقة المستعمل في الراديو المعرفي مع اقتراح مرشحات التكيفية من أجل التنبؤ على نقطة تسليم اليد إلى خلية أخرى ذات نوعية أفضل بعدما ما تم الكشف عليها من قبل آلية الكشف عن الطاقة.

كلمات البحث: آل.تي.إي / آل.تي.إي-أ، نموذج انتشار، تسليم اليد، مرشحات التكيفية "آل.أم.آس" ذات الخطوة الثابتة / المتغير، الكشف عن الطاقة.