

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



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme** de **MASTER**

En : Télécommunications

Spécialité : Réseaux et Télécommunications

Par : **BENARIBA Soumia** et **BENOSMAN Meryem Mamia**

Sujet

**Etude et implémentation de Handover
intra-LTE basé sur une architecture femtocellules.**

Soutenu publiquement, le **26/06 / 2018**, devant le jury composé de :

Mr.SLIMANI.H	MCB	Univ. Tlemcen	Président
Mr.BOUACHA.A	MCA	Univ. Tlemcen	Encadrant
Mr.MERZOUGUL.R	MCA	Univ. Tlemcen	Examineur

2017-2018

Dédicaces

Et comme disait maman petit à petit l'oiseau fait son nid.

Je dédie ce modeste travail

À mon cher père ABDELHAK

Mon héros : c'est grâce à vous, vos sacrifices, votre soutien, votre patience et votre confiance que ce je sois la aujourd'hui et je ferai toujours de mon mieux pour rester votre fierté et ne jamais vous décevoir. Autant de phrases et d'expressions aussi éloquentes soient-elles ne sauraient exprimer ma gratitude et ma reconnaissance.

À ma chère maman NAIMA

Je dédie spécialement ce modeste travail à vous, vous qui m'avez toujours encouragé dans mes études jusqu'à votre dernier souffle, vous n'êtes pas avec moi pour assister à ces moments mais vous êtes toujours dans mon cœur, présente dans ma vie.

Vos conseils ont toujours guidé mes pas vers la réussite. Une femme en or, un symbole de patience, de gentillesse et de sagesse, qu'Allah t'accorde dans son vaste paradis.

À mes chers frères HOCINE & HICHEM

Non seulement mes frères mais plutôt mes amis et mes compagnons dans les moments les plus délicats et les plus beaux.

À ma chère cousine BOUKLI HACENE KAWTHER

Ma sœur, ma confidente et l'amie qui sait si bien ne pas compter, et pour celui sur qui je peux toujours compter.

À mon amie et mon binôme dans ce travail BENARIBA SOUMIA

"Lorsque deux forces sont jointes, leur efficacité est double"

A tous les membres de ma famille, petits et grands

Vous avez toujours été présents pour les bons conseils. Votre affection et votre soutien m'ont été d'un grand secours au long de ma vie professionnelle et personnelle.

À mes amies et mes cousines

Amina, Amaria, Amel, Rania, Amira, Saida, Hidayet, Djazia, Kawter, zineb, assia meryem, sarra, chahinez, Asma.

BENSOMAN MERYEM MAMLA

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail

A Mon très cher Père Abdelkrim

A l'homme de ma vie, qui peut être fier et trouver ici le résultat de longues années de sacrifices et de privations pour m'aider à avancer dans la vie. Puisse Dieu faire en sorte que ce travail porte son fruit ; Merci pour les valeurs nobles, l'éducation et le soutien permanent venu de vous.

A ma très chère mère Touria

A la lumière de mes jours, qui a œuvré pour ma réussite, de par son amour, son soutien, tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils, pour toute son assistance et sa présence dans ma vie, reçois à travers ce travail aussi modeste soit-il, l'expression de mes sentiments et de mon éternelle gratitude.

A mes chères belles sœurs Samira, Nardjess, Abir & Maram

Je ne peux exprimer à travers ses lignes tous mes sentiments d'amour et de tendresse envers vous.

Puisse l'amour et la fraternité nous unissent à jamais.

Je vous souhaite la réussite dans votre vie, avec tout le bonheur qu'il faut pour vous combler.

Merci pour votre précieuse aide à la réalisation de ce travail.

A mon amie et mon binôme dans ce travail Meriem Mamia et toute la famille BENOUSMAN.

A mon fiancé Abderahmane.

A tous les membres de ma famille.

A mes chères amies

Meriem, Saida, Khadidja, Fedoua, Rania, Amira, Narimane, Wafaa.

A tous mes enseignants depuis mes premières années d'études.

A tous ceux qui me sens chers et que j'ai omis de citer.

SOUMLA BENARIBA

REMERCIEMENTS

الْحَمْدُ لِلَّهِ الَّذِي هَدَانَا لِهَذَا وَمَا كُنَّا لِنَهْتَدِيَ لَوْلَا أَنْ هَدَانَا اللَّهُ

Nous tenons d'abord à remercier notre professeur et encadrant Mr BOUACHA Abdelhafid pour l'orientation, la confiance, la patience qui a constitué un apport considérable sans lequel ce travail n'aurait pas pu être menée au bon port. Qu'il trouve dans ce travail un hommage vivant à sa haute personnalité.

Nous remercions les membres du jury, nos professeurs Mr SLIMANI Hicham d'avoir l'amabilité de présider le jury et Mr MERZOUGUI Rachid d'avoir accepté d'examiner notre travail. Veuillez trouver ici l'expression de notre grand respect et nos vifs remerciements.

Nous tenons aussi à remercier notre ami et collègue YAHY Abderrezak pour son aide durant ce travail.

Nous profitons de cette opportunité pour exprimer notre gratitude à tous les enseignants qui ont contribué par leur collaboration, disponibilité et sympathie, à notre formation.

Enfin, merci à toute personne qui nous a aidé de près ou de loin durant notre travail.

Résumé

Les femtocellules sont des cellules radio intérieures de faible puissance utilisée dans le LTE, pour étendre la zone de couverture à l'intérieur de l'environnement urbain.

La technologie de la prochaine génération prévoit d'utiliser des femtocellules comme cellules radio intérieure normales. Etant donné que l'onde millimétrique est fortement affectée par l'évanouissement, l'ombrage et la propagation non linéaire, il est donc important d'intégrer les femtocellules au réseau et de prévoir une gestion efficace de la mobilité entre ces femtocellules et les macrocellules pour assurer une bonne QoS.

L'objectif de ce travail est l'étude et implémentation de quelques algorithmes d'Handover dans un contexte de réseaux LTE avec un déploiement de femtocellules sous l'outil de simulation réseau NS3.

Mots clés : LTE, Macro-celles, Femto-celles, Handover, NS-3.

Abstract

Femtocells are low-power indoor radio cells used in LTE to extend the coverage area within the urban environment.

Next generation technology plans to use femtocells as normal indoor radio cells. Since the millimeter wave is strongly affected by fading, shading and non-linear propagation, it is important to integrate femtocells into the network and to provide efficient management of mobility between femtocells and microcells to ensure a good QoS.

The objective of this work is the study and implementation of some Handover algorithms in the context of LTE networks with a femtocell deployment under the NS-3 network simulation tool.

Key words: LTE, macrocells, femtocells, Handover, NS-3.

ملخص

FEMTO هي خلايا راديو داخلية منخفضة القدرة تُستخدم في LTE لتمديد منطقة التغطية داخل البيئة الحضرية. تخطط تقنية الجيل التالي لاستخدام FEMTO كخلايا لاسلكية داخلية عادية. بما أن الموجة المليمترية تتأثر بشدة بالتلاشي والتظليل والانتشار غير الخطي، فمن المهم بالتالي دمج FEMTO في الشبكة وتوفير إدارة فعالة للتنقل بين FEMTO وMACRO. لضمان جودة الخدمة الجيدة. الهدف من هذا العمل هو دراسة وتنفيذ بعض خوارزميات التسليم في سياق شبكات LTE مع نشر FEMTO تحت أداة محاكاة شبكة.

الكلمات: NS3, LTE, macrocells, femtocells, Handover, NS-3.

TABLE DES MATIÈRES

DÈDICACES

REMERCIEMENTS

INTRODUCTION GENERALE

Chapitre 1: RÉSEAUX LTE ET ARCHITECTURE EN FEMTO-CELLULES

1.1	Introduction	4
1.2	Définition de la norme LTE/4G.....	4
1.3	Evolution de la norme LTE	5
1.4	Architecture de la technologie 4G	6
1.4.1	Architecture physique	6
1.4.1.1	Réseau cœur EPC (Evolved Packet Core).....	6
1.4.1.2	Partie radio eUTRAN	8
1.4.1.3	Partie IMS (IP Multimedia Sub-system)	9
1.4.2	Architecture fonctionnelle	10
1.4.2.1	Plan usager.....	10
1.4.2.2	Plan de contrôle	11
1.5	Caractéristiques fondamentales de la LTE	12
1.5.1	Débits et fréquences.....	12
1.5.2	Latence.....	12
1.5.2.1	Latence du plan de contrôle.....	12
1.5.2.2	Latence du plan usager	12
1.5.3	Agilité en fréquence.....	12
1.5.4	Méthode d'accès	13
1.5.5	Multiplexage	13

TABLE DES MATIÈRES

1.5.6	Mobilité.....	13
1.5.7	Modulation adaptative et codage	14
1.6	Architecture en femtocellules	14
1.6.1	Définition	14
1.6.2	Architecture de la femtocellule	14
1.6.3	Intégration de femtocellules dans le LTE	15
1.6.4	Protocoles de signalisation LTE Femtocellule	16
1.6.5	Sécurité des femtocellules	17
1.6.5.2	Problèmes de sécurité dans le réseau femtocellule.....	18
1.6.5.3	Sécurité du périphérique domestique	19
1.6.6	Qualité de service dans le réseau femtocellulaire	19
1.6.6.1	Gestion des fréquences et des interférences	20
1.6.6.2	QoS dans le « backhaul » basé sur xDSL	21
1.6.6.3	Contrôle de transfert (Handover).....	22
1.6.7	vantages de la technologies femtocellule	22
1.6.7.1	Perspective de l'opérateur	22
1.6.7.2	Perspective de l'abonné	23
1.7	Conclusion	24

Chapitre 2: GESTION DE LA MOBILITÉ ET HANDOVER DANS LES RÉSEAUX FEMTO-CELLULES

2.1	Introduction	26
2.2	Handover	26
2.2.1	Différents types du Handover.....	27
2.2.1.1	Mobile Controlled Handover Decision (MCHO)	27
2.2.1.2	Network Controlled Handover Decision (NCHO).....	27
2.2.2	Techniques du Handover	27
2.2.3	Niveau duHandover	29

TABLE DES MATIÈRES

2.2.4	Processus du Handover.....	30
2.2.4.1	Phase I: Initiation du Handover et collecte d'informations	31
2.2.4.2	Phase 2 : Sélection du réseau destination.....	32
2.2.4.3	Phase 3 : Exécution du Handover	32
2.2.5	Mesures du Handover.....	33
2.2.5.1	Signal de référence de la puissance reçue (RSRP).....	33
2.2.5.2	Signal de référence de la qualité reçu (RSRQ)	35
2.2.5.3	Mesure de la qualité du signal radio et la puissance reçue réalisée au niveau de la couche physique :	37
2.2.6	Paramètres du Handover.....	38
2.2.6.1	Niveau de seuil de l'initiation du Handover RSRP et RSRQ	38
2.2.6.2	Marge d'hystérésis	38
2.2.6.3	Time-to-Trigger (TTT).....	38
2.2.6.4	Longueur et la forme de la fenêtre moyenne	38
2.3	Handover dans le réseau femtocellules.....	39
2.3.1	Mécanisme du Handover utilisant l'interface S1	40
2.3.2	Procédures du Handover dans le réseau femtocellule	42
2.3.2.1	Handover sortant: femtocellules vers macrocellules.....	42
2.3.2.2	Handover entrant: macrocellules vers femtocellules :	44
2.3.3	Algorithmes pour le Handovers.....	45
2.3.3.1	Algorithme basé sur la puissance reçue.	45
2.3.3.2	Algorithme basé sur le bilan de puissance.	47
2.3.3.3	Algorithmes basés sur la vitesse de déplacement.	47
2.4	Conclusion	49

TABLE DES MATIÈRES

Chapitre 3: ETUDE DE HANDOVER MACROCELLULES / FEMTOCELLULES SOUS NS3

3.1	Introduction	51
3.2	Présentation du logiciel NS-3.....	51
3.2.1	Installation du simulateur NS-3.....	52
3.2.1.1	Ressources.....	52
3.2.1.2	Environnement de développement :.....	53
3.2.1.3	Installation de NS3 sous Ubuntu :.....	53
3.3	Modèle NS-3	57
3.4	Scenari de la simulation	59
3.4.1	Déroulement de la simulation.....	59
3.4.2	Paramètres de la simulation.....	61
3.5	Résultats et discussions	62
3.5.1	SINR en fonction de la distance entre l'UE et la HeNB :	62
3.5.2	SINR en fonction de la puissance de la HeNB.....	64
3.5.3	Nombre de paquets perdu en fonction de la vitesse de déplacement	66
3.5.4	Nombre de handover en fonction de la vitesse de déplacement de l'UE : ..	67
3.5.5	Influence de l'hystérésis du TTT sur les performances de l'algorithme RSRQ.....	69
3.6	Conclusion	70
	CONCLUSION GENERALE	71
	GLOSSAIRE	72
	BIBIOGRAPHIE	77

TABLE DES FIGURES

Figure 1.1 : Architecture générale du réseau LTE.	6
Figure 1.2 : Architecture générale du réseau LTE.	7
Figure 1.3 : Architecture générale du réseau LTE.	9
Figure 1.4 : Pile protocolaire du plan usager.	10
Figure 1.5 : pile protocolaire du plan de contrôle.	11
Figure 1.6 : Pile protocolaire du plan de contrôle définie entre les nœuds de l'EP.	11
Figure 1.7 : Architecture générale d'un réseau femtocellules.....	15
Figure 1.8 : Réseau LTE avec home NodeB.....	16
Figure 1.9 : Protocoles de contrôle de la femtocellule LTE.....	17
Figure 1.10 : Tentatives d'attaques de réseau femtocellule.	19
Figure 1.11 : Une répartition possible des fréquences entre femtocellules et macrocellules pour réduire les interférences.	21
Figure 2.1 : les types de Handover.....	29
Figure 2.2 : Processus du Handover.....	31
Figure 2.3 : Les trois phases du Handover [ref].....	33
Figure 2.4 : Position des signaux de référence dans un RB (Ressource de Base).	34
Figure 2.5 : Paramètres pour le déclenchement du handover.....	39
Figure 2.6 : Architecture E-UTRAN avec HeNB.	41
Figure 2.7 : Procédures de transfert femtocellule-macrocellule.....	43
Figure 2.8 : Procédures de transfert macrocellule-femtocellule.....	44
Figure 2.9 : Algorithme de Handover A2-A4-RSRQ.	46
Figure 2.10 : Algorithme basé sur la vitesse de déplacement.	49
Figure 3.1 : Interface graphique Ubuntu 16.04 LTS.....	54
Figure 3.2 : Une console dans une interface graphique	56
Figure 3.3 : Etapes d'installation et compilation sous NS3.	56
Figure 3.4 : Modèle NS-3.....	57
Figure 3.5 : Organisation du logiciel NS-3.	58
Figure 3.6 : Modules NS-3.....	58
Figure 3.7 : Etapes de la simulation.	59

TABLE DES FIGURES

Figure 3.8 : Scenario microcellule/femtocellule simulé.....	60
Figure 3.9 : Macro et HeNB Géométrie	62
Figure 3.10 : SINR en fonction de la distance. UE/HeNB.....	63
Figure 3. 11 : Comparaison RSRP Vs RSRQ,	64
Figure 3.12 : SINR en fonction de la puissance.....	65
Figure 3.13 : Comparaison RSRP Vs RSRQ,	65
Figure 3.14 : Nombre de paquets perdus en fonction de la vitesse.....	66
Figure 3. 15 : Comparaison RSRP Vs RSRQ,	67
Figure 3.16 : Nombre de handover en fonction de la vitesse	68
Figure 3. 17 : Comparaison RSRP Vs RSRQ	69
Figure 3.18 : Nombres de paquets perdus en fonction de la vitesse et du TTT/hystérésis.	70

Introduction générale

Les réseaux de télécommunication ont pris de plus en plus d'importance dans notre vie quotidienne. Pour satisfaire au mieux les besoins et les intérêts des clients, les opérateurs doivent pouvoir offrir, au meilleur prix, des services d'excellente qualité. Les utilisateurs des réseaux de télécommunication sont de plus en plus mobiles et plus en plus exigeants en termes de fiabilité, sécurité et de débit. Dans le but de satisfaire à leur demande, les normes sont sans cesse améliorées. De nouveaux services peuvent ainsi être ouverts par les opérateurs de réseaux.

La 4G/LTE (Long Term Evolution, en anglais) désigne la quatrième génération du réseau de téléphonie mobile qui introduit du très haut débit pouvant aller, en théorie, jusqu'à 150 Mbit/s. La spécificité de la 4G par rapport aux réseaux cellulaires précédents est le passage à une structure IP (Internet Protocol) pour le transport des communications vocales et des SMS sous forme de paquets de données.

La 4G accompagne l'avènement des Smartphones et le développement de nouveaux usages fortement consommateurs de données numériques et de bande passante : visiophonie, lecture de vidéo ou de musique en streaming, jeu vidéo en ligne, applications géolocalisées, partage de contenus...

Dans les réseaux cellulaires, on estime que 2/3 des appels et plus de 90% des services de données se produisent à l'intérieur. Cependant, certaines enquêtes montrent que de nombreuses entreprises éprouvent un problème de couverture intérieure. Il a été identifié qu'une mauvaise couverture est la principale raison du taux de désabonnement, ce qui est très coûteux pour les opérateurs sur les marchés saturés. Comment offrir une bonne couverture intérieure à un coût efficace est donc un défi exigeant pour les opérateurs.

Le développement récent des femtocellules fournit une nouvelle opportunité pour les opérateurs de résoudre le problème de couverture intérieure.

La femtocellule est un point d'accès sans fil qui améliore la réception cellulaire à l'intérieur d'une maison ou d'un immeuble de bureaux. Les femtocellules se connectent au réseau d'un opérateur via la connexion Internet haut débit du client et fournissent un signal que les téléphones cellulaires du bâtiment peuvent être utilisés pour n'importe quelle application vocale ou de données.

Comme dans n'importe quelle technologie de téléphonie mobile, il faut assurer la continuité de service lors de la mobilité de l'utilisateur, tout en intégrant le mécanisme de Handover, dans notre projet nous essayerons d'implémenter les algorithmes de Handover existants déjà en réseau 4G dans le réseau de femtocellule.

Notre étude se fera en trois étapes. Le premier chapitre donne une étude générale sur le réseau 4G, sa définition, son architecture et ses caractéristiques. Par la suite, nous présenterons la femtocellule avec son architecture, ses avantages, la gestion de sécurité et comment l'intégrer dans le réseau LTE.

Par la suite dans le deuxième chapitre, nous nous intéressons à l'étude plus approfondie des mécanismes du Handover et de ses performances. Nous y décrivons en détail les algorithmes et procédures utilisés.

Le troisième chapitre est consacré à l'étude et l'analyse des résultats de simulations réalisé dans notre travail. Nous débuterons ce chapitre par une présentation du simulateur NS-3 (Network Simulateur) et son installation. Dans la suite nous exposerons les résultats des simulations pour des Handovers entre la femtocellule et la macrocellule dans un réseau 4 G.

En fin, ce manuscrit se termine par une conclusion générale qui expose les résultats et présente quelques perspectives du travail réalisé.

Chapitre 1 : Réseau LTE et Architecture en Femtocellules

Sommaire

1.1	Introduction	4
1.2	Définition de la norme LTE/4G.....	4
1.3	Evolution de la norme LTE	5
1.4	Architecture de la technologie 4G	6
1.5	Caractéristiques fondamentales de la LTE	12
1.6	Architecture en femtocellules	14
1.7	Conclusion	24

1.1 Introduction

L'évolution à long terme (LTE) est une technologie sans fil émergente, beaucoup de fournisseurs de services l'ont déjà déployée. Le LTE est considéré comme la technologie de la prochaine génération dans les communications sans fil, offrant des débits d'accès à large bande sur les appareils sans fil. Ceci permet aux dispositifs mobiles la possibilité d'offrir aux clients des services hauts débit, audio de qualité stéréo et de diffuser en haute définition la TV (HDTV).

L'une des technologies clé introduite par le LTE est la standardisation des femtocellules dans la norme de base LTE. Les femtocellules peuvent aider à un déploiement plus efficace des services LTE avec la perspective que la distribution des émetteurs/récepteurs radios LTE NodeB soit significativement plus dense.

Dans ce premier chapitre nous présentons d'une manière générale la technologie LTE ainsi que la structure du réseau avec intégration des femtocellules.

1.2 Définition de la norme LTE/4G

La LTE (Long Term Evolution, en anglais) ou communément appelée 4G, désigne la quatrième génération du réseau de téléphonie mobile qui introduit de très haut débit pouvant aller, en théorie, jusqu'à 150 Mbit/s. Le LTE utilise des bandes de fréquences hertziennes d'une largeur pouvant varier de 1,4 MHz à 20 MHz [1].

La spécificité de la 4G par rapport aux réseaux cellulaires précédents est le passage à une structure IP (Internet Protocol) pour le transport des communications vocales et des SMS sous forme de paquets de données. La 4G accompagne l'avènement des smartphones et le développement de nouveaux usages qui augmentent fortement la consommation en données numériques et en bande passante : visiophonie, lecture de vidéo ou de musique en streaming, jeu vidéo en ligne, applications géolocalisées, partage de contenus, etc. Selon les mesures effectuées par l'ARCEP (l'Autorité de régulation des communications électroniques et des postes), le débit médian du réseau 4G en France est de 17,9 Mbit/s en téléchargement contre 7,2 Mbit/s pour le réseau 3G. En débit montant, la vitesse de transfert est de 5,5 Mbit/s en 4G contre 1,5 Mbit/s en 3G [2].

A l'instar de chaque nouvelle génération de réseau d'accès, le LTE a pour objectif de proposer une capacité accrue et fait appel à une nouvelle technique d'accès à la ressource fréquentielle.

1.3 Evolution de la norme LTE

Chaque nouvelle modification des spécifications de la norme est associée à une Release. Une Release correspond à un ensemble de nouvelles fonctionnalités introduites dans la norme par les groupes du 3GPP dans une période de temps donnée et représente un palier significatif dans l'évolution des systèmes. Le 3GPP a défini douze Releases entre 1998 et mars 2015 :

- **Release 97** : définition du GPRS
- **Release 99** : introduction de l'UMTS
- **Release 4** : ajout de fonctionnalités au sein du réseau cœur, notamment la séparation des couches média et contrôle pour le réseau cœur circuit
- **Release 5** : introduction de l'évolution HSDPA pour le réseau d'accès UMTS.
- **Release 6** : introduction de l'évolution HSUPA pour le réseau d'accès UMTS.
- **Release 7** : introduction du HSPA+MIMO.
- **Release 8** : introduction des évolutions HSPA+ CPC et DC-HSDPA, et première Release du réseau d'accès LTE et du réseau cœur EPC.
- **Release 9** : évolutions du DC-HSDPA, notamment en combinaison avec le MIMO, et introduction du DC-HSUPA; seconde Release du LTE.
- **Release 10** : évolution multi porteuse du HSDPA (jusqu'à 4 porteuses, soit 20 MHz) et introduction de l'évolution du LTE appelée LTE-Advanced.
- **Release 11** : Advanced IP interconnexion des services.
- **Release 12** : Achevée en mars 2015, et comporte la densification du réseau, opération conjointe entre le TDD et le FDD avec agrégation de transport.
- **Release 13** : Achevée en mars 2016, il inclut des travaux sur de nouvelles bandes pour le LTE.
- **Release 14** : améliorations du support LTE pour les services V2x, l'eLAA, l'agrégation de porteuses à 4 bandes, l'agrégation de porteuses inter-bandes et plus,
- **Release 15** : Normalisation du passage de 4G vers la 5G, finalisation du Release Septembre 2018.

1.4 Architecture de la technologie 4G

À l'instar des réseaux 2G et 3G, l'architecture générale LTE/EPC est définie d'un point de vue physique et d'un point de vue fonctionnel.

1.4.1 Architecture physique

D'un point de vue physique, [3] l'architecture LTE/EPC est composée de trois domaines :

- L'UE : c'est l'équipement de l'utilisateur (User Equipment)
- Le réseau d'accès : appelé LTE ou **E-UTRAN** (Evolved-UTRAN) ;
- Le réseau cœur : appelé **EPC** (Evolved Packet Core).

La figure 1.1 illustre l'architecture générale LTE/EPC

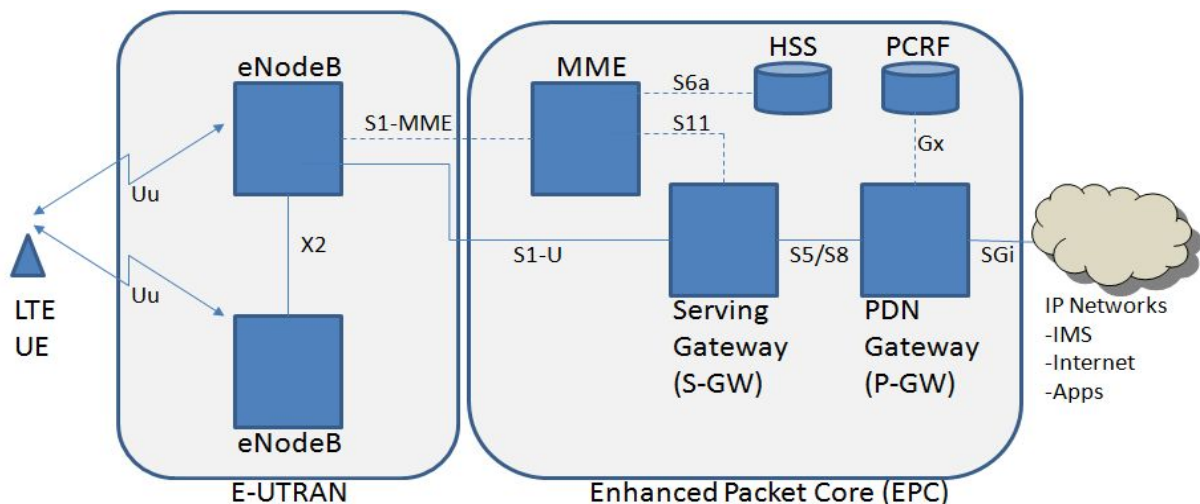


Figure 1.1 : Architecture générale du réseau LTE.

1.4.1.1 Réseau cœur EPC (Evolved Packet Core)

Le cœur du réseau, appelé « **EPC** » (Evolved **P**acket **C**ore), utilise des technologies « full IP », c'est-à-dire basées sur les protocoles Internet pour la signalisation qui permet des temps de latence réduits pour le transport de la voix et des données. [1] Ce cœur de réseau permet l'interconnexion via des routeurs avec les autres eNodeB distants, les réseaux des autres opérateurs mobiles, les réseaux de téléphonie fixe et le réseau Internet.

L'EPC Simplifie l'architecture du réseau avec le passage au tout IP, comme il assure la mobilité entre les systèmes basés sur la 3GPP, et aussi les systèmes qui ne sont pas basés sur la 3GPP par exemple le WIMAX et le CDMA2000.

L'architecture du réseau EPC est représentée sur la figure 1.2.

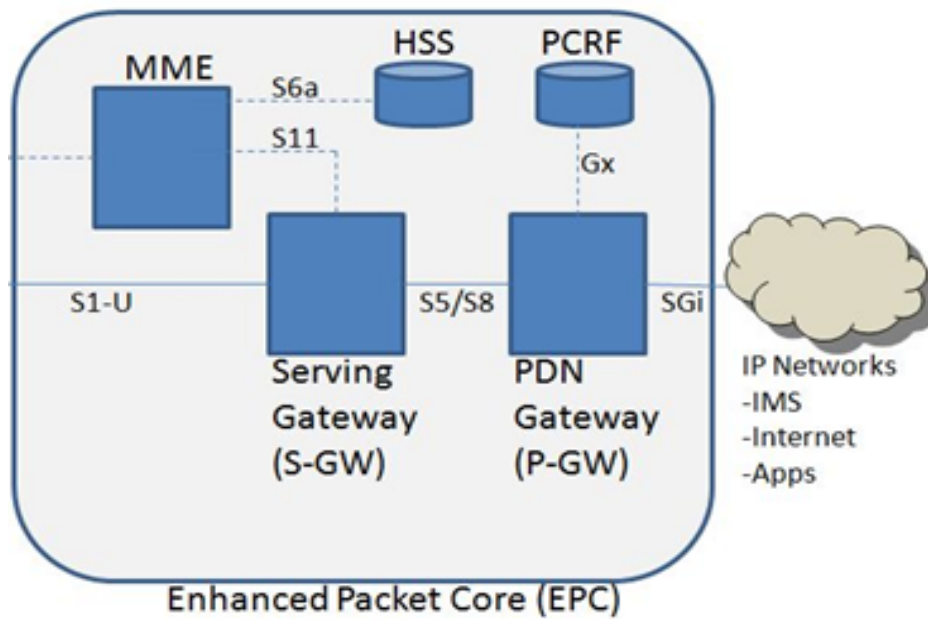


Figure 1.2 : Architecture générale du réseau LTE.

Le réseau EPC est constitué de :

- ✚ **MME:** Mobility Management Entity.
- ✚ **HSS:** Home Subscriber Service.
- ✚ **PDN-GW:** Packet Data Network GateWay
- ✚ **PCRF:** Policy and Charging Rules Function
- ✚ **SGW :** Serving Gateway.
- ✚ **SGSN:** Serving GRPS Support Nom.

- a) **MME (Mobility Management Entity) :**est responsable de la gestion de la mobilité et l'authentification des utilisateurs. Elle est responsable aussi du Paging lorsque l'utilisateur est en état inactif. Elle sélectionne les composants dédiés aux types de la communication de l'utilisateur. Elle gère le Handover inter-domaines et inter-réseaux. Et enfin elle s'occupe de la signalisation.
- b) **HSS (Home Subscriber Service) :** Base de données similaire au HLR en GSM / WCDMA du réseau cœur qui contient les informations du subscriber-related (les abonnés voisins), et porte l'appel de control et la session management. Elle est Principalement désignée à l'authentification, l'autorisation, la sécurité, le débit et fournit une localisation détaillée à l'utilisateur.

- c) **PDN-GW (Packet Data Network GateWay)** : Fournit la connectivité des données entre le terminal mobile (UE) et le PDN (Packet Data Network) sur trois segments :
 - La porteuse radio entre UE et eNodeB.
 - La porteuse des données entre eNodeB et SGW.
 - La porteuse des données entre SGW et PGW.
- d) **PCRF (Policy and Charging Rules Function)** : Responsable sur la décision principale du control. Il fournit une QoS d'autorisation pour décider le traitement des données en respectant l'abonnement des utilisateurs.
- e) **SGW (Serving Gateway)** : C'est la jonction principale entre le réseau radio accès et le réseau cœur Serving Gateway (SGW) achemine les paquets de données, maintient la connexion de l'inter-eNodeB, puis inter-système entre LTE et GSM/UMTS et réserve le contexte du terminal mobile (UE), comme les paramètres de la porteuse service et le routage des informations.
- f) **P-GW (Packet-Switch Gateway)**: Une passerelle qui Fournit la connectivité au terminal mobile (UE) vers le paquet externe du réseau de l'information et alloue les adresses IP d'une UE, ainsi que les applications de la QoS, et maintient la connexion mobile entre LTE/UMTS/GSM systèmes et le non 3GPP système.
- g) **SGSN (Serving GPRS Support Node)** : Interconnecte le LTE à l'UMTS et au réseau GSM pour augmenter la mobilité.

1.4.1.2 Partie radio eUTRAN

La partie radio du réseau, appelée « eUTRAN » est simplifiée par rapport à celles des réseaux 2G (BSS) et 3G (UTRAN) par l'intégration dans les stations de base « eNodeB » des liaisons en fibres optiques et des liens IP reliant les eNodeB entre eux (liens X2). Ainsi que des fonctions de contrôle qui étaient auparavant implémentées dans les RNC (Radio Network Controller) des réseaux 3G UMTS. Cette partie est responsable sur le management des ressources radio, la porteuse, la compression, la sécurité, et la connectivité vers le réseau cœur.

- L'**eNodeB** : est l'équivalent de la BTS dans le réseau GSM et le NodeB dans l'UMTS. Ce sont des antennes qui relient les UE avec le réseau cœur du LTE via les interfaces RF. Ainsi, l'eNodeB fournit la fonctionnalité du contrôleur radio, le résultat est plus efficace, et le réseau est moins latent, par exemple la mobilité est déterminée par l'eNodeB a la place de la BSC ou le RNC.

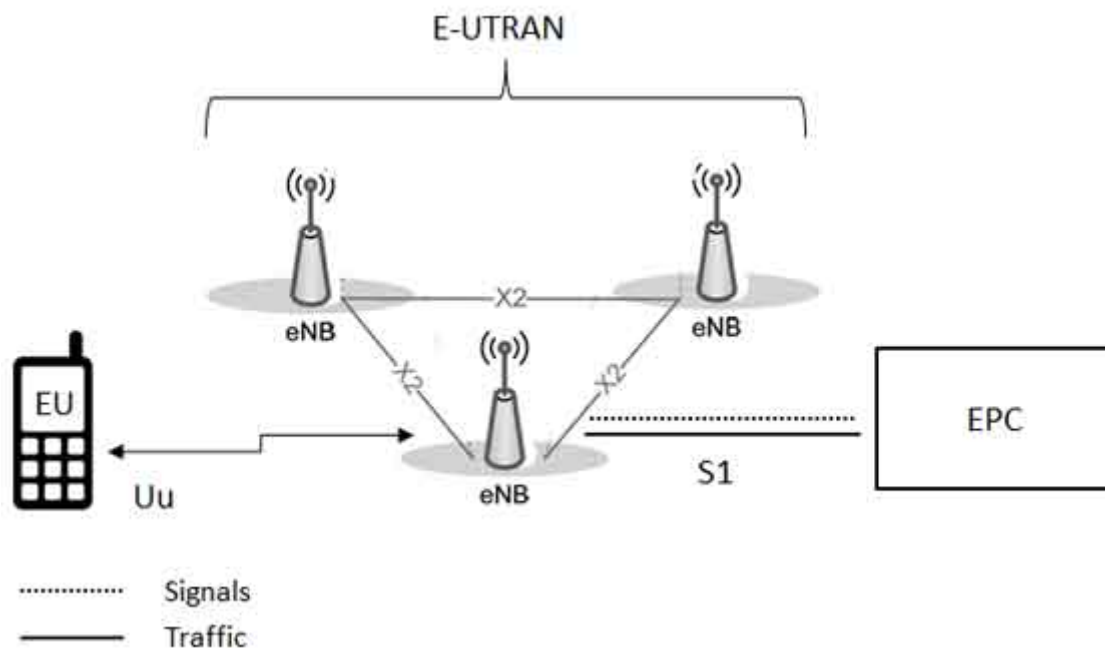


Figure 1.3 : Architecture générale du réseau LTE.

1.4.1.3 Partie IMS (IP Multimedia Sub-system)

L'IMS (IP Multimedia Sub-system) est une architecture standardisée NGN (Next Generation Network) pour les opérateurs de téléphonie, qui permet de fournir des services multimédias fixes et mobiles. Cette architecture utilise la technologie VoIP ainsi qu'une implémentation 3GPP standardisée.

L'objectif d'IMS n'est pas seulement de permettre de nouveaux services, existants ou futurs proposés sur Internet, mais d'offrir ces services aux utilisateurs aussi bien en déplacement (situation de roaming) que depuis chez eux. Pour cela, l'IMS utilise les protocoles standards IP. Ainsi, une session multimédia, qu'elle s'effectue entre deux utilisateurs IMS, entre un utilisateur IMS et un internaute, ou bien encore entre deux internautes, est établie en utilisant exactement le même protocole. De plus, les interfaces de développement de services sont également basées sur les protocoles IP. C'est pour cela qu'IMS fait véritablement converger l'Internet et le monde de la téléphonie cellulaire ; Il utilise les technologies cellulaires pour fournir un accès en tout lieu, et les technologies Internet pour fournir les services. Plusieurs exemples de services de l'IMS peuvent être cités :

- Echange de fichiers pendant un appel.
- Un usager peut créer une règle qui le montre connecté après une certaine heure et rejette tous les appels en provenance d'un appelant de son groupe professionnel.
- Un usager peut couper lorsque ses collègues professionnels appellent et les rediriger vers une page Web spécifique présentant l'hôtel où il passe ses vacances.
- Un usager peut activer la sonnerie au niveau de tous ses appareils en fonction de l'appelant.
- Messagerie instantanée et vidéo conférence.

1.4.2 Architecture fonctionnelle

L'architecture fonctionnelle LTE/EPC fait appel à différents protocoles qui sont présentés dans cette partie.

1.4.2.1 Plan usager

Un paquet IP destiné à un UE est encapsulé par la P-GW et est transféré de la P-GW vers l'eNodeB au sein d'un tunnel, avant d'être transmis par l'eNodeB à l'UE. La fonction de tunnel est assurée par un protocole propre au 3GPP appelé GTP-U (GPRS Tunneling Protocol-User plane). Il est utilisé au sein des interfaces S1, S5 et S8 (figure 1.1). La figure 1.4 suivante présente la pile protocolaire du plan usager.

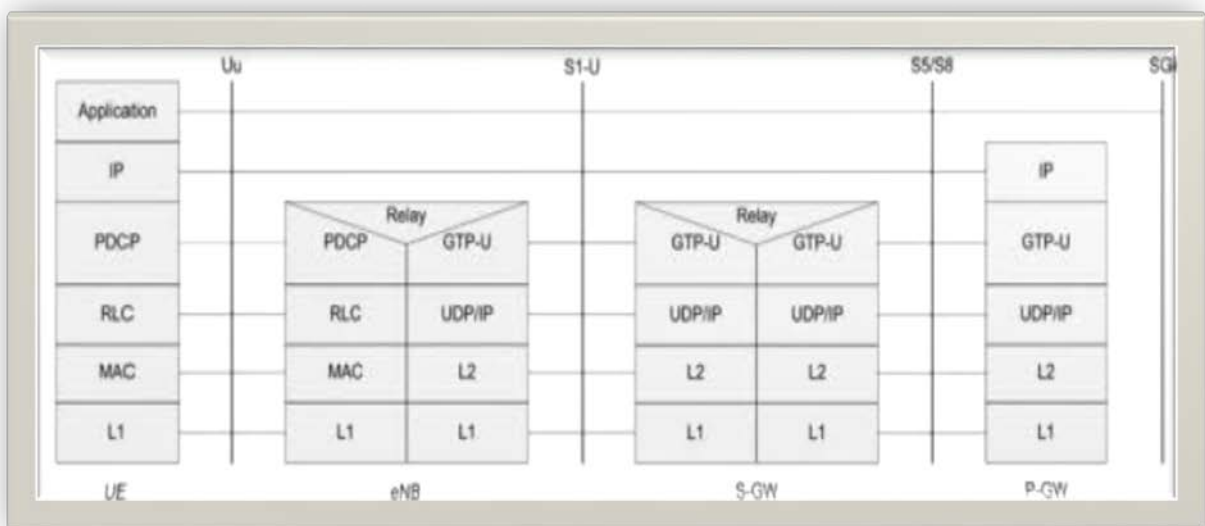


Figure 1.4 : Pile protocolaire du plan usager.

1.4.2.2 Plan de contrôle

La pile protocolaire du plan de contrôle définie entre le MME et l'UE est présentée sur la figure 1.5.

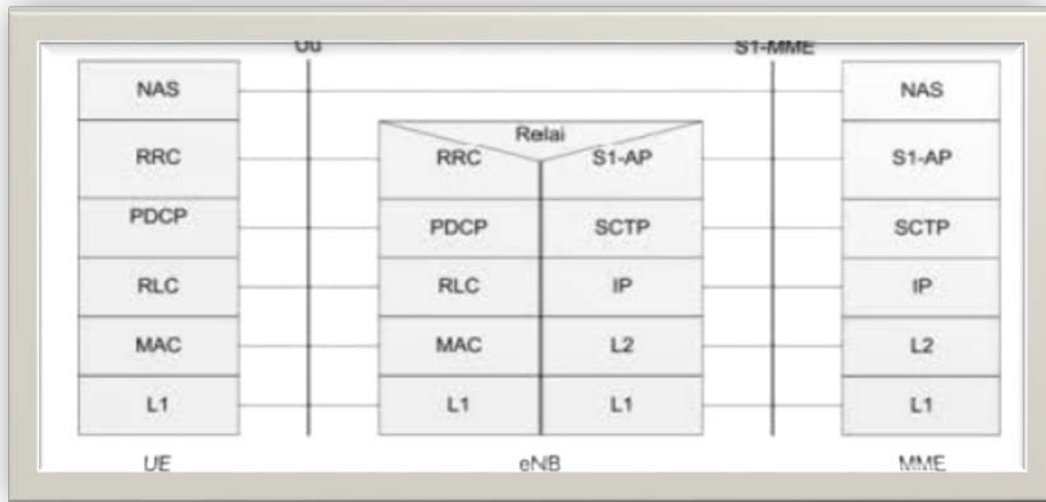


Figure 1. 5 : pile protocolaire du plan de contrôle.

La pile protocolaire du plan de contrôle défini entre les nœuds de l'EPC est présentée sur la figure 1.6.

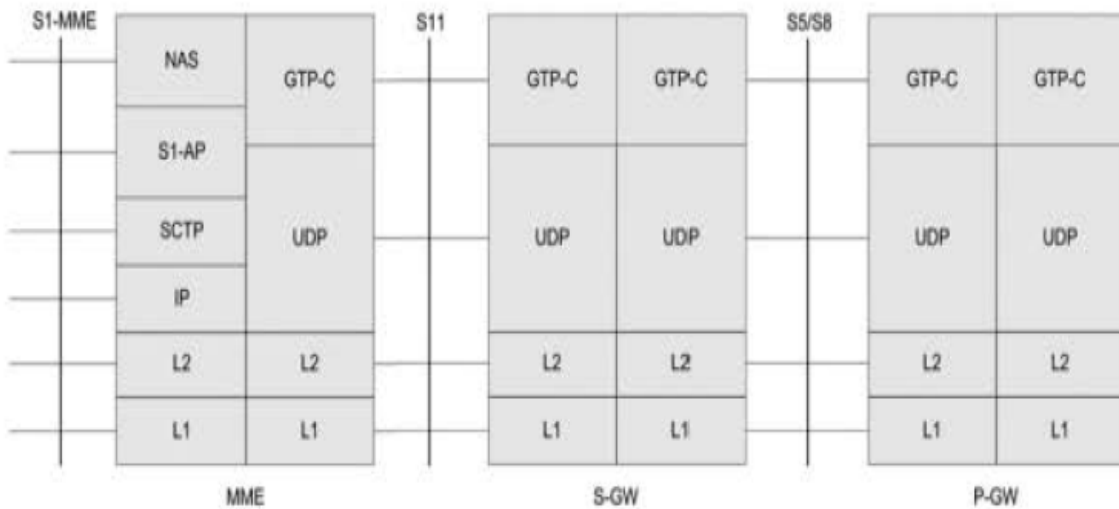


Figure 1. 6 : Pile protocolaire du plan de contrôle définie entre les nœuds de l'EP.

Cette pile protocolaire fait appel au protocole GTP-C (GPRS Tunneling Protocol-Contol plane). Ce protocole est utilisé pour permettre les échanges de signalisation pendant l'établissement de tunnels EPS et pour le transfert d'informations propres à chaque UE lors du changement de MME.

1.5 Caractéristiques fondamentales de la LTE

1.5.1 Débits et fréquences

La technologie LTE fonctionne dans une variété de fréquences selon la zone géographique couverte : 700 MHz aux Etats-Unis pour le réseau de Version Wireless, 2,6 GHz et 800 MHz en Europe, et 2,1 GHz pour le réseau japonais de NTT Docomo (opérateur japonais).

Les objectifs de débit maximal définis pour le LTE sont les suivants :

- 100 Mbit/s en voie descendante pour une largeur de bande allouée de 20 MHz, soit une efficacité spectrale crête de 5 bit/s/Hz.
- 50 Mbit/s en voie montante pour une largeur de bande allouée de 20 MHz, soit une efficacité spectrale crête de 2,5 bit/s/Hz.

1.5.2 Latence

1.5.2.1 Latence du plan de contrôle

L'objectif fixé pour le LTE est d'améliorer la latence du plan de contrôle par rapport à l'UMTS, via un temps de transition inférieur à 100 ms entre un état de veille de l'UE et un état actif autorisant l'établissement du plan usager.

1.5.2.2 Latence du plan usager

La latence du plan usager est définie par le temps de transmission d'un paquet entre la couche IP de l'UE et la couche IP d'un nœud du réseau d'accès ou inversement. En d'autres termes, la latence du plan usager correspond au délai de transmission d'un paquet IP au sein du réseau d'accès. Le LTE vise une latence du plan usager inférieure à 5 ms dans des conditions de faible charge du réseau et pour des paquets IP de petite taille. [3]

1.5.3 Agilité en fréquence

Le LTE doit pouvoir opérer sur des porteuses de différentes largeurs afin de s'adapter à des allocations spectrales variées. Les largeurs de bande initialement requises ont par la suite été défilées pour devenir les suivantes : 1,4 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz et 20 MHz dans les sens montant et descendant. Notons que le débit crête est proportionnel à la largeur de bande. Les modes de duplexage FDD et TDD doivent être pris en charge pour toutes ces largeurs de bande.

1.5.4 Méthode d'accès

L'utilisation du codage OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) est une technologie de codage radio de type « Accès multiple par répartition en fréquence » (AMRF ou en anglais FDMA) pour la liaison descendante et du SC-FDMA (single-carrier FDMA) est une technologie de codage radio de type accès multiple par répartition en fréquence pour la liaison montante au lieu du W-CDMA en UMTS.

OFDMA et sa variante SC-FDMA sont dérivés du codage OFDM (utilisé par exemple sur les liens ADSL et dans les réseaux Wifi), mais contrairement à l'OFDM, l'OFDMA est optimisé pour l'accès multiple, c'est-à-dire le partage simultané de la ressource spectrale (bande de fréquence) entre plusieurs utilisateurs distants les uns des autres. L'OFDMA est compatible avec la technique des antennes MIMO.

1.5.5 Multiplexage

Les spécifications LTE prévoient le fonctionnement en mode dual : multiplexage de fréquences (FDD) et multiplexage temporel (TDD). En mode FDD (Frequency Division Duplexing), l'émission et la réception se font à des fréquences différentes. En mode TDD, l'émission et la réception transitent à une même fréquence, mais à des instants différents.

C'est le premier mode (FDD) qui est actuellement mis en œuvre dans les équipements télécoms et déployé dans la plupart des premiers réseaux 4G LTE autorisés. Le deuxième mode (TDD) fonctionne sur des bandes de fréquences distinctes qui feront l'objet d'attributions ultérieures.

1.5.6 Mobilité

La mobilité est une fonction clé pour les réseaux mobiles. Le LTE vise à rester fonctionnel pour des UE se déplaçant à des vitesses élevées (jusqu'à 350 km/h, et même 500 km/h en fonction de la bande de fréquences), tout en étant optimisé pour des vitesses de l'UE faibles (entre 0 et 15 km/h). L'effet des handovers intra-système (procédure de mobilité entre deux cellules LTE) sur la qualité vocale est moins qu'en GSM, ou équivalent. Le système intègre également des mécanismes optimisant les délais et la perte de paquets lors d'un Handover intra-système.

1.5.7 Modulation adaptative et codage

La 4G utilise principalement la modulation QAM (Quadrature Amplitude Modulation) à 16 états. Cette modulation permet de doubler la capacité de transfert par rapport à la modulation utilisée pour l'UMTS, la QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) qui est basée sur deux porteuses de même fréquence déphasées de 90 degrés, soit 4 états d'information. Pour sa part, la 16-QAM combine deux niveaux d'amplitude avec deux porteuses en quadrature, soit 16 états d'information, chacune de ces modulations est utilisée pour un lien précis tel que :

- Modulations Downlink : QPSK, 16QAM et 64QAM.
- Modulations Uplink : QPSK et 16QAM.

1.6 Architecture en femtocellules

1.6.1 Définition

La femtocellules est une station de base de faible énergie, qui fonctionne dans un spectre sous licence, offrant des services de voix et des services large bande améliorée avec un faible cout. Plus précisément, le concept de femtocellules implique l'utilisation d'une station de base à faible puissance avec l'accès à Internet haut débit tel que XDSL, par câble ou fibre optique (FTTH). [4]

La femtocellule est parfois appelé station de base personnelle (PBS) ou Home NodeB (comme indiqué dans l'organisme de normalisation 3GPP).

1.6.2 Architecture de la femtocellule :

Lorsqu'un utilisateur entre chez lui, le téléphone cellulaire reconnaîtra la présence de la femtocellule, puis s'enregistrera. Cela alertera la macrocellule publique et toute communication ultérieure à cet utilisateur sera via le réseau FAI (ISP) à la maison. Dans ce cas, le téléphone cellulaire peut se comporter comme un téléphone sans fil traditionnel.

L'utilisateur Femto est toujours accessible par le fournisseur de services cellulaires mais a libéré des ressources dans la macrocellule publique qui peut maintenant être utilisé par d'autres utilisateurs.

Ce faisant cela, le fournisseur de services doit autoriser l'accès à son réseau central pour fournir la capacité d'envoyer du trafic utilisateur à la maison. Cet accès est fourni sous la forme d'une passerelle, en particulier une passerelle femtocellule. Cette procédure a un double avantage. D'abord le réseau de l'opérateur peut maintenant alléger une fraction de son trafic de retour au Réseau FAI(ISP), cette capacité libérée sera facilement consommée par de nouveaux utilisateurs entrant dans le réseau. Le deuxième avantage est pour l'utilisateur final, où un lien de débit de données plus élevé peut maintenant être établi sur son téléphone.

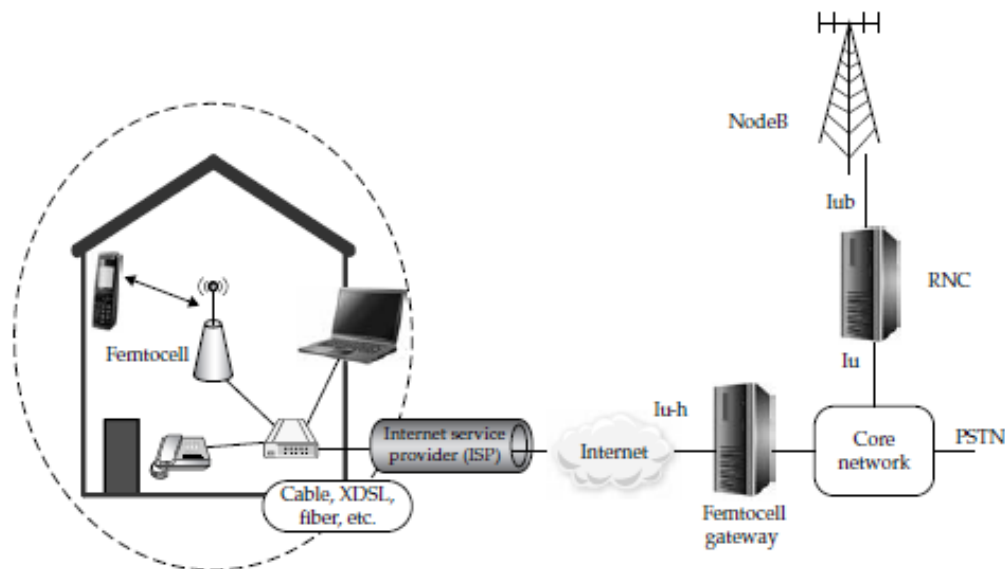


Figure 1. 7 : Architecture générale d'un réseau femtocellules

1.6.3 Intégration de femtocellules dans le LTE

Les femtocellules peuvent également aider au déploiement des services LTE. La perspective est que la distribution des émetteurs-récepteurs radios LTE NodeB devra être significativement plus dense. Devoir se déployer de manière significative plus d'émetteurs-récepteurs radio NodeB répartis dans leurs zones de couverture devient un défi, car il existe un nombre limité de tours de radio à leur disposition. En utilisant des femtocellules, les fournisseurs de services peuvent étendre la couverture à tout endroit où l'accès à large bande est disponible.

Cela augmente considérablement la capacité d'un opérateur à fournir une couverture LTE dans des zones qui n'étaient pas réalisables auparavant.

La figure 1.8 montre un diagramme de haut niveau d'un réseau LTE comprend un réseau femtocellules. Le téléphone portable, également connu sous le nom l'équipement utilisateur (UE), relié avec un eNodeB domestique (HeNB) par l'interface aérienne.

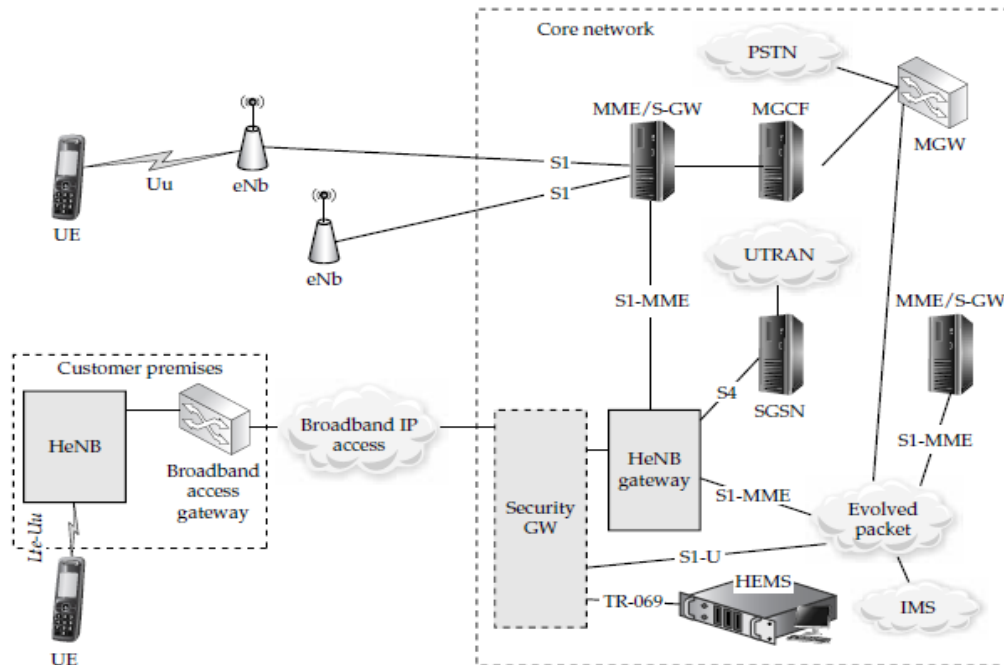


Figure 1. 8 : Réseau LTE avec home NodeB.

- **Le HeNB** : est un eNodeB en miniature offrant une couverture LTE sans fil Dans la maison du client. Le HeNB est connecté au réseau mobile de l'opérateur par un réseau à large bande en interfaçant avec une passerelle d'accès. Le réseau central de l'opérateur mobile obtient l'accès au HeNB connecté à un dispositif d'accès à large bande via une passerelle de sécurité. La passerelle de sécurité est utilisée pour protéger le réseau central contre les attaques.
- **La Passerelle Home eNodeB (HeNB GW)** : est responsable de l'agrégation du trafic provenant d'un grand nombre de HeNB et l'interfaçage avec le réseau mobile EPC (Evolved Packet Core) de l'opérateur.
- **L'interface S1-MME** : transporte des données. Les interfaces HeNB se connecte avec l'EPC en utilisant une interface LTE S1-U via la passerelle de sécurité.

1.6.4 Protocoles de signalisation LTE Femtocellule

La figure 1.9 illustre la pile de protocole de contrôle femtocellule LTE utilisée par l'équipement réseaux.

La pile de l'équipement utilisateur (UE) est la même pile que l'équipement utilise pour s'interfacer avec le NodeB amélioré, puisque l'équipement d'utilisateur voit l'équivalent HNB comme un NodeB amélioré.

À la couche physique c'est l'interface de radiofréquence (RF), également appelée l'interface air. Au-dessus de la couche MAC, les protocoles de contrôle de couche supérieure de l'UE utilisent la couche RLC (Radio Link Control) pour accéder à divers canaux radio sur lesquels sur l'UE communique avec réseau mobile. Le RLC fournit les mécanismes de détection et de correction d'erreurs. Le protocole PDCP (Packet Data Convergence Protocol) effectue la compression d'en-tête ; augmente la fiabilité de la livraison des paquets ; et assure le chiffrement, le transfert des données du plan de contrôle et la protection de l'intégrité.

Le contrôle des ressources radio (RRC), comme son nom l'indique, est responsable de la gestion des ressources radio allouées à l'équipement utilisateur.

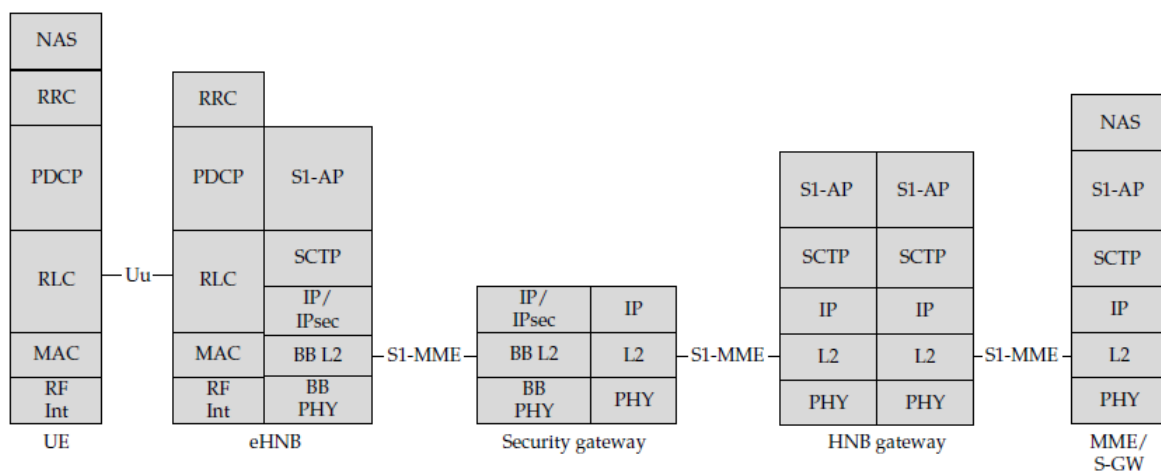


Figure 1.9 : Protocoles de contrôle de la femtocellule LTE

1.6.5 Sécurité des femtocellules

Les réseaux femtocellules utilisent l'accès haut débit fixe et sans fil pour offrir leurs avantages. Cette configuration n'est sans risque et les problèmes de sécurité doivent être étudiés.

1.6.5.1 Problèmes de sécurité

Il y a plusieurs aspects généraux de la sécurité dont tous les réseaux ont besoin d'être préoccupés. Certains des principaux aspects sont :

i. La confidentialité de la voix et des données :

Pour les appels vocaux, la conversation entre les parties ne devrait pas être interceptée et entendu par des intrus.

Pour les sessions de données telle qu'un internaute surfant sur le Web, les informations échangées ne devraient être lisibles que par l'utilisateur et non obtenu par une tierce partie pour intention malveillante.

ii. L'intégrité du contenu :

Toute information envoyée depuis l'appareil d'un utilisateur son contenu ne devrait pas être modifié par un autre périphérique qui n'est pas prévu.

iii. Le vol de service :

Aucune partie ne devrait pouvoir voler l'identifiant de l'utilisateur du réseau. Une fois que l'identité d'un utilisateur a été volée, le pirate peut utiliser les services offerts par le réseau pour le compte de l'utilisateur gratuitement. L'acte d'émuler un autre utilisateur est appelé « spoofing », ce qui pourrait entraîner un vol de service très coûteux.

iv. Disponibilité du service :

La disponibilité du service est une référence en fonction du pourcentage de temps que le réseau est entièrement capable d'offrir un service. Le déni de service se produit lorsqu'une attaque de protocole est appelée sur un élément de réseau clé qui provoque une interruption de service aux utilisateurs. L'attaque est généralement sous la forme de surcharge du réseau avec de grandes quantités du trafic de protocole au point que le périphérique de réseau ne peut pas fonctionner plus longtemps correctement.

1.6.5.2 Problèmes de sécurité dans le réseau femtocellule

Pour qu'une violation de sécurité réseau se produise, l'intrus doit accéder au réseau. La figure 1.10 montre certaines vulnérables zones où un intrus peut tenter directement ou indirectement d'enfreindre la sécurité d'un client femtocellule. Sur la figure 1.10 sont représentés les symboles T, D, S et I qui indiquent le type d'attaque susceptible d'être tenté.

T est pour le vol de service, D est pour le déni de service, S est pour les tentatives d'espionnage, et I est pour intercepter et modifier le contenu d'un utilisateur.

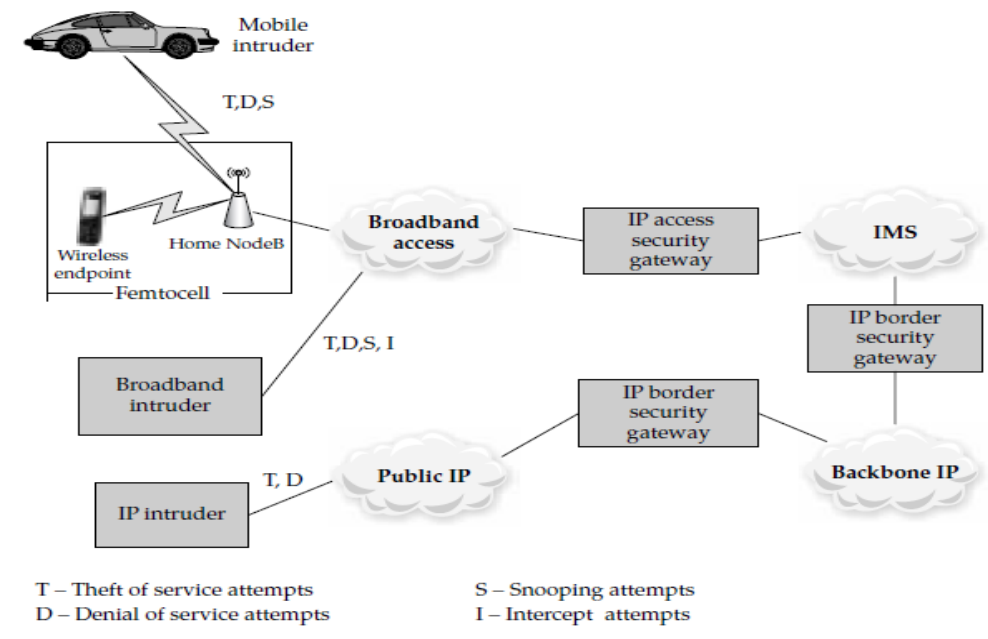


Figure 1.10 : Tentatives d’attaques de réseau femtocellule.

1.6.5.3 Sécurité du périphérique domestique

Puisque les dispositifs femtocellules sont physiquement accessibles, ils doivent être aussi inviolables que possible. Des pirates intelligents tenteront d’inverser l’ingénierie des dispositifs femtocellulaires à la maison pour contrôler le réseau pour diverses raisons, y compris le vol de service et violation de la confidentialité. Les pirates potentiels peuvent tenter de charger un logiciel illégal pour modifier le comportement de l’appareil. Autres approches d’attaque sont d’obtenir ou de modifier les données d’authentification, permettant au pirate informatique d’obtenir des informations sur un client privé qui est stocké sur le périphérique domestique. Les dispositifs de femtocellule à la maison ont besoin être soigneusement conçu pour minimiser les risques d’intrusion des hackers.

1.6.6 Qualité de service dans le réseau femtocellulaire

La maintenance du QoS est toujours une question difficile dans le Réseau femtocellulaire en raison du grand nombre de FAPs voisins et la possibilité d’interférence entre les femtocellules et les macrocellules et entre les femtocellules elles même. [4]

Il y a un certain nombre de défis techniques à soutenir pour avoir une QoS satisfaisante aux utilisateurs dans un réseau femtocellulaire, dont les solutions sont en cours étudié. La QoS des réseaux femtocellulaires est influencée par des procédures telles que l’allocation des ressources, l’architecture réseau, la fréquence, la gestion des interférences, le contrôle de puissance, le contrôle du « Handover ».

Parmi les nombreux problèmes de qualité de service, nous discutons brièvement trois :

- la gestion des fréquences et des interférences,
- la fourniture de QoS dans le backhaul basé sur xDSL, et
- le contrôle du Handover.

1.6.6.1 Gestion des fréquences et des interférences

Pour améliorer la QoS et augmenter la capacité en intégrant le réseau macrocellule/femtocellule la location dynamique de fréquences et la gestion des interférences sont très nécessaires. Aux bords de la femtocellule, les utilisateurs subissent nettement plus d'interférences que les utilisateurs situés plus près du FAP.

Une planification intelligente et automatisée des fréquences radio est nécessaire pour minimiser les interférences lors de l'installation aléatoire et inconnue de femtocellules. Dans 3GPP [3], un certain nombre de configurations de déploiement différentes ont été envisagées pour les FAPs. L'allocation d'un canal est possible pour les utilisateurs de femtocellule fonctionnant dans une bande de fréquence inutilisée des macrocellules. Puisque dans cette approche, il n'y a pas d'interférence entre les utilisateurs de femtocellules et les utilisateurs de macrocellules, c'est une solution optimale qui évite complètement le problème d'interférence. Mais cette solution réduit également l'efficacité spectrale, elle est donc assez coûteuse et donc indésirable.

La réutilisation des fréquences devrait être gérée avec soin, car une répartition incorrecte des fréquences parmi les femtocellules pourrait causer l'interférence dans le même canal. Pour le modèle avec un petit nombre de FAPs, la solution consistant à partager une bande de fréquences par des femtocellules avec le réseau macrocellulaire semble appropriée parce que le nombre de FAPs est trop petit pour créer une interférence macrocellule-femtocellule ou une interférence inter-cellulaire. Cependant, pour le modèle avec un grand nombre de FAPs, partager la bande de fréquence peut ne pas être une solution appropriée, en raison de l'interférence importante de la femtocellule à la macrocellule. La figure 1.11 montre un exemple d'un schéma d'attribution de fréquence avec un facteur de réutilisation de 3, où la bande de fréquences est divisée en trois sous-bandes (A, B, et C), et chaque sous-bande attribuée à une macrocellule de trois macrocellules. Les femtocellules dans une macrocellule utilisent deux sous-bandes.

Par exemple, supposons que la macrocellule 1 utilise un sous-groupe A, alors les macrocellules FAP dans cette macrocellule devraient utiliser les sous-bandes B ou C pour éviter les interférences femtocellules-macrocellulaire. Environ la moitié des FAP dans une macrocellule utilisent chacune des autres sous-bandes, minimisent les interférences femtocellulaires. Des techniques d'atténuation des interférences, telles que le contrôle de puissance ou les antennes directionnelles, implémentées via une architecture basée sur le SON pourraient être utilisées pour réduire davantage les interférences femtocellulaires. Le schéma d'attribution des fréquences proposé est capable de réduire la probabilité de coupure par rapport au schéma qui utilise la même bande-fréquence (c'est-à-dire la même bande de fréquence pour toutes les femtocellules et la macrocellule) et avec le diagramme avec assignation de fréquence (c'est-à-dire qu'une bande de fréquence est partagée par toutes les femtocellules et qu'une bande de fréquence différente est attribuée à la macrocellule superposée).

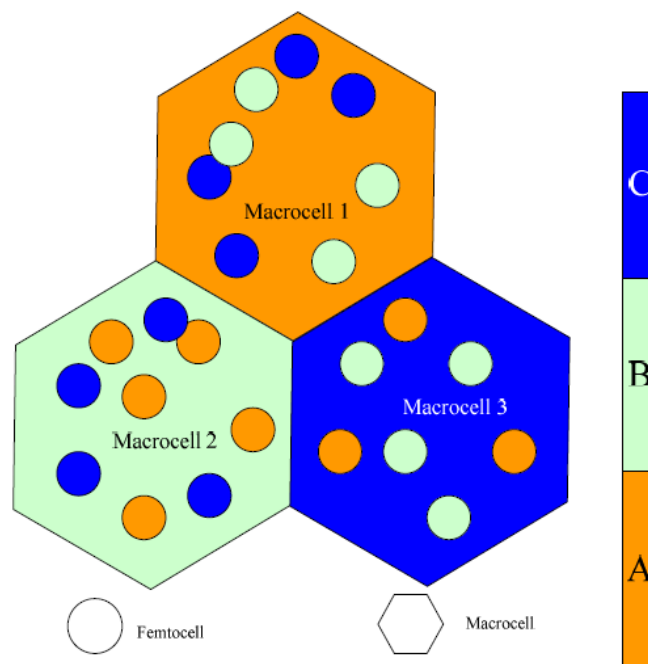


Figure 1. 11 : Une répartition possible des fréquences entre femtocellules et macrocellules pour réduire les interférences.

1.6.6.2 QoS dans le « backhaul » basé sur xDSL :

Dans un environnement domestique typique, plusieurs équipements partagent la même connexion xDSL en utilisant une passerelle domestique (HGW), un dispositif de réseau domestique utilisé pour connecter plusieurs équipements à Internet.

Lorsque les femtocellules sont déployées à l'aide d'une technologie large bande fixe non dédiée telle que xDSL, la préservation et la maintenance de la qualité de service nécessitent une attention particulière. Une bonne qualité de voix nécessite une faible latence et une faible probabilité de chute de paquets, mais aucune de celles-ci n'est garantie par les réseaux ISP actuels. La qualité de la connexion backhaul dépend généralement de la capacité xDSL, de la charge globale du réseau backhaul, du contrôle d'encombrement et de la gestion de la bande passante. Le réseau DSL ne contrôle pas la QoS appel par appel. La passerelle HGW ou la passerelle de routage doit classer le trafic de données par « DiffServ » ou comme le trafic au mieux et doit discriminer le trafic par son type lorsque le trafic quitte pour le réseau xDSL. La règle de contrôle de service discriminé basée sur la classe doit être configurée dans le HGW au moment de la configuration.

1.6.6.3 Contrôle de transfert (Handover)

La capacité à transférer de façon transparente entre les réseaux femtocellulaire et macrocellulaire est un élément clé de l'architecture intégrée. Un Handover avant la rupture peut être nécessaire pour les environnements femtocellulaires, car les transferts seront fréquents en raison de la petite taille des femtocellules. Comme les zones de couverture de la femtocellule peuvent ne pas être contiguës, il existe quatre scénarios possibles pour les Handovers dans les réseaux intégrés femtocellules/macrocellules: macrocellule à macrocellule, macrocellule à femtocellule, femtocellule à macrocellule et femtocellule à femtocellule.

Dans le chapitre suivant nous détaillons beaucoup plus le Handover.

1.6.7 Avantages de la technologie femtocellule :

Les femtocellules peuvent apporter beaucoup d'avantages pour les opérateurs et les abonnés.

1.6.7.1 Perspective de l'opérateur

Les femtocellules peuvent aider les opérateurs à rentabiliser la capacité du réseau et à atteindre un plan d'évolution plus rentable avec une réduction des risques et des charges financières. Cela est dû Aux faits, tout d'abord, les femtocellules sont des solutions à faible coût pour la couverture intérieure par rapport à d'autres approches ; deuxièmement, les utilisateurs partageront au moins une partie substantielle de l'installation, Le coût des FAP et le fonctionnement des FAPs seront largement financés par les utilisateurs (opérateurs

effectuera également la télémaintenance, etc.). En particulier, les opérateurs peuvent encourager l'accès aux femtocellules et réduit davantage la demande de macrocellules d'extérieur.

Les femtocellules aideront les opérateurs mobiles à gérer l'utilisation des données et à fournir des services plus riches (par exemple, à travers des plans de zones d'accueil et des services groupés), ce qui stimulera l'ARPU (Revenu moyen par unité). La voix seule ne suffit plus aux revenus de futures générations.

Les femtocellules aideront les opérateurs à offrir une expérience utilisateur transparente à l'extérieur et à l'intérieur, au travail, en déplacement ou à la maison, et fournir une base pour les services convergents de nouvelle génération qui combinent des services voix, vidéo et données à un dispositif mobile.

Même dans les zones pouvant être desservies par des macrocellules, les femtocellules peuvent apporter beaucoup d'avantages aux opérateurs car ils supprimeront la nécessité de fournir des services d'intérieur à partir de macrocellules et diminuer les frais généraux encourus en fournissant des signaux à l'intérieur. Les demandes réduites sur les macrocellules peuvent permettre aux opérateurs de partager le réseau LTE extérieur macrocellules.

1.6.7.2 Perspective de l'abonné :

Les femtocellules peuvent permettre aux abonnés à utiliser leurs mobiles à la maison. Avec les femtocellules en plus du service vocal, des services multimédia, vidéo et de données à haute vitesse seront également disponibles. La performance du réseau peut être grandement améliorée à l'intérieur, et de même l'expérience de l'utilisateur à la fois services de voix et de données.

Les utilisateurs peuvent bénéficier à la maison des plans de zone et des services groupés qui seront plus rentables que l'utilisation des services de plus d'un fournisseur. Les femtocellules peuvent agir comme point focal pour connecter tous les périphériques domestiques à un serveur domestique et agissent comme la passerelle pour tous les appareils domestiques à Internet.

La femtocellule fournira des services convergents (voix, vidéo et données) à la maison et permettra aux utilisateurs une expérience utilisateur transparente à la fois dans les environnements extérieurs et intérieurs avec des services convergents personnalisés pour les UE. Les femtocellules permettront d'économiser de l'énergie UE.

Comme la distance entre l'UE et le FAP est beaucoup plus courte que celle entre l'UE et le site macrocellulaire, la puissance de transmission sur la liaison montante peut être très réduite, ce qui entraînera en économie d'énergie sur l'UE. La batterie est l'un des plus gros goulots d'étranglement pour accélérer les services de données vers les appareils mobiles. Comme la puissance d'émission de l'UE peut être grandement réduite, les problèmes de santé sur l'utilisation des appareils mobiles peuvent être réduits.

1.7 Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre descriptif, la technologie 4G LTE (Long Term Evolution), sa définition, son architecture et ses caractéristiques, et nous avons aussi présenté la technologie femtocellulaire et ses avantages qui s'améliorent en utilisant le réseau 4G.

Dans le chapitre suivant nous allons présenter avec plus de détails le mécanisme du Handovers dans les réseaux LTE et plus particulièrement dans une architecture femtocellules.

Chapitre 2 : Gestion de la mobilité et Handover dans les réseaux femto-cellules

Sommaire

2.1 Introduction	27
2.2 Handover	27
2.3 Handover dans le réseau femtocellules	40
2.4 Conclusion	49

2.1 Introduction

L'une des exigences de la technologie 4G est une qualité de service irréprochable. Cela ne peut être assuré sans une gestion efficace de la mobilité des utilisateurs entre les cellules du réseau.

Cela se passe de façon qu'un utilisateur en communication ne perde pas sa connexion en cours, tout en réduisant la latence causée par le changement de cellule de manière à respecter les délais exigés par le trafic temps-réel.

Pour assurer cette continuité de service, le réseau mobile met en œuvre un mécanisme, dit Handover, qui bascule l'UE vers la meilleure cellule qui peut l'accueillir. Ce mécanisme repose généralement sur des mesures radio effectuées par l'UE sur la cellule serveuse et des cellules voisines. Le réseau choisit alors, essentiellement en fonction de ces mesures, la cellule-cible et la façon de faire basculer l'UE vers cette cellule.

Le présent chapitre est consacré à l'étude des différents mécanismes du Handover. Nous aborderons le chapitre par la définition du Handover et de processus de gestion de la mobilité entre macrocellules. Nous mettrons par la suite l'accent sur le Handover dans des femtocellules.

2.2 Handover

Le Handover ou le transfert intercellulaire est un mécanisme fondamental dans les communications mobiles cellulaires (GSM, CDMA, UMTS ou LTE).

Le Handover désigne l'ensemble des opérations mises en œuvre pour permettre qu'un téléphone mobile ou un Smartphone (dénommés station mobile - MS en GSM, ou user Equipment dans les réseaux 3G et 4G) change de cellule radio sans interruption de la conversation ou du transfert des données. [11]

Ce mécanisme peut être complété par un service d'itinérance, qui se manifeste dans le cas où la station mobile quitte une cellule gérée par un opérateur pour une autre appartenant à un autre opérateur, qu'il y ait, ou pas, une conversation en cours.

2.2.1 Différents types du Handover

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

2.2.1.1 Mobile Controlled Handover Decision (MCHO)

Le nœud mobile prend la décision du Handover en se basant sur des informations locales tels que : la puissance du signal (Radio Signal Strength, RSS), l'interférence sur le canal radio (Signal to Noise Interférence Ratio, SINR), le taux d'erreur (Blocking Error Rate, BLER), les préférences de l'utilisateur, la vitesse du mobile, etc.

Le contrôle du Handover par le mobile peut être assisté par le réseau dans le sens où le réseau peut fournir la valeur de certains paramètres de qualité de service comme la bande passante et le taux de perte des paquets. Ces paramètres peuvent aussi être pris en compte par le nœud mobile pour décider du réseau de destination.

2.2.1.2 Network Controlled Handover Decision (NCHO)

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

2.2.2 Techniques du Handover

On peut caractériser un Handover à partir des critères suivants :

- La technologie d'accès radio (RAT) et/ou la fréquence respective des cellules source et cible,
- L'interruption ou non du lien radio lors de la bascule.

Ainsi, suivant le premier critère, un Handover entre deux cellules du même système sera dit intra-fréquences si les cellules sont portées par la même fréquence radio et inter-fréquence dans le cas contraire.

On parle de Handover inter-RAT ou inter-système lorsque les deux cellules appartiennent à deux systèmes différents. Les fréquences sont alors nécessairement différentes.

Selon le deuxième critère on distingue deux types de Handover :

1. **Le « hard Handover » :**

Le hard Handover se produit lorsque le canal radio de la cellule source est libéré et le canal dans la cellule cible est engagé. Ainsi, la connexion à la cellule source est rompue avant (ou au même moment) l'établissement de la liaison avec la cellule cible. Cette méthode est appelée « break-before-make » qui signifie « rompre avant de faire ». Dans ce cas, il est important de minimiser la durée d'interruption de la communication. Ce type de Handover est utilisé dans les réseaux mobiles GSM et dans les réseaux 4GLTE avec une durée d'interruption de quelques dizaines de ms.

2. **Le «soft Handover » :**

Le soft Handover a lieu lorsque le canal de la cellule source est maintenu un certain laps de temps pendant que la liaison avec la cellule cible est engagée. Dans ce cas, la connexion avec la cellule cible est établie avant la rupture du lien avec la cellule source. Cette méthode est appelée « make-before-break » qui signifie « faire avant de rompre ». Ce type de Handover est utilisé dans les réseaux 3G UMTS. La figure 2.1, illustre les deux types de Handover :

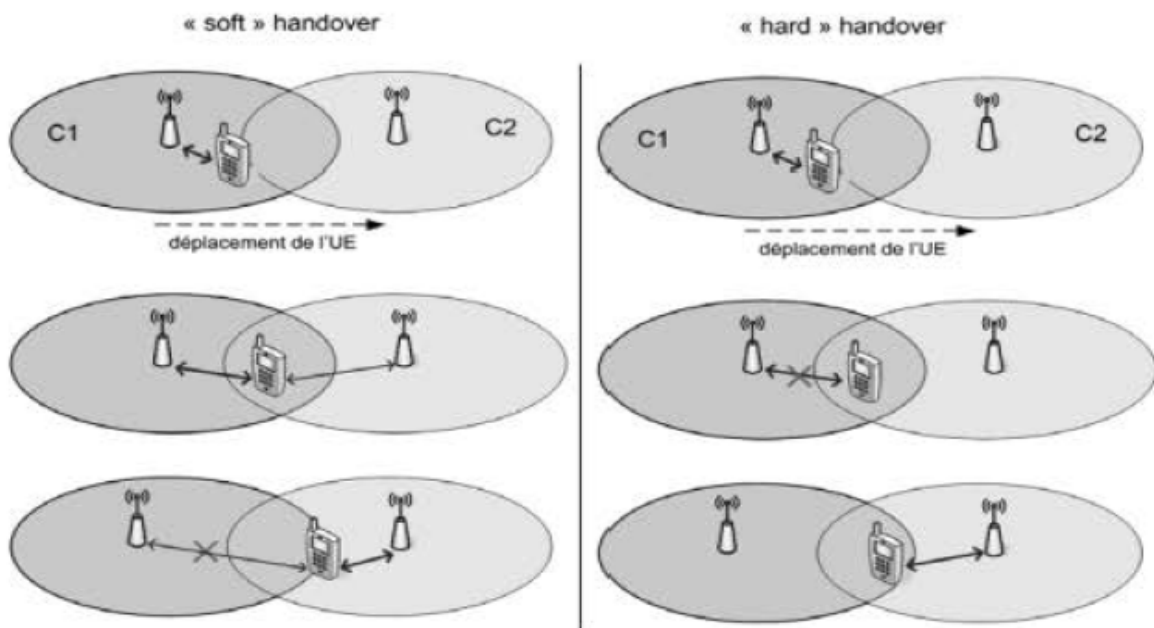


Figure 2. 1 : les types de Handover.

2.2.3 Niveau du Handover

Un élément clé de la gestion du processus de Handover est de maintenir la connexion entre le mobile et le réseau de façon à minimiser le délai de latence du Handover.

Ce phénomène de Handover peut arriver à différents niveaux du modèle OSI (Open Systems Interconnections model). Selon que le Handover est exécuté au niveau d'une couche particulière, un standard différent peut intervenir. Le tableau 2.1 montre différents protocoles, à différents niveaux du modèle en couches, qui permettent de gérer la mobilité des terminaux.

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

Tableau 2.1 : Niveau du Handover.

2.2.4 Processus du Handover

Quel que soit les raisons qui poussent un nœud mobile à quitter son réseau courant pour aller sur un nouveau réseau (Handover), ce processus doit être imperceptible pour l'utilisateur (figure 2.2). Le temps de latence du Handover (temps entre déconnexion et reconnexion) ne devrait pas dépasser un certain seuil limite, sinon, on aboutit à une détérioration de la qualité

du service surtout pour les applications temps réel. Pour atteindre cet objectif, le processus de Handover se fait à travers 3 phases (figure 2.3).

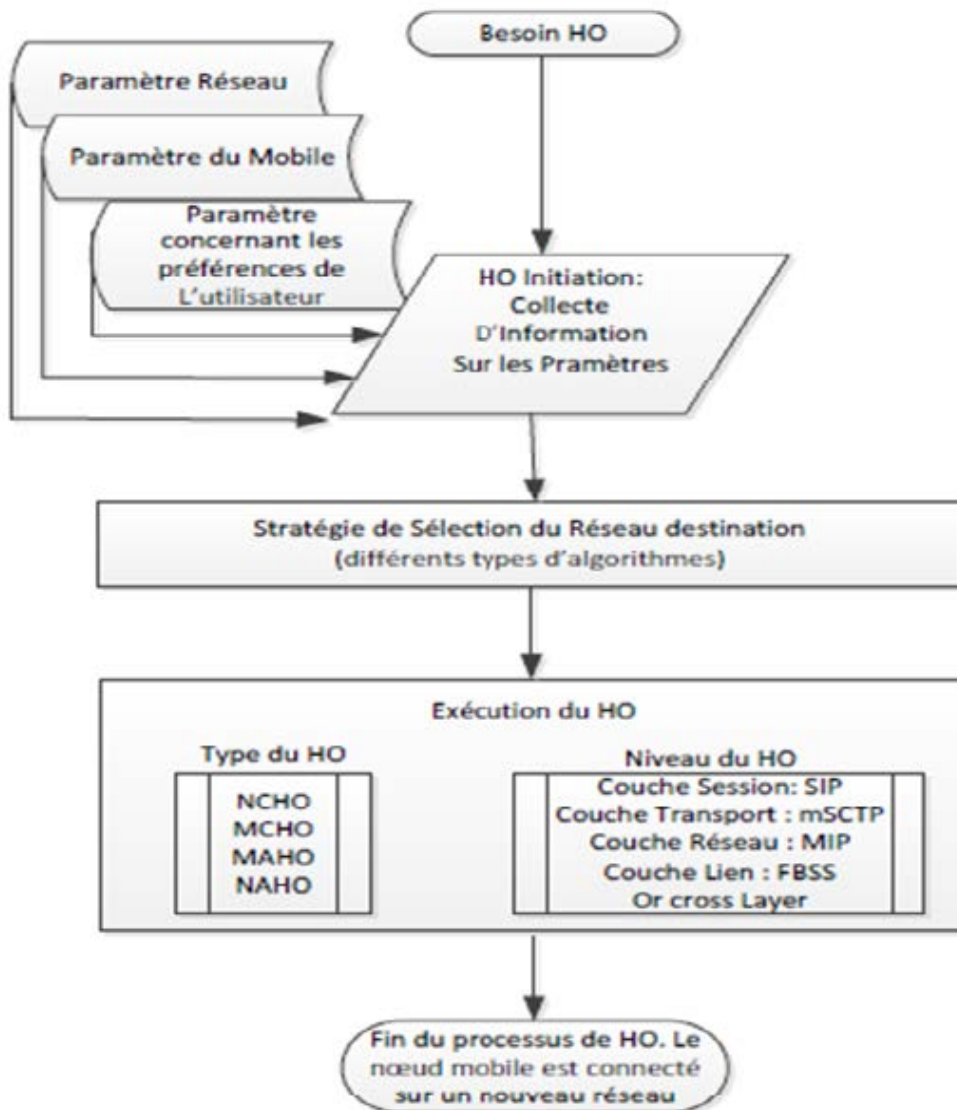


Figure 2. 2 : Processus du Handover

2.2.4.1 Phase I: Initiation du Handover et collecte d'informations

Un processus de Handover doit commencer quand un nœud mobile a le besoin de quitter son point d'attachement au réseau courant pour aller se connecter sur un autre réseau où la qualité de service sera meilleure. Généralement, la raison peut être une faible puissance du signal ou bien une valeur d'un ou de plusieurs paramètres de qualité de service qui tombent en dessous d'un certain seuil. Durant cette phase, le nœud mobile scanne, d'une façon continue, les réseaux dans son entourage en collectant les informations nécessaires de chacun. Ces informations sont indispensables pour la phase de sélection du réseau.

Parmi ces informations, nous trouvons celles qui sont reliées au réseau comme le rayon de couverture du réseau, le taux de perte des paquets, la bande passante, Taux d'erreur (BER), rapport signal sur bruit plus interférence (SINR), etc. D'autres informations sont reliées plutôt au mobile, comme la puissance du signal, la durée de vie de la batterie, la vitesse du mobile.

2.2.4.2 Phase2 : Sélection du réseau destination

Durant cette phase, les informations qui ont été collectées de la phase précédente vont être compilées pour arriver à prendre une décision et choisir un réseau parmi plusieurs disponibles dans l'environnement du nœud mobile. Le mécanisme de sélection d'un nouveau réseau est laissé au libre choix de l'utilisateur.

Dans la littérature, plusieurs sortes de solution sont été proposées : certaines proposent une approche basée sur les algorithmes et d'autres s'appuient sur les principes de la logique floue.

2.2.4.3 Phase 3 : Exécution du Handover

Dans la phase précédente, nous avons choisi le réseau auquel le nœud mobile doit se connecter. Durant cette phase, l'exécution de la coupure des liens avec l'ancien réseau et la connexion avec le nouveau réseau est réalisée. Cette exécution peut se faire selon l'un des 4 cas suivant :

1. Décision contrôlée par le réseau (Network Controlled Handover Decision, NCHO) habituellement utilisé par les opérateurs pour répartir les charges réseaux ;
2. Décision contrôlée par le mobile (Mobile Controlled Handover Decision, MCHO) ;
3. Handover initié par le réseau et assisté par le mobile (network initiated but Mobile Assisted Handover, MAHO) ;
4. Handover initié par le mobile et assisté par le réseau (mobile initiated but Network Assisted Handover NAHO).

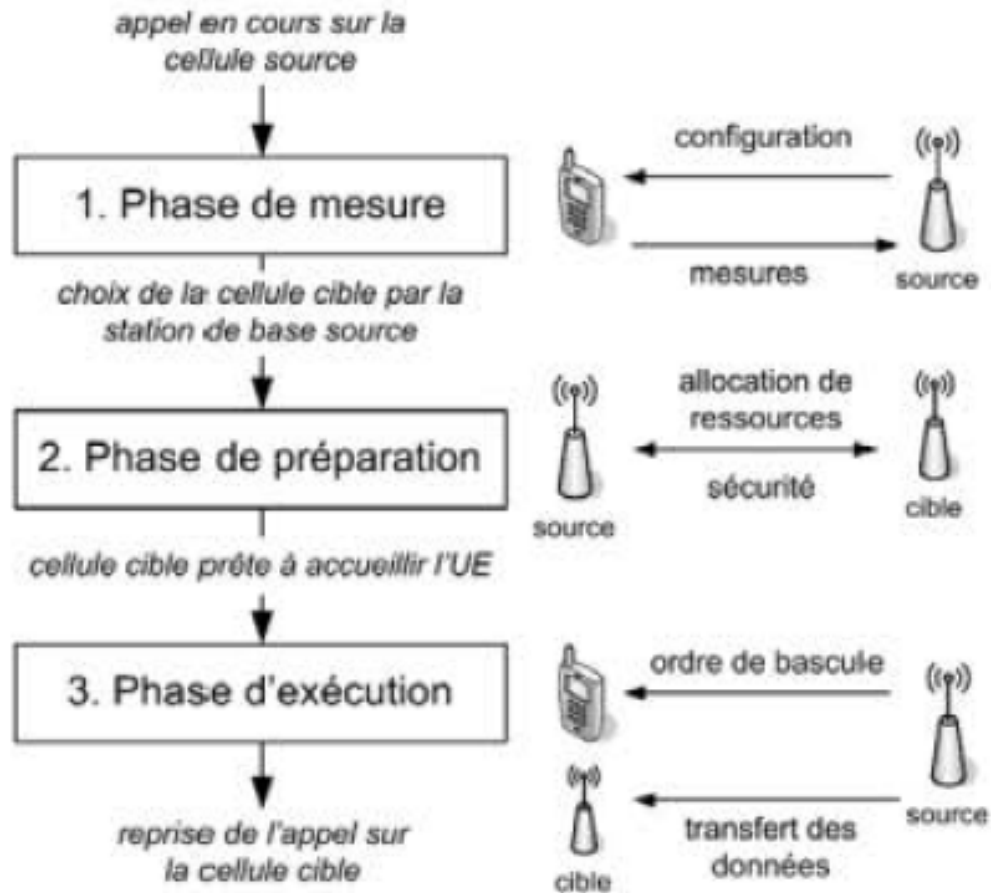


Figure 2. 3 : Les trois phases du Handover.

2.2.5 Mesures du Handover

2.2.5.1 Signal de référence de la puissance reçue (RSRP)

Le RSRP est la mesure la plus basique réalisée par la couche physique du l'UE, permettant d'obtenir une valeur moyenne de la puissance reçue du signal de référence (RS) émise par la station de base par RE (Resource Element). La mesure s'exprime en Watt ou en dBm. La valeur est comprise entre -140 dBm à -44 dBm par pas de 1dBm.

Puisque le signal de référence RS n'est émis qu'à un instant donné sur une seule bande de fréquence, la mesure n'est réalisée que dans cette bande de fréquence (correspondant à un RE : Ressource Element). Sur la figure 2.4 ci-dessous, on présente la position des signaux de référence dans un RB (transmis sur les symboles 1 et 5). [6]

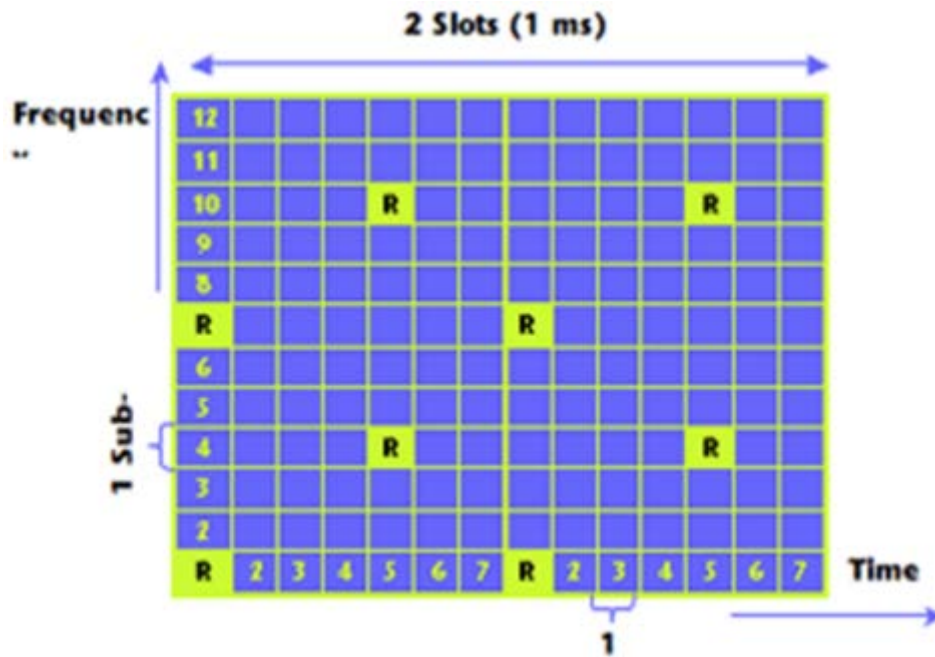


Figure 2. 4 : Position des signaux de référence dans un RB (Ressource de Base).

De par la sélectivité en fréquence du canal de propagation, la valeur du RSRP n'est pas identique d'un RE à l'autre, cependant afin d'optimiser la bande de fréquence pour les communications, il n'est pas prévu de réaliser des mesures de RS sur toutes les ressources symboles mêmes si des mesures précises doivent être réalisées pour estimer au mieux la qualité du lien radio. On note ici la différence principale entre le RSRP et le RSSI (Reference Signal Strength Indicator) lequel est une mesure de puissance sur toute la bande de fréquence, et pas seulement sur un RE comme c'est le cas pour le RSRP.

A partir des mesures effectuées par l'UE, il est possible de récupérer le RSRP de la cellule principale et des cellules voisines, mesures effectuées sur la même fréquence ou deux fréquences différentes (même RE sur une ou plusieurs antennes dans la cadre du MIMO).

On distingue deux types d'exigences sur la précision de la mesure, la précision absolue du RSRP et la précision relative RSRP :

- La précision absolue du RSRP consiste à comparer le RSRP mesurée dans une cellule par rapport au RSRP mesuré par la cellule principale (serving cell).
- La précision relative du RSRP consiste à comparer le RSRP mesurée dans une cellule par rapport au RSRP mesuré dans une autre cellule autrement dit entre deux cellules qui ne sont pas définie comme la cellule de référence (serving cell). Il est ensuite possible de différencier la précision relative et absolue intra-fréquentielle et inter-fréquentielle. Intra-fréquentielle signifie que les mesures

sont réalisées sur la même fréquence, et inter-fréquentielle pour traduire l'idée que la mesure entre les deux RSRP est effectuée sur deux bandes de fréquences différentes.

La connaissance du RSRP absolu permet à l'UE de connaître la fiabilité de la cellule à partir de laquelle on estime l'atténuation apporté par le canal, ce qui conditionne la puissance optimale de fonctionnement du mobile pour interagir avec la station de base.

Le RSRP est utilisé à la fois en mode de veille qu'en cours de communication. Le RSRP relatif est utilisé comme un paramètre de choix dans le cas de scénarios multi-cellules.

Le RSRP est donc utilisé soit à des fins de Handovers dans le cas d'une communication, soit à la définition de la cellule de référence. Cependant, dans le cas du Handover, il est préférable de s'appuyer sur le RSRQ qui est un indicateur de qualité de la communication.

Le RSRP est un indicateur de l'atténuation subit dans le canal, bien que différent de la puissance totale reçue (puissance du signal transmis et du bruit), cet indicateur peut être comparé à l'indicateur CPICH RSCP (Received Signal Code Power) effectuée dans le cadre du WCDMA (3G) pour sélectionnerle choix de transmission (3G ou 4G). Le RSCP est la mesure de puissance d'un canal pilote WCDMA (CPICH : Common Pilot Indicator Channel) sur une bande de 5 MHz. Cela prend en compte le signal reçu dans sa globalité, c'est-à-dire avec le bruit et les interférences. La comparaison entre le RSRP et le RSCP permet de choisir la technologie en cas de changement de RAT ainsi que pour le Handover.

2.2.5.2 Signal de référence de la qualité reçu (RSRQ)

Bien que le RSRP soit une mesure importante, il ne donne aucune information sur la qualité de la transmission. Le LTE s'appuie alors sur l'indicateur RSRQ, défini comme le rapport entre le RSRP et le RSSI (Received Signal Strength Indicator). Le RSSI représente la puissance totale du signal reçu, cela englobe le signal transmis, le bruit et les interférences.

$$RSRQ = 10 \cdot \log \left(\frac{N \cdot RSRP}{RSSI} \right) \quad (2.1)$$

N Étant le nombre de ressource block.

Mesurer le RSRQ est intéressant particulièrement aux limites des cellules, positions pour lesquelles des décisions doivent être prises pour accomplir des Handovers et changer de cellule de références. Le RSRQ mesuré varie entre -19,5dB et -3dB par pas de 0.5dB.

Le RSRQ n'est utile uniquement lors des communications, c'est-à-dire lors de l'état connecté. La précision absolue (Intra- et inter-fréquentiel) varie de 2,5 à 4dB.

L'indicateur RSRQ fournit des informations supplémentaires quand le RSRP n'est pas suffisant pour faire le choix d'un Handover ou d'une pré-sélection de cellules.

Outre RSRP / RSRQ, la technologie de Handover a d'autres critères de décision [8], tels que :

- **Rapport signal sur bruit (SNR)**

Le SNR est une mesure qui compare le niveau d'un signal souhaité au niveau de bruit fond (signal indésirable). Il est défini comme le rapport de puissance du signal et la puissance de bruit. Un rapport supérieur à 1 indique que le signal est bruité.

$$SNR = \frac{P_{signal}}{P_{bruit}} \quad (2. 2)$$

Où P est la puissance moyenne.

Les deux puissances de signal et de bruit doivent être mesurée à des points identiques ou équivalentes dans un système et dans la même bande passante.

- **Rapport porteuse sur interférence (CIR)**

La CIR exprimée en décibels (dB) est une mesure de l'efficacité de signalisation et il est défini comme un rapport de la puissance de la porteuse et la puissance de signal d'interférence.

- **Rapport signal sur bruit plus interférence(SINR)**

Cette mesure est utilisée pour optimiser le niveau de puissance d'émission pour une qualité de service cible en participant aux décisions de Handover. SINR précis fournit une estimation de système plus efficace et une meilleure qualité de service perçue par l'utilisateur. SINR est défini comme étant le rapport entre la puissance du signal au bruit combiné et puissance d'interférence :

$$SNIR = \frac{P_{signal}}{P_{bruit} + P_{interférences}} \quad (2. 3)$$

Où P est la puissance moyenne, les valeurs sont généralement indiquées en dB.

- **RSSI (Received Signal Strength Indicator)**

Puissance du signal sur la bande de 5 MHz, il s'agit donc de la puissance mesurée en provenance de toutes les stations de base.

2.2.5.3 Mesure de la qualité du signal radio et la puissance reçue réalisée au niveau de la couche physique :

Le mobile (User Equipment ou UE) et la station de base (eNB) effectuent périodiquement des mesures radios pour connaître la qualité du lien radio (canal de propagation).

Toutes les caractéristiques sont indiquées dans le document 3GPP TS 36.214, et nous tentons ici d'extraire des informations sur l'utilité des mesures et les conditions de mesures.

La station de base émet des signaux de références (RS-Référence Signal) permettant d'estimer la qualité du lien du canal radio. Un signal de référence (RS) est un signal émis par l'émetteur et connu par le récepteur, ce signal ne transmet aucune information. Cependant, le récepteur compare la séquence reçue à la séquence émise (donc en clair la séquence que le récepteur aurait dû recevoir dans l'idéal) et à partir de la différence entre les deux, le récepteur estime la déformation apportée par le canal de transmission (multi-trajets, effets de masque, atténuation, interférences, ...).

Cette séquence connue est émise sur toute la cellule, il s'agit d'un signal broad cast spécifique par cellule. Par conséquent il doit être émis avec une puissance suffisante pour couvrir la cellule et avoir des propriétés particulières (puissance constante par exemple, autocorrélation nulle, faible inter-corrélation) pour différencier le signal reçu d'une cellule à une autre.

L'UE quant à lui envoie un signal de référence de sonde, nommé SRS permettant à l'eNB de déterminer la qualité du canal montant et de maintenir la synchronisation.

Les mesures effectuées (signaux de références aussi appelés pilotes CRS-Cell Reference signal indiquant que le signal de référence est spécifique à la cellule) sont relayées aux couches supérieures afin de planifier des Handovers (Intra-inter cellules et inter RAT c'est-à-dire d'autres technologies comme la 3G, le Wi-Fi, ...).

L'UE se sert des mesures des signaux de références afin d'estimer (indicateur) le niveau du signal reçu (RSRP) permettant ainsi, en mode de veille, de sélectionner la meilleure

cellule. La mesure impacte donc la gestion de la mobilité de l'UE (RRM : Radio Ressource Management).

2.2.6 Paramètres du Handover

Dans le LTE le déclenchement du Handover est généralement basé sur la mesure de la qualité de la liaison et d'autres paramètres afin d'améliorer le rendement. [7] Les plus importants sont :

2.2.6.1 Niveau de seuil de l'initiation du Handover RSRP et RSRQ

Ce niveau est utilisé pour l'initiation du Handover. Lorsque le seuil du Handover intercellulaire diminue, la probabilité d'un Handover tardif diminue et l'effet de ping-pong augmente. Il peut varier en fonction de différents scénarios et des conditions de propagation pour obtenir une meilleure performance.

2.2.6.2 Marge d'hystérésis

La marge d'hystérésis également appelée marge HO est le paramètre principal qui régit l'algorithme HO entre deux eNBs. Le Handover est initié si la qualité d'une autre cellule de liaison est meilleure que la qualité de la liaison actuelle par la valeur hystérésis. Il est utilisé pour éviter les effets de ping-pong. Cependant, il peut augmenter la remise échec car il peut également empêcher des transferts intercellulaires nécessaires.

2.2.6.3 Time-to-Trigger (TTT)

Lors de l'application Time-to-Trigger, le Handover est déclenché seulement si la condition de déclenchement est remplie pendant un intervalle de temps. Ce paramètre peut diminuer le nombre de transferts inutiles et efficacement éviter les effets de ping-pong. Mais il peut également retarder le Handover intercellulaire ce qui augmente alors la probabilité des échecs.

2.2.6.4 Longueur et la forme de la fenêtre moyenne

L'effet de la variation de canal en raison de la décoloration doit être réduit lors de la décision du Handover. Elle peut être filtrée en utilisant la fenêtre moyenne qui affecte l'initiation du Handover par sa longueur et sa forme. La longueur des fenêtres réduit le nombre de transferts, mais augmente le retard, et la forme (par exemple forme rectangulaire

ou exponentielle) peut également affecter le nombre de transferts et la probabilité de transferts inutiles.

Les paramètres indiqués affecteront directement les initiations du Handover et par conséquent, il peut être réglé en fonction de certains objectifs de conception. Cependant, il existe d'autres paramètres tels que la période de rapport de mesure qui peut également avoir un impact sur les initiations du Handover.

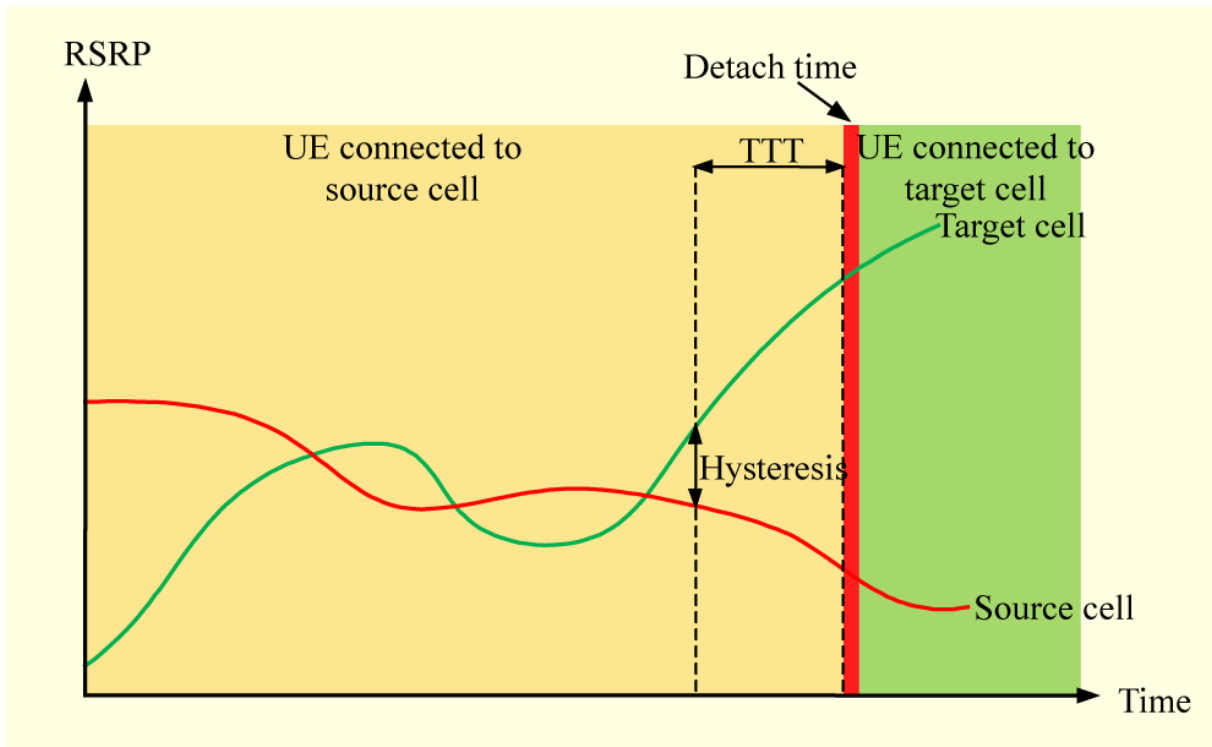


Figure 2. 5 : Paramètres pour le déclenchement du handover.

2.3 Handover dans le réseau femtocellules

Tous les systèmes mobiles, y compris le réseau femtocellules, mettent en œuvre une procédure de transfert pour prendre en charge la mobilité des UEs. D'après plusieurs travaux, il est fort probable que le soft handover ne sera pas mis en œuvre dans les femtocellules en raison de la limitation d'attribution de fréquence pour les femtocellules. En outre, en raison des défis technologiques et des exigences des opérateurs, la spécification 3GPP initiale pour le transfert en femtocellule est concentrée sur une seule direction qui est de la HeNB vers la macrocellule eNodeB.

L'un des défis de la procédure de transfert correspond au mécanisme de décision de transfert. Les métriques communes, citées plus haut, pour le mécanisme de décision de

transfert incluent le rapport signal / bruit (CINR), l'indicateur de force de réception (RSSI) et la qualité de service (QoS). Cependant, ces métriques sont assez exigeantes pour traiter les requêtes de transfert avancées, par exemple le transfert rapide dans le réseau femtocellules qui consiste en des centaines de HeNB cibles possibles.

L'option de décision de transfert intercellulaire est essentiellement un transfert contrôlé par le réseau dans lequel la décision de mettre en œuvre le transfert est prise par l'eNodeB (en cas de transfert) ou HeNB (en cas de distribution et inter-HeNB) auquel l'UE est actuellement attachée. Cependant, la prise en charge du handover basé sur le client dans lequel est initiée par l'UE devient plus commune.

2.3.1 Mécanisme du Handover utilisant l'interface S1

La procédure de transfert LTE dans les réseaux femtocellules est évidemment destiné à minimiser le temps d'interruption pour le transfert.

Plusieurs éléments fonctionnels participent au processus de transfert. L'E-UTRAN est l'élément clé puisqu'il fournit toutes les fonctionnalités du système incluant la couche physique (PHY), la couche de contrôle d'accès (MAC), le contrôle de liaison radio (RLC), et le protocole de contrôle des paquets des données (PDCP) [8]. Il consiste en un nœud unique, c'est-à-dire, eNodeB ou HeNB. Il fournit également une fonctionnalité de contrôle des ressources radio (RRC) qui correspond à la procédure de transfert.

E-UTRAN interagit avec le système EPC (Evolve Packet Core) qui comprend l'entité de gestion de la mobilité (MME), la passerelle de service (SGW) et la passerelle Femto-GW. L'interaction entre tous les éléments fonctionnels d'EUTRAN et d'EPC est illustrée à la figure 2.6.

Dans le processus de transfert, MME est responsable du choix de la passerelle de desserte pour un équipement d'utilisateur lors de la connexion initiale et au moment du transfert intercellulaire LTE impliquant le transfert de nœud du réseau central (CN).

Un autre élément qui participe au processus de transfert est la passerelle servante (serving-Gateway) qui est responsable de l'acheminement et du transfert des paquets de données utilisateur. La passerelle de desserte sert également d'ancre de mobilité pour le plan de l'utilisateur pendant les transferts et comme point d'ancrage pour la mobilité entre le LTE et les autres technologies 3GPP.

Le dernier élément s'appelle « Femto Gateway » qui fournit la passerelle à travers laquelle le HeNB accède au réseau central de l'opérateur mobile. Femto-GW est responsable de la conversion de protocole et crée également une interface de contrôle de réseau radio virtuel (RNC) vers le réseau existant sans nécessiter de modification des éléments CN. Il est physiquement situé dans les locaux de l'opérateur mobile.

En outre, 3GPP a également spécifié deux interfaces standard c'est-à-dire, les interfaces X2 et S1, pour le système EPS. L'interface X2 fournit la capacité de prendre en charge la mobilité à travers l'interface radio et doit prendre en charge l'échange d'informations de signalisation entre les macrocellules eNodeB. Par conséquent, pour le transfert intercellulaire entre macrocellules eNodeB, la procédure est effectuée sans implication de l'EPC.

D'autre part, l'interface S1 supporte des relations multi-points entre les éléments de l'EPC (MME / SGW) et les eNodeB. De plus S1 est également utilisé pour la communication entre le HeNB et le MME / SGW à travers le Femto-GW (Figure 2.6).

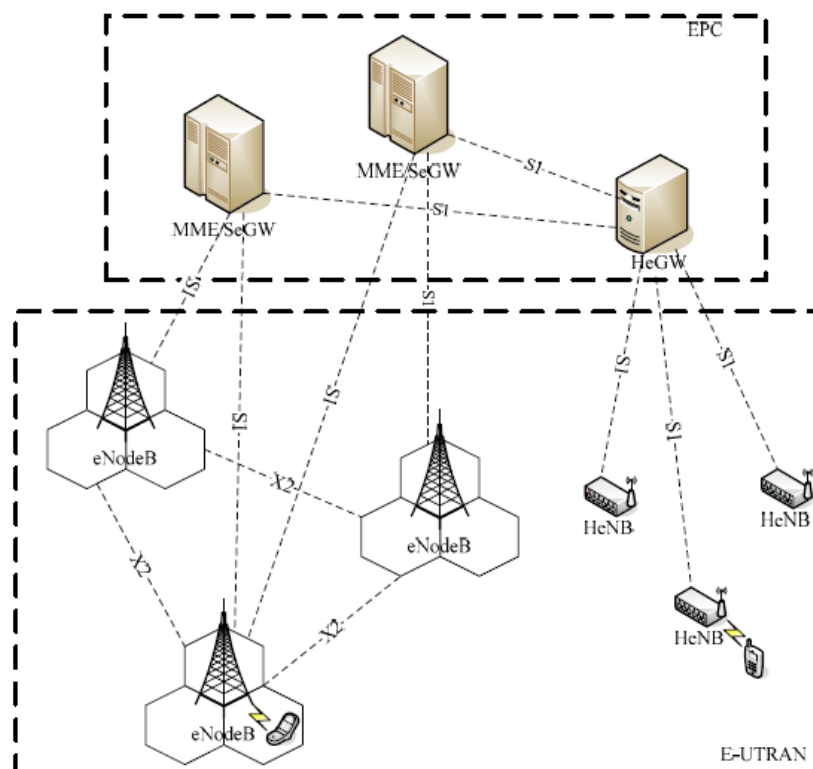


Figure 2.6 : Architecture E-UTRAN avec HeNB.

Plus précisément, la connexion à MME utilise l'interface du plan de commande S1 (S1-C) et la connexion à SGW utilise l'interface du plan utilisateur S1 (S1-U).

Le Handover dans les macrocellules peut se faire sans restriction. Cependant, pour les HeNB, puisque le CSG est appliqué, tous les UE ne peuvent pas accéder au HeNB. La procédure de transfert consiste en un ensemble de flux de signalisation qui s'échangent d'un élément à l'autre. Dans ce qui suit nous d'écrivons les procédures du Handover entre macrocellules et femtocellules.

2.3.2 Procédures du Handover dans le réseau femtocellule

Dans les réseaux femtocellule, un Handover pourrait être sortant, entrant ou entre HeNB voisins. [9]

2.3.2.1 Handover sortant: femtocellules vers macrocellules

La procédure de transfert de la femtocellule HeNB à la macrocellule eNodeB est relativement simple. L'UE n'a pas d'option pour sélectionner la cellule cible car il n'y a que l'eNodeB macrocellule. Lorsque le RSSI d'eNodeB est plus fort que le RSSI de FAP, l'UE sera connectée directement sans un calcul d'interférence complexe et un contrôle d'autorisation comme dans le scénario de transfert. La procédure du Handover dans ce cas, illustré sur la figure 2.7, est comme suit :

1. Contrôle de la mesure :

C'est dans cette phase que les UE mesurent la connexion réseau entre eux-mêmes et leurs stations de base respectives. Cette mesure est nécessaire car le transfert peut être déclenché par plusieurs facteurs, y compris, mais sans s'y limiter, la contrainte d'encombrement des ressources de la cellule de desserte et la détérioration de la force du signal reçu.

2. Rapport de mesure:

Dans cette phase, l'équipement d'utilisateur communique les résultats de mesure à sa station de base de desserte. Le seul but du rapport de mesure est de faire la meilleure sélection de cellules.

3. Décision de transfert:

Après l'envoi du rapport de mesure, la station de desserte base sa décision sur le rapport reçu. La phase de décision de transfert joue un rôle fondamental dans les phases globales du Handover et conduit finalement à de meilleures performances du système. De plus, cette phase facilite le contrôle d'admission à la station cible avec l'aide de la fonction CSG.

4. Exécution du Handover :

Cette phase achève le processus du Handover. Parmi les nombreuses actions réalisées dans cette phase figurent la signalisation de transfert, les mises à jour de localisation, la cellule de desserte, etc.

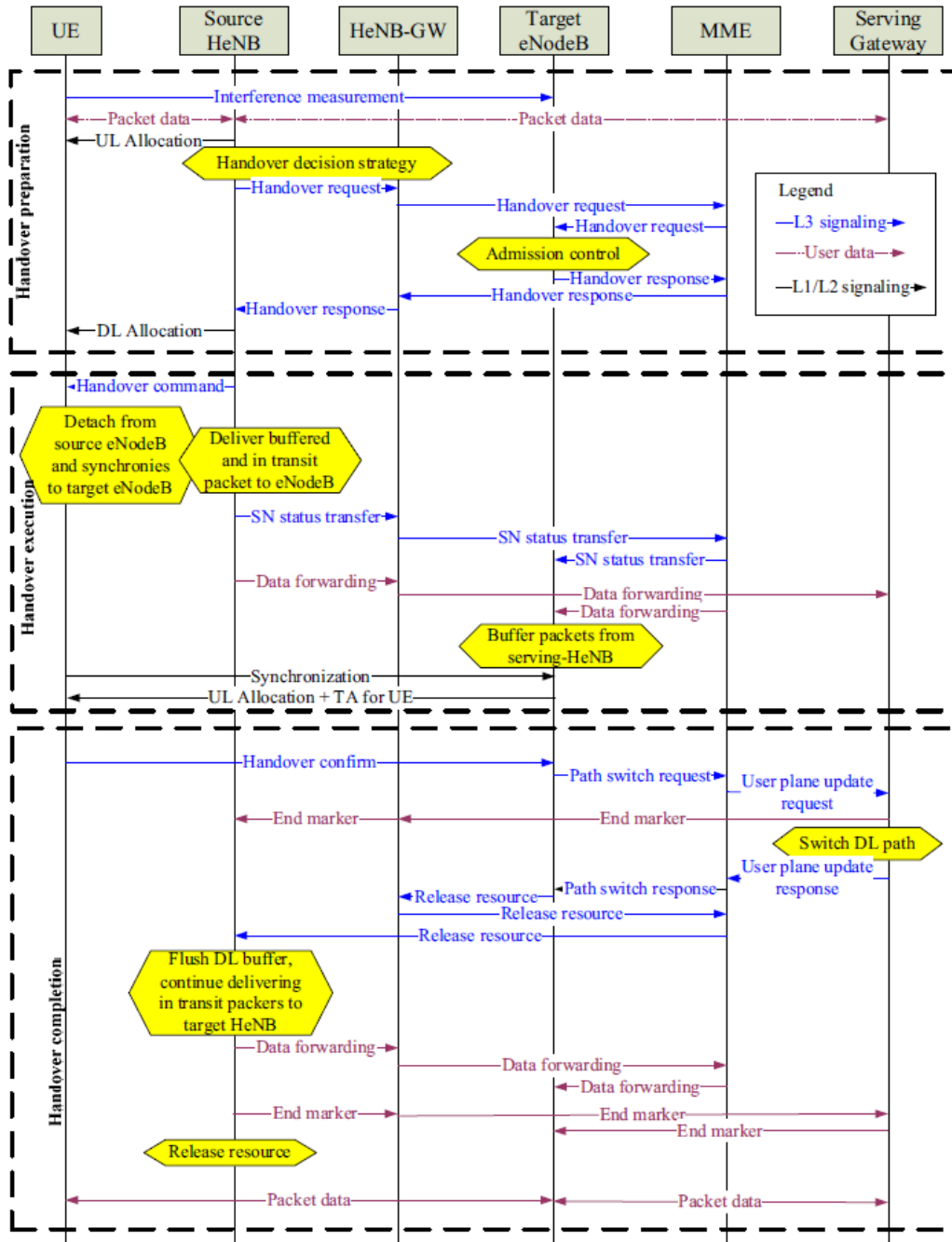


Figure 2.7 : Procédures de transfert femtocellule-macrocellule.

Le niveau d'interférence doit être considéré comme un paramètre de décision. De plus, la prédiction de mobilité proposée est également considérée dans la décision de transfert intercellulaire pour optimiser la procédure de transfert. Les flux de signalisation de la procédure du Handover sont illustrés sur la figure 2.8.

2.3.3 Algorithmes pour le Handovers

2.3.3.1 Algorithme basé sur la puissance reçue.

L'algorithme basé sur la puissance reçue, dit aussi algorithme A2 - A4 - RSRQ, utilise la mesure du signal de référence de la qualité reçu (RSRQ) acquises de l'événement A2 et de l'événement A4 (figure 2.9).

Ainsi, l'algorithme va ajouter deux mesures de configuration à l'instance RRC de l'eNodeB correspondante. Leur utilisation prévue est décrites comme suit :

- Événement A2 (RSRQ de la cellule source devient pire que le seuil) est mis à profit pour indiquer que l'UE connaît une mauvaise qualité du signal et peut bénéficier d'un Handover.
- Événement A4 (RSRQ de cellule voisine devient mieux que le seuil) est utilisé pour détecter les cellules voisines et d'acquérir leur RSRQ correspondant à partir de chaque UE ci-joint, qui sont ensuite stockées en interne par l'algorithme.

Par défaut, l'algorithme configure l'événement A4 avec un seuil très bas, de sorte que les critères de déclenchement sont toujours vrais.

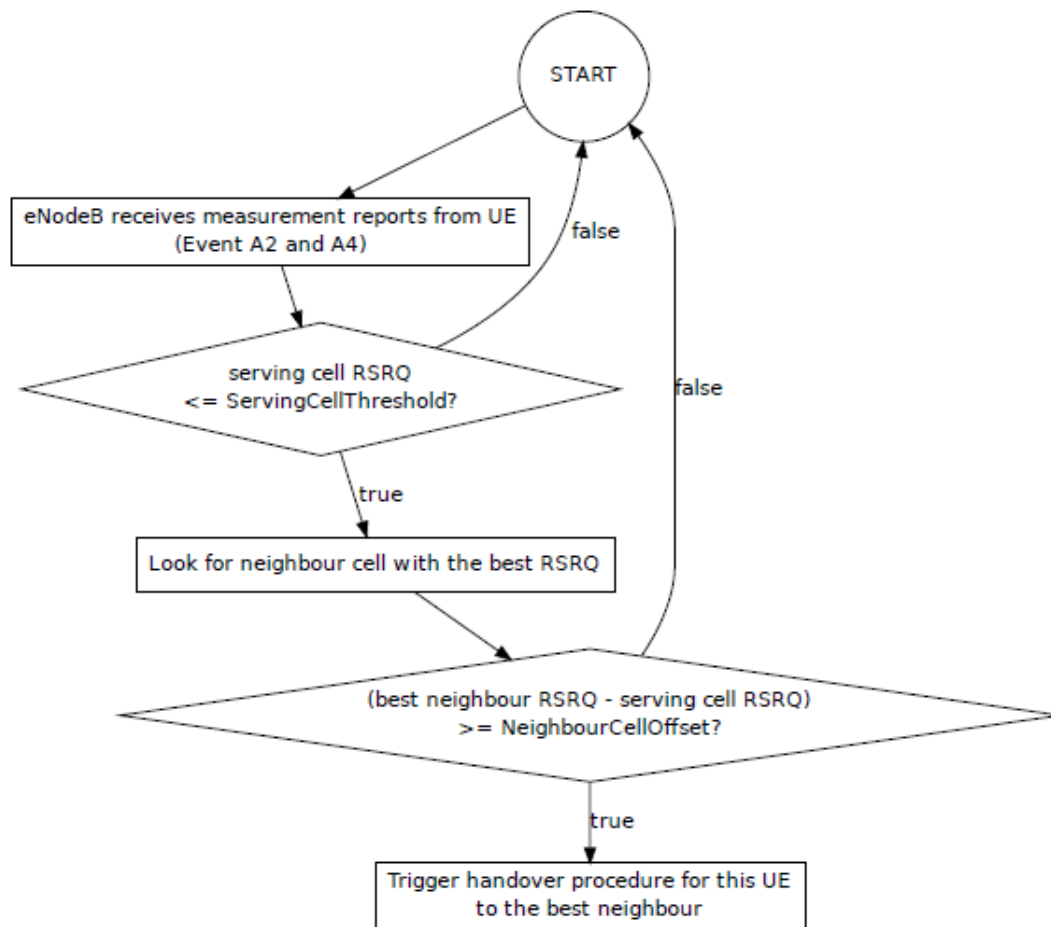


Figure 2.9 : Algorithme de Handover A2-A4-RSRQ.

Deux attributs peuvent être configurés pour régler le comportement de l’algorithme :

- Seuil de la cellule de service : Le seuil pour l’événement A2, à savoir une UE doit avoir un RSRQ inférieur à ce seuil à prendre en considération pour le Handover.
- Décalage de la cellule voisine : Le décalage qui vise à faire en sorte que l’UE recevrait une meilleure qualité du signal après le transfert. Une cellule voisine est considérée comme une cellule cible pour le transfert que si son RSRQ est supérieure que le RSRQ de la cellule source par la quantité de ce décalage.

2.3.3.2 Algorithme basé sur le bilan de puissance.

L'idée de l'algorithme de bilan de puissance (PBGT) est de fournir à chaque UE la meilleure puissance de signal de référence (RSRP) possible. Ceci est fait en effectuant un transfert dès qu'une meilleure cellule (c'est-à-dire avec un RSRP plus fort) est détectée.

L'Événement A3 (le RSRP de la cellule voisine devient mieux que le RSRP de la cellule source) est choisi pour réaliser ce concept.

Cet algorithme est généralement plus vulnérable au ping-pong (Handover consécutif à une courte période de temps), surtout sur des canaux de fort fading.

L'algorithme a deux paramètres :

- L'hystérésis (marge de Handover) retarde la remise à l'égard du RSRP.
- D'autre part, le délai de déclenchement (TTT) retarde le transfert à l'égard du temps.

La 3GPP définit 16 valeurs valides pour le Time-To-Trigger (Toutes en millisecondes) : 0, 40, 64, 80, 100, 128, 160, 256, 320, 480, 512, 640, 1024, 1280, 2560 et 5120. Par défaut, l'algorithme utilise une hystérésis à 3.0 DB et un TTT à 256 ms.

2.3.3.3 Algorithmes basés sur la vitesse de déplacement.

Le principal critère de décision pour ce type d'algorithme est la vitesse de l'utilisateur. L'algorithme mis en œuvre définit la vitesse comme point de coupure pour l'algorithme basé sur le RSRP. Une vitesse à 30 *km / h* a été considérée comme vitesse haute alors que moins de 30 *km / h* et plus de 15 *km / h* est considérée comme vitesse moyenne.

Les utilisateurs à grande vitesse transitant par l'environnement femtocellulaire ont généralement une couverture macrocellulaire pendant la période où ils reçoivent une couverture radio femtocellulaire. Mais l'augmentation du RSRP est si instantanée que, avant que l'UE n'établisse une connexion, il a normalement passé le point d'intérêt, provoquant un transfert secondaire vers la macrocellule. Cela donne lieu à un nombre croissant de transferts de ping-pong et donc qui dégrade les performances du système.

Cet algorithme fonctionne très bien dans l'environnement véhiculaire qui consiste en des équipements mobiles à haute vitesse, denses et groupés. L'algorithme réduit efficacement la fluctuation latérale du signal radio des macrocellules aux femtocellules.

L'algorithme démarre lorsque les conditions de déclenchement du transfert sont remplies: seuil de RSRP, seuil RSRQ, temps de déclenchement sont compris dans les limites de transfert.

L'eNodeB obtient la vitesse de l'UE par décalage Doppler pour démarrer le processus de décision. Si la vitesse ne peut pas être déterminée, le processus de transfert est arrêté et il attend alors un nouveau déclenchement. Après avoir déterminé la vitesse de l'UE, l'algorithme vérifie la capacité maximale de la cellule pour s'assurer que la capacité de la cellule n'est pas dépassée. Dans le dernier cas où la cellule est congestionnée, eNodeB ne déclenche pas le transfert et le processus est terminé.

Après s'être assuré que la capacité de la cellule n'a pas dépassé la limite maximale autorisée, le transfert prend une décision basée sur la vitesse de l'UE. Si la vitesse de l'UE est supérieure à 30 km / h, aucun transfert n'est initié et le processus est terminé. Si la vitesse UE est inférieure à 30 km / h, l'algorithme détermine alors si l'utilisateur utilise une application en temps réel. Il peut être déterminé soit en utilisant le QCI ou le comportement du trafic dans la fenêtre de calcul de la moyenne. Si l'application UE est en temps réel, le processus de transfert est initié, sinon aucun transfert n'a lieu. Cet algorithme est strictement applicable à l'environnement véhiculaire.

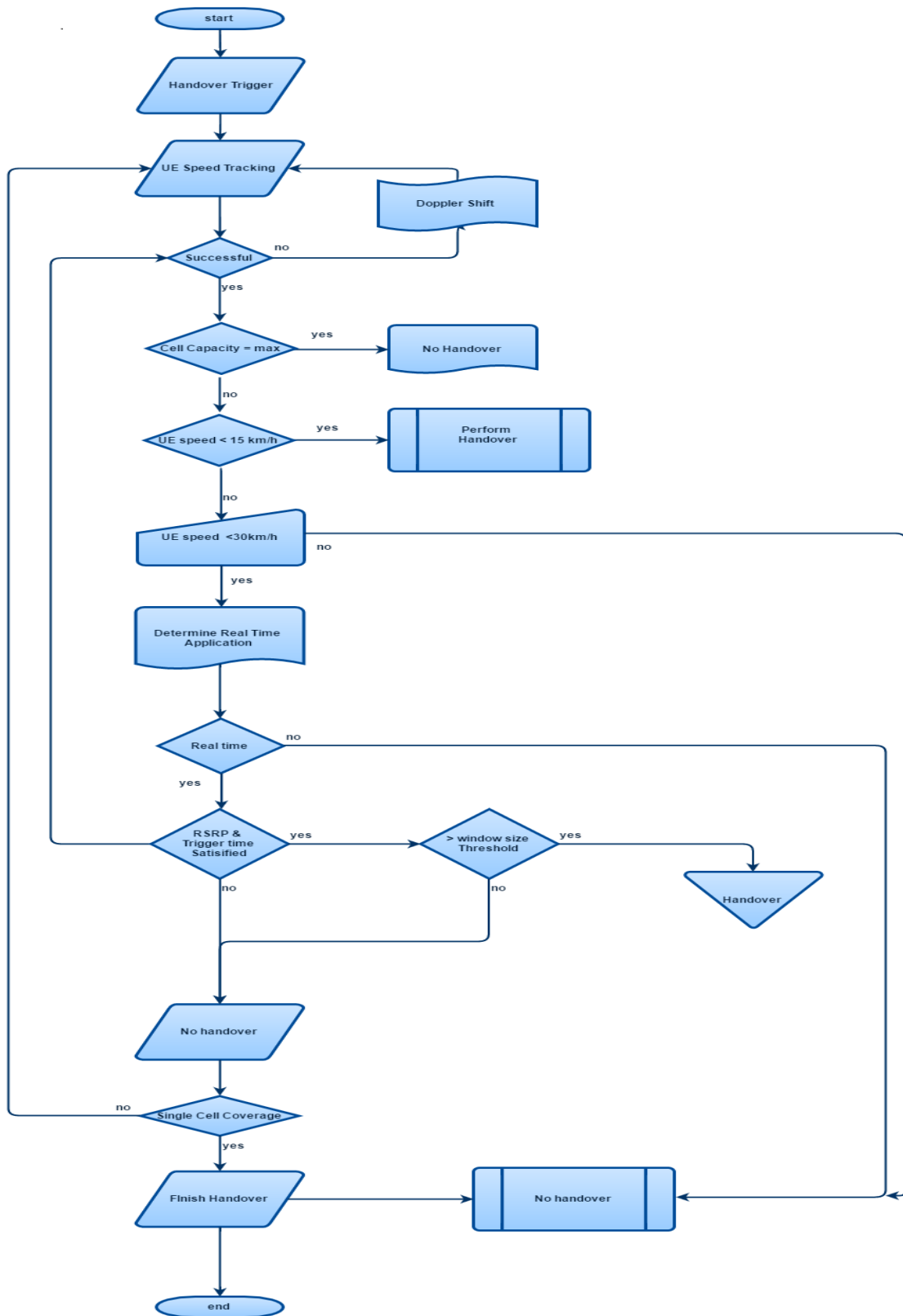


Figure 2.10 : Algorithme basé sur la vitesse de déplacement.

2.4 Conclusion

Ce chapitre a été consacré à l'étude de la gestion de mobilité dans les réseaux LTE avec un déploiement de femtocellules. Dans ce contexte nous avons présenté ses mécanismes et ses procédures, nous avons aussi exposé les différents types d'algorithme utilisé dans le Handover macrocellules/femtocellules.

Le chapitre suivant traitera l'étude du Handover macrocellules/femtocellules sous le simulateur NS3.

Sommaire

3.1	Introduction.....	51
3.2	Présentation du logiciel NS-3	51
3.3	Modèle NS-3.....	57
3.4	Scenario de la simulation.....	59
3.5	Résultats et discussions.....	62
3.6	Conclusion	70

3.1 Introduction

La simulation des réseaux est une technique par laquelle un logiciel (simulateur) modélise le comportement d'un réseau, soit par le calcul de l'interaction entre les entités du réseau en utilisant des formules mathématiques, ou en capturant et reproduisant des observations à partir d'un réseau réel. Notre choix s'est porté sur le simulateur réseau NS-3.

En effet, c'est un logiciel rapide en exécution. Il se base sur une simulation beaucoup plus fine. Il est parmi les plus récents simulateurs réseaux.

La problématique étudiée dans ce mémoire étant la simulation des performances des réseaux LTE, et en particulier les paramètres du handover. Nous présentons dans ce qui suit le déroulement des étapes de simulation que nous avons menée dans ce travail de fin d'études qui consiste à simuler le processus du Handover dans les réseaux de femtocellules. Notre intérêt est d'évaluer l'influence de différents paramètres sur les algorithmes du Handover.

3.2 Présentation du logiciel NS-3

Le simulateur NS-3 (Network Simulator 3) est un simulateur de réseau principalement destiné à la recherche et à l'utilisation pédagogique. Le projet NS-3, démarré en 2006, est un projet open-source qui s'efforce de maintenir un environnement ouvert pour les chercheurs avec la contribution et le partage de leur logiciel.



Voici quelques caractéristiques distinctives de NS-3 par rapport aux autres outils :

- NS-3 est conçu comme un ensemble de bibliothèques pouvant être combinées entre elles et avec d'autres bibliothèques logicielles externes.
- Alors que certaines plates-formes de simulation offrent aux utilisateurs un environnement d'interface graphique unique et intégré dans lequel toutes les tâches sont exécutées, NS-3 est plus modulaire à cet égard. Plusieurs animateurs externes et outils d'analyse et de visualisation des données peuvent être utilisés

avec NS-3. Cependant, les utilisateurs doivent s'attendre à travailler sur la ligne de commande et avec des outils de développement logiciel C++ et / ou Python.

- NS-3 est principalement utilisé sur les systèmes Linux, bien que le support existe pour FreeBSD, Cygwin (pour Windows), et le support Windows Visual Studio natif est en cours de développement.

NS-3 est un environnement et une base de code open source qui permettent de valider et d'optimiser les protocoles réseau tels que Wifi, WiMax, TCP/IP, LTE, etc. Ainsi, NS-3 simule des modèles réseau en temps réel (mode émulation) et peut échanger des paquets entre les nœuds simulés et les nœuds réels. Les domaines d'application sont vastes : réseaux, télécommunications, militaire, transport, etc. Ce simulateur de réseau rassemble d'autre part une importante communauté de développeurs et est distribué sous licence libre GNU GPLv2.

3.2.1 Installation du simulateur NS-3

3.2.1.1 Ressources

a) Web :

Il existe plusieurs ressources importantes que tout utilisateur de NS3 doit connaître. Le site principal <http://www.nsnam.org> donne accès à des informations de base sur le système NS3.

b) Mercurial :

Les systèmes complexes ont besoin d'un moyen pour gérer l'organisation et l'évolution du code. Il y'a plusieurs façons de réaliser cet exploit. Le projet NS3 utilise Mercurial comme système de gestion de code source.

c) Waf :

Une fois que nous avons le code téléchargé sur notre système local, nous aurons besoin de compiler cette source pour produire des programmes utilisables. Tout comme dans le cas de la gestion de code source, il existe de nombreux outils disponibles pour remplir cette fonction.

Récemment, ces systèmes ont été développés en utilisant le langage Python. Le système Waf qui est l'un des systèmes de construction de nouvelle génération à base de Python est utilisé sur le projet NS3.

3.2.1.2 Environnement de développement :

Les scripts dans NS3 sont faits en C++ ou Python. La plupart des API NS3 sont disponible en Python, mais les modèles sont écrits en C++ dans les deux cas.

Typiquement, un utilisateur de NS3 travaillera sous Linux ou un environnement Linux. Pour ceux qui travaillent sous Windows, ils existent des environnements qui simulent l'environnement Linux à des degrés divers. Le projet NS3 peut s'installer dans un environnement de machines virtuelles telles que VMware en installant une machine virtuelle Linux (Ubuntu).

3.2.1.3 Installation de NS3 sous Ubuntu :

Pour notre travail nous avons installé une machine virtuelle Linux (Ubuntu 16.04 LTS) en utilisant le logiciel VMware Workstation qui permet d'installer des machines virtuelles dans un système exploitation.

NS-3 peut être installé de deux façons. Il faut télécharger :

- Soit une archive contenant les sources et tous les fichiers nécessaires (*ns-allinone-3.13.tar.bz2*)
- Soit les sources directement, à partir du dépôt Mercurial.

Le moyen le plus simple pour l'installation est d'utiliser l'environnement ns-3-allinone. Il s'agit d'un ensemble de scripts qui gère le téléchargement et la construction des différents sous-systèmes de NS-3. C'est recommandable de débiter avec NS-3 dans cet environnement.

Pour installer NS-3, nous procédons comme suit :

Ouvrez un terminal (figure III.1) et exécutez les commandes suivantes pour installer la liste des packages nécessaires :

```
sudo apt-get install gcc g++ python
sudo apt-get install gcc g++ python python-dev
sudo apt-get install mercurial
sudo apt-get install bzip2
sudo apt-get install gdbvalgrind
sudo apt-get install gsl-bin libgsl0-dev libgsl0ldbl
sudo apt-get install flex bison libfl-dev
sudo apt-get install g++-4.4 gcc-4.4
```



```
sudo apt-get install tcpdump
sudo apt-get install sqlite sqlite3 libsqlite3-dev
sudo apt-get install libxml2 libxml2-dev
sudo apt-get install libgtk2.0-0 libgtk2.0-dev
sudo apt-get install vtunlxc
sudo apt-get install uncrustify
sudo apt-get install doxygraphvizimagemagick
sudo apt-get install texlivetexlive-extra-utilstexlive-latex-extra
sudo apt-get install python-sphinx dia
sudo apt-get install python-pygraphviz python-kiwi python-
pygoocanvaslibgoocanvas-dev
sudo apt-get install libboost-signals-dev libboost-filesystem-dev
sudo apt-get install openmpi*
```

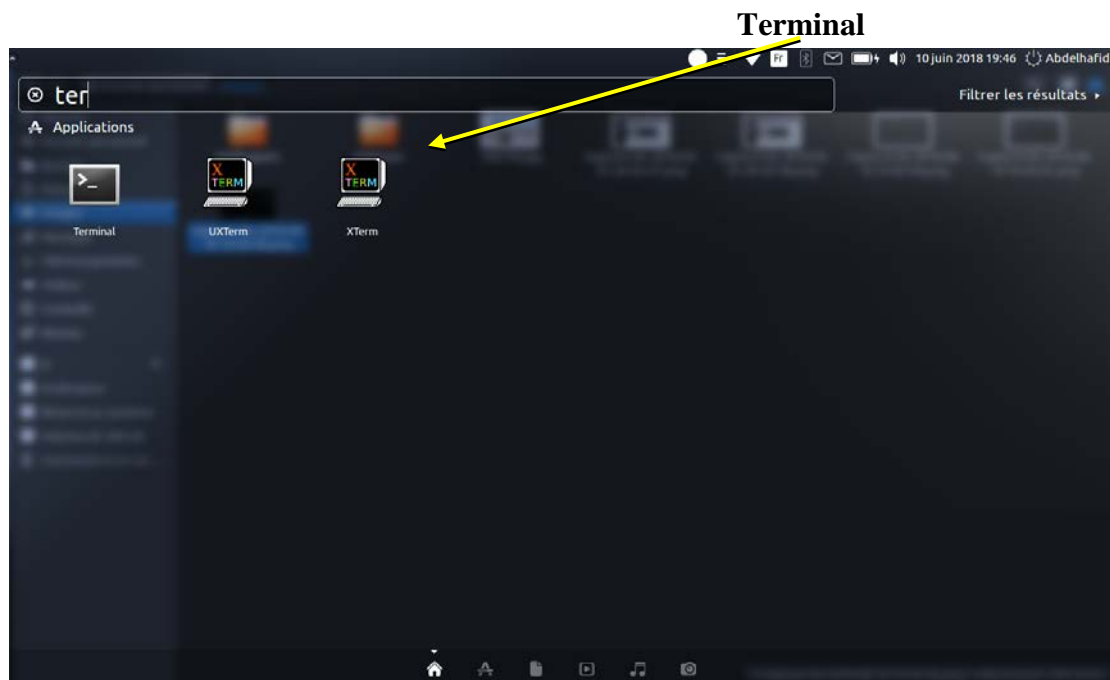


Figure 3.1 : Interface graphique Ubuntu 16.04 LTS.

Il faut ensuite télécharger NS-3 à l'aide d'une archive. Dans le cas où l'archive complète a été téléchargée, il faut d'abord la décompresser :

```
cd
mkdir tarballs
cd tarballs
wget http://www.nsnam.org/release/ns-allinone-3.24.1.tar.bz2
tarxjf ns-allinone-3.21.1.tar.bz2
```

Un dossier *ns-allinone-3.24.1* est maintenant créé. Il reste à compiler. Pour ce faire, un script Python `build.py` est fourni dans ce dossier. Il suffit de l'exécuter pour obtenir un environnement de simulation NS-3 standard :

```
cd ns-allinone-3.24.1
./build.py
```

Il est possible de configurer certaines options de compilation avec l'outil **waf**. Cet outil est un équivalent de `make` basé sur Python. Il permet la configuration, la compilation et l'installation d'applications de façon plus simple que `make`.

```
./wafdistclean
./waf configure
./waf build
```

Pour voir toutes les options `waf`:

```
./waf --help
```

Maintenant, testons l'installation en utilisant :

```
./test.py
```

Nous utilisons la commande suivante pour exécuter nos programmes :

```
./waf --run filename
```

Les figure 3.2 et 3.3, présentes les lignes des commandes sous la console d'Ubuntu pour le module NS-3 et les épates de simulation.

3.3 Modèle NS-3

Le modèle de simulation sous NS-3 est illustré sur la figure 3.4

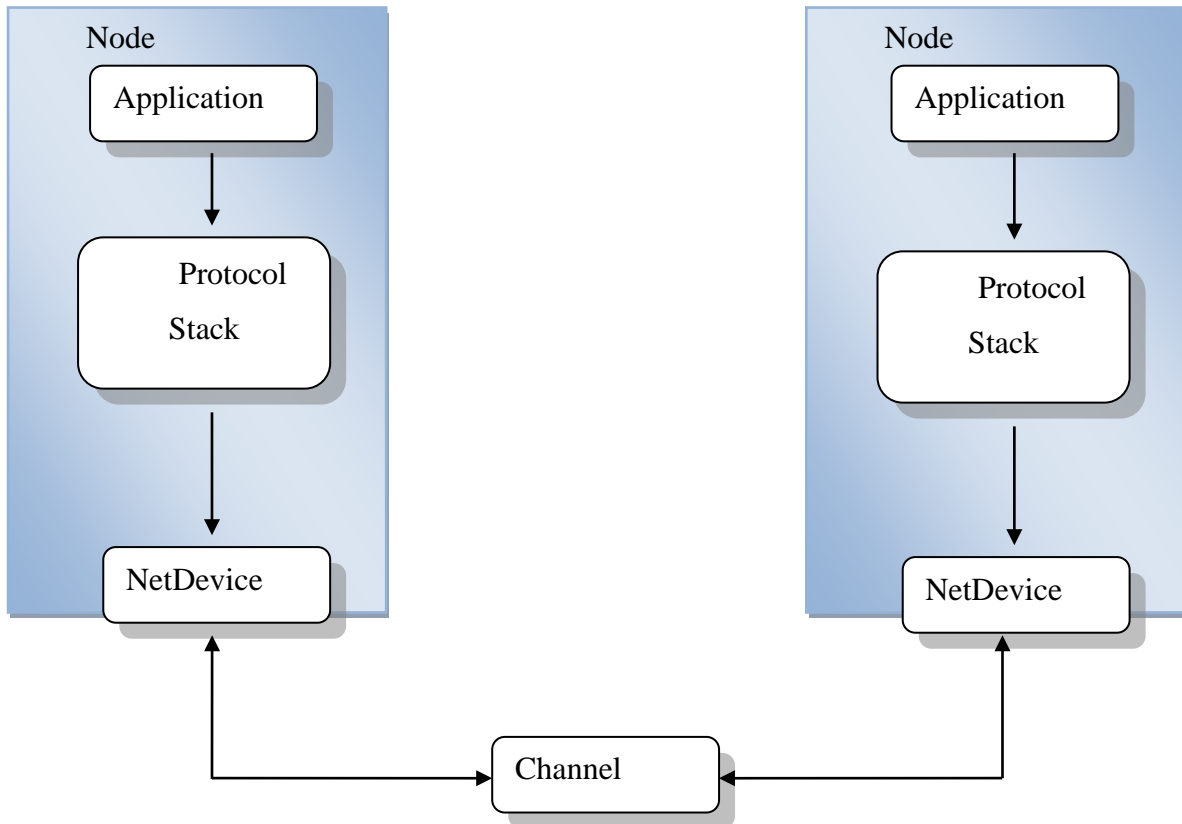


Figure 3. 4 : Modèle NS-3.

➤ **Node**

La classe *Node* fournit des méthodes pour gérer les représentations des dispositifs informatiques dans les simulations. C'est comme un ordinateur auquel on ajoute des fonctionnalités, comme des applications, des protocoles et des cartes périphériques.

➤ **Application**

La classe *Application* fournit des méthodes qui génèrent une activité à simuler.

➤ **Channel**

La classe *Channel* sert à connecter un nœud à un objet qui représente un canal de communication.

➤ **NetDevice**

La classe *NetDevice* fournit les méthodes pour gérer les connexions.

La figure 3.5 présente l'architecture logicielle de NS-3 :

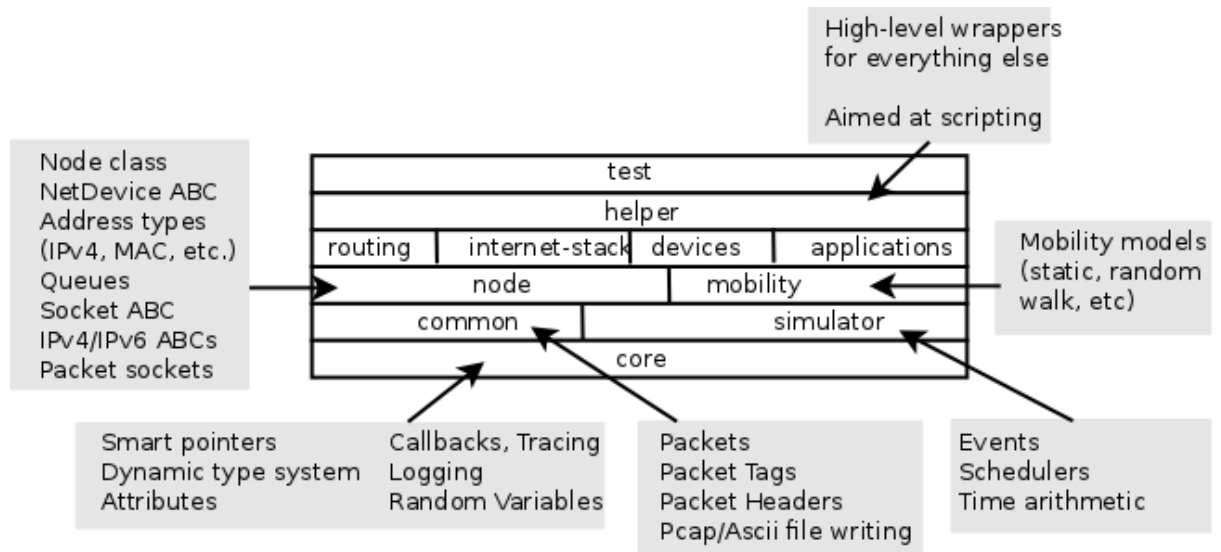


Figure 3.5 : Organisation du logicielle NS-3.

Les modules actuellement disponibles pour NS-3 sont illustrés sur la Figure 3.6.

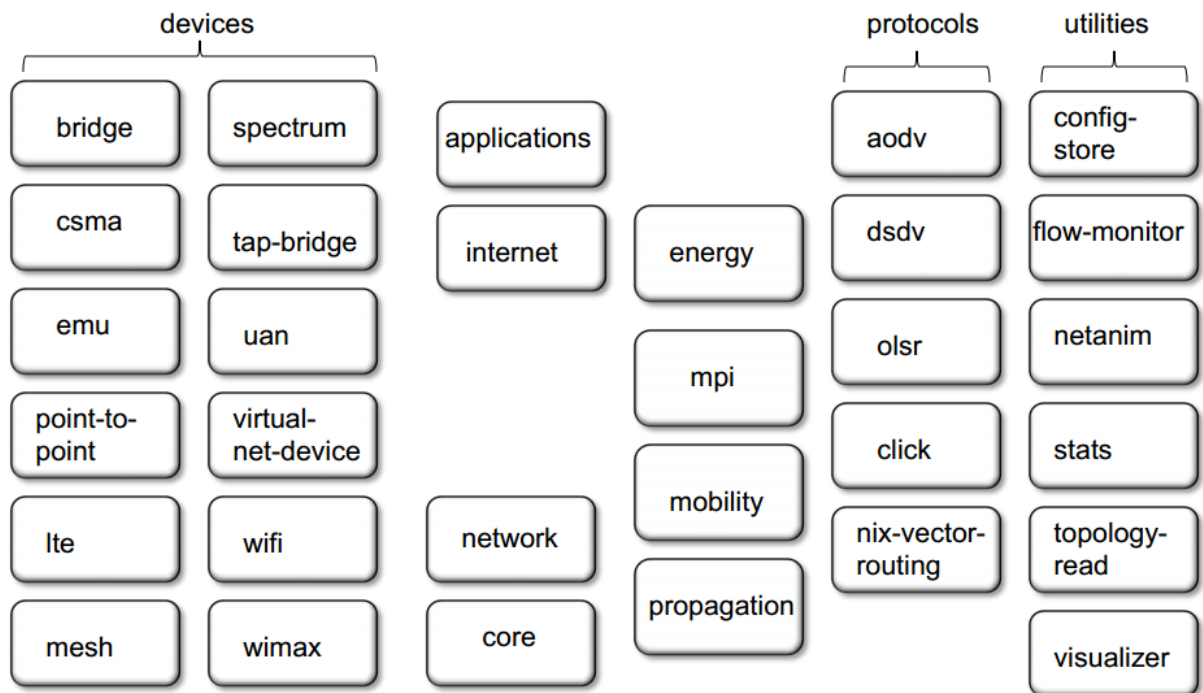


Figure 3.6 : Modules NS-3.

3.4 Scenario de la simulation

3.4.1 Déroulement de la simulation

Les démarches de déroulement de la simulation sont représentées dans la figure

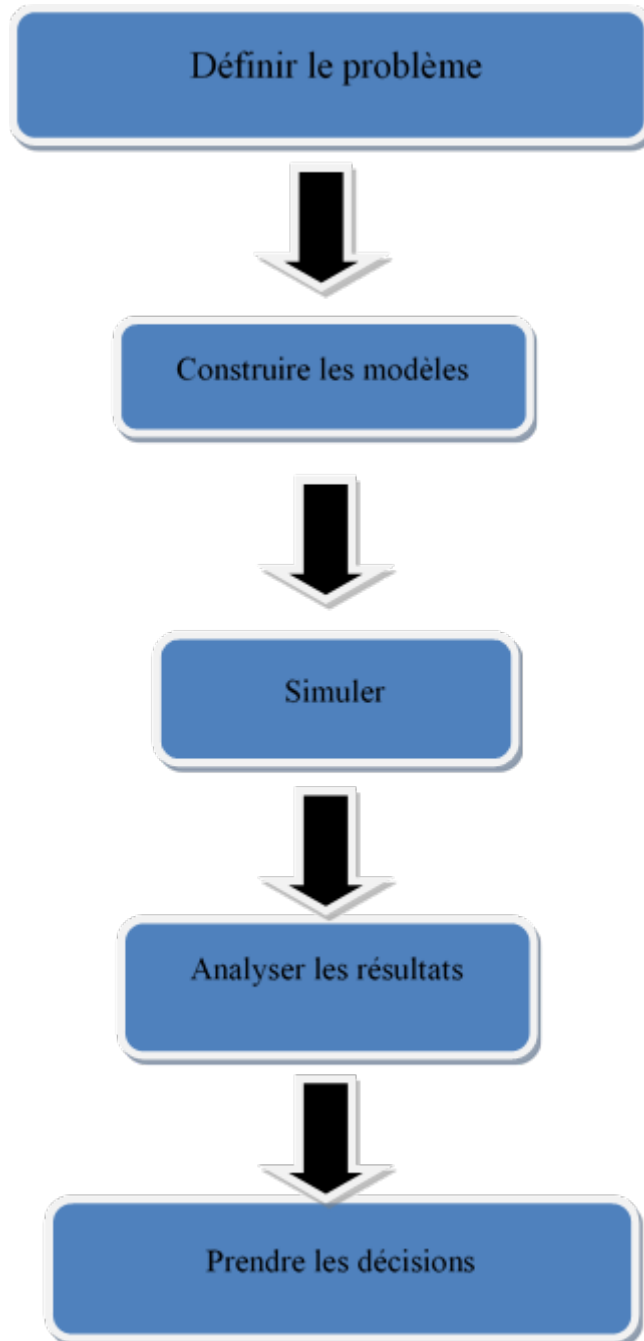


Figure 3. 7 : Etapes de la simulation.

Pour construire le modèle de simulation nous avons considéré le scénario suivant :

- Dans notre script, nous avons simulé un réseau LTE composé de 3 macrocellules, une femtocellule et une UE active à l'intérieure de cette dernière. La figure 3.5.Illustre ce modèle.
- Le mouvement de l'UE est considéré linéaire de la femtocellule vers la microcellule.

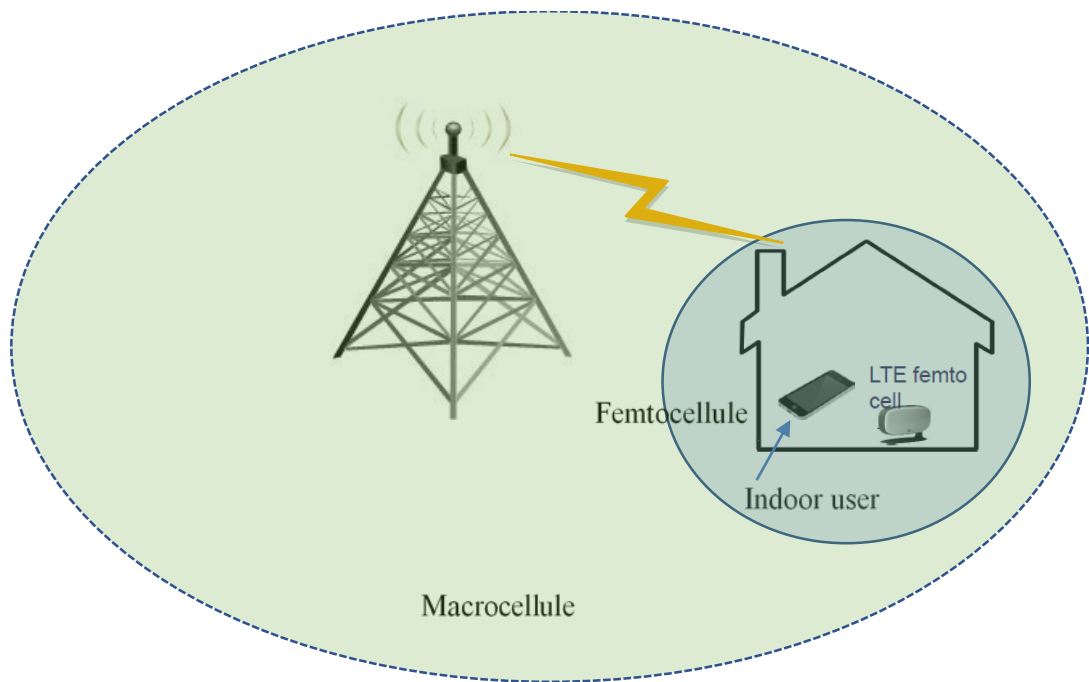


Figure 3.8 : Scénario microcellule/femtocellule simulé.

Les HeNB sont déposés dans la zone de couverture des macrocellules avec une distribution uniforme aléatoire, avec une séparation minimale vers les sites macro. La densité de HeNBs par macro-cellule sera une variable dans les simulations. Un déploiement de type suburbain est considéré où chaque HeNB est modélisé comme une maison rectangulaire (bidimensionnelle $12 \times 12 m$). Dans chaque maison, les UE HeNB et HeNB sont lâchés au hasard à une distance spécifiée du centre de la maison. Tous les UE macro sont supposées être à l'intérieur. Une macro UE peut être dans une maison HeNB. Les détails des paramètres sont présentés dans la section suivante.

3.4.2 Paramètres de la simulation

Dans notre travail nous avons utilisé les paramètres de la norme 3GPP R4-092042 [12]. Ces paramètres sont comme suit :

➤ **Paramètres de l'utilisateur (UE) :**

- Type UE : piéton
- Vitesse moyenne UE : 4 km/h
- Direction UE : de la femtocellule vers la microcellule.

➤ **Paramètres macro-cellule :**

- Disposition cellulaire : 3 Grille hexagonale, 3 secteurs par site. Totale de 9 cellules.
- Distance inter-sites sites (Macro-Macro) : 500 m.
- Puissance des cellules BTS-Tx : 30 dBm.
- Fréquence porteuse : 2GHz.
- Bande passante du système : 5 MHz.

➤ **Paramètres femtocellule :**

- Disposition cellulaire : 1 cellule femto dans chaque macrocellule.
- Distance inter-sites (Macro-femto) : 50 m.
- Nombre d'UE actifs par femtocellule : 1.
- Puissance des cellules femto HeNB-TX : 10 dBm.
- Fréquence porteuse : 2GHz.
- Bande passante du système : 5 MHz.

➤ **Algorithmes du Handover**

- Types d'algorithme: A2-A4-RSRQ, A3 RSRP.
- Les valeurs d'hystérésis valides dans les simulations varient entre 0 dB et 9 dB.
- Les valeurs de temps de déclenchement pour les réseaux LTE sont spécifiées par 3GPP. Les valeurs prises dans cette étude sont : 0, 120 et 960 ms. Par défaut, l'algorithme utilise une hystérésis à 3.0 dB et un TTT à 256 ms.

Un exemple du modèle considéré par la 3GPP R4-092042 est illustré sur la figure 3.9.

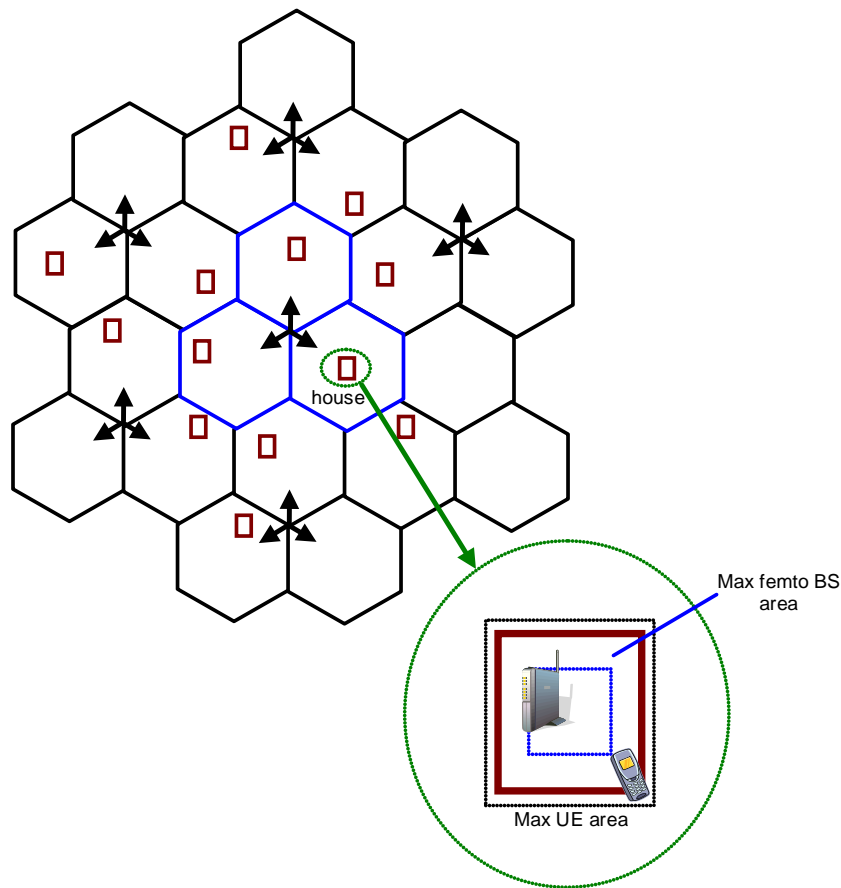


Figure 3.9 : Macro et HeNB Géométrie

3.5 Résultats et discussions

3.5.1 SINR en fonction de la distance entre l'UE et la HeNB :

Dans ce cas nous varions la distance entre l'UE, qui se déplace avec une vitesse de 3km/h, et la HeNB qui a une puissance d'émission de 10dBm.

Les résultats de simulation sont présentés sur la figure 3.10. Sur ce graphe nous remarquons une diminution légère à la distance de 5m à 10m du rapport SINR mesuré lors des Handover dans les deux sens DL/UL, pour les deux algorithmes, et une diminution excessive à partir de 10m de distance.

Ceci est dû principalement à l'atténuation de parcours qui est proportionnelles à la distance entre l'UE et le HeNB.

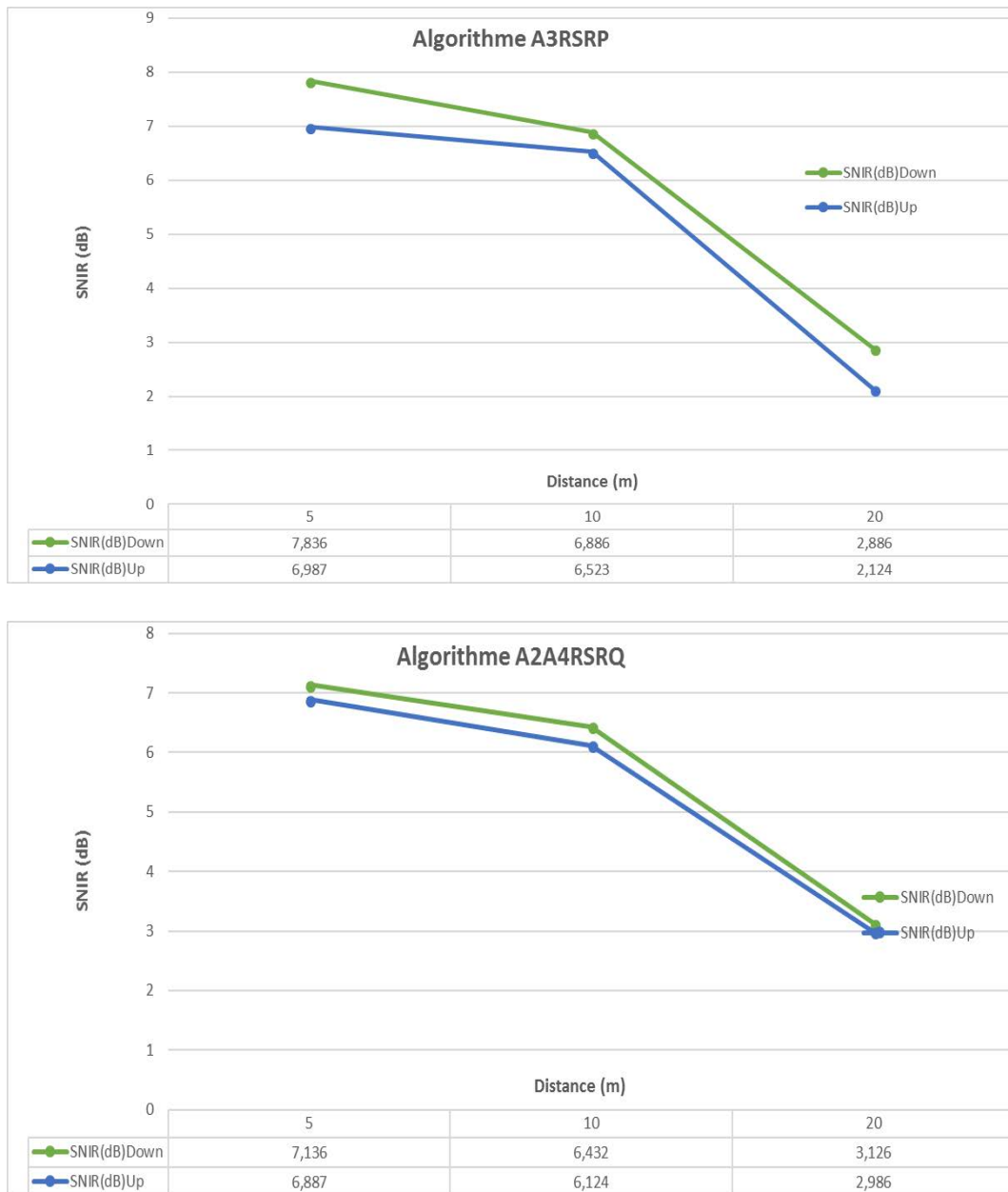


Figure 3.10 : SINR en fonction de la distance. UE/HeNB.

La figure 3.11 montre la comparaison de l'évolution des rapports SNIR mesurés pour les deux algorithmes. Nous remarquons sur le graphe que entre 5m et 10m la valeur du SINR est plus élevée dans le cas d'utilisation de l'algorithme A3RSRP et à partir de 10m la valeur est presque la même pour les deux algorithmes.

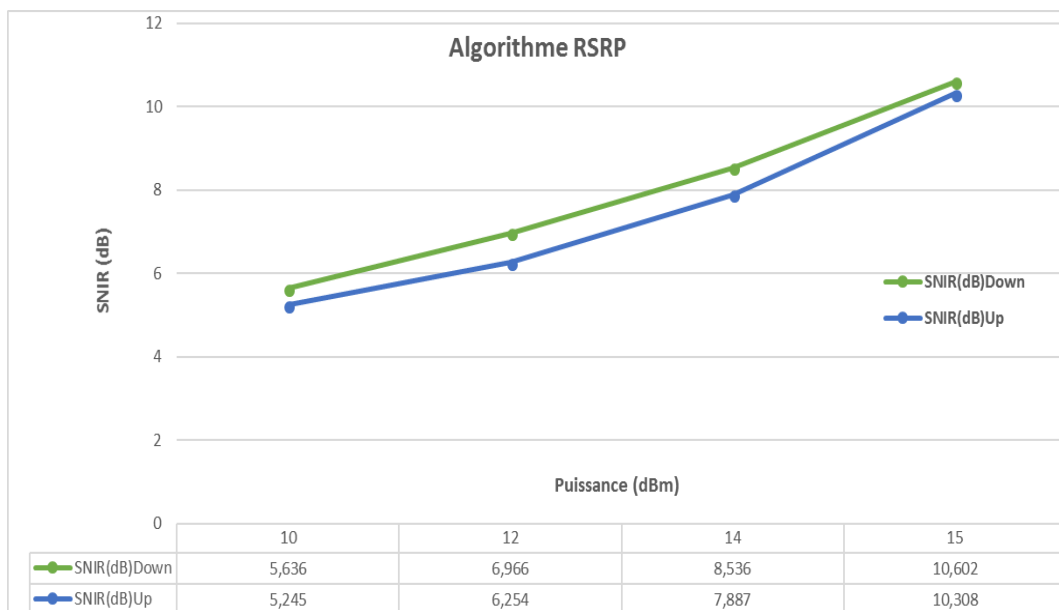


Figure 3. 11 : Comparaison RSRP Vs RSRQ, SINR en fonction de la distance.

3.5.2 SINR en fonction de la puissance de la HeNB

Dans ce cas nous considérons une variation de la puissance d'émission de la HeNB avec un utilisateur active distant de 12m.

Le graphe de la figure 3.12 montre que la valeur du SINR augmente en augmentant la puissance de la HeNB, dans les deux sens UL et DL et pour les deux algorithmes.



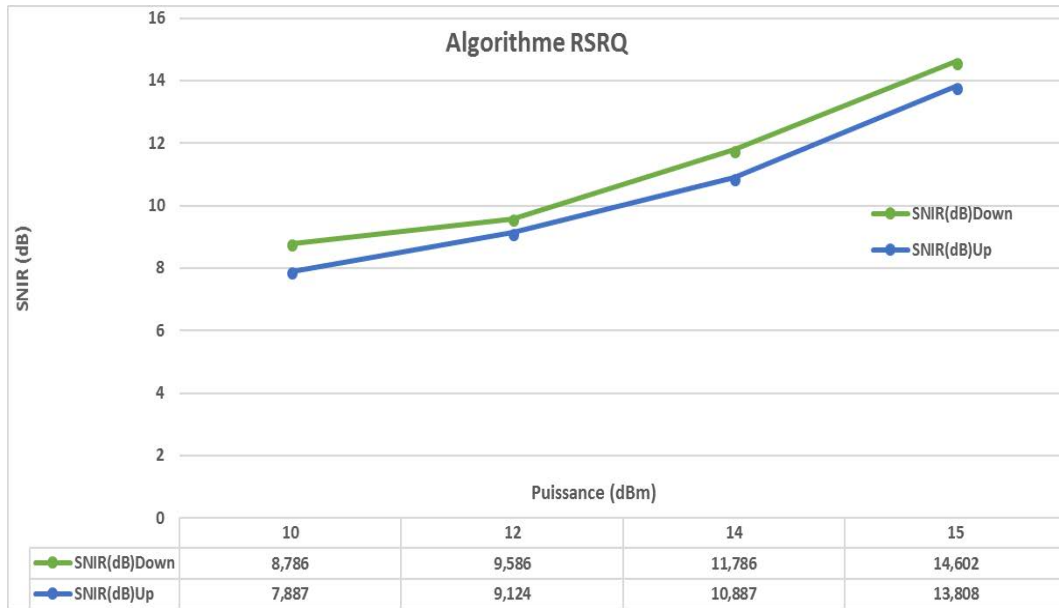


Figure 3.12 : SINR en fonction de la puissance.

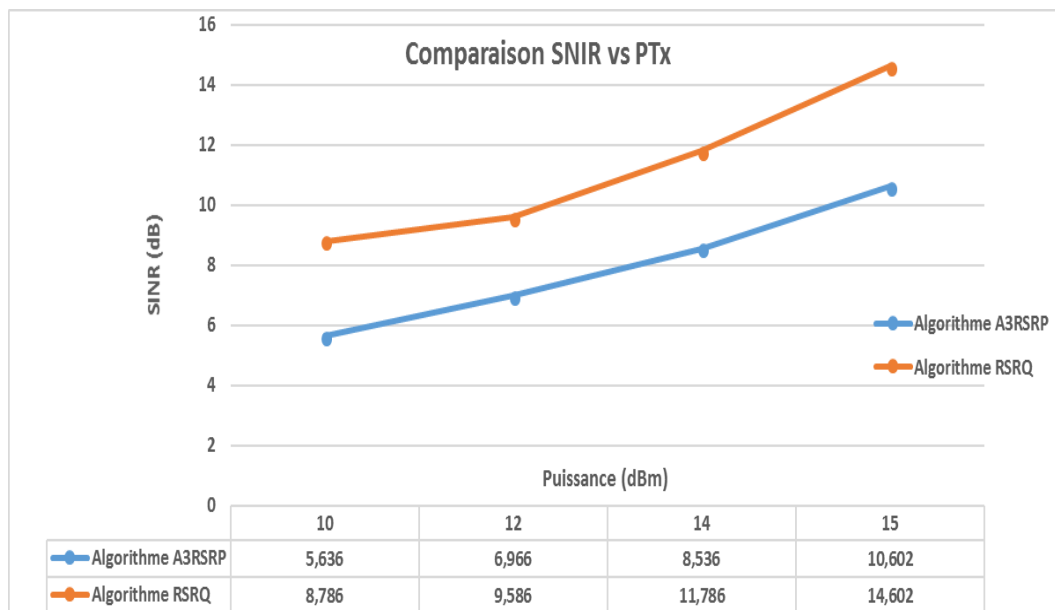


Figure 3.13 : Comparaison RSRP Vs RSRQ, SINR en fonction de la puissance

Nous remarquons dans cette variation (figure 3.13) que l'algorithme A2A4RSRQ est plus précis pour faire le Handover par rapport à l'algorithme A3RSRP parce qu'il est bien remarquable que la valeur SINR est plus élevée dans le cas d'utilisation du premier algorithme.

3.5.3 Nombre de paquets perdu en fonction de la vitesse de déplacement

La vitesse est un élément important pour juger l'algorithme de Handover, c'est pour ça que nous avons étudié ce cas tout en variant la vitesse de l'UE.

Nous considérons, dans ce cas, une UE qui se déplace avec des vitesses différentes et une HeNB avec une puissance d'émission de 10dBm (10Wats).

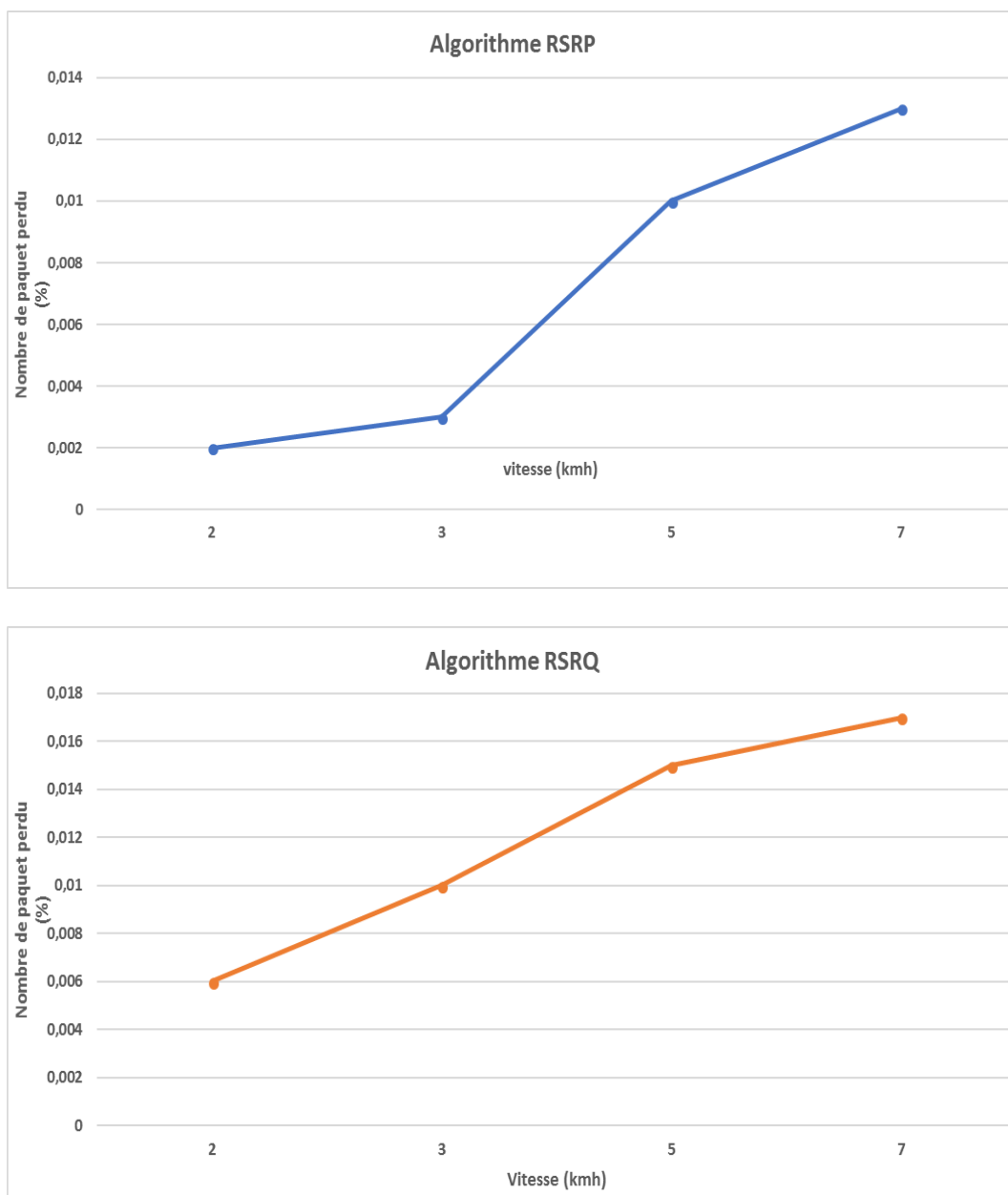
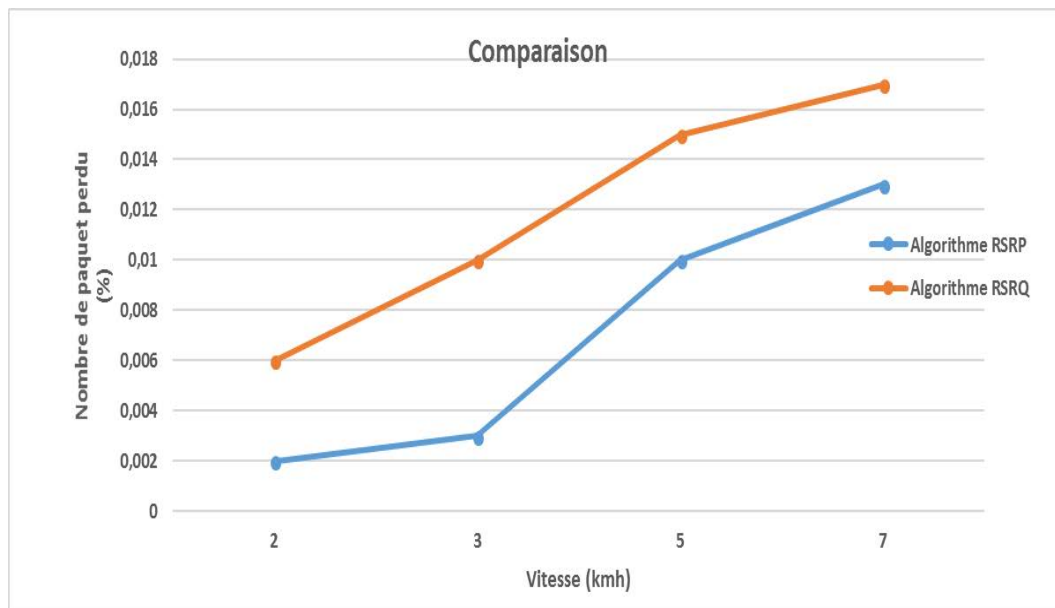


Figure 3.14 : Nombre de paquets perdus en fonction de la vitesse.

Nous remarquons sur le figure3.14 une augmentation du nombre des paquets perdus en augmentant la vitesse de l'UE. Ces résultats sont en relation avec le nombre de Handover effectué comme on va le voir par la suite.

La comparaison entre les deux algorithmes, sur la figure 3.15, montre clairement que le nombre des paquets perdus est plus élevé lors de l'utilisation de l'algorithme A2A4RSRQ par rapport à l'algorithme A3RSRP ce qui confirme que les résultats du deuxième algorithme sont plus précis.



**Figure 3. 15 : Comparaison RSRP Vs RSRQ,
Nombre de paquets perdus en fonction de la vitesse**

3.5.4 Nombre de Handover en fonction de la vitesse de déplacement de l'UE :

Dans ce cas nous avons étudié l'influence de la vitesse sur le nombre de Handover. Nous considérons pour cela, une UE qui se déplace avec des vitesses différentes et une HeNB avec une puissance d'émission de 10 dBm (10Wats) et une durée de simulation de 50s.

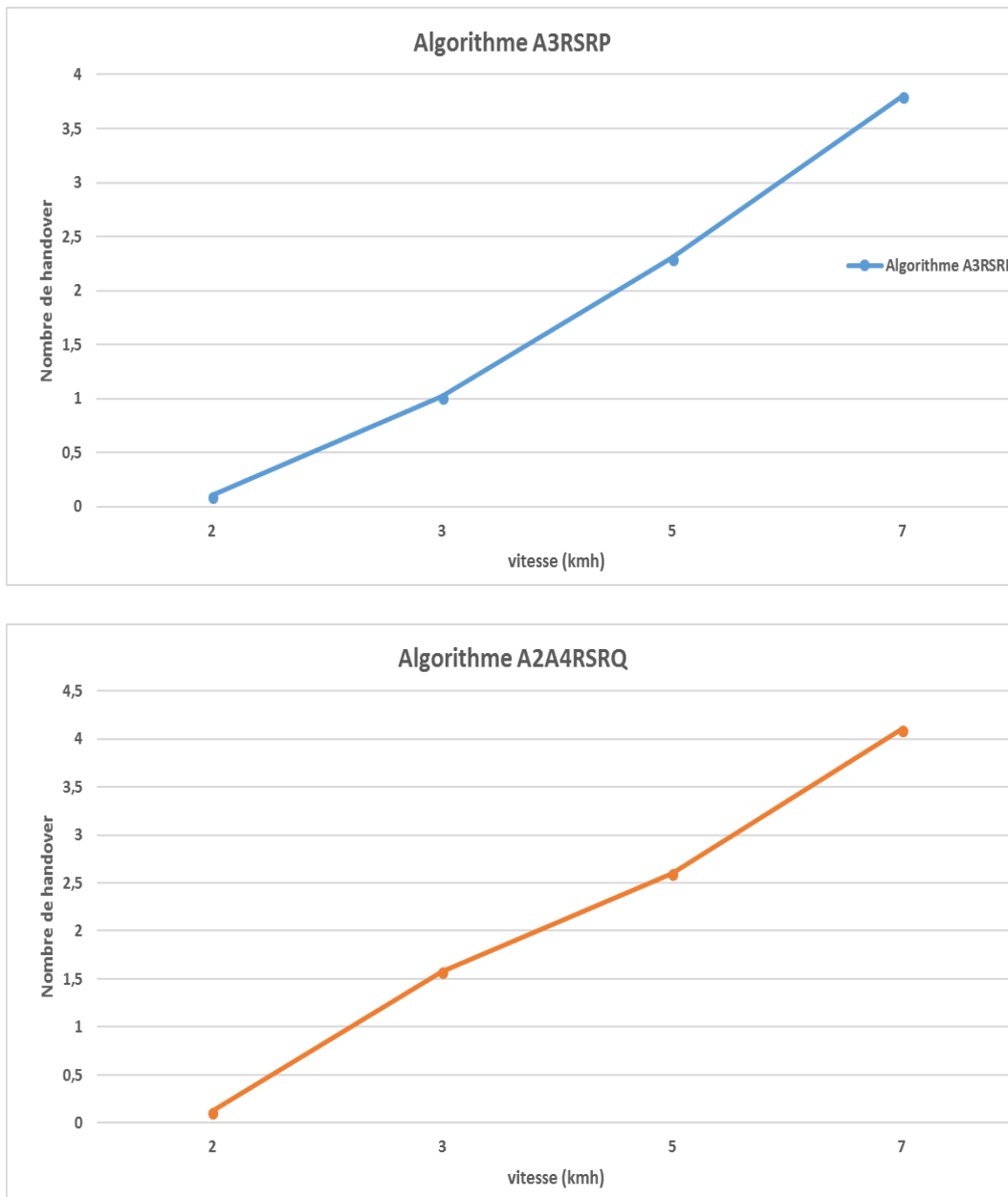
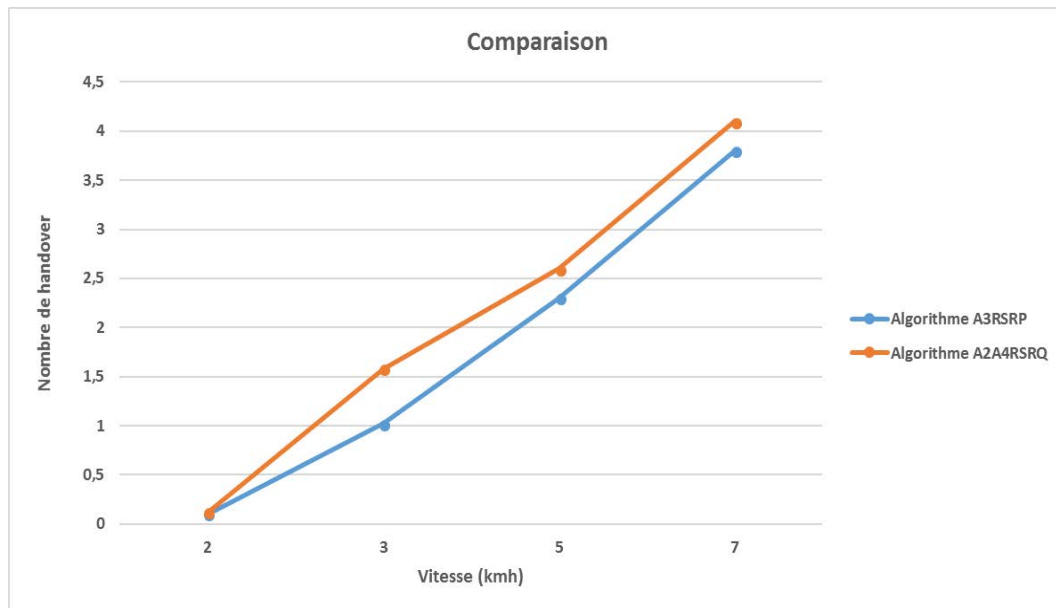


Figure 3.16 : Nombre de Handover en fonction de la vitesse

Les résultats des simulations montrent que le nombre de Handover effectué est proportionnel à la vitesse de déplacement de l'UE. Cela est dû, d'un côté, au fait que la puissance rayonnée par la femtocellule est plus faible que celle rayonnée par la macrocellule, et d'un autre côté au fait que le déplacement de l'UE est en direction de la macrocellule.

Sur la figure 3.17, on peut clairement voir que les performances des deux algorithmes sont équivalentes pour une vitesse de 2km/h, mais au-dessus de cette vitesse l'algorithme A3RSRP est plus performant.



**Figure 3. 17 : Comparaison RSRP Vs RSRQ
Nombre de Handover en fonction de la vitesse**

Lors de ces simulations nous avons remarqué, à partir des données brutes enregistrées, une augmentation très importante du phénomène du ping-pong entre la femtocellule et la macrocellule. Cela peut s'expliquer par le fait que les algorithmes étudiés ne sont pas adaptés à la gestion du Handover femtocellule/macrocellule mais plutôt adaptés au Handover macrocellule/macrocellule. La solution sera d'ajouter d'autres paramètres pour ajuster le Handover et limiter cet effet du ping-pong. Par exemple utiliser la vitesse de l'utilisateur comme critère de décision, cela a été proposé dans plusieurs travaux [10].

3.5.5 Influence de l'hystérésis du TTT sur les performances de l'algorithme RSRQ

Dans cette dernière simulation nous étudions l'influence des paramètres TTT (time to trigger) et l'hystérésis sur le nombre de paquets perdus lors du Handover lors de l'utilisation de l'algorithme RSRQ.

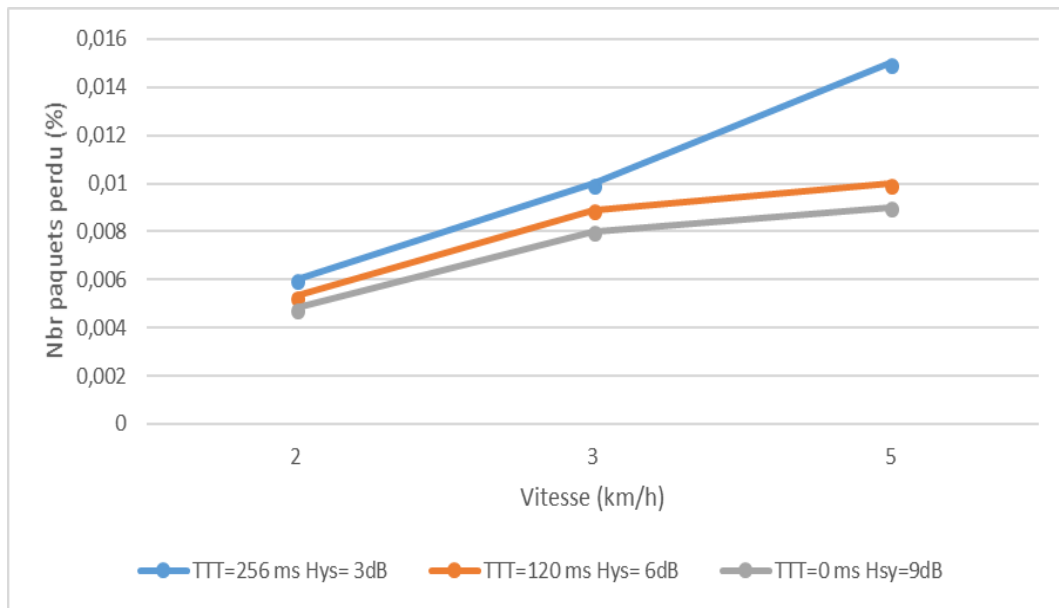


Figure 3.18 : Nombres de paquets perdus en fonction de la vitesse et du TTT/hystérésis.

La figure 3.18 représente le nombre de paquet perdu en fonction de la vitesse, le TTT et l’hystérésis. On observe que le nombre de paquets perdu est proportionnel à la vitesse de déplacement de l’UE et inversement proportionnel au couple TTT/hystérésis. Pour des faibles vitesses le couple TTT/hystérésis n’a pas, pratiquement, d’effet sur le nombre de paquet perdu. Mais avec l’augmentation de la vitesse l’effet est net.

3.6 Conclusion

Le but de ce chapitre était d’évaluer les performances du Handover dans réseau LTE avec déploiement de femtocellules, en utilisant le logiciel NS-3. Pour cela, on a commencé par la présentation du simulateur NS-3, son installation, sa configuration et son exécution.

Notre action s’est portée, par la suite, sur l’analyse des performances de deux algorithmes différents pour l’exécution du Handover. Dans ce contexte nous avons simulé l’influence de différents paramètres sur les algorithmes du Handover.

Conclusion générale

Le LTE est une technologie sans fil, elle dispose d'un ensemble de techniques hertziennes permettant de connecter un utilisateur distant au réseau IP par l'intermédiaire d'un lien radio.

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 femto. 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 macrocellule et assure une meilleure qualité de service (QoS). 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.

En utilisant l'architecture basée sur les femtocellules Les utilisateurs mobiles bénéficieront de très hauts débits et pourront télécharger des vidéos en haute définition, jouer et surfer sur internet depuis leur mobile beaucoup plus rapidement. Pour les opérateurs, c'est une opportunité unique pour lancer de nouveaux services et augmenter le chiffre d'affaires moyen par client.

Dans la première partie de notre travail, nous avons réalisé une étude théorique sur la technologie 4G LTE (Long Term Evolution) et sur la nouvelle technologie des femtocellules.

Comme la gestion de mobilité est un facteur impactant dans les réseaux cellulaires, nous avons présenté dans la deuxième partie de notre travail une étude détaillée sur le Handover et ses mécanismes. Par la suite nous avons évalué dans la troisième et dernière partie de ce travail les performances de quelques algorithmes de Handover au sein d'un réseau LTE basé sur une architecture femtocellule en utilisant le simulateur NS-3.

Les résultats obtenus montrent que les algorithmes habituellement utilisés pour gérer la mobilité dans les réseaux LTE macrocellulaire donnent de bons résultats. Toutefois, on a remarqué que ces algorithmes souffrent d'un grand problème qui est l'augmentation de l'effet ping-pong lors des Handovers entre la femtocellule et la macrocellule. Cet effet engendre de grande perte d'énergie pour les opérateurs.

Plusieurs solutions peuvent être proposées pour résoudre ce problème, notamment l'implémentation de nouvelles procédures de Handover, mais le plus judicieux serait d'apporter des modifications aux algorithmes déjà implémentés, comme par exemple l'ajustement du Handover par un seuil de la vitesse de déplacement des UEs.

GLOSSAIRE

2G : le système mobile précédent de la nouvelle génération (exemple GSM).

3G Système mobile de troisième génération. Ces réseaux permettront d'accéder à une large gamme de services nouveaux, au premier rang desquels un accès rapide à Internet grâce à l'introduction progressive dans les réseaux mobiles de la technologie de commutation par paquets.

3GPP : est une coopération entre organismes de standardisation en télécommunications qui produit et publie les spécifications techniques pour les réseaux mobiles de 3e (3G) et 4e générations (4G). Elle assure par ailleurs la maintenance et le développement de spécifications techniques pour les normes mobiles de la famille GSM, notamment pour le GPRS, l'EDGE, l'UMTS, le LTE et le LTE Advanced.

4G : quatrième génération

A

ADSL : Asymmetric Digital Subscriber Line

API : Interface de Programmation Applicative

ARPU : Revenu moyen par unité

B

BER : Bit Error Ratio

BLER : Block Error Rate

C

CDMA : Code Division Multiple ACcess

CDMA2000 : Code Division Multiple Access

CIR : Rapport porteuse sur interférence

CPC: Continuous Packet Connectivity

CPICH : Common Pilot Indicator Channel

CRS : Cell-specific Reference Signal

Cygnus : est une collection de logiciels libres à l'origine développés par Cygnus Solutions permettant à différentes versions de Windows de Microsoft d'émuler un système Unix.

D

DiffServ : Differentiated Services.

DL: Down Link

E

ELAA : Embedded Linux & Android Alliance.

eNB : evolved NodeB

EPC : Evolved Packet Core

eUTRAN : EvolvedUTRAN.

F

FAI : Fournisseur d'Accès à Internet.

FBSS : Fast Base Station Switching

FDD : Frequency Division Duplexing.

FMIPv6 : Fast Handovers for Mobile Internet Protocol version 6

FreeBSD : est un système d'exploitation UNIX libre. Le nom vient de l'association d'une part de free qui signifie à la fois « libre » et « gratuit » dans l'anglais courant, et d'autre part de Berkeley software distribution (BSD), l'UNIX développé à l'université de Berkeley.

FTTH : Fiber To The Home

G

GNU : C'est un projet de système d'exploitation libre lancé en 1983 par Richard Stallman, puis maintenu par le projet GNU. Son nom est un acronyme récursif qui signifie en anglais "GNU's Not UNIX ". Il reprend les concepts et le fonctionnement d'UNIX. Le système GNU permet l'utilisation de tous les logiciels libres, pas seulement ceux réalisés dans le cadre du projet GNU.

GPLv2 : General Public License version 2

GPRS : General Packet Radio Service

GSM : Global System for Mobile

GTP-C : GPRS Tunneling Protocol-Control plane

GTP-U : GPRS Tunneling Protocol-User plane

H

HDTV : High Definition TV

HMIPv6 : Hierarchical Mobile IPv6

HO : Handover

HSDPA : High Speed Downlink Packet Access

HSPA : High Speed Packet Access

HUDPA : High Speed Uplink Packet Access

I

IMS : Ip Multimedia System

IP : Internet Protocole

L

LTE : Long Term Evolution

M

MAC : Selon le contexte, Medium Access Control ou Message Authentication Code

MAHO : Mobile Assisted Handover,

MCHO : Mobile Controlled Handover Decision

MIH : Media Independent Handover

MIMO : Multi Input Multi Output.

MIPv4 : Mobilité Internet Protocol version 4

MIPv6 : Mobilité Internet Protocol version 6

MS : Mobile Station

mSCTP : mobile Stream Control Transmission Protocol

N

NAHO : mobile initiated but Network Assisted Handover

NCHO : Network Controlled Handover Decision.

NIST : National Institute of Standards and Technology

NS-3 : Network Simulateur

NTT Docomo : est l'opérateur mobile numéro un du marché au Japon.

O

OFDM : Orthogonal frequency-division multiplexing.

OFDMA : Orthogonal frequency-division multiple access.

OSI : Open Systems Interconnection model

Q

QAM : Quadrature Amplitude Modulation

QoS : Quality of Service.

QPSK : Quadrature Phase Shift Keying

R

RAT : Radio Access Technologies

RB : Radio Bearer

RE : Resource Element

RRM : Radio Resource Management

RS : Reference Signal

RSCP : Reference Signal Code Power.

RSRP : Reference Signal Received Power.

RSRQ : Reference Signal Received Quality.

RSS : Received Signal Strength

RSSI : Received Signal Strength Indicator

S

SC-FDMA : Single Carrier - Frequency Division Multiple Access.

SCTP : Stream Control Transmission Protocol

SINR: Signal Interference Noise Ratio

SIP : Session Inttiation Proto col

SNR : Noise Ratio du signal.

SRS : Sounding Reference Signal

T

TCP : Transmission Control Protocol

TDD : Time Division Duplexing.

TTT : Time-To-Trigger.

TV : TéléVision

U

UE : User Equipement

UL : Up Link

UMTS : Universal Mobile Telecommunications System

W

WCDMA : Wideband Code Division Multiple Access.

WIFI : Wirless Fidelity.

WIMAX : Worldwide Interoperability for Microwave Access.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] BOUCHENTOUF Hadjer and Riyad BOUDGHENE STAMBOULI, ETUDE DES PERFORMANCES DES RESEAUX 4G (LTE), JUIN 2013, Université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen.
- [2] FUTURA TECH. [Online]. <https://www.futura-sciences.com/tech/definitions/technologie-4g-14703/>
- [3] François Xavier Wolff Yannick Bouguen Eric Hardouin, *LTE et les Réseaux 4G*, Sandrine Escobar, Ed.
- [4] Joseph Boccuzzi Michael Ruggiero, *FEMTOCELLS Design & Application*.
- [5] Mostafa Zaman Chowdhury Yeong Min Jang et Zygmunt J. Haas, "NETWORK EVOLUTION AND QOS PROVISIONING FOR INTEGRATED FEMTOCELL/MACROCELL NETWORKS," *International Journal of Wireless & Mobile Networks (IJWMN)*, Août 2010.
- [6] Frédéric Launay. [Online]. <https://http://blogs.univ-poitiers.fr/f-launay/tag/rss/>
- [7] José Bruno Iñiguez Chavarría, LTE Handover Performance Evaluation Based on Power Budget Handover Algorithm, February 2014, Université polytechnique barcelanTECH.
- [8] Robert Bestak, Melvi Ulvan Ardian Ulvan, "Handover Scenario and Procedure in LTE-based Femtocell Networks," in *The Fourth International Conference on Mobile Ubiquitous Computing, Systems, Services and Technologies*, 2010.
- [9] Umar Danjuma Maiwada, "A Discussion on Macrocell-Femtocell LTE Network Handover Decision Algorithm," *American Journal of Computer Science and Engineering*, 2017.
- [10] Olusegun O. Omitola and Viranjay M. Srivastava, "A Robust Speed-Based Handover Algorithm for Dense Femtocell/Macrocell LTE-A Network and Beyond," *JOURNAL OF TELECOMMUNICATION ,Electronic and computer Engineering (JTEC)*, 2016.
- [11] MISSOUM Fatima Zohra & OUAHIANI Malek Fatima Zahra, Etude de Handover intra-LTE sous le simulateur NS3, Mai 2016, Université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen, Mars 2018.
- [12] R4-092042, "Simulation assumptions and parameters for FDD HeNB RF requirements", Alcatel-Lucent, picoChip Designs, Vodafone.

