

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 : Télécommunication

Spécialité : Réseaux mobiles et services de télécommunication

Par : MISSOUM Fatima Zahra et OUAHIANI Malek Fatima Zahra

Sujet

ETUDE DE HANOVER INTRA-LTE SOUS NS3

Soutenu publiquement, le 25/ 05 / 2016 , devant le jury composé de :

Mr. HADJILA. M

Mr. BOUABDALLAH. R

Mr. BOUACHA. A

M.C.B à l'Université de Tlemcen

M.A.A à l'Université de Tlemcen

M.C.A à l'Université de Tlemcen

Président

Examineur

Encadreur

Dédicaces

- A coeur vaillant rien d'impossible
- A conscience tranquille tout est accessible
- Quand il y a la soif d'apprendre
- Tout vient à point à qui sait attendre
- Quand il y a le souci de réaliser un dessein
- Tout devient facile pour arriver à nos fins
- Malgré les obstacles qui s'opposent
- En dépit des difficultés qui s'interposent
- Les études sont avant tout
- Notre unique et seul atout
- Ils représentent la lumière de notre existence
- L'étoile brillante de notre réjouissance
- Comme un vol de gerfauts hors du charnier natal
- Nous partons ivres d'un rêve héroïque et brutal
- Espérant des lendemains épiques
- Un avenir glorieux et magique
- Souhaitant que le fruit de nos efforts fournis
- Jour et nuit, nous mènera vers le bonheur fleuri
- Aujourd'hui, ici rassemblés auprès des jurys,
- Nous prions dieu que cette soutenance
- Fera signe de persévérance
- Et que nous serions enchantés
- Par notre travail honoré

JE dédie ce travail

A mon très cher Père Ahmed

Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour vous.

Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien être.

Vous représentez pour moi l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi.

Ce travail est le fruit de vos sacrifices que vous êtes consentis pour mon éducation et ma formation.

A ma très chère mère Rabea

Affable, honorable, aimable : Vous représentez pour moi le symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse, Vos prières et vos bénédictions m'ont été d'un grand secours pour mener à bien mes études.

Aucune dédicace ne saurait être assez éloquente pour exprimer ce que vos mérites pour tous les sacrifices que vous n'as cessé de me donner depuis ma naissance, durant mon enfance et même à l'âge adulte.

Vous avez fait plus qu'une mère puisse faire pour que ses enfants suivent le bon chemin dans leur vie et leurs études.

Je vous dédie ce travail en témoignage de mon profond amour. Puisse Dieu, le tout puissant, vous préserver et vous accorder santé, longue vie et bonheur.

A mon très cher frère Redouane

Mon cher petit frère présent dans tous mes moments d'examens par son soutien moral et ses belles surprises sucrées.

Je te souhaite un avenir plein de joie, de bonheur, de réussite et de sérénité.

Je t'exprime à travers ce travail mes sentiments de fraternité et d'amour.

A la mémoire de mon très cher frère Mourtada Que Dieu bénisse son âme**A ma deuxième mère KHADIDJA,
et mes chères sœurs**

Vous m'avez accueilli à bras ouverts dans votre famille.
En témoignage de l'attachement, de l'amour
que je porte pour vous.

Votre affections et votre soutiens m'ont été d'un grand secours au long de ma vie professionnelle et personnelle.
Veuillez trouver dans ce modeste travail ma reconnaissance pour long de ma vie professionnelle et personnelle.
tous vos efforts avec tous mes vœux de bonheur,
de santé et de réussite.

**A ma grand-mère maternelle,
la grande dame qui a tant sacrifié pour nous.**

A la mémoire de mon grand-père maternel et mes grands-parents paternels.

A tous les membres de ma famille, petits et grands

spécialement à mes cousins et mes cousines
La source de mon sourire.

Veuillez trouver dans ce modeste travail l'expression de mon affection la plus sincère.

A Mr Rachid MERZOUGUI Et Mr Mourad LOUCIF

Pour leurs présences, leurs soutiens et leurs conseils,

A mes chers ami (e)s

Meriyem, Selsabil, Wafa, Amina, Haféda, Imène, Houda,
Fatima, Imène, Bouchra, Chahinez,
Bedro, Mohammed, Ilias, Sidahmed, Younes.

Et à tous mes collègues

Je ne peux trouver les mots justes et sincères pour vous
exprimer mon affection et mes pensées, vous êtes pour moi des
frères, surs et des amis sur qui je peux compter.

En témoignage de l'amitié qui nous uni et des souvenirs de
tous les moments que nous avons passé ensemble, je vous dédie
ce travail et je vous souhaite une vie pleine de santé et de
bonheur.

OUAHIANI Mellek Fatima Zahra
Tlemcen, le 25 mai 2016

Dédicaces

- A coeur vaillant rien d'impossible
- A conscience tranquille tout est accessible
- Quand il y a la soif d'apprendre
- Tout vient à point à qui sait attendre
- Quand il y a le souci de réaliser un dessein
- Tout devient facile pour arriver à nos fins
- Malgré les obstacles qui s'opposent
- En dépit des difficultés qui s'interposent
- Les études sont avant tout
- Notre unique et seul atout
- Ils représentent la lumière de notre existence
- L'étoile brillante de notre réjouissance
- Comme un vol de gerfauts hors du charnier natal
- Nous partons ivres d'un rêve héroïque et brutal
- Espérant des lendemains épiques
- Un avenir glorieux et magique
- Souhaitant que le fruit de nos efforts fournis
- Jour et nuit, nous mènera vers le bonheur fleuri
- Aujourd'hui, ici rassemblés auprès des jurys,
- Nous prions dieu que cette soutenance
- Fera signe de persévérance
- Et que nous serions enchantés
- Par notre travail honoré

JE dédie ce travail

A mon très cher Père Si Nourdine

Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour vous.

Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien être.

Vous représentez pour moi l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi.

Ce travail est le fruit de vos sacrifices que vous êtes consentis pour mon éducation et ma formation.

A ma très chère mère lalla Ghaoutia

Affable, honorable, aimable : Vous représentez pour moi le symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse, Vos prières et vos bénédictions m'ont été d'un grand secours pour mener à bien mes études.

Aucune dédicace ne saurait être assez éloquente pour exprimer ce que vos mérites pour tous les sacrifices que vous n'as cessé de me donner depuis ma naissance, durant mon enfance et même à l'âge adulte.

Vous avez fait plus qu'une mère puisse faire pour que ses enfants suivent le bon chemin dans leur vie et leurs études.

Je vous dédie ce travail en témoignage de mon profond amour. Puisse Dieu, le tout puissant, vous préserver et vous accorder santé, longue vie et bonheur.

A ma très chère sour Safia Nafissa

En témoignage de l'attachement, de l'amour et de
l'affection que je porte pour toi.

Je te remercie pour ton hospitalité sans égal et
t'affection si sincère.

Je te dédie ce travail avec tous mes vux de
bonheur, de santé et de réussite.

A mon très cher frère Mohammed Amine

Mon cher frère les mots
ne suffisent guère pour exprimer l'attachement, l'amour
et l'affection que je porte pour vous.

Mon ange gardien et mon fidèle compagnon dans
les moments les plus délicats de cette vie mystérieuse.

Je vous dédie ce travail avec tous mes vux de
bonheur, de santé et de réussite.

A mes très chers frères Cheikh Abdelmalik et Mohammed el habib

Mon cher petit frère présent dans tous mes
moments d'examens par son soutien moral et ses belles
surprises sucrées.

Je te souhaite un avenir plein de joie, de bonheur, de
réussite et de sérénité.

Je t'exprime à travers ce travail mes sentiments de
fraternité et d'amour.

**A mes très chers oncles Rachid, Nasredine, Boumedienne,
Abdelghani et leurs familles,**

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.

Veillez trouver dans ce modeste travail ma reconnaissance pour
tous vos efforts.

A ma grand-mère maternelle lala Saadia

A la mémoire de la grande dame qui a tant sacrifié
pour nous.

A tous les membres de ma famille, petits et grands

Veillez trouver dans ce modeste travail l'expression de mon
affection.

A Mr Rachid MERZOUGUI Et Mr Mourad LOUCIF

Pour leurs présences, leurs soutiens et leurs conseils,

A mes chers ami (e)s

OUAIHANI Mellek Fatima Zohra, MEGHRAOUI Imene, TAIBI Meryem,
MOHAMEDI Djahida, SGHIER Shahinez, FOUR Imene, GUELLIL Bouchra
, et ma chère Sara,
Badr, Mohamed, sidahmed, youness, ilias.

Et mes chers collègues

Je ne peux trouver les mots justes et sincères pour vous
exprimer mon affection et mes pensées, vous êtes pour moi des
frères, surs et des amis sur qui je peux compter.

En témoignage de l'amitié qui nous uni et des souvenirs de
tous les moments que nous avons passé ensemble, je vous dédie
ce travail et je vous souhaite une vie pleine de santé et de
bonheur.

MISSOUM Fatima Zahra
Tlemcen, le 25 mai 2016

Remerciements

Nous remercions tout d'abord, Dieu le tout puissant de nous avoir donné le privilège et la chance d'étudier et de suivre le chemin des technologies de la télécommunication.

**A notre maître et encadreur de thèse Mr le professeur BOUAACHA
Abdelhafid.**

Vous avez bien voulu nous confier ce travail riche d'intérêt et nous guider à chaque étape de sa réalisation.

Vous nous avez toujours réservé le meilleur accueil, malgré vos obligations professionnelles.

Vos encouragements inlassables, votre amabilité, votre gentillesse méritent toute admiration.

Nous saisissons cette occasion pour vous exprimer notre profonde gratitude tout en vous témoignant notre respect.

A notre maître le président des jurys Mr HADJILA. M

Vous nous faites l'honneur d'accepter avec une très grande amabilité de siéger parmi notre jury de thèse.

Veillez accepter ce travail maître, en gage de notre grand respect et notre profonde reconnaissance.

A notre examinateur et juge de mémoire Mr BOUABDALLAH. R

Vous nous avez honorés d'accepter avec grande sympathie de siéger parmi notre jury de thèse.

Veillez trouver ici l'expression de notre grand respect et nos vifs remerciements.

OUAHIANI Malak Fatima Zahra
MISSOUM Fatima Zahra
Tlemcen, le 25 mai 2016

Résumé

La norme LTE est la norme de communication mobile qui est proposée par l'organisme 3GPP dans le contexte de la 4G. Le LTE définit l'évolution technologique des réseaux de télécommunications cellulaires pour les années à venir. Il propose des débits élevés, et un meilleur niveau de QoS pour ses abonnés.

Ce travail présente une vue d'ensemble technique du Long Term Evolution (LTE), son architecture, ses caractéristiques et ses performances. Une étude détaillée des mécanismes du handover est abordée. Le document fournit aussi l'implémentation des mécanismes du handover sous Network Simulator NS-3.

Abstract

LTE is a mobile communication standard proposed by the 3GPP organization in the context of 4G technology. LTE defines the technological evolution of mobile telecommunications networks for the next years. LTE allow to subscribers high flow rates and a higher level of QoS.

This work presents a technical overview of Long Term Evolution (LTE), architecture, structures and performance. Full study of the is discussed. The document also provides handover mechanism implementation in Network Simulator NS-3.

ملخص

قمنا في هذه الدراسة بتقديم تكنولوجيا LTE كأحدث معيار للاتصالات المتنقلة في سياق الجيل الرابع 4G ، والتي تمكن من نقل البيانات بسرعة عالية جدا، مع مدى واسع، بأقل كمون وبتنقل أثناء الاتصال. وقد عملنا على تنفيذ سيناريوهات التنقل داخل شبكة LTE عن طريق محاكي الشبكة NS3 ، الذي يمثل جهدا جديدا لتطوير البرمجيات الجديدة ، التي تحتوي على ميزات مبتكرة تسمح بدراسة سلوك الشبكة ذات طوبولوجيا وخصائص محددة مع مرونة كبيرة .

TABLE DES MATIÈRES

DÉDICACES	i
DÉDICACES	v
REMERCIEMENTS	ix
GLOSSAIRE	xvii
INTRODUCTION GÉNÉRALE	1
I ETUDE DU RÉSEAU 4G/LTE	3
I.1 INTRODUCTION	4
I.2 PROCESSUS DE NORMALISATION DU LTE	4
I.2.1 Présentation du 3GPP	4
I.2.2 Historique de normalisation du LTE	6
I.3 EXIGENCES POUR LA NORME LTE [18]	6
I.3.1 Capacité en nombre d'utilisateurs simultanés	6
I.3.2 Efficacité spectrale cellulaire	7
I.3.3 Débits	7
I.3.4 Latence	7
I.3.5 Agilité en fréquence	8
I.3.6 Mobilité	8
I.3.7 Atteinte des exigences	8
I.4 ARCHITECTURE DE LA TECHNOLOGIE LTE [16]	9
I.4.1 EPC (Evolved Packet Core) [9]	10
I.4.2 La partie radio E-UTRAN	11
I.4.3 Partie IMS	12
I.5 LES INTERFACES DE TECHNOLOGIE LTE [5]	13
I.5.1 Les interfaces réseau de l'E-UTRAN	14
I.5.1-a Interface S1	15
I.5.1-b Interface X2	16
I.6 LES CANAUX [13]	17
I.6.1 Le concept de canal	17
I.6.2 Les canaux logiques	18
I.6.3 Les canaux de transport	20
I.6.4 Les canaux physique	21
I.6.5 Association des différents canaux	23

I.7	COUCHES DE LA TECHNOLOGIE LTE	24
I.7.1	Couche NAS (non Access Stratum)	25
I.7.2	Couche RRC (Radio Resource Control)	25
I.7.3	Couche PDCP (Packet Data Convergence Protocol)	26
I.7.4	Couche RLC (Radio Link Control)	26
I.7.5	La couche MAC (Medium Access Control) de LTE	26
I.7.5-a	Ordonnancement	26
I.7.5-b	La technique de retransmission HARQ	27
I.7.5-c	La recherche des cellules	27
I.7.5-d	Contrôle de l'énergie	27
I.7.5-e	Le protocole ARP (Allocation and Retention Priority)	27
I.7.6	La couche physique de LTE [13]	27
I.7.7	Etude de la couche physique	28
I.7.7-a	Principe OFDMA [4]	29
I.7.7-b	SC-FDMA [1]	30
I.7.8	La technologie MIMO dans LTE [5]	31
I.7.9	Trames radio LTE	31
I.7.9-a	Le mode FDD	32
I.7.9-b	Le mode TDD	32
I.8	CONCLUSION	33
II	MÉCANISME DE HANDOVER INTRA-LTE	34
II.1	INTRODUCTION	35
II.2	HANDOVER	35
II.3	NÉCESSITÉ DU HANDOVER [14]	35
II.4	DIFFÉRENTS TYPES DU HANDOVER	36
II.4.1	Mobile Controlled Handover Decision (MCHO)	36
II.4.2	Network Controlled Handover Decision (NCHO)	36
II.5	LES TECHNIQUES DU HANDOVER	37
II.6	NIVEAU DU HANDOVER	38
II.7	PROCESSUS DU HANDOVER	39
II.7.1	Phase I : Initiation du Handover et collecte d'informations	39
II.7.2	Phase II : Sélection du réseau destination	39
II.7.3	Phase III : Exécution du Handover	39
II.8	HANDOVER INTRA ET INTER LTE [17]	40
II.8.1	Handover Intra-LTE (Intra-MME / SGW) utilisant l'interface X2	40
II.8.2	Handover Intra-LTE (Intra-MME/SGW) utilisant l'Interface S1	43
II.8.3	Handover Inter-MME (sans changer S-GW) utilisant l'interface S1	44
II.8.4	Handover Inter-MME/SGW Utilisant l'interface S1	45
II.8.5	Handover Inter-RAT : E-UTRAN / UTRAN (le mode Iu)	46
II.9	ETUDE DÉTAILLÉE DU HANDOVER INTRA-LTE [19]	48
II.9.1	La phase de mesures	48
II.9.1-a	La détection des cellules voisines LTE	49
II.9.1-b	Mesures intra-fréquences et inter-fréquences	49
II.9.1-c	Configuration et remontée des mesures	50

II.9.1-d	Mesures en mode DRX	51
II.9.2	La phase de préparation	52
II.9.3	La phase d'exécution	54
II.9.4	La gestion du plan usager	54
II.9.4-a	Le transfert de données descendantes vers l'eNodeB cible	55
II.9.4-b	Les rapports de réception	57
II.9.5	Procédure de rétablissement (en cas d'échec)	59
II.9.6	La perte du lien radio et le rétablissement de connexion en LTE	59
II.9.6-a	La détection de la perte de lien radio	59
II.9.6-b	Le rétablissement de la connexion RRC	60
II.9.7	Vitesse de déplacement et mobilité	62
II.10	LES PERFORMANCES DE L'UE EN HANDOVER	63
II.11	CONCLUSION	63
III	ETUDE DE HANDOVER INTRA-LTE SOUS NS3	64
III.1	INTRODUCTION	65
III.2	MESURES DU HANDOVER [8]	65
III.2.1	Signal de référence de la puissance reçue (RSRP)	65
III.2.2	Signal de référence de la qualité reçu (RSRQ) [2]	67
III.2.3	Mesure de la qualité du signal radio et la puissance reçue réalisée au niveau de la couche physique [8]	68
III.3	PARAMÈTRES DU HANDOVER [8]	69
III.3.1	Niveau de seuil de l'initiation du Handover RSRP et RSRQ	69
III.3.2	La marge d'hystérésis	69
III.3.3	Time-to-Trigger (TTT)	69
III.3.4	La longueur et la forme de la fenêtre moyenne	70
III.4	SIMULATEUR NS3 [7]	71
III.4.1	Description du NS3	71
III.4.2	Modules du simulateur NS3	71
III.4.3	Etapes de l'installation sous NS3	74
III.4.3-a	Ressources	74
III.4.3-b	Installation de NS3 sous Ubuntu	74
III.5	DÉROULEMENT DE LA SIMULATION	78
III.5.1	Indicateurs utilisés dans notre simulation	80
III.6	RÉSULTATS DE SIMULATIONS	80
III.6.1	Algorithme A2-A4RSRQ	80
III.6.2	Algorithme A3RSRP	82
III.6.3	Résultats	82
III.7	CONCLUSION	90
	CONCLUSION GÉNÉRALE	91
	BIBLIOGRAPHIE	94

Liste des tableaux

I.1	Canaux logiques fournis par la couche MAC [13]	19
I.2	Canaux de transport fournis par la couche physique	20
I.3	Canaux physiques pour la voie montante	21
I.4	Canaux physiques pour la voie descendante.	22
II.1	Niveau du Handover [14]	38

TABLE DES FIGURES

I.1	Architecture générale du LTE	9
I.2	Architecture d'EPS (Evolved Packet System)	9
I.3	Architecture d'EPC (Evolved Packet Core)	10
I.4	Architecture de la partie radio E-UTRAN	12
I.5	Architecture de l'EPS Les connectivités dans le plan usager et contrôle [5]	13
I.6	Le modèle d'une interface E -UTRAN [5]	14
I.7	Les canaux de l'interface radio LTE et leurs imbrications [13]	18
I.8	Association entre canaux logiques, de transport et physiques en voie montante	23
I.9	Association entre canaux logiques, de transport et physiques en voie descen- dante	23
I.10	Architecture LTE : plan de contrôle [3]	24
I.11	Architecture LTE au plan de données utilisateur	24
I.12	Fonctionnement de la couche RRC	25
I.13	Modulations radio OFDMA et SC-FDMA : codage et conversions numé- rique/analogique	29
I.14	Modulation SC-FDMA comparée à l'OFDMA	30
I.15	Présentation général du système MIMO	31
I.16	La trame LTE	32
I.17	Méthode de Duplexage en Fréquence (FDD)	32
I.18	Méthode de Duplexage en Temps (TDD)	32
II.1	Principes du soft handover et du hard handover	37
II.2	Processus du Handover	40
II.3	Handover Intra-LTE via l'interface X2	41
II.4	Handover Intra-LTE (Intra-MME/SGW) via l'interface S1	43
II.5	Handover Inter-MME (intra SGW)	44
II.6	Inter-MME / SGW Handover	46
II.7	Inter RAT LTE/UMTS Handover : phase de préparation	46
II.8	Inter RAT LTE/UMTS Handover : phase d'exécution.	48
II.9	Deux cellules intra-fréquences ont la même fréquence centrale	50
II.10	Mode DRX	51
II.11	Diagramme de flux du handover LTE via l'interface X2	53
II.12	Gestion du plan usager lors du Handover en LTE	56
II.13	Rapport de réception par l'UE pour éviter les doublons PDCP	58
II.14	Les étapes dans la perte du lien radio	60
II.15	Cinématique pour le rétablissement de la connexion RRC	62

III.1 La position des signaux de référence dans un RB (Ressource de Base) [2] . . .	66
III.2 Procédure de déclenchement du handover [8]	70
III.3 Les modules de simulateur NS3 [7]	72
III.4 Interface graphique Ubuntu 14.04 LTS	75
III.5 Une console dans une interface graphique	77
III.6 Module ns-3	77
III.7 Etape de réalisation de la simulation	78
III.8 Etapes pour la simulation sous NS3	79
III.9 Réseau LTE test	80
III.10Algorithme de handover A2-A4-RSRQ	81
III.11SINR en fonction de la vitesse	82
III.12Comparaison RSRP Vs RSRQ (SINR en fonction de la vitesse)	83
III.13SINR en fonction de la distance	84
III.14Comparaison RSRP Vs RSRQ (SINR en fonction de la distance)	84
III.15SINR en fonction des puissances d'émission	85
III.16Comparaison RSRP Vs RSRQ (SINR en fonction de la puissance d'émission)	86
III.17Nombre de paquets perdus en fonction de la vitesse	86
III.18Comparaison RSRP Vs RSRQ (Nombre de paquets perdus en fonction de la vitesse)	87
III.19Nombre de handover en fonction de la vitesse	88
III.20Comparaison RSRP Vs RSRQ (Nombre de handover en fonction de la vitesse)	88
III.21SNIR en fonction de la vitesse et du TTT/hystérésis	89
III.22Nombres de paquets perdus en fonction de la vitesse et du TTT/hystérésis .	89

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.

B

BER : Bit Error Ratio.

C

CDMA : Code Division Multiple Access.

CIR : Rapport porteuse sur interférence.

CPICH : Common Pilot Indicator Channel.

D

Diffserv : Differentiated Services.

DRX : c'est le mode connecter.

E

EPC : Evolved Packet Core.

EPS : Evolved Packet System.

E-UTRAN : EvolvedUTRAN.

F

FDD : Fréquence Division Duplexing.

FEC : Forward Error Correction.

FUSC : Full Usage of Subchannels.

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.

GPRS : General Packet Radio Service.

GSM : Global System for Mobile.

GTP : GPRS Tunneling Protocol.

H

HARQ : Hybrid Automatic Repeat reQuest.

HSOPA : High Speed OFDM Packet Access.

L

LTE : Long Term Evolution.

M

MAC : Medium Access Control.

MCHO : Mobile Controlled Handover Decision.

MIMO : Multi Input Multi Output.

MISO : Multiple Input Single Output.

N

NAS : Non Access Stratum signalling.

NCHO : Network Controlled Handover Decision.

NDS/IP : Network Domain Security for IP.

NSS : Network switching subsystem.

NS3 : Network Simulateur 3.

NTT DoCoMo : Nippon Télécom and télégraph, et l'abréviation de la phrase Do Communications over the Mobile Network.

O

OFDM : Orthogonal frequency-division multiplexing.

OFDMA : Orthogonal frequency-division multiple access.

P

PDU : Protocol Data Unit

PDCCP : Packet Data Convergence Protocol.

Pool area : Une piscine est une zone dans laquelle un UE peut se déplacer sans avoir besoin de changer le nud S-GW . Toutes les cellules commandées par un contrôleur MME appartiennent à la même (Ou plusieurs) domaine (s) de la piscine.

PUSC : Partial Usage of Subchannels.

R

RLC : Radio Link Control.

RNC : Radio Network Controller.

RRC : Radio Resource Control.

RSCP : Reference Signal Code Power.

RSRP : Reference Signal Received Power.

RSRQ : Reference Signal Received Quality.

RSSI : Received Signal Strength Indicator.

S

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

SCTP : Stream Control Transmission Protocol.

SDU : Service Data Unit.

SIMO : Single Input Multiple Output.

SINR : Signal to Interference Ratio.

SISO : Single Input Single output.

SNR : Noise Ratio du signal.

T

TDD : Time Division Duplexing.

TDMA : Time Division Multiple Access.

TTT : Time-To-Trigger.

U

UE : User Equipement.

UIT : Union International de Télécommunication.

UMTS : Universal Mobile Telecommunications System.

W

WCDMA : Wideband Code Division Multiple Access.

Wi-Fi : Wireless Fidelity.

WiMAX : Worldwide Interoperability for Microwave Access.

Introduction générale

Le succès des technologies sans fil et des communications mobiles a déterminé l'existence d'une variété de standards qui permettent aux utilisateurs d'avoir accès à un vrai Internet mobile. Chaque technologie cherche à atteindre une certaine marche, un certain type de client avec des besoins spécifiques. L'avantage d'avoir une telle diversité est que l'utilisateur a plusieurs choix du point de vue de l'accès Internet, de la bande passante et de la couverture. Dans ces conditions, l'expansion des services qui reposent sur tous ces réseaux pose des problèmes d'interconnexion et de gestion de la mobilité en spécial.

Les réseaux de quatrième génération (4G) représentent la prochaine évolution des communications sans fil et sont basés sur l'infrastructure existante, sur l'interconnexion des réseaux déjà déployés. On peut dire qu'il s'agit d'un réseau de réseaux. Ce pas évolutif semble assez naturel dans les conditions où les opérateurs ont investi beaucoup dans les réseaux de troisième génération et il y a plusieurs types de réseau à choisir.

Le réseau d'accès 4G LTE (Long Term Evolution of 3G) permet le très haut débit, une moindre latence et beaucoup d'autres services, il s'appuie sur un réseau de transport à commutation de paquet IP.

Le LTE utilise des bandes de fréquences hertziennes d'une largeur pouvant varier de 1,4 MHz à 20 MHz, permettant ainsi d'obtenir (pour une bande 20 MHz) un débit binaire théorique pouvant atteindre 300 Mbit/s en «downlink», alors que la «vraie 4G» offre un débit descendant atteignant 1 Gbit/s.

La technologie LTE repose sur une combinaison de technologies sophistiquées à même d'élever nettement le niveau de performances (très haut débit et latence) par rapport aux réseaux 3G existants. Le multiplexage OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) apporte une optimisation dans l'utilisation des fréquences en minimisant les interférences. Le recours à des techniques d'antennes multiples (déjà utilisés pour le Wi-Fi ou le WiMax) permet de multiplier les canaux de communication parallèles, ce qui augmente le débit total et la portée.

La nouvelle architecture de réseau doit intégrer des mécanismes tels que le handover qui est largement utilisé au sein d'un même système en cas de déplacement. Dans ce travail nous essayerons de comprendre et d'évaluer les performances du handover intra-LTE.

Notre étude se fera en trois étapes. Dans le premier chapitre nous réaliserons une étude générale sur l'évolution de la technologie LTE (Long Term Evolution). Dans ce cadre nous nous insisterons aux objectifs du réseau LTE, ses caractéristiques, son architecture et ses performances.

Par la suite dans le deuxième chapitre, nous nous intéressons à l'étude plus approfondie des mécanismes du handover et de ces performances. Nous y décrirons en détail les algorithmes et procédures utilisées.

La première partie du troisième chapitre sera consacrée à la présentation du simulateur NS-3 (Network Simulator), son installation et son utilisation. La deuxième partie sera consacrée à la présentation des résultats des simulations réalisées.

SOMMAIRE

I.1	INTRODUCTION	4
I.2	PROCESSUS DE NORMALISATION DU LTE	4
I.2.1	Présentation du 3GPP	4
I.2.2	Historique de normalisation du LTE	6
I.3	EXIGENCES POUR LA NORME LTE [18]	6
I.3.1	Capacité en nombre d'utilisateurs simultanés	6
I.3.2	Efficacité spectrale cellulaire	7
I.3.3	Débits	7
I.3.4	Latence	7
I.3.5	Agilité en fréquence	8
I.3.6	Mobilité	8
I.3.7	Atteinte des exigences	8
I.4	ARCHITECTURE DE LA TECHNOLOGIE LTE [16]	9
I.4.1	EPC (Evolved Packet Core) [9]	10
I.4.2	La partie radio E-UTRAN	11
I.4.3	Partie IMS	12
I.5	LES INTERFACES DE TECHNOLOGIE LTE [5]	13
I.5.1	Les interfaces réseau de l'E-UTRAN	14
I.6	LES CANAUX [13]	17
I.6.1	Le concept de canal	17
I.6.2	Les canaux logiques	18
I.6.3	Les canaux de transport	20
I.6.4	Les canaux physique	21
I.6.5	Association des différents canaux	23
I.7	COUCHES DE LA TECHNOLOGIE LTE	24
I.7.1	Couche NAS (non Access Stratum)	25
I.7.2	Couche RRC (Radio Resource Control)	25
I.7.3	Couche PDCP (Packet Data Convergence Protocol)	26
I.7.4	Couche RLC (Radio Link Control)	26
I.7.5	La couche MAC (Medium Access Control) de LTE	26
I.7.6	La couche physique de LTE [13]	27
I.7.7	Etude de la couche physique	28
I.7.8	La technologie MIMO dans LTE [5]	31
I.7.9	Trames radio LTE	31
I.8	CONCLUSION	33

I.1 Introduction

Le LTE a été envisagé dès novembre 2004 comme l'évolution à long terme de l'UMTS (d'où son nom de Long Term Evolution), lors d'un atelier organisé par le 3GPP appelé Future Evolution Workshop. Les travaux sur cette nouvelle norme ont débuté au 3GPP en janvier 2005 avec une étude de faisabilité, qui s'est conclue en septembre 2006 avec la définition des grands principes de la technologie LTE. Les travaux de spécification proprement dit se sont alors déroulés jusqu'à décembre 2008, date où la première version des spécifications a été approuvée. Le LTE est ainsi défini dans la Release 8 du 3GPP. Du fait du saut technologique qu'il représente par rapport au HSDPA, le LTE est considéré comme la norme de communication mobile la plus récente dans le contexte de la 4G. Comme l'IEEE 802.16m. On peut ainsi véritablement parler d'une révolution de l'UMTS, plutôt que d'une évolution.

À 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. Elle permet le transfert de données à très haut débit, avec une portée plus importante, un nombre d'appels par cellule supérieur (zone dans laquelle un émetteur de téléphonie mobile peut entrer en relation avec des terminaux) et une latence plus faible.

Le seul inconvénient de cette nouvelle technologie est l'installation de ses nouveaux équipements qui sont différents de ceux des normes précédentes, et le développement des terminaux adaptés.

Dans ce premier chapitre nous présentons la technologie LTE, son évolution ainsi que les principales techniques utilisées.

I.2 Processus de normalisation du LTE

À l'instar de l'UMTS, le LTE a été défini par l'ensemble des entreprises partie prenante dans le marché mondial des télécommunications mobiles, regroupées au sein du 3GPP.

I.2.1 Présentation du 3GPP

Le 3GPP est un consortium créé en 1998 à l'initiative de l'ETSI (European Telecommunications Standards Institute). Le 3GPP a pour objectif de définir des spécifications permettant l'interfonctionnement d'équipements de constructeurs différents. Contrairement à ce que son nom suggère, le champ d'activités du 3GPP ne se limite pas à la normalisation de systèmes 3G. Son rôle consiste à maintenir et développer les spécifications des systèmes [15], [11] :

- GSM/GPRS/EDGE.
- UMTS (FDD et TDD).
- LTE, ainsi que celles du réseau coeur EPC.

Le 3GPP est composé d'un groupe de coordination appelé PCG (Project Coordination Group) et de différents groupes de spécifications techniques appelés TSG (Technical Specification Groups). On retrouve quatre TSG au sein du 3GPP :

- le CT (Core Network and Terminals) qui normalise les interfaces du terminal ainsi que ses capacités et est également en charge de la normalisation des réseaux coeur des systèmes 3GPP.
- le GERAN (GSM/EDGE Radio Access Network) qui développe l'accès radio GSM/EDGE et les interfaces associées permettant l'interconnexion avec les réseaux d'accès UMTS et LTE.
- le RAN (Radio Access Network) qui est en charge des spécifications des réseaux d'accès UMTS et LTE.
- le SA (Services and System Applications) qui définit les services ainsi que l'architecture globale des systèmes 3GPP.

Le 3GPP définit toutes les couches de chacun de ses systèmes de communication. En outre, le 3GPP normalise les méthodologies de test des équipements mettant en oeuvre ses technologies. Les tests sont particulièrement importants afin de vérifier qu'un équipement est conforme aux spécifications avant sa mise sur le marché, et pour vérifier qu'il satisfait des critères de performance minimaux.

Il convient d'indiquer que le 3GPP n'est pas un organisme de normalisation en tant que tel. Il définit des spécifications techniques qui sont par la suite approuvées et publiées par des organismes de normalisation régionaux, propres à un pays ou une région du monde. On peut citer six organismes de normalisation principaux qui travaillent à la publication de ces normes :

- ARIB (Association of Radio Industries and Business) et TTC (Telecommunication Technology Committee) pour le Japon.
- ATIS (Alliance for Telecommunications Industry Solutions) pour les États-Unis.
- CWTS (China Wireless Telecommunication Standard Group) pour la Chine.
- ETSI (European Telecommunications Standards Institute) pour l'Europe.
- TTA (Telecommunication Technology Association) pour la Corée du Sud.

Les TSG sont eux-mêmes répartis en sous-groupes de travail. Ces groupes et sous-groupes sont formés de représentants des acteurs (principalement industriels) du monde des réseaux mobiles, qui se réunissent plusieurs fois par an. Ces acteurs doivent impérativement être membres de l'un des organismes de normalisation partenaires du 3GPP. On y retrouve notamment des constructeurs de circuits électroniques, des constructeurs de terminaux mobiles, des constructeurs d'infrastructures de réseau et des opérateurs de réseaux mobiles. Les spécifications sont définies sur la base de contributions proposées et présentées par les membres individuels, discutées et souvent modifiées afin d'aboutir à un consensus.

I.2.2 Historique de normalisation du LTE

Les modifications des spécifications approuvées par les groupes de travail sont associées 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 :[18]

- **Release 97** : définition du GPRS
- **Release 99** : introduction de l'UMTS
- **Release 4** : ajout de fonctionnalités au sein du réseau coeur, notamment la séparation des couches média et contrôle pour le réseau coeur 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 coeur 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 multiporteuse 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.

I.3 Exigences pour la norme LTE [18]

La première étape des travaux de normalisation du LTE consiste à définir les exigences que ce dernier devait satisfaire. En synthèse, l'objectif majeur du LTE est d'améliorer le support des services de données via une capacité accrue, une augmentation des débits et une réduction de la latence. En complément de ces exigences de performance, le 3GPP a aussi défini des pré-requis fonctionnels tels que la flexibilité spectrale et la mobilité avec les autres technologies 3GPP.

I.3.1 Capacité en nombre d'utilisateurs simultanés

Avec l'explosion des services nécessitant une connexion always-on, la contrainte appliquée sur la capacité en nombre d'utilisateurs simultanés devient forte. Le système doit supporter simultanément un large nombre d'utilisateurs par cellule. Il est attendu qu'au moins 200 utilisateurs simultanés par cellule soient acceptés à l'état actif pour une largeur de bande de 5 MHz, et au moins 400 utilisateurs pour des largeurs de bande supérieures. Un nombre largement supérieur d'utilisateurs devra être possible à l'état de veille [12].

I.3.2 Efficacité spectrale cellulaire

Le système compte parmi ses objectifs l'accroissement de l'efficacité spectrale cellulaire (en bit/s / Hz/cellule) et, par conséquent, l'augmentation de la capacité du système (en termes de débit total). En sens descendant, l'efficacité spectrale doit être trois à quatre fois supérieure à celle offerte par le HSPA Release 6 au sein d'un réseau chargé, et deux à trois fois supérieure en sens montant.

I.3.3 Débits

L'évolution des débits suit une progression semblable à celle de la capacité, chaque nouvelle technologie de réseaux mobiles augmentant les débits et amenant une attente de débits supérieurs. Il était ainsi également clair dès 2004 que le LTE devrait fournir de très hauts débits. Au-delà des limitations capacitaires, le débit fourni à un utilisateur dépend de ses conditions radio, liées en particulier à sa position dans la cellule, des techniques de transmission employées et de la ressource spectrale disponible.

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.

Ces chiffres supposent un UE de référence comprenant :

- deux antennes en réception.
- une antenne en émission.

I.3.4 Latence

La latence d'un système est la mesure du délai introduit par ce système. On distingue deux types de latence :

- la latence du plan de contrôle.
- la latence du plan usager.

La latence du plan de contrôle représente le temps nécessaire pour établir une connexion et accéder au service. La latence du plan usager représente le délai de transmission d'un paquet au sein du réseau une fois la connexion établie.

la 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.

la 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 noeud 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.

I.3.5 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 modifiées pour devenir les suivantes : 1,4 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz et 20 MHz dans le 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.

I.3.6 Mobilité

La mobilité est une fonction clé pour un réseau mobile. 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). Les services temps-réel comme le service voix doivent être proposés avec le même niveau de qualité qu'en UMTS Release 6. L'effet des handovers intrasystème (procédure de mobilité entre deux cellules LTE) sur la qualité vocale doit être moindre qu'en GSM, ou équivalent. Le système doit également intégrer des mécanismes optimisant les délais et la perte de paquets lors d'un handover intra-système.

Le LTE doit aussi coexister avec les autres technologies 3GPP. Pour ce faire, les exigences suivantes ont été définies :

- L'UE qui met en oeuvre les technologies GSM et UMTS en complément du LTE doit être capable d'effectuer les handovers en provenance et à destination des systèmes GSM et UMTS, ainsi que les mesures associées. Les conséquences de ces mécanismes sur la complexité de l'UE et du système doivent rester limitées.
- Le temps d'interruption de service lors d'une procédure de handover entre le système LTE et les systèmes GSM ou UMTS doit rester inférieur à 300 ms pour les services temps-réel et inférieur à 500 ms pour les autres services.

I.3.7 Atteinte des exigences

Une fois l'étude de faisabilité du LTE effectuée et les grands principes du système définis, le 3GPP a procédé à l'évaluation de la technologie au regard des exigences ayant fondé la conception du LTE sont satisfaites.

I.4 Architecture de la technologie LTE [16]

, [10]

Les réseaux LTE sont des réseaux cellulaires constitués de milliers de cellules radio qui utilisent les mêmes fréquences hertziennes.

Les nouveaux blocs spécifiés pour l'architecture, connus aussi sous le nom d'EPS (Evolved Packet System), sont l'EPC (Evolved Packet Core) et l'E-UTRAN (Evolved UTRAN).

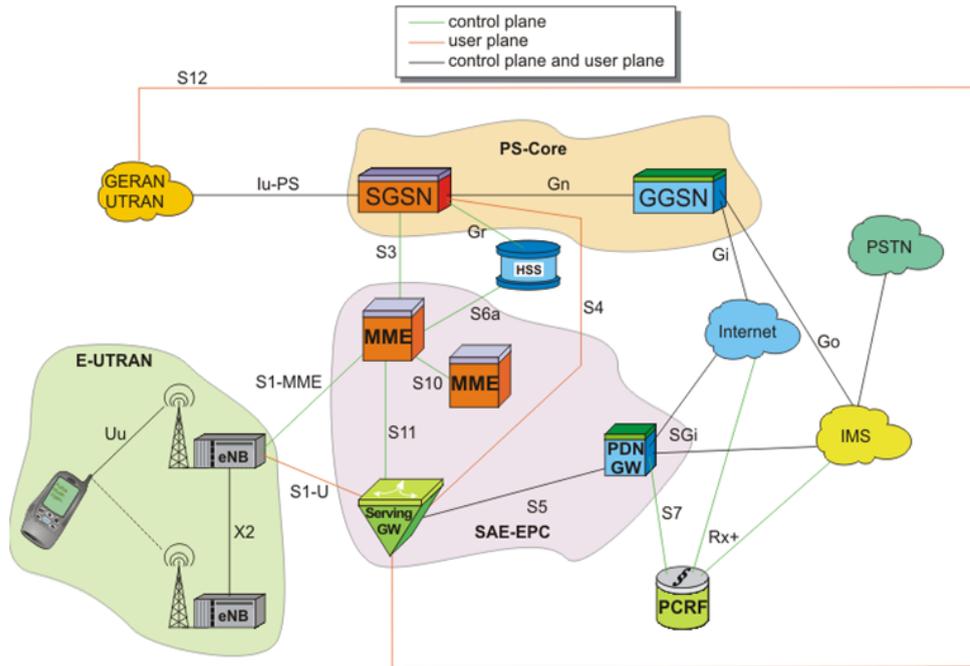


FIGURE I.1 – Architecture générale du LTE

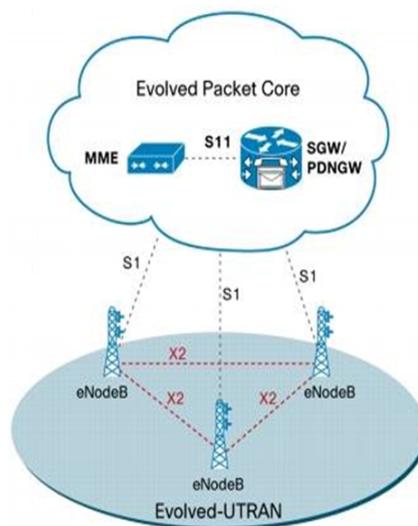


FIGURE I.2 – Architecture d'EPS (Evolved Packet System)

I.4.1 EPC (Evolved Packet Core) [9]

Le réseau LTE a une autre spécificité, qui est d'être natif IP et fonctionne en commutation de paquet. La signalisation est séparée du trafic, on parle d'un réseau de transport DATA et un réseau de transport de signalisation séparé. L'élément principal de l'architecture SAE est le coeur réseau, nommé EPC (Evolved Packet Core) également nommé SAE core (coeur SAE). Le SAE a un rôle équivalent du NSS du GPRS.[9]

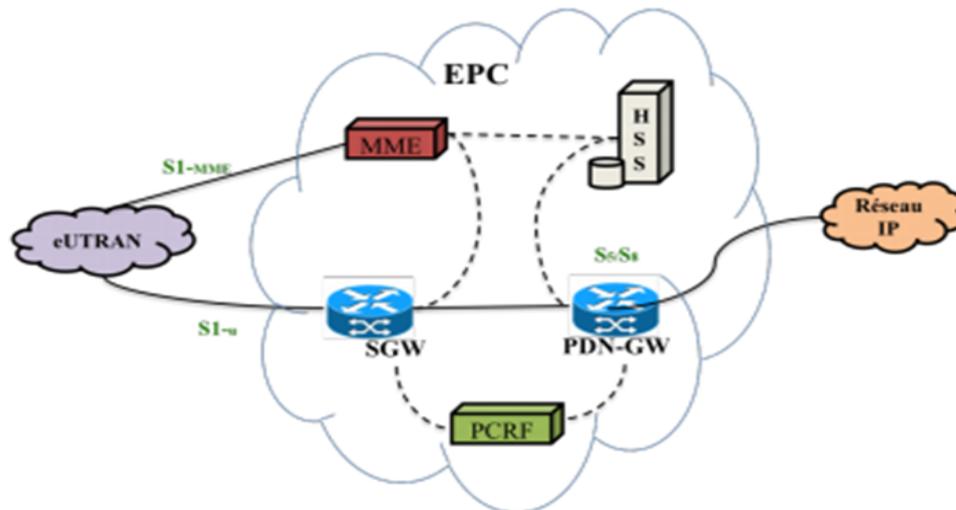


FIGURE I.3 – Architecture d'EPC (Evolved Packet Core)

Le coeur réseau EPC est constitué de plusieurs éléments :

- **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**
-
- **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.
 - **HSS (Home Subscriber Service) :** Base de données similaire au HLR en GSM / WCDMA réseau cur 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.

- **PDN GW (Packet Data Network Gateway) ou IASA (Inter-Access System Anchor)** : chargé de la mobilité entre différents systèmes, il est composé de l'élément 3GPP Anchor qui permet d'exécuter la mobilité entre LTE et les technologies 2G/3G, et l'élément SAE Anchor qui permet d'exécuter la mobilité entre le système 3GPP et les systèmes non 3GPP (WIFI, WIMAX, etc.). Sachant que l'élément SAE Anchor ne prend aucune décision concernant la mobilité, il exécute seulement les décisions prises par l'UE.
Il est responsable de l'attribution des adresses IP aux utilisateurs.
- **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.
- **SGW (Serving Gateway)** : C'est la jonction principale entre le réseau radio accès et le réseau cur Serving GetWay (SGW) achemine les paquets de données, maintient la connexion de l'interface eNodeB handover, puis inter-système handover 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.
- **P-GW (Packet-Switch GetWay)** : Fournit la connectivité au terminal mobile (UE) vers le paquet externe du réseau de l'information et alloue les adresses IP d'un UE, ainsi que les applications de la QoS, et maintient la connexion mobile entre LTE/UMTS/GSM systèmes et le non 3GPP système.
- **SGSN (Serving GRPS Support Nom)** : Interconnecte le LTE, UMTS, et le réseau GSM pour augmenter la mobilité.

I.4.2 La partie radio E-UTRAN

La partie radio du réseau, appelée « E-UTRAN » est simplifiée par rapport à celles des réseaux 2G (BSS) et 3G (UTRAN) par l'intégration dans les stations de base « eNodeB » avec 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 cur évolué.

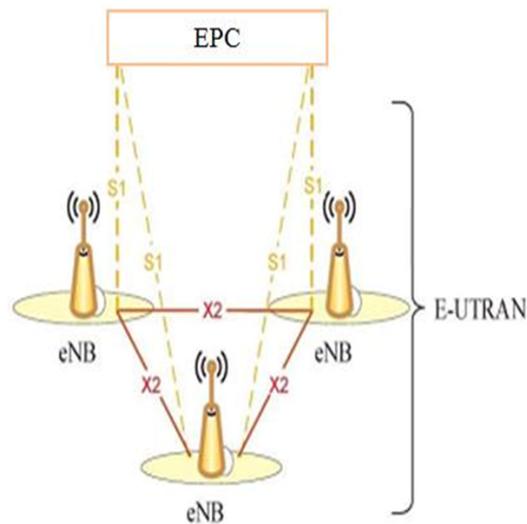


FIGURE I.4 – Architecture de la partie radio E-UTRAN

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

I.4.3 Partie IMS

L'IMS est une architecture récemment appliquée dans les réseaux mobiles qui permettent aux opérateurs de télécommunications d'offrir des services sur IP à valeur ajoutée. Cette nouvelle architecture permet d'établir des sessions multimédia indépendamment du type d'accès à Internet utilisé. Cette architecture est aussi capable de supporter, sur un réseau tout IP dans une même session, des applications en temps réel telles que la voix et la vidéo ; et des applications non temps réel telles que le Push to Talk et la messagerie instantanée. L'IMS est utilisé aussi bien par les terminaux mobiles des réseaux GPRS et UMTS, que par les usagers fixes à large bande, comme xDSL, câble, etc. L'IMS présente une interface aux réseaux en mode circuit, comme le RTCP et le GSM, et fournit une interface normalisée basée sur le protocole SIP pour l'accès aux services.

Exemples de services de l'IMS

- 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.

I.5 Les interfaces de technologie LTE [5]

La figure suivante présente une vue simplifiée de l'architecture EPS. Tous les nuds et interface du réseau y sont représentés. Elle met en lumière les interactions et signalisations au niveau usager ainsi que la connectivité data et l'aspect architectural.

L'interface X2 ne doit pas être vue comme une simple interface point-a-point entre deux eNodeBs, mais plutôt comme une interface maillée. Cette interface optionnel a été défini dans le but de transporter les paquets entre eNodeBs et de limiter les pertes de paquets dans le cas d'une mobilité d'utilisateur Intra E-UTRAN.

L'interface S1 à sont tour, n'est pas une simple interface entre un eNodeB et un MME/Serving Gateway, puisque un eNodeB peut être connecté à un ou plusieurs MME. Cette flexibilité est connue sous le nom de S1-flex (équivalent à l'Iu-flex 3G/UMTS). Puisque le MME et le Serving GW sont déployés dans des boîtes physiques séparées, l'interface S1 est divisée en deux parties :

- L'interface S1-U (Pour le plan usager) qui transporte les données utilisateur entre l'eNodeB et le Serving GW.
- L'interface S1-C (Pour le plan de contrôle) qui transporte uniquement la signalisation entre l'eNodeB et le MME.

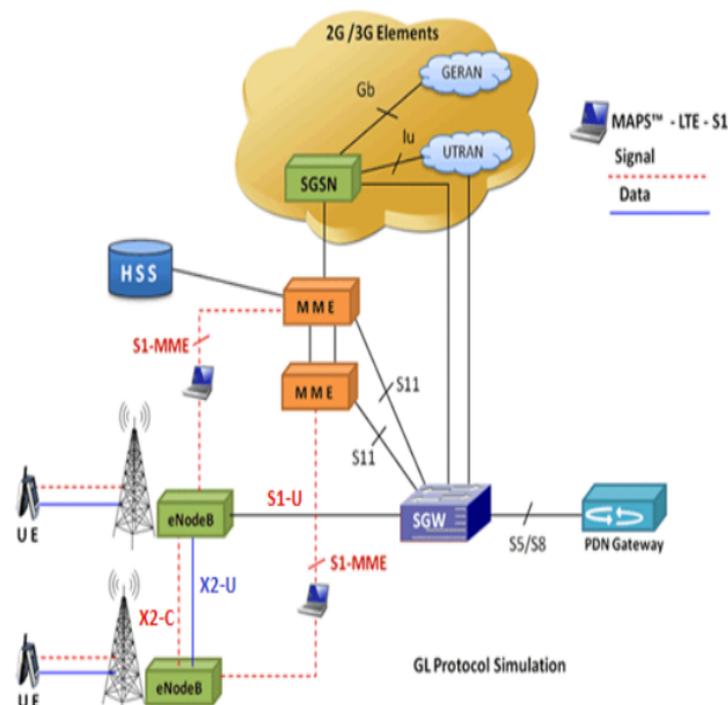


FIGURE I.5 – Architecture de l'EPS Les connectivités dans le plan usager et contrôle [5]

I.5.1 Les interfaces réseau de l'E-UTRAN

Les interfaces S1 et X2 d'E-UTRAN suivent le même modèle qui est décrit dans la figure I.6 qui est composé de deux parties principales :

- la couche Radio Network -qui englobe les protocoles couches hautes de l'interface
- la couche Transport Network -qui réfère uniquement à la façon dont les données de la couche RadioNetwork sont transportés.

Cette séparation assure une indépendance entre les deux couches. En plus de la séparation selon le modèle OSI, chaque interface est divisée en deux plans, le plan usager (User plane) et le plan de contrôle (Control plane).

Le plan usager transporte toutes les informations considérées comme des données utilisateur, du point de vue de l'interface. Ceci consiste en des données purement usager comme les paquets de voix et vidéos ou la signalisation de niveau application (comme SIP, SDP or RTP). Avant la transmission sur l'interface, les différents paquets sont tous simplement envoyés à la couche Transport. C'est ce qui explique l'absence de tout protocole dans la couche Radio Network qui correspond au plan usager.

Le plan de contrôle s'occupe tous les messages et les procédures strictement liés aux fonctionnalités prises en charge par les interfaces. Ceci inclut par exemple, les messages de contrôle pour la gestion du handover ou la gestion des porteuses (supports). La couche physique, fait partie de la couche transport. Elle commune aux deux plans. A part cela, les plans usager et contrôle utilise des protocoles spécifique qui définissent ainsi une pile de transport et des porteuses (support de données) différents et indépendant pour chaque couche.

L'information dans le plan de contrôle est soumise à des contraintes de sécurité, de fiabilité, et de perte de données alors que dans le plan usager l'information est routée à l'aide de protocoles simples et moins sécurisés. Comme en 3G/UTRAN, les interfaces de l'E-UTRAN sont entièrement « open », ce qui veut dire que S1 et X1 sont complètement définis par 3GPP et que chaque équipementier doit se conformer aux spécifications dans l'implémentation des différents équipements. Ceci permet- en principe -le déploiement des eNodeBs de différents équipementiers en un seul réseau et interconnectés à via l'interface X2. Il en de même pour l'interconnexion entre l'E-UTRAN et l'EPC.

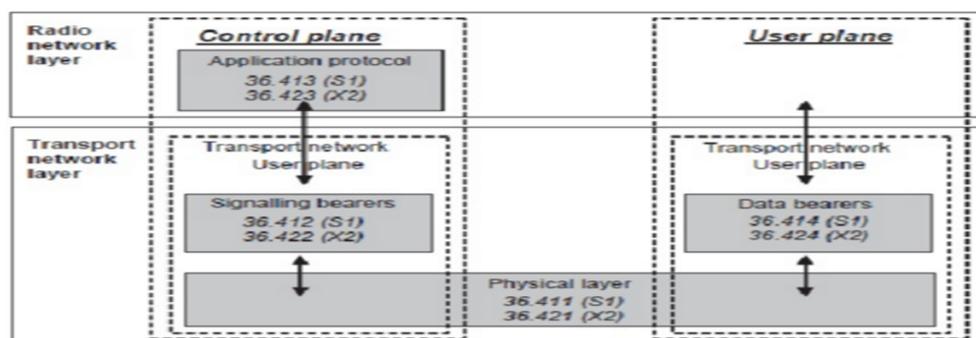


FIGURE I.6 – Le modèle d'une interface E -UTRAN [5]

I.5.1-a Interface S1

L'interface S1-U (ou S1 User plane interface - L'interface S1 pour le plan usager) transporte les paquets utilisateurs entre le eNodeB et le Serving GW. Cette interface utilise une simple pile de protocole de transport « GTP over UDP/IP » qui ne fait qu'encapsuler les données de l'utilisateur. Il n'existe ni contrôle de flux ou contrôle d'erreur, ou tout autre mécanisme de garantie de livraison de données sur l'interface S-U. Le GTP (GPRS Tunneling Protocol) est actuellement hérité des réseaux 2G/GPRS et 3G/UMTS.

Dans les réseaux 3G, GTP est utilisé entre les nuds GPRS (SGSN et GGSN). En 3G, GTP est aussi utilisé dans l'interface Iu-PS (entre RNC et le SGSN).

L'interface S1-C (ou S1 Control plane interface - L'interface S1 pour le plan de contrôle) est utilisé pour la signalisation. Elle supporte un certain nombre de fonctions et procédures entre eNodeB et le MME. Toutes les procédures de signalisation du S1-C appartiennent à l'un des quatre groupes suivants :

- Procédures du Bearer-level, ce groupe comprend toutes les procédures relatives à l'établissement, modification et de libération de supports (porteuses). Une porteuse correspond à un segment S1 d'une session, plus le chemin de l'interface radio. Ces procédures sont utilisées pendant l'établissement et la libération d'une session de communication.
- Procédures du Handover - qui englobent tous les fonctions S1 relative à la mobilité des utilisateurs en l'eNodeB ou avec les technologies 2G ou 3G.
- Transport de signalisation NAS - ceci correspond au transport de signalisation entre le terminal et le MME à travers l'interface S1. Le lien de signalisation entre le terminal et le MME est aussi appelé NAS (Non Access Stratum signalling) , puisqu'il est n'est pas visible pour l'eNodeB. Vu l'importance de ces messages, ils sont transportés sur la S1-C en utilisant des procédures spécifiques, au lieu de la S1-U GTP qui présente peu de garanties.
- Procédure de Paging - qui est utilisé dans le cas d'un usager en fin de session. A travers la procédure du paging, le MME demande à l'eNodeB de chercher le terminal dans un nombre donné de cellules.

L'interface S1-C doit fournir un haut niveau de fiabilité dans le but d'éviter les messages de retransmission et des retards dans l'exécution des procédures du plan de contrôle.

Selon le déploiement du réseau de transport, il y a certains cas où le transport UDP/IP n'est pas suffisamment fiable.

Par ailleurs, dans le cas où le réseau de transport n'appartient pas à l'opérateur mobile, il se peut que la qualité de service (QoS) ne soit pas garantie tout le temps.

C'est pour cette raison que l'interface S1-C utilise une couche de transport de réseau, qui est mise en place de bout-en-bout.

Dans l'architecture LTE, ce service est assuré par le SCTP (Stream Control Transmission Protocol).

Dans l'interface S1, le SCTP est utilisé sur la couche réseau IP d'habitude. Il y a une seule association par instance de l'interface S1. Sur cette relation, un seul flux SCTP est utilisé pour toutes les procédures communes (procédure du paging par exemple) entre deux équipements.

En ce qui concerne toutes les procédures dédiées -qui comprennent toutes les procédures qui s'appliquent à un contexte de communication spécifique - elles sont toutes prises en charge sur un nombre limité de flux SCTP. Le réseau de transport des interfaces S1 et X2 fait usage de la couche réseau IP à la fois pour le plan usager et plan de contrôle. En plus des services basic garantie par ce protocole, L'IP dans E-UTRAN doit aussi supporter les services suivants :

- NDS/IP (Network Domain Security for IP) : qui fait référence à un group de dispositifs desécurité de niveau IP défini par 3GPP pour l'échange de données entre les éléments du réseau.
- Diffserv (Differentiated Services) : qui est une architecture réseau qui spécifie un mécanisme pour classer et contrôler le trafic tout en fournissant une qualité de service.

I.5.1-b Interface X2

Le rôle l'interface X2-U (X2 User plane interface -L'Interface X2 du plan usager) est de transporter les paquets de données entre eNodeBs. Elle est utilisée dans une durée limitée en temps, quand le terminal se déplace d'un eNodeB à un autre. Par ailleurs, cette interface permet de transférer les paquets de données mis dans les mémoires tampons (buffers) entre eNodeBs. X2-U utilise le même protocole de tunneling GTP, déjà utilisé dans l'interface S1-U.

L'interface X2-C (X2 Control plan interface -l'interface X2 du plan de contrôle) est une interface de signalisation. Elle supporte un groupe de fonctions et procédures entre eNodeBs. Les procédures de l'interface X2-C sont très limité en nombre et ils sont toutes relative à la mobilité des usagers entre eNodeB, dans le but d'échanger les informations sur le contexte de l'utilisateur entre les différents nuds (porteurs alloués, sécurité).

Par ailleurs, l'interface X2-C propose la procédure du « Load Indicator » dont le but est de permettre à un eNodeB de signaler sa condition de charge aux eNodeBs voisins. Le but de cette procédure est d'aider à supporter la gestion du balancement de la charge ou d'optimiser les seuils du handover ainsi que les décisions du handover. Le besoin d'un transport de signalisation fiable entre les nuds est le même que dans l'interface S1-C.

C'est pour cette raison que l'interface X2-C utilise aussi une couche de transport type «SCTP over IP».

I.6 Les canaux [13]

I.6.1 Le concept de canal

Le système LTE, de manière similaire à l'UMTS, utilise le concept de canal afin d'identifier les types des données transportées sur l'interface radio, les caractéristiques de qualité de service associées, ainsi que les paramètres physiques liés à la transmission. Ces canaux sont des composantes de l'architecture du système et sont donc à distinguer du canal de transmission (qui capture les effets de la propagation radio) et du canal fréquentiel (ou porteuse) déjà rencontrés.

Les canaux de l'interface radio sont des points d'accès aux services proposés par une couche N : ils permettent à la couche N+1 de délivrer à cette couche N des données qui devront être traitées (et éventuellement marquées) selon les spécificités du canal.

On distingue trois classes de canaux, selon les couches du modèle OSI auxquelles ils sont attachés.

- les canaux logiques, qui opèrent entre les couches RLC et MAC et sont définis selon le type d'information qu'ils transportent (par exemple : signalisation du plan de contrôle ou données du plan usager) ;
- les canaux de transport, qui opèrent entre la couche MAC et la couche physique et sont définis par la manière et les caractéristiques selon lesquelles les données sont transportées par l'interface radio (par exemple la méthode d'accès aux ressources radio) ;
- les canaux physiques qui sont utilisés par la couche physique et sont définis par les caractéristiques physiques de leur transmission (par exemple leur placement dans la trame).

Dans une configuration donnée de l'interface radio (déterminée par le protocole RRC), un canal logique ne peut être porté que par un seul canal de transport, mais ce dernier peut transporter plusieurs canaux logiques. La même règle s'applique pour les canaux de transport et les canaux physiques. Enfin, certains canaux physiques ne sont associés à aucun canal de transport ni canal logique, car ils portent uniquement des informations relatives à la couche physique.

Ceci est illustré par la figure I.7, sur laquelle trois canaux physiques sont représentés (PDSCH et PDCCH pour le sens descendant, PRACH pour le sens montant).

Nous décrivons ci-après l'ensemble des canaux utilisés par l'interface radio du LTE, pour chacune de ces trois catégories.

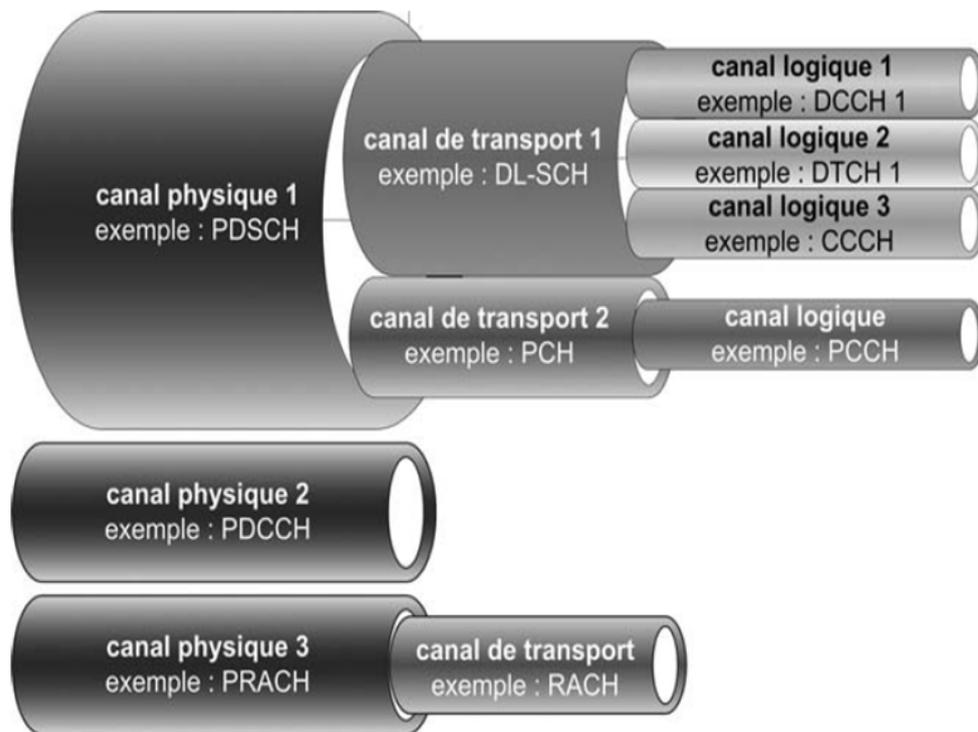


FIGURE I.7 – Les canaux de l'interface radio LTE et leurs imbrications [13]

I.6.2 Les canaux logiques

Un canal logique est associé à un ou plusieurs flux de données (ou de signalisation) qui possèdent des caractéristiques communes : typologie des données transportées (plan usager ou plan de contrôle), priorité du flux, débit nominal (garanti ou non). Un canal logique est donc caractérisé par ce qu'il transporte, et non par la façon dont ces données sont véhiculées.

Les canaux logiques se séparent en canaux de contrôle et canaux de trafic. Les canaux de contrôle transportent uniquement des informations du plan de contrôle, tandis que les canaux de trafic véhiculent exclusivement les données du plan usager.

Le tableau suivant présente les différents canaux logiques définis pour l'interface radio du LTE [13].

TABLE I.1 – Canaux logiques fournis par la couche MAC [13]

Canal logique	Acronyme	Canal de contrôle (plan de contrôle)	Canal de trafic (plan usager)	Usage	Exemples d'information transmise
Broadcast Control Channel	BCCH	×		Pour la diffusion d'informations de contrôle sur la cellule	Identifiant de la cellule, largeur de bande DL ...
Paging Control Channel	PCCH	×		Pour la notification d'appels	Identifiant de l'UE dans la zone de localisation, type d'appel
Common Control Channel	CCCH	×		Pour la transmission de la signalisation, quand elle ne peut être transmise sur un canal dédié (DCCH)	Demande d'établissement d'une connexion RRC
Dedicated Control Channel	DCCH	×		Porte la signalisation dédiée à un utilisateur (RRC et NAS)	Message commandant à l'UE de réaliser un handover
Dedicated Traffic Channel	DTCH		×	Porte les informations de trafic dédiées à un utilisateur	Données d'un flux de streaming vidéo (ex. IP/UDP/RTSP)

Lorsque la couche RLC construit une unité de données ou Protocol Data Unit (PDU), elle la communique ensuite via le canal logique adéquat à la couche MAC. Cette dernière peut alors ajouter dans l'en-tête MAC l'identifiant de canal, si nécessaire. Après les traitements par la couche MAC, celle-ci délivre la PDU MAC à la couche physique via le canal de transport associé au canal logique. Le marquage du canal logique dans l'en-tête MAC permet à l'entité MAC distante de restituer cette information à la couche RLC, qui traite et aiguille ensuite correctement cette unité de données. Il est rendu nécessaire par le fait que, dans certains cas, plusieurs canaux logiques peuvent être multiplexés sur le même canal de transport. L'identification par l'entité pair du canal de transport n'est donc pas suffisante pour un aiguillage correct des données. La correspondance canal de transport - canal logique est configurée par la couche RRC lors de l'établissement de la connexion RRC ou de sa reconfiguration.

I.6.3 Les canaux de transport

Un canal de transport est caractérisé par la façon dont les données sont transportées sur les ressources physiques, notamment :

- la méthode d'accès aux ressources radio (scheduling dynamique, semi-persistant ou statique) ;
- les formats de transport autorisés, qui définissent les traitements de la couche physique à appliquer (type de codage de canal, schéma de transmission MIMO, etc.) ;
- la possibilité d'effectuer des retransmissions d'HARQ, et si oui, de quel type.

Plusieurs canaux de transport sont définis dans l'interface radio du LTE pour les sens montant et descendant, dont les caractéristiques sont résumées dans le tableau 2 [20].

TABLE I.2 – Canaux de transport fournis par la couche physique

Canal de transport	Acronyme	Sens	Caractéristiques	Usage	Exemples d'information transmise
Broadcast Channel	BCH	DL	Ressources, périodicité et format de transport fixe et prédéfinis Doit être transmis sur toute la zone de couverture de la cellule	Pour la diffusion d'informations sur la cellule Le BCH porte exclusivement le BCCH, et en particulier le <i>Master Information Block (MIB)</i>	MIB (BCCH) : largeur de bande DL sur la cellule, numéro de trame système (<i>SFN, System Frame Number</i>)
Downlink Shared Channel	DL-SCH	DL	Permet l'HARQ et l'adaptation de lien, l'allocation dynamique ou semi-persistante de ressources et l'utilisation de la réception discontinue par l'UE (DRX) Peut bénéficier de beamforming, ou être transmis de manière omnidirectionnelle	Pour la transmission de données dédiées de contrôle et du plan usager Utilise également pour transmettre les informations de cellule non portées par le BCH	Canaux DCCH, DTCH, CCCH. Canal BCCH : diffusion des informations cellules autres que celles du MIB
Paging Channel	PCH	DL	Doit être transmis sur toute la zone de couverture de la cellule Partage les mêmes ressources physiques que le DL-SCH	Pour diffuser les informations de paging sur l'ensemble de la cellule	Canal PCCH
Random Access Channel	RACH	UL	Base sur l'accès partage aléatoire (à contention) qui implique un risque de collision entre plusieurs UE lors de la procédure d'accès au réseau	Pour l'établissement d'une connexion RRC avec la station de base, son rétablissement, lors d'un handover ou pour transmettre des données (ex. <i>Buffer Status Report</i>) ou encore sur ordre de la station de base si la synchronisation en voie montante a été perdue	Préambule choisi de façon aléatoire par l'UE dans un jeu de préambules prédéfinis
Uplink Shared Channel	UL-SCH	UL	Permet l'HARQ et l'adaptation de lien, l'allocation dynamique ressource.	Pour la transmission de données dédiées de contrôle et du plan usager	Canaux DCCH, DTCH, CCCH

I.6.4 Les canaux physique

Les canaux physiques fournissent le moyen de transmettre par radio les données des canaux de transport. Une SDU reçue de la couche MAC via un canal de transport donné est appelée un bloc de transport. Un canal physique correspond à un ensemble d'éléments de ressource temps-fréquence (un élément de ressource est une sous-porteuse d'un symbole OFDM) dans la sous-trame. De plus, il est associé à des caractéristiques physiques particulières, comme une séquence d'embrouillage, des schémas de codage et modulation, des schémas MIMO (en voie descendante uniquement).

Les tableaux 3 et 4, présentent de manière synthétique les différents canaux physiques, pour la voie montante et la voie descendante respectivement.

TABLE I.3 – Canaux physiques pour la voie montante

Canal physique	Acronyme	Caractéristiques	Usage
Physical Uplink Shared Channel	PUSCH	Ses paramètres de transmission sont déterminés dynamiquement par l'adaptation de lien	Pour la transmission du UL-SCH ; porte également les informations de contrôle du PUCCH en cas de collision de ces deux canaux sur le même intervalle de temps
Physical Uplink Control Channel	PUCCH	N'est jamais transmis simultanément au PUSCH d'un même UE (en Release 8)	Pour la transmission d'informations de contrôle nécessaires à l'HARQ (acquittements) et à l'allocation de ressources
Physical Random Access Channel	PRACH	Est forme d'un préambule spécifique à l'UE	Porte le RACH

TABLE I.4 – Canaux physiques pour la voie descendante.

Canal physique	Acronyme	Caractéristiques	Usage
Physical Downlink Shared Channel	PDSCH	Ses paramètres de transmission sont déterminés dynamiquement par l'adaptation de lien.	Pour la transmission du DL-SCH et du PCH.
Physical Broadcast Channel	PBCH		Pour la transmission du BCH
Physical Control Format Indicator Channel	PCFICH	Le PCFICH est placé dans le premier symbole OFDM de chaque sous-trame	Indique le nombre de symboles OFDM utilisés pour la transmission du PDCCH dans une sous-trame
Physical Downlink Control Channel	PDCCH	Le PDCCH est placé dans les premiers symboles OFDM de chaque sous-trame	Pour la transmission d'informations de contrôle : schéma de modulation et codage et allocation de ressources du DL-SCH et PCH, informations d'HARQ pour le DL-SCH Schéma de modulation et codage, allocation de ressources et informations d'HARQ pour le UL-SCH Ordre de déclenchement d'une procédure d'accès aléatoire
Physical Hybrid ARQ Indicator Channel	PHICH	Le PHICH est placé dans les premiers symboles OFDM de chaque sous-trame.	Porte les acquittements d'HARQ

I.6.5 Association des différents canaux

Les figures I.8 et I.9 décrivent l'association entre les canaux logiques, de transport et physiques, respectivement pour la voie montante et la voie descendante.

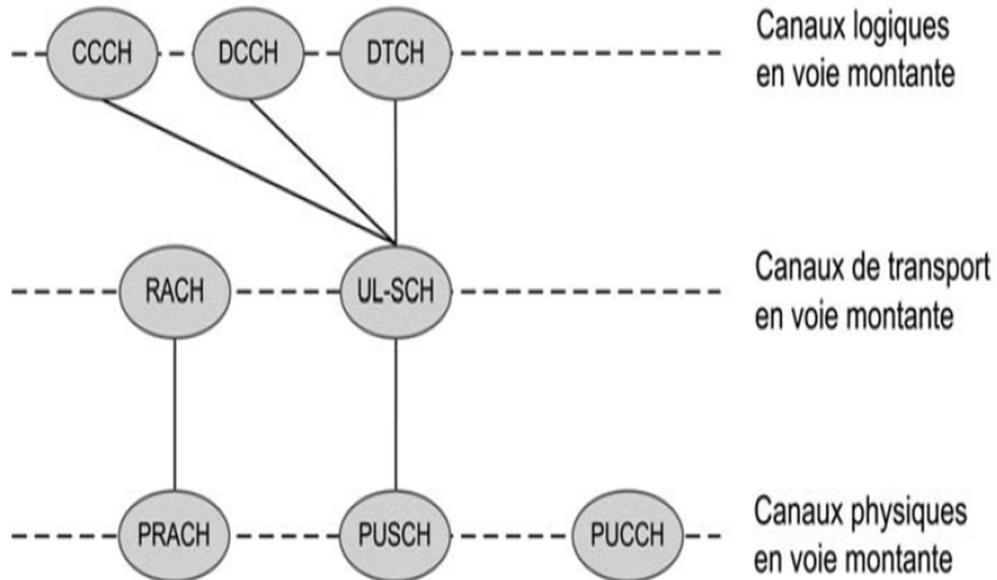


FIGURE I.8 – Association entre canaux logiques, de transport et physiques en voie montante

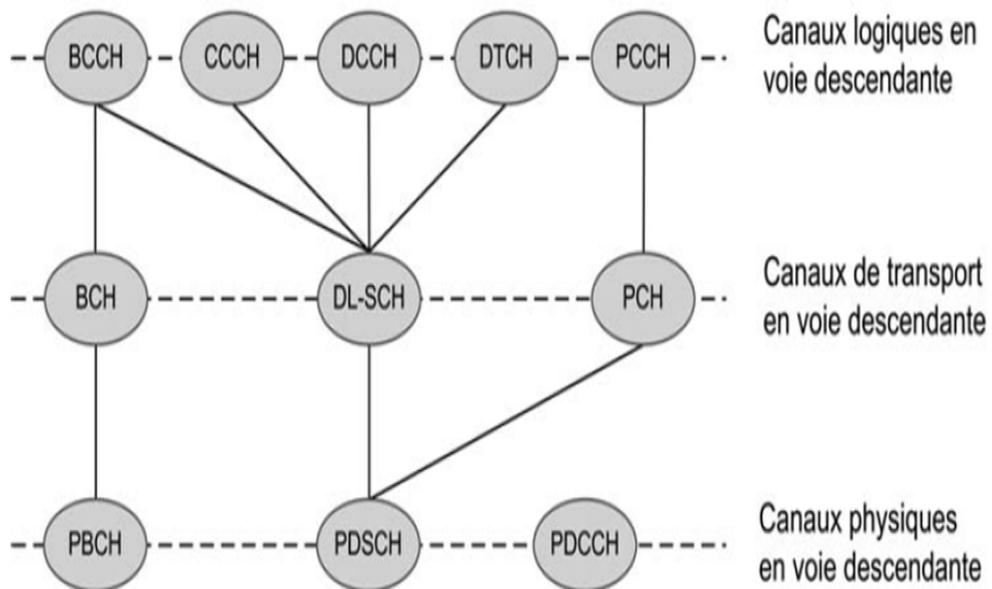


FIGURE I.9 – Association entre canaux logiques, de transport et physiques en voie descendante

I.7 Couches de la technologie LTE

Le modèle LTE est formé de deux plans (diagrammes). En effet, LTE possède deux piles protocolaires : la première est pour la signalisation ou le contrôle, et la seconde pour les données utilisateur[3].

L'architecture et les couches du réseau LTE peuvent être résumées par les figures I.10 et I.11 suivantes :

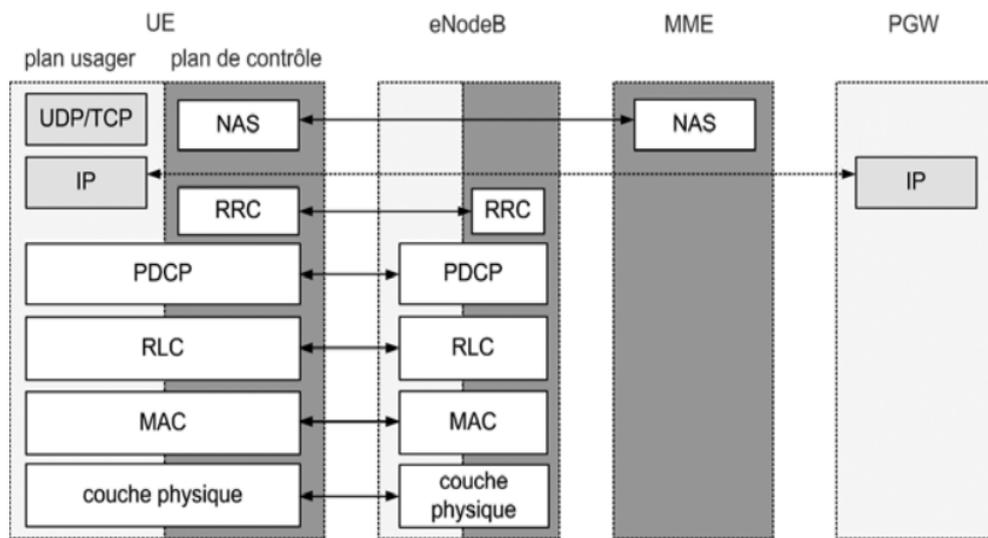


FIGURE I.10 – Architecture LTE : plan de contrôle [3]

NAS (Non Access Stratum), RRC (Radio Resource Control), PDCP (packet Data Convergence Protocol), RLC (Radio Link Control), MAC (Medium Access Control), PHY (Physique).

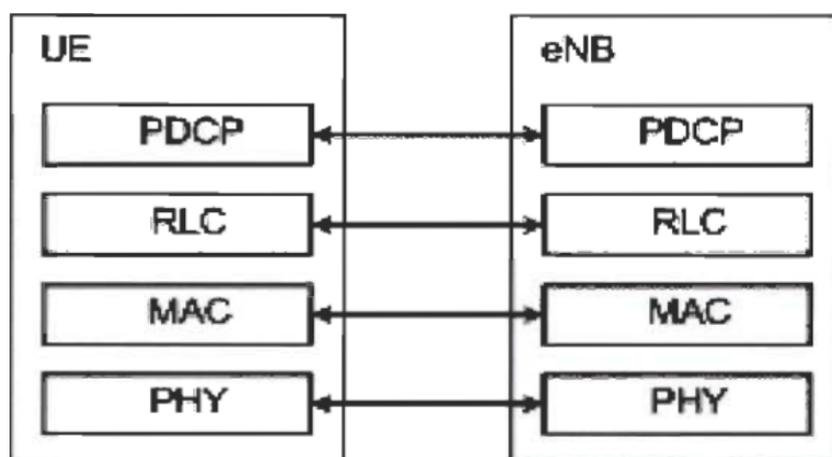


FIGURE I.11 – Architecture LTE au plan de données utilisateur

Dans ce qui suit, nous présenterons un aperçu des couches les plus importantes de cette technologie.

I.7.1 Couche NAS (non Access Stratum)

Cette couche est responsable de plusieurs tâches de contrôle comme :

- La gestion des entrées au réseau ;
- L'authentification ;
- La gestion de la mobilité ;
- Elle est responsable de la mise en place du porteur de données (Data bearer).

La sécurité de la transmission des données de signalisation est assurée par le système de chiffrement et la protection de l'intégrité. Le transfert des messages de NAS depuis et vers les UE est réalisé par la couche RRC (Radio Resource Control).

I.7.2 Couche RRC (Radio Resource Control)

La couche RRC au niveau d'eNodeB est responsable des opérations suivantes :

- La diffusion des informations du système ;
- La procédure de la pagination ;
- Elle prend les décisions de " handover " en se basant sur les informations d'UE sur les cellules voisines ;
- L'allocation des identificateurs temporaires aux UE ;
- Elle assure le transfert de la situation de " handover " entre deux eNodeB à l'UE ;
- La configuration de la signalisation des porteurs radio pour la connexion RRC ;
- Elle facilite les services MBMS (Multimedia Broadcast Multicast Service).

En comparant cette couche aux technologies prédécesseurs de LTE, les états de RRC sont réduits à deux états seulement (RRC_IDLE et RRC_CONNECTED). Les états et les cas de RRC sont décrits par la figure I.12 et présente les étapes rencontrées par un utilisateur au moment de la connexion et de la demande de la table des voisins jusqu'au test de qualité de canal utilisé :

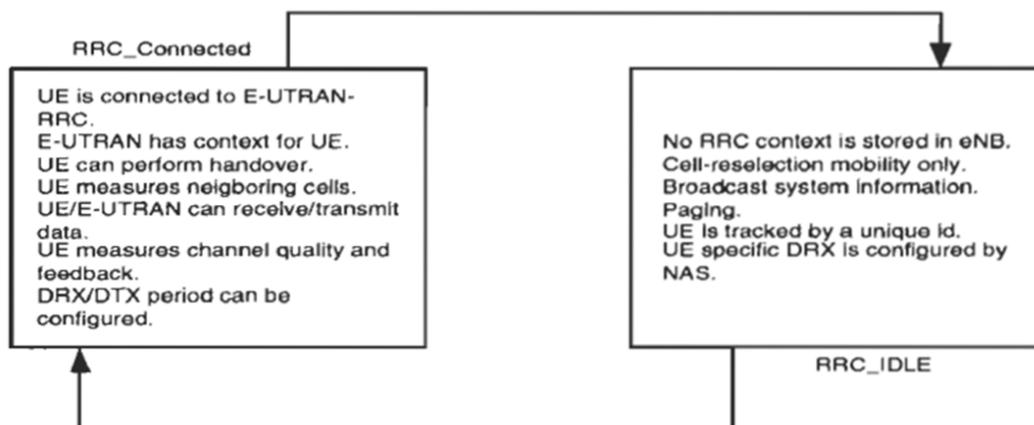


FIGURE I.12 – Fonctionnement de la couche RRC

I.7.3 Couche PDCP (Packet Data Convergence Protocol)

La couche PDCP au plan utilisateur prend la charge d'assurance : la compression et la décompression des entêtes IP liées aux données utilisateurs. Elle utilise ROHC (Robust Header Compression) pour augmenter l'efficacité de la bande passante.

Elle est aussi responsable du chiffrement des données sur les deux plans (données et signalisation). Les messages de la couche NAS sont chiffrés deux fois, au niveau de MME et d'eNodeB, puisqu'ils passent par la couche RRC. Elle assure le transfert du SDU reçu du NAS vers la couche RLC et vice versa.

I.7.4 Couche RLC (Radio Link Control)

Cette couche est située au-dessous de la couche PDCP, son travail est de formater et de transporter les données entre l'eNodeB et l'UE.

Elle offre trois modes de fiabilité :

- AM (Acknowledge Mode), qui nécessite un acquittement. Ce mode est intéressant pour les applications tolérantes aux délais tels que le téléchargement de fichiers ;
- UM (Unacknowledged Mode) ne nécessite pas d'acquiescement. Il convient aux applications à temps réel, comme le streaming vidéo ;
- TM (Transparent Mode) est utile lorsque la taille de message $PDU = SDU + \text{entête PDCP}$.

I.7.5 La couche MAC (Medium Access Control) de LTE

Elle est parmi les couches les plus importantes du modèle. Elle assure le mappage des données entre les canaux logiques et les canaux de transport en utilisant une fonction de multiplexage de RLC [6].

Au niveau de cette couche, les mesures de l'état du trafic et de la correction des erreurs sont assurées par la méthode de retransmission HARQ (Hybrid Automatic Repeat reQuest). De plus, la couche MAC offre le service d'ordonnancement.

Dans ce qui suit, nous résumerons les différentes fonctions de la couche MAC.

I.7.5-a Ordonnancement

L'eNodeB possède un ordonnanceur pour contrôler les ressources comme le temps et la fréquence pour un temps donné. Dépendamment de l'état des canaux, l'ordonnanceur choisit le meilleur multiplexage pour l'UE en prenant toujours en considération :

- Les paramètres de qualité de service (QoS) ;
- Les données utiles dans la mémoire tampon ;
- La capacité de l'UE ;
- Les cycles de mise en veille de l'UE ;
- Les informations du système telles que la bande passante et le niveau d'interférence.

Pour le lien descendant, la couche MAC utilise trois ordonnanceurs : FSS (Frequency Selective Scheduling), FDS (Frequency Devise Scheduling) et PFS (Proportional Fair Scheduling).

I.7.5-b La technique de retransmission HARQ

Le protocole HARQ (Hybrid Automatic Repeat reQuest) est le noyau de notre étude. C'est un mécanisme de retransmission de la couche MAC, il peut être synchrone ou asynchrone. Le protocole HARQ synchrone nécessite une retransmission à des instants connus et par conséquent il n'a pas besoin de signalisation explicite. Par contre, pour le HARQ asynchrone une signalisation explicite est obligatoire.

Le mécanisme HARQ peut être aussi adaptatif et peut donc changer la modulation, l'allocation des blocs de ressource et la durée de la transmission. Le mode synchrone nécessite moins de signalisation et il est avantageux lorsqu'il est non adaptatif. Ce mode est choisi pour le lien ascendant, tandis que pour le lien descendant le mode asynchrone non adaptatif est retenu.

I.7.5-c La recherche des cellules

L'équipement utilisateur (UE) recherche la cellule, afin d'avoir les informations nécessaires pour sa connexion et sa synchronisation, à savoir : l'identificateur de la cellule, le temps et la fréquence. Durant la recherche de cellule, deux canaux sont détectés soit :

- Synchronisation CHannel (SCH), c'est pour avoir de l'information sur l'horloge ou la fréquence du lien descendant ;
- Broadcast CHannel (BCH), le canal de diffusion indique certaines informations sur la cellule comme : la bande passante, l'Id de la cellule, la configuration de l'antenne, etc....

I.7.5-d Contrôle de l'énergie

Le contrôle de l'énergie a comme but de mitiger les problèmes d'affaiblissement de propagation, ce qu'on appelle " path-loss " et l'effet d'ombre (shadowing).

I.7.5-e Le protocole ARP (Allocation and Retention Priority)

Ce mécanisme d'allocation et de priorité de rétention gère les porteurs (bearer) pour les autoriser ou non dépendamment des disponibilités des ressources.

I.7.6 La couche physique de LTE [13]

La couche 1, appelée également Layer 1 (L1) ou couche PHY, représente la couche physique. Son rôle est d'assurer la transmission des données sous une forme capable de se propager dans l'air et de résister aux différentes perturbations inhérentes au canal radio mobile.

D'un point de vue fonctionnel, la couche physique offre un service de transport sur l'interface air à la couche MAC.

La couche physique réalise les fonctions suivantes pour la transmission de données :

- le codage de canal, qui protège les bits d'information contre les erreurs de transmission, en introduisant de la redondance dans la séquence de bits transmis ;
- la modulation, qui associe les bits à transmettre à des symboles de modulation capables d'imprimer une onde électromagnétique ;
- les traitements spatiaux (dits MIMO), qui précèdent les symboles de modulation afin de les transmettre de plusieurs antennes (par exemple pour donner une direction au signal émis) ;
- la modulation multiporteuse, qui associe le signal à transmettre sur chaque antenne à des porteuses multiples, selon le principe de l'OFDM pour la voie descendante et du SC-FDMA en voie montante.

Les opérations inverses sont effectuées par la couche physique en réception, ainsi que des traitements de lutte contre l'interférence (par exemple l'égalisation). En outre, la couche physique assure des fonctions n'impliquant pas de transmission de données, mais nécessaires à son fonctionnement, ainsi qu'à certaines fonctions de la couche MAC :

- les mesures radio, pour estimer le canal de transmission, la qualité du signal de la cellule servante, ou encore les niveaux de puissance reçus d'une autre cellule, ou d'un autre système radio ;
- la synchronisation, afin d'acquérir et de maintenir la synchronisation en temps et fréquence avec la porteuse de l'émetteur ;
- la détection de cellule, afin de détecter la présence de cellules et de s'y connecter, à l'allumage de l'UE ou pour préparer un handover ;
- la signalisation d'informations de contrôle entre eNodeB et UE.

I.7.7 Etude de la couche physique

Deux technologies sont employées au niveau physique. Pour le téléchargement descendant (DL - Download), il emploie l'OFDMA (Orthogonal frequency-division multiple access) tandis que le téléchargement montant (UL - Upload) est assuré par le SC-FDMA (Single-carrier frequency-division multiple access).

Les schémas OFDM consistent en une répartition du signal numérique à transmettre sur un grand nombre de sous-porteuses. Avec le LTE, les schémas OFDM sont améliorés par l'utilisation de modulation d'ordre supérieur tel que le 64QAM associé à des techniques sophistiquées de recouvrement d'erreurs (FEC : Forward Error Correction).

La technologie employée pour les antennes chargées de transmettre le signal est le MIMO (Multiple-Input Multiple-Output). Celle-ci est couramment employée dans le monde des télécommunications. Elles permettent des transferts de données de plus longue portée et à plus grande vitesse par rapport au WiFi.

Etant donné que les techniques de transmissions ne font pas l'objet de cette étude, on ne cite ici que les principes généraux de la technique OFDMA, la technique SC-FDMA et MIMO.

I.7.7-a Principe OFDMA [4]

L'OFDMA (ou Orthogonal Frequency Division Multiple Access) est une technique de multiplexage et de codage des données utilisée principalement dans les réseaux de téléphonie mobile de 4e génération. Ce codage radio associe les multiplexages en fréquence et temporel ; c'est-à-dire les modes « Accès multiple par répartition en fréquence » (AMRF ou en anglais FDMA) et « Accès multiple à répartition dans le temps » (AMRT ou en anglais TDMA). Il est notamment utilisé dans les réseaux de téléphonie mobile 4GLTE, LTE Advanced. Comme pour d'autres techniques de codage permettant l'accès multiple (TDMA, FDMA ou CDMA), l'objectif est de partager une ressource radio commune (une bande de fréquence) et d'en attribuer dynamiquement une ou des parties à plusieurs utilisateurs.

Le codage OFDMA consiste en un codage et une modulation numérique d'un ou plusieurs signaux binaires pour les transformer en échantillons numériques destinés à être émis sur une (ou plusieurs) antennes radio ; réciproquement, en réception, le signal radio reçoit le traitement inverse. La figure I.13 illustre le schéma de principe d'une transmission basée sur l'OFDMA.

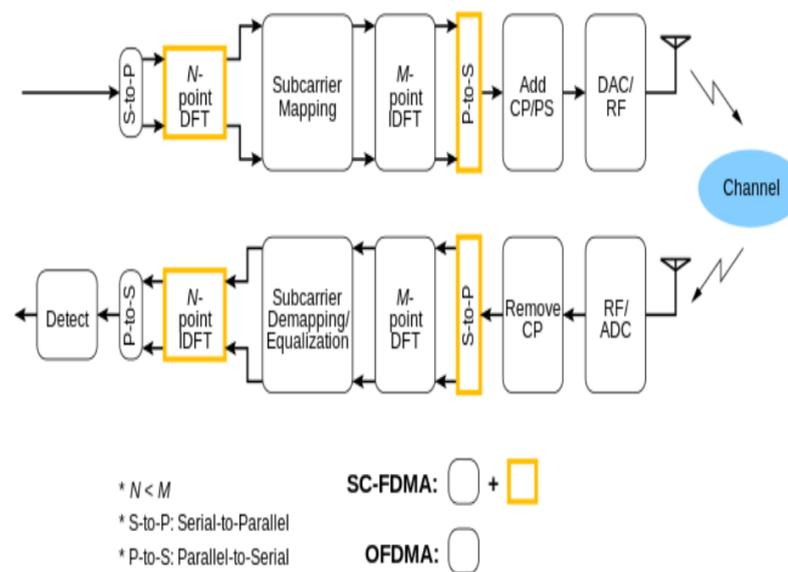


FIGURE I.13 – Modulations radio OFDMA et SC-FDMA : codage et conversions numérique/analogique

I.7.7-b SC-FDMA [1]

Le Single-Carrier FDMA (en anglais « Single-Carrier Frequency Division Multiple Access » ou SC-FDMA) est une technologie de codage radio numérique utilisée notamment dans les réseaux de téléphonie mobile de 4e génération LTE ; elle utilise simultanément les techniques de multiplexages de type accès multiple par répartition en fréquence et celui par accès multiple à répartition dans le temps (multiplexage fréquentiel et temporel).

Le SC-FDMA a attiré l'attention comme une alternative séduisante à l'OFDM et à l'OFDMA, particulièrement dans les communications terre-satellite et dans le sens de transmission montant (terminal vers antenne-relais) des réseaux mobile 4G LTE et LTE-Advanced.

Comme pour d'autres techniques à schéma d'accès multiples (TDMA, FDMA, CDMA, OFDMA), le but est l'attribution et le partage d'une ressource radio (bande de fréquence) entre plusieurs utilisateurs. Le SC-FDMA peut être considéré comme une variante linéaire des codages OFDM et OFDMA. Dans le sens où il consiste aussi à répartir sur un grand nombre de sous-porteuses (plusieurs centaines) le signal numérique ; il impose aussi un écart de fréquence entre les sous-porteuses égal à la fréquence des symboles ce qui garantit l'orthogonalité des sous-porteuses et permet une plus grande efficacité spectrale. Mais il utilise, en plus, une « DFT » (transformation de Fourier discrète) du signal pour précoder l'OFDMA conventionnel (voir Figure 14).

Contrairement à l'OFDM utilisé dans les réseaux Wi-Fi, il intègre, comme l'OFDMA, une fonction de multiplexage temporel (avec une base de temps "TTI" de 1 ms dans les réseaux mobiles LTE) qui permet de partager la bande de fréquence radio entre un plus grand nombre d'utilisateurs et avec plus de souplesse, cela permet notamment une adaptation rapide aux variations de débits qui caractérisent les flux d'accès à Internet.

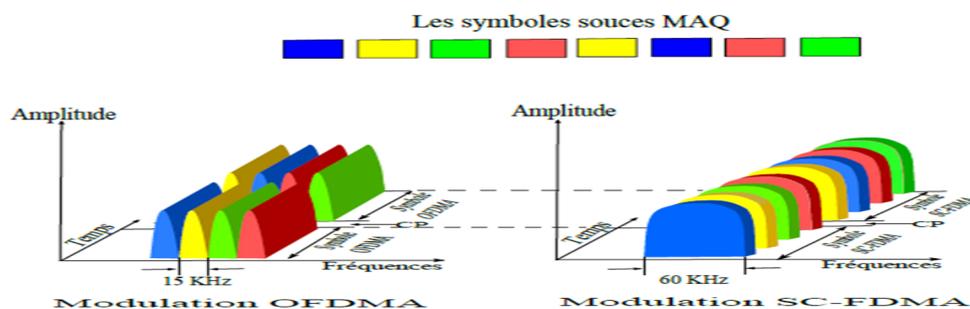


FIGURE I.14 – Modulation SC-FDMA comparée à l'OFDMA

Le principal avantage du SC-FDMA tient à un facteur de crête et à un PAPR (peak-to-average power ratio en anglais) plus faibles que ceux du codage OFDMA2; cela bénéficie au terminal mobile en termes d'efficacité énergétique, en diminuant la puissance crête d'émission et donc le poids et le coût du terminal (smartphone ou tablette tactile) et en contribuant à l'augmentation de l'autonomie de la batterie.

I.7.8 La technologie MIMO dans LTE [5]

MIMO est une technique basée sur la diversité spatiale en transmission sans fil, pour éviter les multi-trajets. Cette technologie permet d'envoyer plusieurs signaux différents sur des antennes différentes à des fréquences proches pour augmenter le débit ou la portée du réseau. Concrètement, plusieurs répliques de la même information sont transmises sur plusieurs canaux ayant des puissances comparables et des évanouissements indépendants, rendant la transmission de bonne qualité. Cela permet d'améliorer les performances des appareils, rapport signal à bruit et donc du taux d'erreurs binaires.

Lorsqu'un tel système comprend une seule antenne à l'émission et plusieurs antennes à la réception, il est nommé SIMO (Single Input Multiple Output). De même, lorsqu'il comprend plusieurs antennes à l'émission et une seule antenne à la réception, il est nommé MISO (Multiple Input Single Output). Finalement, si les deux côtés comptent une antenne chacun, le système est dit SISO (Single Input Single output).

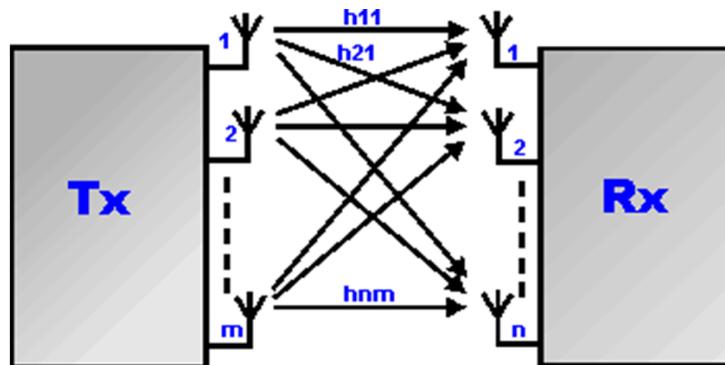


FIGURE I.15 – Présentation général du système MIMO

I.7.9 Trames radio LTE

Les trames LTE sont de 10 ms. elles sont divisées en 10 sous-trames, chaque sous-trame de longueur de 1 ms. Chaque sous-cadre est divisée en deux slots, chacun de 0,5 ms. Un slot est composé de 6 ou 7 symboles OFDM, selon que le préfixe cyclique normal ou étendu est employé.

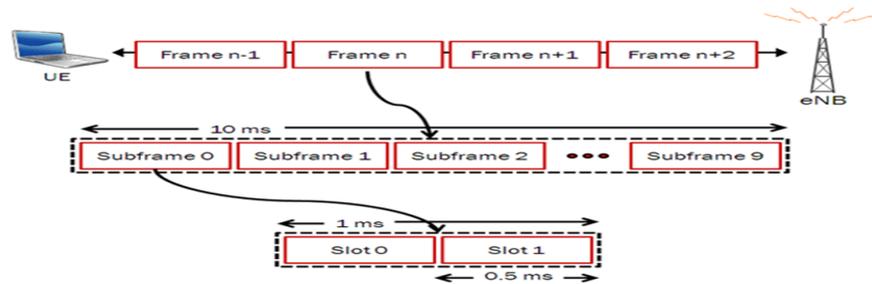


FIGURE I.16 – La trame LTE

I.7.9-a Le mode FDD

Le multiplexage de type FDD utilise une bande passante de 5 Mhz pour le débit descendant, et une bande passante de 5 Mhz pour le débit montant. Le débit maximal supporté par un seul code est de 384 kbit/s. Afin de pouvoir supporter un débit de 2 Mbit/s, plusieurs codes sont nécessaires.

Cette technique permet d'émettre et de recevoir simultanément, c'est son principale avantage face à l'autre technique majeure de duplexage, le TDD (Time Division Duplexing).

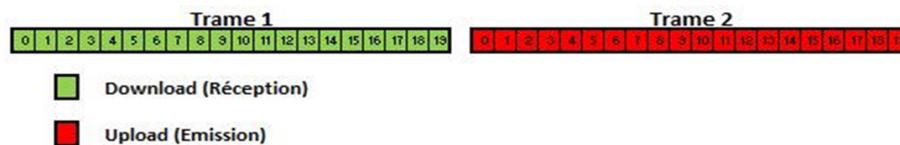


FIGURE I.17 – Méthode de Duplexage en Fréquence (FDD)

I.7.9-b Le mode TDD

Le multiplexage de type TDD n'utilise qu'une seule bande passante de 5 Mhz divisée en portions de temps (time slot) utilisables aussi bien pour le débit montant que pour le débit descendant. Elle comprend donc une composante TDMA (Time Division Multiple Access) en plus de la séparation par code. Cela permet d'obtenir une large gamme de débits de services en allouant plusieurs codes ou plusieurs intervalles de temps à un utilisateur.

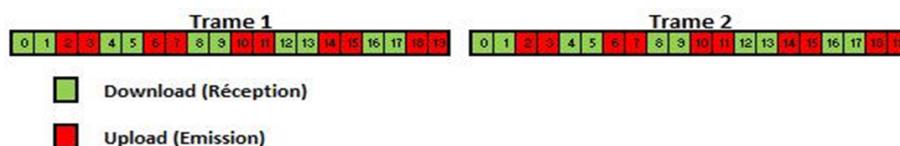


FIGURE I.18 – Méthode de Duplexage en Temps (TDD)

I.8 Conclusion

La LTE est une technologie avancée de communication radio mobile qui propose des débits d'ordre supérieur, et un bon niveau de QoS pour ses abonnés. Elle est soutenue par les européens et proposée par l'organisme 3GPP qui a déjà fixé toute la gamme de la téléphonie mobile fondée sur le monde des télécommunications. Dernièrement, cette technologie commence à prendre de l'avance par rapport au WiMAX. Cependant, le déploiement à grande échelle est relativement freiné par le coup induit par l'incompatibilité avec les équipements UMTS déjà fonctionnels.

Dans ce chapitre nous avons donné une vue d'ensemble de la technologie LTE, son architecture, ses couche protocolaire et les techniques utilisées pour la transmission. Dans le chapitre suivant nous détaillerons la gestion de mobilité et le principe du handover.

Chapitre II

Mécanisme de Handover intra-LTE

SOMMAIRE

II.1	INTRODUCTION	35
II.2	HANDOVER	35
II.3	NÉCESSITÉ DU HANDOVER [14]	35
II.4	DIFFÉRENTS TYPES DU HANDOVER	36
II.4.1	Mobile Controlled Handover Decision (MCHO)	36
II.4.2	Network Controlled Handover Decision (NCHO)	36
II.5	LES TECHNIQUES DU HANDOVER	37
II.6	NIVEAU DU HANDOVER	38
II.7	PROCESSUS DU HANDOVER	39
II.7.1	Phase I : Initiation du Handover et collecte d'informations	39
II.7.2	Phase II : Sélection du réseau destination	39
II.7.3	Phase III : Exécution du Handover	39
II.8	HANDOVER INTRA ET INTER LTE [17]	40
II.8.1	Handover Intra-LTE (Intra-MME / SGW) utilisant l'interface X2	40
II.8.2	Handover Intra-LTE (Intra-MME/SGW) utilisant l'Interface S1	43
II.8.3	Handover Inter-MME (sans changer S-GW) utilisant l'interface S1	44
II.8.4	Handover Inter-MME/SGW Utilisant l'interface S1	45
II.8.5	Handover Inter-RAT : E-UTRAN / UTRAN (le mode Iu)	46
II.9	ETUDE DÉTAILLÉE DU HANDOVER INTRA-LTE [19]	48
II.9.1	La phase de mesures	48
II.9.2	La phase de préparation	52
II.9.3	La phase d'exécution	54
II.9.4	La gestion du plan usager	54
II.9.5	Procédure de rétablissement (en cas d'échec)	59
II.9.6	La perte du lien radio et le rétablissement de connexion en LTE	59
II.9.7	Vitesse de déplacement et mobilité	62
II.10	LES PERFORMANCES DE L'UE EN HANDOVER	63
II.11	CONCLUSION	63

II.1 Introduction

Au cours d'un appel sur un réseau mobile, l'utilisateur peut être amené à se déplacer hors de la cellule sur laquelle l'appel a été établi. Cette mobilité ne doit pas conduire à la coupure de l'appel. Pour assurer cette continuité de service, le réseau mobile met en œuvre des mécanismes basculant l'UE vers la meilleure cellule qui peut l'accueillir. Ces mécanismes reposent 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.

Trois types de mécanismes peuvent être distingués pour la mobilité en mode connecté.

- La resélection, qui repose sur les mêmes principes que ceux utilisés en mode veille, Lors de ce mécanisme, le réseau n'effectue aucune préparation sur la cellule cible.
- La redirection consiste à envoyer l'UE vers une cellule cible, sans dialogue préalable entre la station de base d'origine et celle de destination.
- Le handover se distingue de la redirection par une phase de préparation de la station de base de destination et par une bascule du flux de données plus rapide et souvent plus fiable (car plus proche de l'interface radio) : il suit le principe désigné en anglais *make before break*, c'est-à-dire de préparer l'environnement radio cible avant de relâcher l'existant [19].

Le mécanisme de handover est largement utilisé sur les réseaux mobiles, en particulier au sein d'un même système, car dans ce cas le dialogue entre stations de base est simplifié. Il est par exemple mis en œuvre pour la mobilité en appel au sein des systèmes GSM et UMTS, de même qu'entre ces deux systèmes pour la continuité des appels voix.

Ce chapitre a pour objectif d'apporter au lecteur les éléments essentiels de la mobilité en mode connecté, au sein du système LTE d'une part, et entre le LTE et les autres systèmes 3GPP d'autre part.

II.2 Handover

Le handover est un mécanisme fondamental dans la communication cellulaire (GSM ou UMTS par exemple). Globalement, c'est l'ensemble des opérations mises en œuvre permettant qu'une station mobile puisse changer de cellule sans interruption de service. Ce mécanisme permet l'itinérance entre cellules ou opérateurs.

II.3 Nécessité du Handover [14]

Le Handover est le processus qui permet à un nud mobile de changer son point d'attachement. Un nud mobile connecté sur un réseau peut, pour améliorer la qualité de service, avoir le besoin de le quitter pour aller se connecter à une autre cellule, soit du même réseau, soit d'un nouveau réseau.

Parmi les causes qui sont à l'origine d'un besoin de Handover nous pouvons citer :

- Le noeud mobile quitte la zone de couverture de la cellule courante et communique à travers une nouvelle cellule.
- Le noeud mobile subit une grande interférence sur la cellule courante d'où le besoin de passer sur une autre cellule (du même réseau ou d'un réseau différent), où il y a moins d'interférence.
- Le nombre des noeuds mobiles dans une cellule est très important de façon que la bande passante soit insuffisante provoquant ainsi une détérioration de la qualité du service. Le mobile peut choisir d'aller dans les cellules voisines qui sont moins encombrées.

Le Handover peut avoir lieu entre deux cellules de même technologie et sera appelé Handover Horizontal, ou bien entre deux cellules utilisant des technologies différentes, c'est dans ce cas un Handover Vertical. Finalement, la combinaison de ces deux versions de Handover est appelée Handover Diagonal permettant de transférer le trafic d'un point d'accès dont on arrive en limite de connexion vers un réseau de technologie différente.

II.4 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 [14].

II.4.1 Mobile Controlled Handover Decision (MCHO)

Le nud 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 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 nud mobile pour décider du réseau de destination.

II.4.2 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 nud mobile (mobile initiated) ou bien assisté par le nud mobile (mobile assisted). Selon le premier cas, (Handover initié par le mobile), le nud 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 noeud 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 nud mobile assiste seulement ce processus

(Mobile Assisted Handover, MAHO) en lui offrant des mesures sur des paramètres qui aideront le réseau à prendre la décision.

II.5 Les techniques du handover

On peut caractériser un handover à partir des critères suivants [19] :

- 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, un handover entre deux cellules du même système sera dit intrafréquence si les cellules sont portées par la même fréquence radio et interférence dans le cas contraire. On parle de handover inter-RAT ou intersystème lorsque les deux cellules appartiennent à deux systèmes différents. Les fréquences sont alors nécessairement différentes.

Le second critère est moins évident. Si le lien radio sur la cellule source est relâché avant l'établissement du lien radio sur la cellule cible, la bascule est réalisée avec une interruption de la transmission sur l'interface radio entre l'UE et le réseau. Au contraire, si le second lien radio est établi entre la cellule cible et l'UE alors que le lien sur la cellule source est toujours actif, la transmission radio ne sera pas interrompue. L'UE a alors deux liens radio actifs, qui portent les mêmes données depuis et vers l'UE, et qui lui offrent un gain de diversité : les deux liens empruntent des chemins radio différents et ne sont donc pas soumis aux mêmes perturbations. La station de base peut alors réduire sa puissance d'émission vers l'UE, ou la maintenir pour améliorer la réception de l'UE. Le lien initial peut donc être conservé au-delà de cet ajout et être supprimé par exemple lorsque sa qualité deviendra trop faible pour apporter une information utile à l'UE (voir la figure suivante). Le terme *soft handover* a été choisi pour désigner cette bascule opérée sans interruption du lien radio entre l'UE et le réseau. Par opposition, on a alors consacré la dénomination *hard handover* au type de handover précédent, illustré sur la partie droite de la figure suivante : le lien radio sur la cellule C1 est relâché avant l'établissement du lien sur la cellule C2.

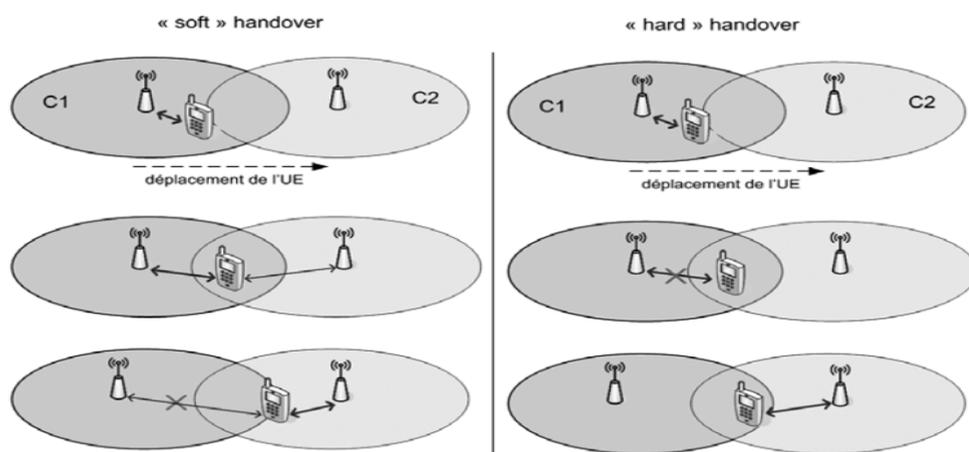


FIGURE II.1 – Principes du soft handover et du hard handover

Le principe du soft handover a été en premier lieu utilisé dans les systèmes CDMA de seconde génération. Il a été repris dans le système UMTS (qui repose également sur un accès à répartition par les codes, ou CDMA) comme principal mécanisme de mobilité intrafréquence. Le soft handover n'a en revanche pas été défini dans la première version (Release 8 3GPP) du système LTE.

II.6 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 Interconnection model). Selon que le Handover est exécuté au niveau d'une couche particulière, un standard différent peut intervenir. Le Tableau suivant montre différents protocoles, à différents niveaux du modèle en couches, qui permettent de gérer la mobilité des terminaux.

TABLE II.1 – Niveau du Handover [14]

Protocole Utilisé pour HO	Niveau de la couche	Paramètres Significatifs
Session Initiation Protocol (SIP)	Couche Application	- Préférence utilisateurs - Alerte de sécurité - Information sur le contexte - Paramètre de QoS
Media Independent Handover (MIH)	Entre la couche Liaison et la couche Réseau	- 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)	Couche Transport	- La charge réseau (Load) - Topologie du réseau et information sur le routage
Mobile IP et ses variantes (MIPv4, MIPv6, FMIPv6, HMIPv6)	Couche Réseau	- Agent externe disponible - Configuration réseau et préauthenticatation
Fast Base Station Switching (FBSS)	Couche Liaison	- État des liens - Paramètres des liens - Condition d'accès radio
Cross-Layer	Peut être à différents niveaux	- Paramètre de QoS - Authentification - Puissance du signal

II.7 Processus du Handover

Quel que soit les raisons qui poussent un noeud mobile à quitter son réseau courant pour aller sur un nouveau réseau (Handover), ce processus doit être imperceptible pour l'utilisateur. 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.

II.7.1 Phase I : Initiation du Handover et collecte d'informations

Un processus de Handover doit commencer quand un noeud 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 nud 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, Bit Error Ratio (BER), Signal to Interference Ratio (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.

II.7.2 Phase II : 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 nud mobile. Le mécanisme de sélection d'un nouveau réseau est laissé au libre choix de l'utilisateur.

L'implémentation du MIH par NIST dans NS implémente un algorithme basé sur un seul paramètre (la puissance du signal). Dans la littérature, plusieurs sortes de solutions ont été proposées : certaines proposent une approche basée les algorithmes et d'autres s'appuient sur les principes de la logique floue.

II.7.3 Phase III : Exécution du Handover

Dans la phase précédente, nous avons choisi le réseau auquel le nud 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) et, (4) Handover initié par le mobile et assisté par le réseau (mobile initiated but Network Assisted Handover NAHO).

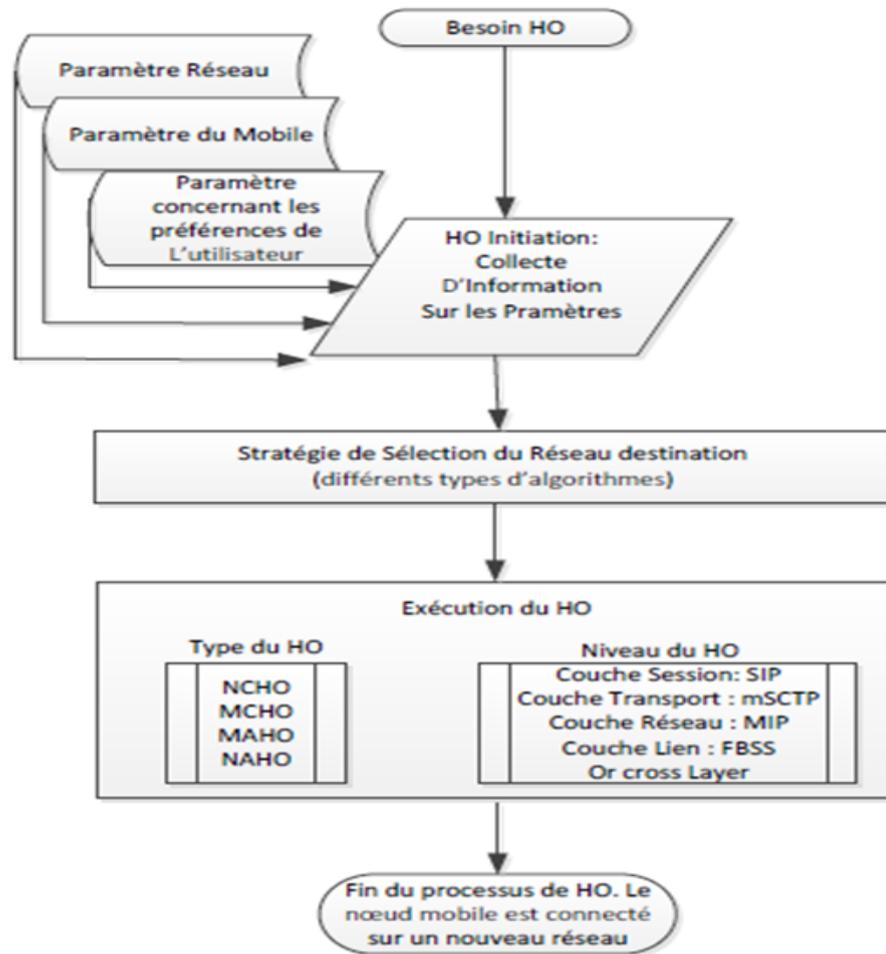


FIGURE II.2 – Processus du Handover

II.8 Handover Intra et inter LTE [17]

II.8.1 Handover Intra-LTE (Intra-MME / SGW) utilisant l'interface X2

Cette procédure est utilisée pour un transfert direct d'un UE d'un eNodeB source (S-eNB) à un eNodeB cible (T-eNB) en utilisant l'interface X2 lorsque l'entité de gestion de mobilité (MME) et le service de passerelle (SGW) sont inchangés.

La procédure X2 de transfert est effectuée sans la participation de l'Evolved Packet Core (EPC), à savoir des messages de préparation sont directement échangés entre le S-eNB et T-eNB. La libération des ressources du côté de la source pendant la phase d'exécution de transfert est déclenchée par le T-eNB. Le flux de messages est représenté sur la figure 3, suivie par la description.

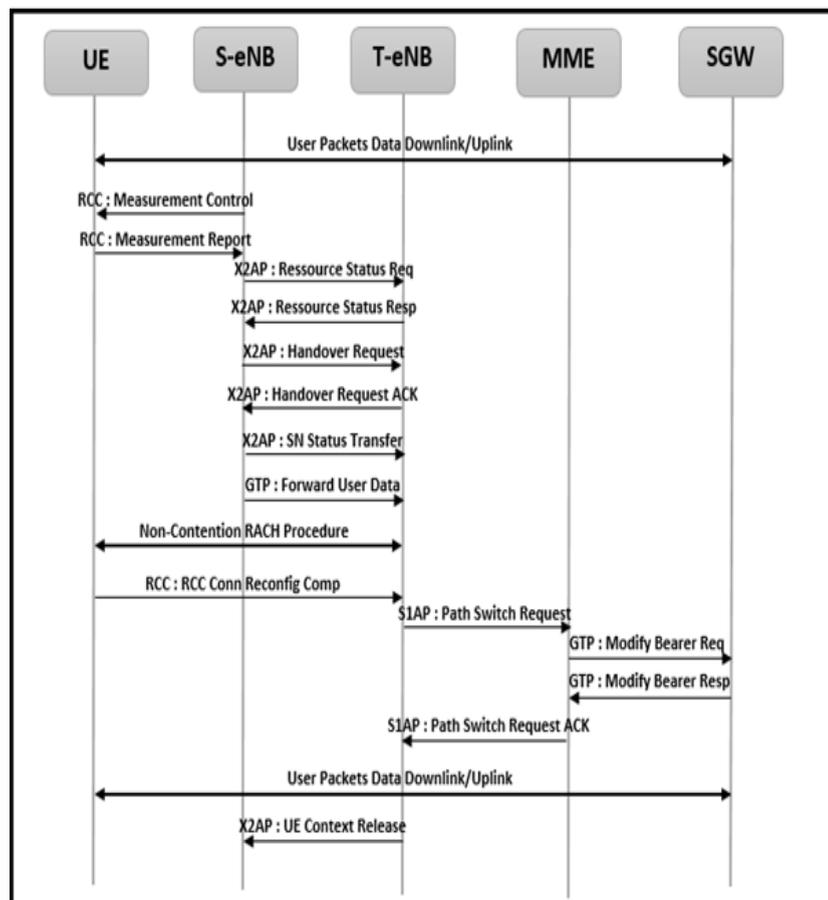


FIGURE II.3 – Handover Intra-LTE via l'interface X2

1. Un appel de données est établi entre l'équipement utilisateur, S-eNB et les éléments du réseau. Les paquets de données sont transférés vers / depuis l'équipement utilisateur vers / depuis le réseau dans les deux sens (DL ainsi que UL).
2. Le réseau envoie le message MEASUREMENT CONTROL REQ à l'UE pour définir les paramètres à mesurer et à fixer des seuils pour ces paramètres. Son but est d'instruire l'UE d'envoyer un rapport de mesure au réseau dès qu'il détecte les seuils.
3. L'UE envoie le rapport de mesure à la S-eNB après qu'il répond aux critères du rapport de mesure communiqués précédemment. Le S-eNB prend la décision de remettre hors UE à un T-eNB en utilisant l'algorithme de transfert ; chaque opérateur de réseau pourrait avoir son propre algorithme de transfert.
4. Le S-eNB émet le message RESOURCE STATUS REQUEST pour déterminer la charge sur T-eNB. Basé sur la réponse RESSOURCES STATUS reçu, le S-eNB peut prendre la décision d'aller plus loin dans la poursuite de la procédure de handover en utilisant l'interface X2.
5. Le S-eNB émet un message HANDOVER REQUEST au T-eNB passant les informations nécessaires pour préparer le transfert du côté de la cible (par exemple, UE Contexte qui comprend le contexte de sécurité et de Contexte RB (y compris E-RAB à RB Mapping) et l'information de la cellule cible).

6. Le T-eNB vérifie la disponibilité des ressources et, le cas échéant, se réserve les ressources et renvoie le message HANDOVER REQUEST ACKNOWLEDGE comprenant un récipient transparent à envoyer à l'UE en tant que message RRC pour effectuer le transfert intercellulaire. Le récipient comprend un nouveau C-RNTI, T-eNB identificateurs d'algorithme de sécurité pour les algorithmes de sécurité sélectionnés, et peut comprendre un préambule RACH dédié et peut-être quelques autres paramètres (Par exemple, des paramètres d'accès, SIBs, etc.).
7. Le S-eNB génère le message RRC pour effectuer le transfert, i.e, RRC CONNECTION RECONFIGURATION y compris le mobility Control Information. Le S-eNB assure la protection de l'intégrité nécessaire et le chiffrement du message et l'envoi à l'UE.
8. Le S-eNB envoie le message STATUS TRANSFERT eNB au T-eNB pour transmettre le PPC et état HFN de l'E-RAB.
9. Le S-eNB commence la transmission des paquets de données de liaison descendante vers le T-eNB pour tous les supports de données (Qui sont en cours de création dans le T-eNB pendant le traitement des messages HANDOVER REQ).
10. Dans l'intervalle, l'UE tente d'accéder à la cellule T-eNB en utilisant la procédure d'accès aléatoire à base de non-affirmation. Si elle réussit à accéder à la cellule cible, il envoie le RRC CONNECTION RECONFIGURATION COMPLETE du T-eNB.
11. Le T-eNB envoie un message PATH SWITCH REQUEST à l'MME pour l'informer que l'UE a changé les cellules, y compris le TAI + ECGI de la cible. Le MME détermine que le SGW peut continuer à servir l'UE.
12. La MME envoie une requête MODIFY BEARER REQUEST (adresse eNodeB et TEIDs pour le plan d'utilisateur de liaison descendante pour les porteurs EPS acceptés) au SGW. Si le PDN GW a demandé à l'UE où se trouve l'information, le MME comprend également l'emplacement de l'utilisateur de l'information IE dans ce message.
13. Le SGW envoie les paquets de liaison descendante vers la cible eNB en utilisant les adresses et TEIDs nouvellement reçues (chemin commuté dans le chemin de données de liaison descendante à T-eNB) et de la réponse à l'actualisation porteur MME.
14. Le SGW envoie un ou plusieurs paquets "marqueur de fin" sur le vieux chemin du S-eNB et peut ensuite libérer tous les plans utilisateur / ressources TNL vers le S-eNB.
15. Le MME répond à la T-eNB avec un message PATH SWITCH REQ ACK pour notifier l'achèvement du transfert.
16. Le T-eNB demande maintenant le S-eNB pour libérer les ressources en utilisant le message X2 UE CONTEXTE RELEASE. Avec cela, la procédure de handover est terminée.

II.8.2 Handover Intra-LTE (Intra-MME/SGW) utilisant l'Interface S1

La procédure de transfert sur la base S1 est utilisé lorsque le transfert sur la base X2 - ne peut pas être utilisé - e.g , aucun X2 connectivité au eNodeB cible . L'indication d'erreur provenant du T- eNB après un infructueux transfert intercellulaire sur la base X2 ; ou par des informations dynamiques apprises par le S- eNB en utilisant la procédure STATUS TRANSFERT. Le S- eNB initie le transfert en envoyant un Handover message requis au cours du point de référence S1 -MME. La EPC ne change pas les décisions prises par le S- eNB .

La disponibilité d'une voie de transmission directe est déterminée par la fonction S- eNB (basé sur la connectivité X2 avec le T- ENB) et indique à la source MME. Si un chemin de transmission directe n'est pas disponible, le transfert indirect sera utilisé. La source MME utilise l'indication de la S- eNB pour déterminer si la transmission indirecte est appliquée ou non. Le flux de messages est représenté sur la figure II.4.

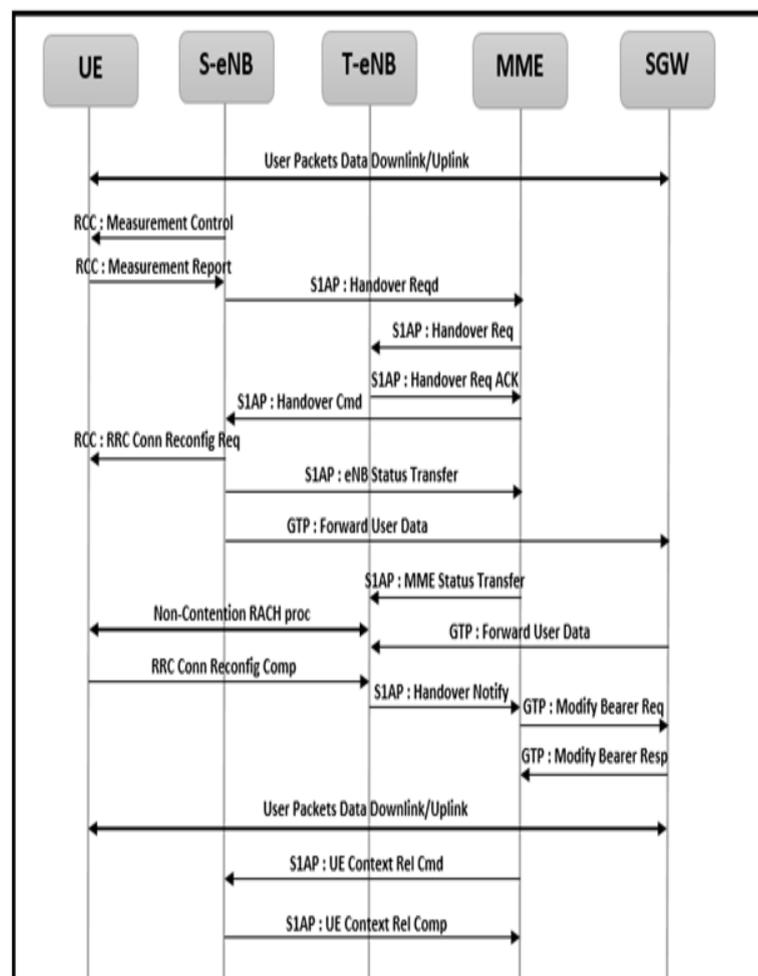


FIGURE II.4 – Handover Intra-LTE (Intra-MME/SGW) via l'interface S1

II.8.3 Handover Inter-MME (sans changer S-GW) utilisant l'interface S1

Dans un transfert inter-MME, deux MME sont impliqués dans le transfert, la MME source (S-MME) et cible MME (T-MME). Le S-MME contrôle le S-eNB et le T-MME contrôle le T-eNB ; les deux MME sont reliées à la même SGW. Ce transfert est déclenché lorsque l'UE se déplace d'une zone MME vers une autre zone MME.

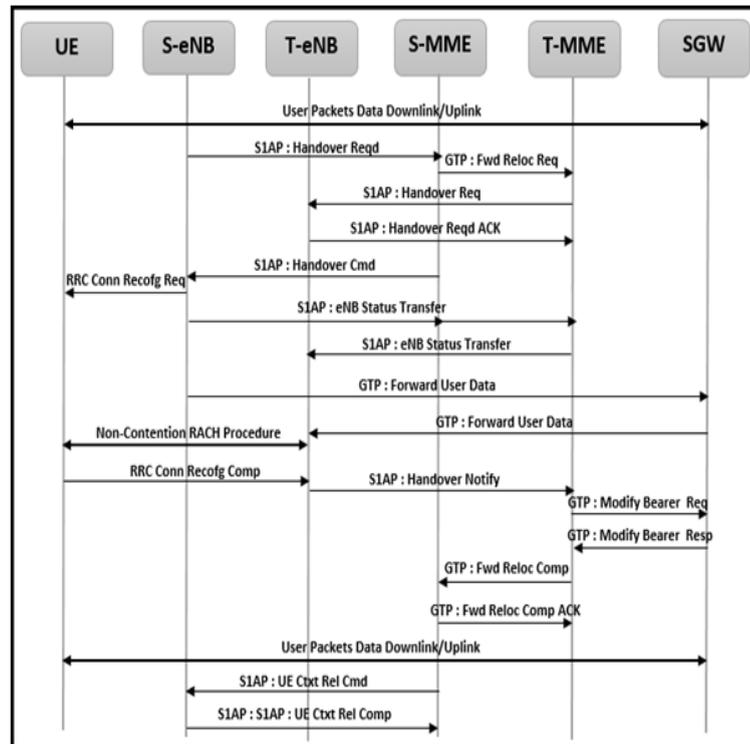


FIGURE II.5 – Handover Inter-MME (intra SGW)

1. Comme il est indiqué dans la section précédente (Intra-MME / SGW handover), basé sur le rapport de mesure de l'UE, le S-eNB décide le transfert de l'UE à un autre eNodeB (T-eNB). La procédure de transfert dans cette section est très similaire à celle de la section précédente, sauf pour la participation de deux MME de coordination de la signalisation entre les sources et cibles eNodeB.
2. Le S-MME utilise la signalisation GTP pour communiquer le transfert de signalisation au T-MME et vice versa. La procédure FORWARD RELOCATION dans GTP-C est utilisée ici.
3. Après avoir reçu le S1 HANDOVER REQUIRED, le S-MME détecte que la cellule cible demandée pour un transfert appartient à un autre MME et initiés le message GTP RELOCATION REQ au T-MME.
4. Le T-MME crée la connexion logique S1 vers le T-eNB et envoie le HANDOVER REQ S1.

5. Le T-eNB prépare les ressources demandées et répond par un HANDOVER REQ ACK au T-MME.
6. Le T-MME envoie un GTP FORWARD RELOCATION RESP au S-MME, de notifier à la réservation de ressources au T-eNB. A partir de ce moment-là, l'interaction entre le S-MME et S-eNB est très similaire à la remise Intra-MME / SGW base-S1 décrite dans la section précédente.
7. Les paquets de données DL sont transmises à partir de la S-eNB à T-eNB via le SGW, lors de la remise la SGW ne change pas.
8. Une fois que le T-eNB détecte l'UE dans sa zone, il notifie à l'T-MME avec un message S1 HANDOVER NOTIFY.
9. Le T-MME notifie à l'achèvement de la remise à la S-MME avec un message GTP FORWARD RELOCATION COMPLETE NOTIFY.
10. Le S-MME reconnaît le GTP FORWARD RELOCATION COMPLETE NOTIFY à la T-MME et procède à la compensation de la connexion logique S1 et les ressources de support associés.

II.8.4 Handover Inter-MME/SGW Utilisant l'interface S1

Ce scénario est similaire à la section précédente avec la différence étant la source et eNodeB cible sont desservis par différents noeuds MME / SGW. La figure 6 illustre la procédure et est suivie par l'explication.

1. Comme décrit dans la section précédente (Inter-MME, Intra-SGW handover), basée sur le rapport de mesure de l'UE, le S-eNB décide le transfert de l'UE à un autre eNodeB (T-eNB). La procédure de transfert dans cette section est très similaire à celle de la section précédente, à l'exception de la participation des deux SGWs (S-SGW et T-SGW) pour transférer les paquets de données au cours de la remise.
2. Après la réception du GTP : Avant la relocalisation REQ du S-MME, le T-MME détecte le changement du SGW et initie la création du support vers la cible SGW (T-SGW) en utilisant un GTP : CREATE SESSION message REQ.
3. Après la création des porteurs demandés, le T-SGW revient à la MME avec un message de réponse GTP : CREATE SESSION.
4. A partir de ce point, le flux des messages est très similaire à celui de la section précédente (Inter-MME, Intra-SGW handover), sauf pour les différences suivantes.
 - Lors du traitement du message S1 TRANSFERT NOTIFY du T-eNB, les T-MME faisant les mises à jour des informations de point de terminaison T-eNB au T-SGW utilisant GTP : MODIFIER PORTEUR REQ.
 - Après la mise à jour des informations T-eNB dans les porteurs (créé avec succès au cours de la remise), le T-SGW répond par un GTP : un message MODIFY BEARER RESPONSE au T-MME.
 - Après avoir réussi le transfert, le S-MME prend soin de libérer des ressources au porteur avec le S-SGW pour cet UE en lançant le GTP : la procédure DELETE SESSION.

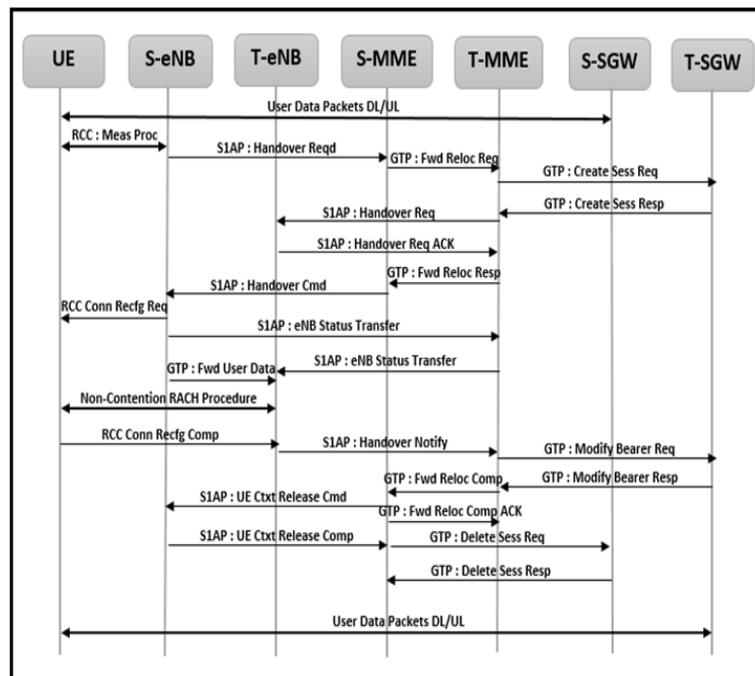


FIGURE II.6 – Inter-MME / SGW Handover

II.8.5 Handover Inter-RAT : E-UTRAN / UTRAN (le mode Iu)

Phase de préparation Dans l'Inter RAT handover LTE-UMTS, le eNodeB source se connecte à la S-MME et S-SGW tandis que le RNC cible se connecte au T-SGSN et T-SGW ; à la fois source et cible et les SGWs se connectent au même PGW. Cette procédure est divisée en deux parties, la préparation et l'exécution. Dans la phase de préparation, les ressources sont réservées dans le réseau cible, dans la phase d'exécution, l'équipement UE est transféré au réseau cible à partir du réseau source. Le flux de messages de la phase de préparation est présenté dans la figure 7, suivie de la description.

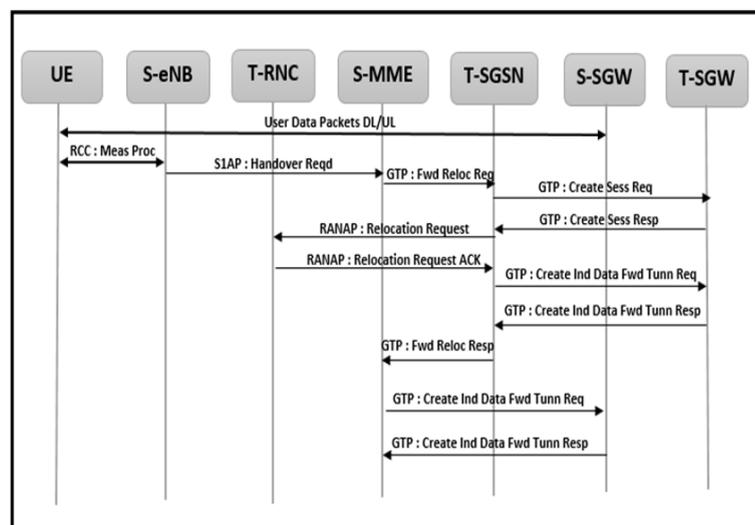


FIGURE II.7 – Inter-RAT LTE/UMTS Handover : phase de préparation

1. Une fois le transfert inter-RAT est décidé à la S-eNB basé sur la procédure de rapport de mesure, il prépare et envoie un message REQUISE DE TRANSFERT à la S-MME.
2. Le S-MME détecte qu'il est un transfert inter-RAT à partir du contenu du message, récupère les informations cibles SGSN à partir de la base de données sur la base des informations contenues dans le message. Il prépare maintenant et envoie un GTP-C : FORAWRD DEMANDE DE RELOCALISATION au T-SGSN.
3. Le T-SGSN détecte le changement de SGW et crée les ressources de support dans le T-SGW en lançant le GTP : la procédure CREATE SESSION.
4. Une fois que les ressources sont réservées au T-SGW, il répond à la T-SGSN avec un GTP : le message CREATE SESSION RESPONSE.
5. Le T-SGSN réserve maintenant les ressources au T-RNC en envoyant un RANAP : le message RELOCATION REQUEST.
6. Le T-RNC réserve les ressources radio et répond à la T-SGSN avec un RANAP : le message RELOCATION REQUEST ACK.
7. Le T-SGSN crée les tunnels de transfert de données indirectes dans le T-SGW pour le transfert de paquets de DL du S-SGW à T-SGW pendant le transfert.
8. Après la création indirecte de tunnel de transmission de données, le T-SGSN répond avec un GTP : Transfère du message FORWARD RELOCATION RESPONSE à la S- MME.
9. Le S- MME doit créer des tunnels indirects de transfert de données lorsque les ressources sont réservées avec succès dans le réseau cible à transmettre les paquets DL.

Phase d'exécution

1. Le S-MME envoie le message HANDOVER COMMAND pour le S-eNB avec la cible à la source récipient transparent.
2. Le S-eNB prépare et envoie le message MOBILITY FROM EUTRA COMMAND pour préparer l'UE pour le transfert vers le réseau cible.
3. Après avoir accédé à la cellule UMTS cible, l'UE envoie un message HO TO UTRAN COMPLETE au T- RNC signalant le transfert réussi.
4. Le S- eNB transmet les paquets de données DL vers le T-SGW par le S-SGW au cours du transfert. Cette étape peut survenir à tout moment après avoir reçu le message S1AP HANDOVER COMMAND du S-MME. Elle est exécutée dans le cas où le chemin de transmission directe n'est pas disponibles avec le T-RNC, sinon il va transmettre les paquets de données DL à la T-RNC directement. Les deux options sont présentées sur la figure II.8.
5. Une fois le T-RNC détecte l'UE dans sa zone, il notifie à l' T-SGSN sur l'achèvement de la remise en envoyant un RANAP : le message RELOCATION COMPLETE.
6. Le T-SGSN informe l'achèvement du transfert au S-MME en envoyant un GTP : FORWARD RELOCATION COMPLETE NOTIFICATION ACK. Le S-MME reconnaît ce message et procède à la libération des ressources associées à cette UE à la S-SGW et S-eNB.

7. Le T-SGSN modifie les ressources E-RAB au T-SGW en ouvrant la procédure GTP MODIFY BEARER.
8. Le T-SGW informe les paramètres au porteur avec le PGW en ouvrant la procédure GTP MODIFY BEARER.

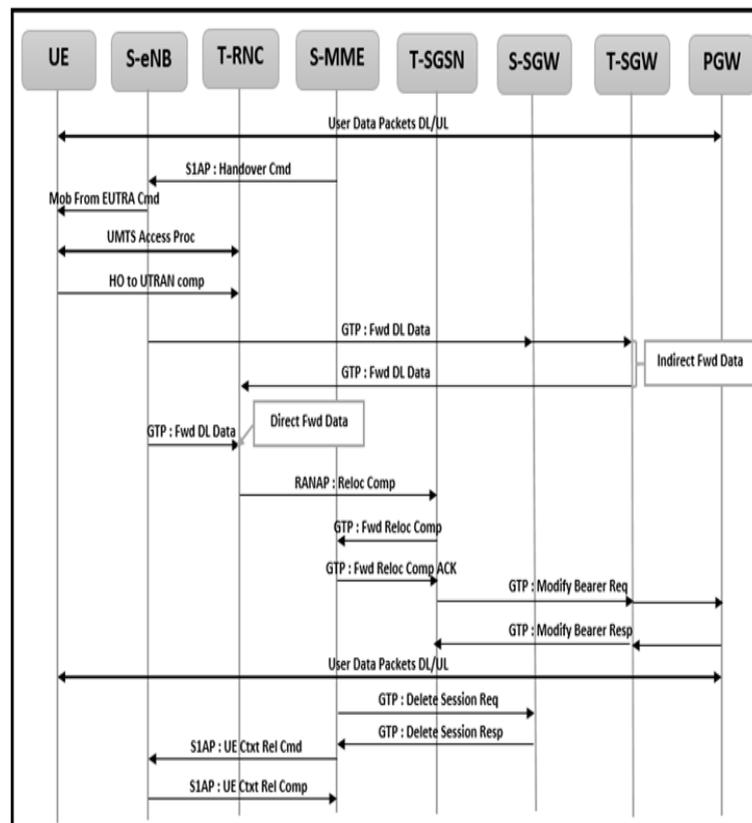


FIGURE II.8 – Inter RAT LTE/UMTS Handover : phase d'exécution.

II.9 Etude détaillée du Handover intra-LTE [19]

Cette section décrit la procédure de Handover au sein du LTE (Handover intra-LTE). Il s'agit de la seule procédure définie pour la mobilité en mode connecté au sein du système LTE. Le Handover intra-LTE est de type hard Handover.

Les aspects suivants sont décrits dans cette section :

- les mesures.
- la préparation du Handover.
- l'exécution du Handover.
- la procédure en cas d'échec.

II.9.1 La phase de mesures

L'UE est capable, en mode veille, de détecter les cellules voisines intra et inter fréquences sur la seule indication de leur fréquence porteuse, évitant ainsi la nécessité d'indiquer sur

la cellule serveuse une liste complète de cellules voisines LTE.

En mode connecté, il faut considérer deux contraintes.

- Les informations dont l'UE a besoin pour détecter une cellule voisine. Ici, les capacités de l'UE sont identiques au mode veille : l'indication de la fréquence porteuse lui suffit pour détecter les cellules présentes sur cette fréquence dans le voisinage de la cellule serveuse.
- Le besoin ou non d'intervalles de mesures aménagés spécifiquement par l'eNodeB pour l'UE dans la trame radio (trous). Cette question ne se pose pas en mode veille puisque l'UE ne reçoit pas de données en continu de l'eNodeB.

II.9.1-a La détection des cellules voisines LTE

L'UE n'a pas besoin de recevoir une liste de cellules voisines LTE pour les détecter. Cette détection met en jeu les signaux de synchronisation émis par chaque cellule. Par ailleurs, l'eNodeB peut signaler une liste noire (ou blacklist) de cellules que l'UE ne doit pas mesurer. Signaler cette liste à l'UE pour les mesures limite sa consommation. En effet, même si, in fine, l'eNodeB décide de ne pas réaliser le Handover vers une cellule cible faisant partie de la liste noire, l'UE détectera et mesurera inutilement ces cellules si elles ne lui sont pas interdites.

Par ailleurs, pour la mesure proprement dite, l'UE n'a pas besoin d'intervalles de mesure (gaps) pour les cellules intra-fréquences : il est capable de mesurer ces cellules tout en continuant de recevoir des données sur la cellule serveuse, de façon simultanée.

Pour les cellules inter-fréquences en revanche, ces intervalles de mesure peuvent être nécessaires à l'UE, suivant ses capacités : seul un UE pourvu de deux chaînes de réception radio LTE peut simultanément réaliser des mesures inter-fréquences et poursuivre la réception de données sur la cellule serveuse. Une telle configuration matérielle implique un coût accru du terminal.

II.9.1-b Mesures intra-fréquences et inter-fréquences

En LTE, une cellule se caractérise dans le domaine fréquentiel par sa fréquence centrale f_c et sa largeur de bande. Deux cellules voisines peuvent donc avoir la même fréquence centrale mais une largeur de bande différente, ou une fréquence centrale différente avec la même largeur de bande. Le terme intra-fréquence est réservé au cas de cellules partageant la même fréquence centrale, quelle que soit leur largeur de bande respective (scénarios 1, 2 et 3 sur la figure 9). Au contraire, si cette fréquence est différente, on parlera de cellules inter-fréquences (scénarios 4, 5 et 6).

L'UE effectue les mesures des cellules voisines sur une bande de fréquence dont la largeur est indiquée par la cellule serveuse dans ses Informations Système.

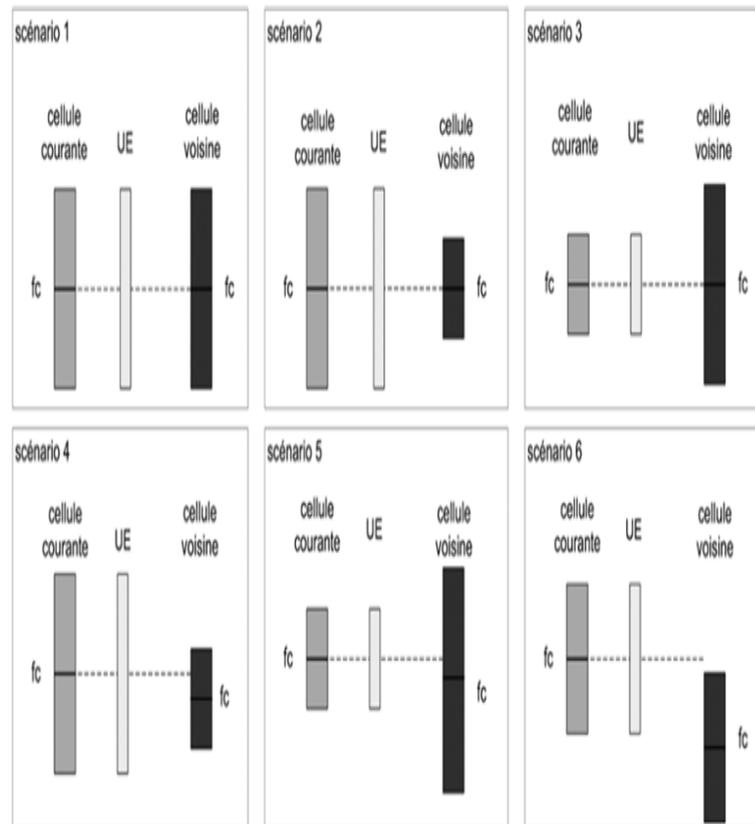


FIGURE II.9 – Deux cellules intra-fréquences ont la même fréquence centrale

II.9.1-c Configuration et remontée des mesures

Lors de la configuration d'une mesure, l'eNodeB associe un objet, c'est-à-dire l'élément sur lequel porte la mesure, à une configuration de remontée, c'est-à-dire la façon dont la mesure doit être remontée à l'eNodeB. L'objet de mesure peut être la fréquence LTE courante ou une autre fréquence LTE. L'UE mesure pour chaque cellule détectée le niveau de signal qu'il reçoit de la cellule. Cette mesure s'effectue à l'aide des signaux de référence communs à la cellule CRS. et est appelée RSRP (Reference Signal Received Power).

L'UE réalise un filtrage sur les mesures de RSRP fournies par la couche physique et remonte cette valeur filtrée à l'eNodeB ou la compare au seuil configuré pour l'événement.

Ensuite, la remontée des mesures suit un des schémas suivants :

- Sur événement (dit event-triggered en anglais) : dans ce cas, l'UE informe l'eNodeB lorsque l'événement survient. Ce dernier est au préalable configuré par l'eNodeB au moyen du protocole RRC, qui indique notamment le ou les seuil(s) radio associé(s)

au critère de déclenchement et la durée T pendant laquelle ce critère doit être vérifié (appelée *time-to-trigger*). L'événement suivant peut par exemple être utilisé pour déclencher un Handover intra-fréquence : « une cellule voisine mesurée devient meilleure de 6 dB que la cellule courante et le reste pendant T secondes ».

- De façon périodique : l'UE envoie régulièrement à l'eNodeB des rapports de mesures, conformément au format et à la fréquence définis par l'eNodeB lors de la configuration des mesures.
- De façon périodique après un événement : il s'agit d'une combinaison des deux modes précédents.

Une fois que le critère associé à l'événement configuré est atteint, l'UE envoie des rapports de mesures de façon périodique, dans la limite d'un nombre prédéterminé de rapports.

La remontée périodique permet à l'eNodeB de suivre l'évolution de l'UE vis-à-vis de l'objet mesuré et, par exemple, de déclencher un Handover lorsque la mesure remontée se dégrade de façon continue. En revanche, elle implique plus de signalisation qu'une remontée sur événement et peut donc induire une charge radio plus importante sur la voie montante. Il faut bien noter cependant que la périodicité avec laquelle l'UE réalise les mesures ne dépend pas de ce mode de remontée.

En général, les mesures intra-fréquences LTE sont configurées dès l'établissement de la connexion RRC, puisqu'elles sont indispensables au réseau pour assurer la mobilité sur une plaque de cellules LTE.

II.9.1-d Mesures en mode DRX

Lorsque le DRX est utilisé en mode connecté, la période de mesure est limitée à la durée d'activité, comme illustré à la figure suivante. De ce fait, les exigences sur la précision des mesures et la rapidité de détection de nouvelles cellules voisines sont relâchées et elles dépendent de la durée du cycle DRX. Maintenir les mêmes exigences de performances avec et sans DRX impliquerait une activité de mesure et de remontée identique et réduirait donc notablement le gain apporté par ce mécanisme.

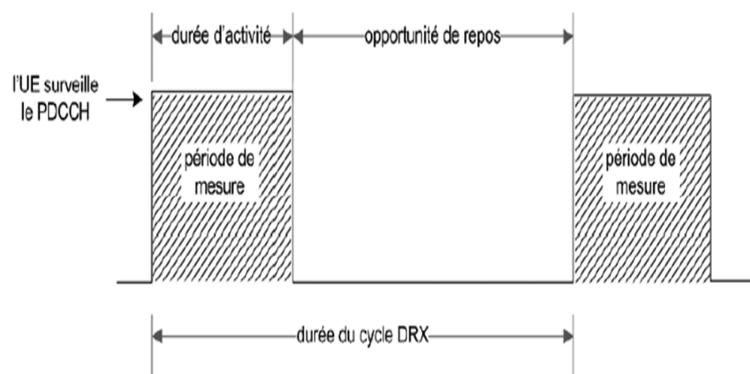


FIGURE II.10 – Mode DRX

II.9.2 La phase de préparation

La préparation peut être réalisée entre les deux eNodeB via l'interface X2 si elle existe, ou, à défaut, par l'intermédiaire du MME via l'interface S1. Dans les deux cas cependant, la procédure sur l'interface radio est identique. L'utilisation de l'interface S1 pour le Handover est nécessaire lorsque l'opérateur ne peut mettre en oeuvre d'interface X2 entre certains eNodeB. Cependant, les délais de préparation et de transfert des données peuvent être plus longs puisque les messages transitent par le MME et traversent ainsi deux interfaces S1 (entre eNodeB source et MME, puis entre MME et eNodeB cible). Si la cellule cible appartient au même eNodeB, celui-ci n'engage aucune procédure de préparation.

La figure suivante représente la cinématique des flux de signalisation dans le cas d'une procédure de Handover via l'interface X2.

Lors de la préparation, l'eNodeB source fournit, entre autres, les informations suivantes à l'eNodeB cible :

- l'identifiant global de la cellule cible EGCI, permettant d'identifier la cellule cible sans ambiguïté.
- la cause du Handover (par exemple les conditions radio, la réduction de la charge, l'optimisation des ressources).
- des paramètres de sécurité, comme les algorithmes implémentés, la clé KeNB*, l'identifiant short MAC-I.
- la liste et la description des E-RAB à configurer.
- le contexte RRC de l'UE, qui décrit notamment la configuration radio de la connexion RRC sur la cellule source, les paramètres du cycle DRX si utilisé.
- des informations sur l'historique de mobilité de l'UE, informant l'eNodeB cible de la liste des 16 dernières cellules visitées par l'UE, et, par exemple, de déplacements récurrents entre des cellules (« ping-pong »).

L'eNodeB cible, à la réception du message X2AP Handover Request, effectue le contrôle d'admission : il vérifie qu'il dispose des ressources radio et système pour accueillir l'UE et, en particulier, des E-RAB actifs sur la cellule source. S'il est capable d'établir au moins l'un de ces E-RAB, l'eNodeB doit répondre positivement à l'eNodeB source en lui indiquant le ou les E-RAB qui peuvent être maintenu(s). Il inclut dans sa réponse le message RRC destiné à l'UE et qui sera envoyé par l'eNodeB source lors de la commande du Handover. Ce message contient la configuration que l'UE devra appliquer lors de son accès à la cellule cible, notamment les radios bearers associés aux ERAB qui sont maintenus. L'eNodeB cible retourne également à l'eNodeB source, pour chaque ERAB, le point de terminaison du tunnel GTP entre les deux eNodeB, si un transfert de l'eNodeB source à l'eNodeB cible des données descendantes (reçues par l'eNodeB source de la S-GW) a été demandé par l'eNodeB source dans le message Handover Request.

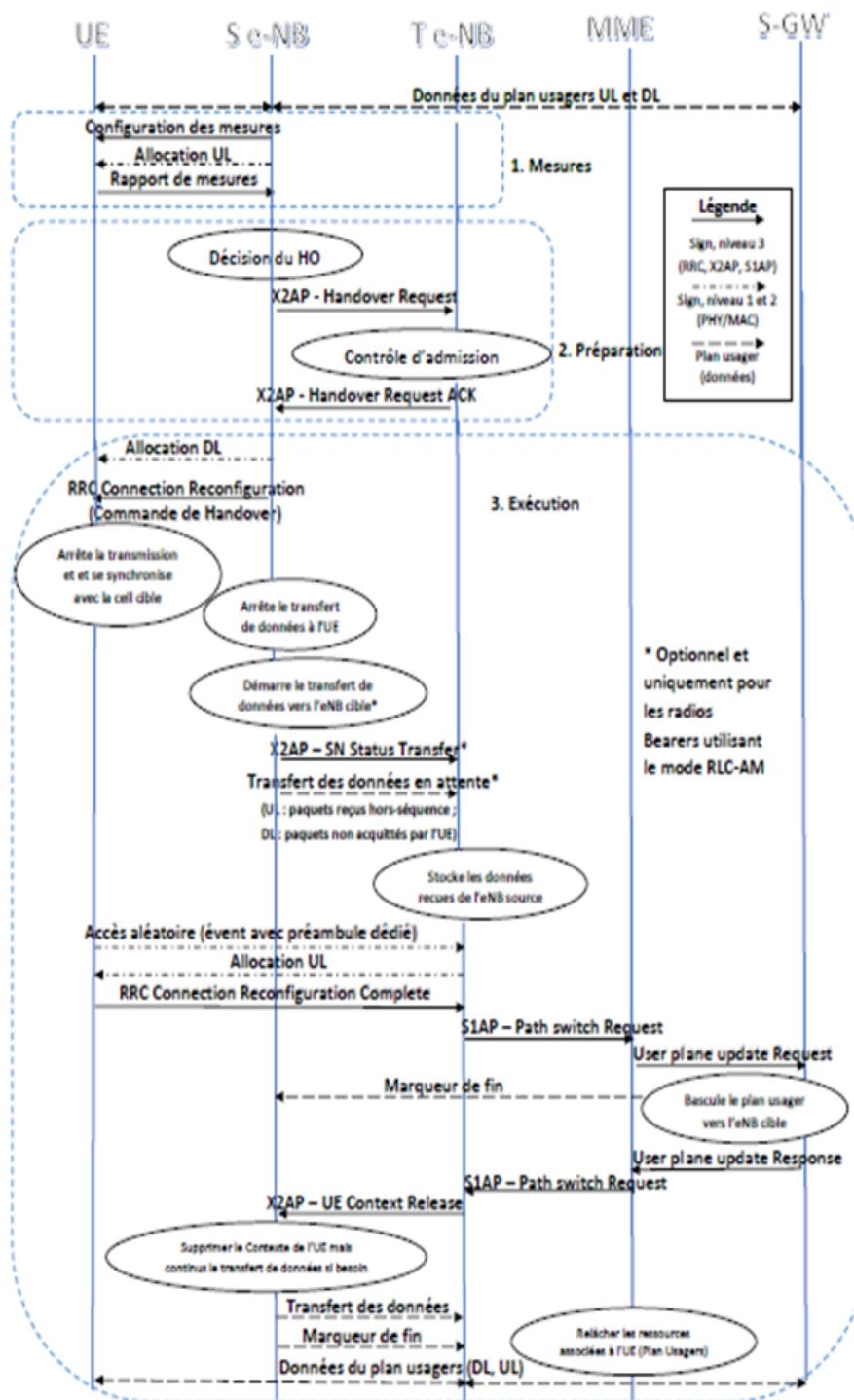


FIGURE II.11 – Diagramme de flux du handover LTE via l'interface X2

II.9.3 La phase d'exécution

Après la réception du message de réponse au Handover Request, l'eNodeB source déclenche le Handover par l'envoi à l'UE du message RRC Connection Reconfiguration, qui lui indique notamment :

- la cellule cible (sa fréquence, si différente, et son PCI).
- son identifiant C-RNTI dans cette cellule.
- des paramètres de sécurité (par exemple l'algorithme, s'il doit changer) lui permettant de dériver les nouvelles clés de chiffrement et d'intégrité RRC.

Lorsqu'il reçoit ce message, l'UE doit immédiatement tenter de basculer sur la cellule cible, même s'il n'a pu acquitter la réception du message RRC (acquittements HARQ ou ARQ/RLC). Il réinitialise sa couche MAC et procède au rétablissement de ses couches RLC et PDCP. La couche RRC configure alors les couches PHY, MAC, RLC et PDCP suivant les paramètres fournis par l'eNodeB cible et transmis par l'eNodeB source dans le message RRC Connection Reconfiguration.

L'UE dérive ensuite la nouvelle clé KeNB*, soit à partir de la clé KASME actuelle (c'est-à-dire celle utilisée pour le calcul de la clé KeNodeB courante), soit à partir de la nouvelle clé KASME si une procédure NAS de sécurité a été réalisée. L'eNodeB indique à l'UE lequel des deux mécanismes utiliser pour cette dérivation.

L'UE procède alors à l'accès aléatoire sur le canal RACH de la cellule cible et, en cas de succès, transmet à l'eNodeB le message RRC Connection Reconfiguration Complete, qui termine la procédure de signalisation. L'accès au canal RACH peut être réalisé avec un préambule dédié, si la cellule cible l'a fourni à la cellule source lors de la phase de préparation. Ce mode présente l'avantage d'écarter un risque de collision avec des préambules d'autres UE, ce qui augmente donc les chances de succès de la procédure et tend à réduire son délai global.

Enfin, l'UE arrête les remontées périodiques de mesures activées sur la cellule source et supprime la configuration des intervalles de mesures utilisés pour les mesures interférences ou inter-systèmes.

Cependant, dans le cas d'un Handover inter-fréquence, l'UE conserve les événements préalablement configurés sur la cellule source, en intervertissant simplement les fréquences source et cible dans la configuration de mesure.

II.9.4 La gestion du plan usager

Lors d'un Handover, la bascule de l'UE de la cellule source vers la cellule cible s'accompagne d'une interruption de la connexion radio et, par conséquent, le transfert des données dans les sens montant et descendant est temporairement suspendu.

II.9.4-a Le transfert de données descendantes vers l'eNodeB cible

Sans mécanisme de transfert des données entre eNodeB, les unités de données reçues de la S-GW par l'eNodeB source après le déclenchement de la bascule de l'UE sont perdues. La réémission de ces données échoit alors aux couches supérieures, si celles-ci mettent en oeuvre une transmission fiable à l'aide de mécanismes de retransmission (par exemple lorsque le protocole TCP est utilisé).

Cependant, ces retransmissions sont de fait plus lentes, puisque réalisées entre entités distantes (par exemple de type client/serveur), et peuvent induire une diminution du débit par les couches supérieures (mécanisme TCP slow start par exemple). L'expérience de l'utilisateur est alors dégradée.

Pour éviter ces pertes, un transfert des unités de données PDCP (SDU PDCP) est possible de l'eNodeB source vers l'eNodeB cible.

La couche PDCP est utilisée, car la numérotation des SDU PDCP est maintenue entre les deux eNodeB pour les radios bearers utilisant le mode RLC acquitté (RLC-AM), alors que la couche RLC est toujours réinitialisée lors du handover (le numéro de séquence RLC est donc remis à zéro). Cette continuité dans la numérotation PDCP permet ainsi, pour ce type de radio bearer, de délivrer en séquence les unités de données à la couche supérieure (paquets IP typiquement) et d'éviter de renvoyer sur la cellule cible une unité de donnée déjà reçue par l'UE sur la cellule source.

Pour les radios bearers utilisant le mode RLC transparent (RLC-TM) ou non acquitté (RLC-UM), le transfert des données à l'eNodeB cible réduit l'interruption du service mais ne peut garantir l'absence de perte de paquets ni la remise en séquence à la couche supérieure, la numérotation des SDU PDCP n'étant pas maintenue.

Pendant la bascule radio effectuée par l'UE, l'eNodeB source peut commencer à transférer des données du plan usager à l'eNodeB cible, si un tel transfert doit être appliqué pour l'un des radios bearers basculés sur la cellule cible.

Pour un radio bearer utilisant le mode RLC-AM, l'eNodeB source indique à l'eNodeB cible le prochain numéro de séquence à attribuer dans le sens descendant à un paquet de données n'ayant pas encore de numéro de séquence PDCP. L'eNodeB source transmet également les unités de données suivantes :

- les SDU PDCP qui n'ont pas été intégralement transmises à l'UE.
- les SDU PDCP dont les unités RLC n'ont pas toutes été acquittées par l'UE .
- les nouvelles unités de données reçues de la S-GW, qui n'ont pas été traitées par la couche PDCP.

Les SDU PDCP complètes reçues de l'UE sont quant à elles transférées par l'eNodeB source à la SGW. Deux tunnels différents sont utilisés entre l'eNodeB source et l'eNodeB cible pour transférer les données du sens montant et celles du sens descendant.

Le transfert des SDU PDCP permet de réaliser un Handover sans perte de données. Il doit être conjugué à l'utilisation des rapports de réception décrits à la section suivante, pour réaliser un Handover sans doublon.

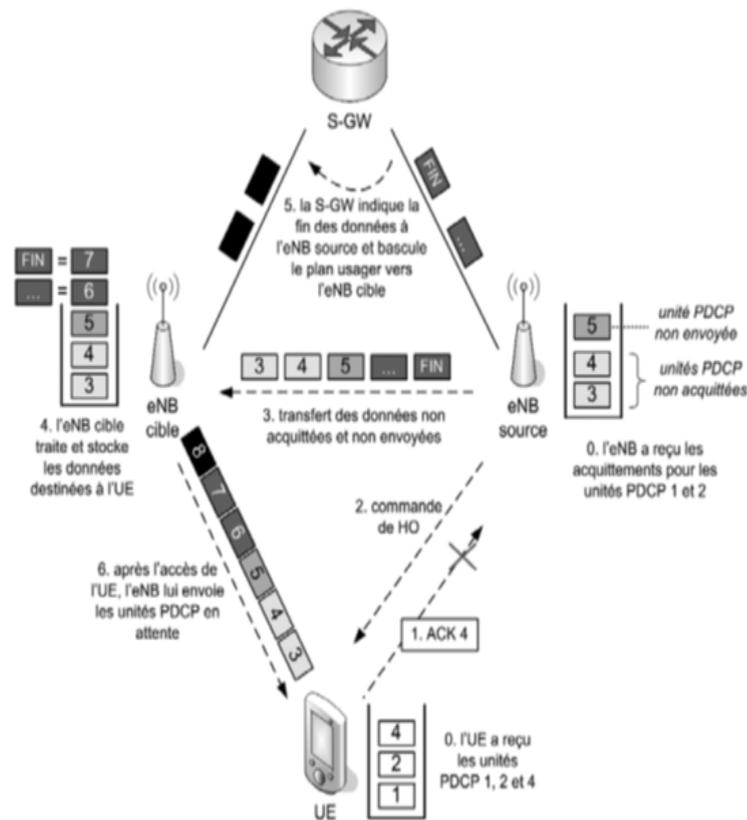


FIGURE II.12 – Gestion du plan usager lors du Handover en LTE

La figure illustre par un exemple la gestion du plan usager lors d'un Handover avec transfert des données PDCP de l'eNodeB source à l'eNodeB cible :

1. Lors de l'appel en cours sur la cellule source, l'eNodeB a pu envoyer à l'UE les SDU PDCP 1 à 4. Cependant, l'eNodeB source n'a pas reçu d'acquittement pour les SDU 3 et 4. Il les conserve donc dans son buffer de transmission, de même que la SDU 5 qui n'a pas été transmise à l'UE. Ce dernier a correctement reçu les SDU 1, 2 et 4, et les a acquittées. En revanche, il n'a pas reçu la SDU 3 ; il a donc besoin de sa retransmission par l'eNodeB.
2. L'acquittement de la SDU 4 n'arrive pas à l'eNodeB source, le lien radio entre l'UE et l'eNodeB source étant déjà dégradé.
3. L'eNodeB source envoie à l'UE l'ordre de bascule.
4. L'eNodeB source commence alors le transfert des SDU PDCP vers l'eNodeB cible, en indiquant leur numéro de séquence. Simultanément, il continue de recevoir de la S-GW des unités de données à destination de l'UE, qu'il transférera également à

l'eNodeB cible après le transfert de toutes les SDU PDCP en attente. L'eNodeB cible leur attribuera alors des numéros de séquence PDCP.

5. L'eNodeB cible stocke les SDU reçues, jusqu'à l'arrivée de l'UE sur la cellule. Il attribue un numéro de séquence à chaque unité de données reçue de l'eNodeB source sans numéro de séquence (SDU 6 par exemple, transmise dès réception de la S-GW par l'eNodeB source).
6. Lors de l'accès de l'UE, l'eNodeB cible informe la S-GW, qui bascule alors le plan de données vers l'eNodeB cible. Celle-ci envoie à l'eNodeB source un indicateur de fin de trafic.
7. L'eNodeB cible transmet à l'UE les données PDCP en attente, ainsi que de nouvelles unités de données reçues de la S-GW (SDU 7 et 8). On voit que l'UE va recevoir une seconde fois la SDU 4, ce qui constitue donc un doublon et une utilisation non optimale de l'interface radio.

II.9.4-b Les rapports de réception

Un mécanisme de rapport de réception évite en LTE la transmission sur la cellule cible de SDU PDCP déjà reçues par l'UE ou par l'eNodeB (doublons). Ce mécanisme ne peut être utilisé que pour les radios bearers utilisant le mode RLC-AM, pour lesquels la numérotation des SDU PDCP est continue entre la cellule source et la cellule cible, comme nous l'avons expliqué précédemment.

Si l'eNodeB source choisit d'utiliser ce mécanisme pour un ou plusieurs E-RAB actif(s) de l'UE, il indique à l'UE dans le message de commande du handover les E-RAB pour lesquels l'UE devra envoyer un rapport de réception PDCP à l'eNodeB cible une fois la bascule effectuée. L'UE doit alors transmettre sur la cellule cible une unité de contrôle PDCP, appelée PDCP Status Report, donnant l'état des réceptions des SDU PDCP pour ces radio bearers. Ce rapport n'est donc pas systématique pour un radio bearer RLC-AM. Cependant, s'il est demandé, l'UE doit l'envoyer avant toute transmission de données sur la cellule cible. Il sert à l'eNodeB cible pour déterminer quelles SDU PDCP doivent être renvoyées à l'UE.

Lors du transfert des données à l'eNodeB cible, l'eNodeB source envoie également un état d'envoi/ réception indiquant, pour chacun de ces E-RAB :

- pour le sens descendant : le dernier numéro de séquence PDCP alloué, indiquant à l'eNodeB cible quel numéro attribuer à la première SDU PDCP qui n'en a pas encore .
- pour le sens montant : le numéro de séquence SN1 de la dernière SDU PDCP reçue en séquence, informant l'eNodeB cible qu'il ne doit pas transmettre à la S-GW de SDU PDCP reçue de l'UE avec un numéro de séquence inférieur ou égal. La SDU SN2 est donc la première SDU non reçue par l'eNodeB source.
- pour le sens montant : les numéros de séquence des autres SDU PDCP reçues de l'UE après cette SDU SN1, qui n'ont donc pas besoin d'être renvoyées par l'UE sur la cellule cible.

Les deux dernières informations servent à l'eNodeB cible pour préparer un PDCP Status Report à destination de l'UE, pour qu'il ne renvoie que les SDU manquantes. L'eNodeB source peut envoyer cet état d'envoi/réception à l'eNodeB cible directement via l'interface X2 (dans le cas d'un handover via X2), ou par l'intermédiaire du MME (handover via S1).

Avec ces deux rapports PDCP fournis par l'eNodeB source et par l'UE lors de son accès, l'eNodeB cible sait donc quelles SDU PDCP renvoyer et lesquelles attendre de l'UE.

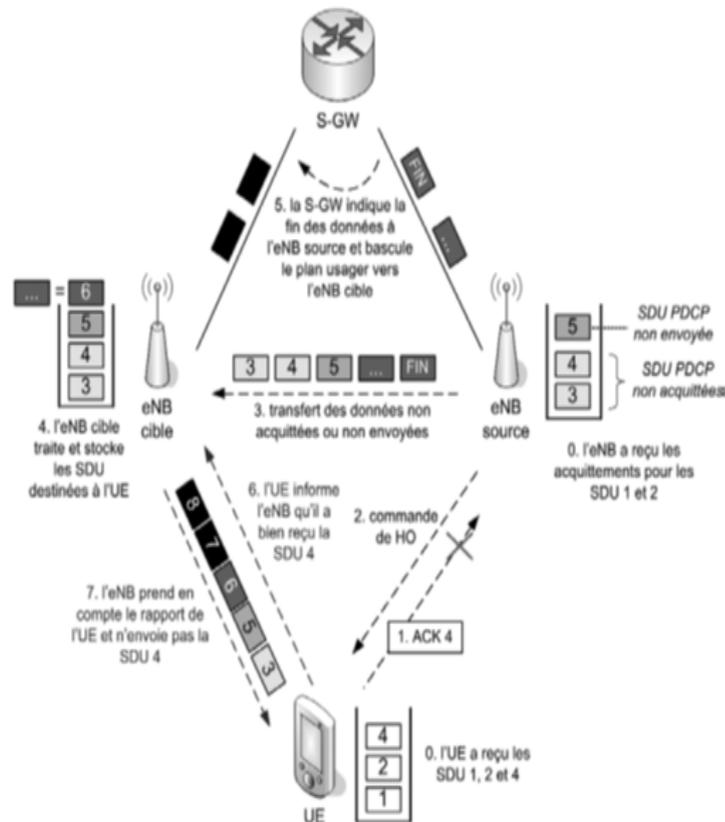


FIGURE II.13 – Rapport de réception par l'UE pour éviter les doublons PDCP

Cette figure reprend l'exemple précédent, mais ici l'UE envoie un rapport de réception lors de son accès à la cellule cible. Cela informe l'eNodeB qu'il a reçu la SDU 4 et donc qu'il doit la supprimer du buffer d'envoi. On évite ainsi un doublon sur l'interface radio.

En synthèse :

- Un Handover peut être réalisé sans perte de données sur un radio bearer si, d'une part, un transfert de données est opéré par l'eNodeB source pour ce radio bearer et, d'autre part, le radio bearer utilise le mode RLC-AM.
- Le mécanisme de rapport de réception limite le renvoi sur l'interface radio de données déjà transmises (évite les doublons) et améliore ainsi l'efficacité radio du Handover.

II.9.5 Procédure de rétablissement (en cas d'échec)

Lors de la réception du message RRC Connection Reconfiguration commandant le Handover, l'UE démarre la temporisation du Handover. Celle-ci est arrêtée par l'UE lorsque la procédure d'accès aléatoire sur le canal RACH de la cellule cible aboutit. Si cette temporisation expire avant la fin de cette procédure, l'UE considère que le Handover a échoué et lance alors une procédure de rétablissement de connexion RRC. L'UE reprend alors la configuration RRC et PDCP utilisée dans la cellule source et supprime les configurations des couches physique et MAC établies pour la cellule cible.

II.9.6 La perte du lien radio et le rétablissement de connexion en LTE

Lors de l'appel, la position de l'UE au sein de la cellule peut évoluer et conduire à une dégradation du lien radio avec l'eNodeB. L'objectif de l'opérateur est d'éviter que cette dégradation ne conduise à la perte de la connexion RRC et d'assurer une continuité de l'appel à l'aide des procédures de mobilité. Toutefois, différents facteurs, comme la charge du réseau, un déplacement rapide et soudain de l'UE ou des perturbations liées à l'environnement (interférences, obstacle mobile) peuvent provoquer une dégradation brutale des conditions et une rupture du lien radio avant que l'eNodeB ait pu déclencher un handover. Enfin, le paramétrage du réseau (seuils de handover notamment) est une opération délicate qui peut nécessiter sur certains sites une période d'observation et d'optimisation après le déploiement, période pendant laquelle l'UE peut être exposé à des pertes de couverture en fonction de son déplacement.

Il est donc primordial de pouvoir rétablir une connexion RRC si celle-ci est provisoirement rompue du fait d'une dégradation sévère du lien radio. Une procédure a donc été définie, comme dans les systèmes GSM et UMTS, pour que l'UE recouvre cette connexion avec une cellule.

Nous décrivons dans cette section les différentes étapes de ce mécanisme, à savoir :

1. la détection d'un problème sur le lien radio .
2. la procédure de rétablissement elle-même.

Dans la suite, nous supposerons que l'UE a établi un bearer EPS avec le réseau. Une connexion RRC est donc établie et la procédure de sécurité a été effectuée.

II.9.6-a La détection de la perte de lien radio

Lorsqu'une connexion radio est établie avec l'eNodeB, l'UE en surveille la qualité à l'aide de mesures effectuées par la couche physique et remontées à la couche RRC après application d'un filtre.

La couche RRC de l'UE détecte un problème sur la couche physique lorsqu'elle reçoit de celle-ci N indications successives de perte de synchronisation. Une temporisation RRC

(que nous appellerons ici T1) est alors démarrée et n'est arrêtée que si la couche physique remonte M indications consécutives de synchronisation avant que cette temporisation expire. Dans ce cas de figure, la couche RRC considère que la synchronisation est rétablie et ne lance aucune procédure particulière. En revanche, si la temporisation expire, ou si le nombre maximal de retransmissions RLC a été atteint, la couche RRC de l'UE considère que le lien radio est défaillant et démarre alors la procédure de rétablissement de connexion RRC. Elle lance alors la temporisation T2. Si le rétablissement aboutit avant l'expiration de T2, cette temporisation est arrêtée. Sinon, l'UE passe en mode veille et le rétablissement de la session est alors du ressort des couches supérieures, voire de l'utilisateur.

Les valeurs N, M, T1 et T2 sont configurées par l'opérateur et diffusées sur les Informations Système de chaque cellule.

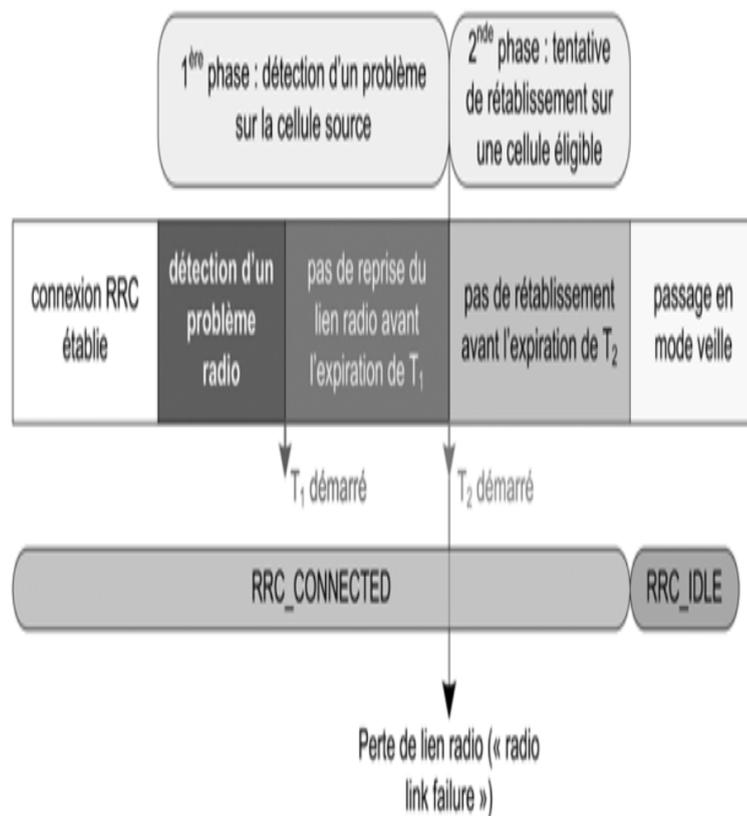


FIGURE II.14 – Les étapes dans la perte du lien radio

II.9.6-b Le rétablissement de la connexion RRC

L'objet de cette procédure est de rétablir la connexion RRC. Ceci implique d'abord la reprise du radio bearer de signalisation SRB1, portant les messages RRC avant la procédure de sécurité RRC et, ensuite, la réactivation de la sécurité RRC. On notera que cette procédure est prévue pour permettre un rétablissement de la connexion radio sur la cellule source ou la cellule cible du handover, après un échec lors de l'accès initial de l'UE à la

cellule cible. Cette procédure ne peut en effet aboutir que lorsque la cellule sélectionnée par l'UE a été préalablement préparée par l'eNodeB d'origine, c'est-à-dire qu'elle a reçu de celui-ci un ensemble d'informations sur l'UE en préparation à un handover.

Cette procédure est décrite dans la suite de cette section et illustrée par la figure 15. Ici, une interface X2 existe entre les deux eNodeB et le handover est donc préparé via cette interface.

Nous supposons que la temporisation T1 a expiré (perte du lien radio) et que l'UE n'a pas reçu la commande de handover. L'UE déclenche la temporisation de rétablissement T2 et procède à la sélection de cellule. Lorsqu'une cellule E-UTRAN éligible est sélectionnée, l'UE arrête T2 et prépare le message RRC Connection Reestablishment Request. Si en revanche aucune cellule éligible E-UTRAN n'est trouvée, ou si l'UE sélectionne une cellule d'une autre technologie d'accès (GSM ou UMTS), il passe alors en mode veille et relâche tous les radios bearers établis en LTE.

Dans le message RRC Connection Reestablishment Request, l'UE indique notamment :

- son identifiant C-RNTI utilisé dans la cellule d'origine .
- l'identifiant physique de la cellule d'origine (PCI).
- l'identifiant physique de la cellule d'origine (PCI).
- un code d'identification appelé Short MAC-I.

Les deux premiers paramètres permettent à l'eNodeB contrôlant la cellule accédée de retrouver le contexte de l'UE. Le cas échéant, l'eNodeB vérifie que le code d'identification Short MAC-I fourni par l'UE correspond à celui reçu de l'eNodeB d'origine avec le contexte de l'UE, lors de la préparation du handover.

En effet, lors de cette préparation, l'eNodeB d'origine ne fournit pas les clés RRC de l'UE utilisées pour la protection de l'intégrité et le chiffrement des messages RRC, mais uniquement le paramètre Short MAC-I qu'il a calculé à l'aide de ces clés. L'UE procède au même calcul au moment d'accéder à la cellule. Le message RRC Connection Reestablishment Request n'est donc pas protégé en intégrité, ni même chiffré, et l'identification fiable n'est rendue possible que par la vérification de ce code. Sans cette identification sécurisée, un UE malveillant pourrait mettre fin à l'appel de l'UE auquel le CRNTI est attribué, en initiant une procédure de rétablissement sur une cellule voisine.

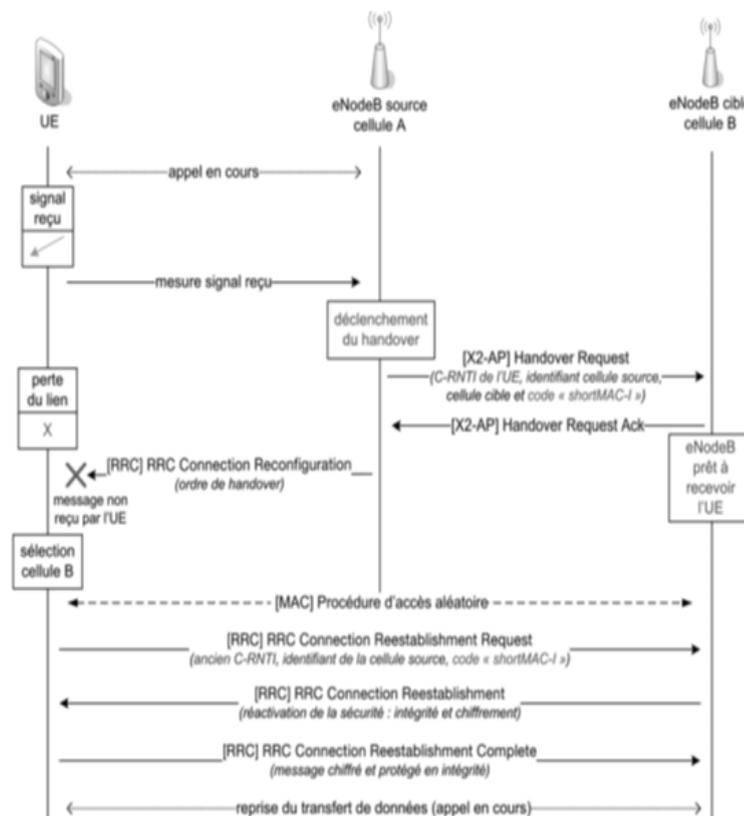


FIGURE II.15 – Cinématique pour le rétablissement de la connexion RRC

Ce message est alors transmis à la couche MAC de l'UE, qui démarre une procédure d'accès aléatoire pour l'envoyer à l'eNodeB, comme dans le cas d'une procédure d'établissement de connexion RRC.

Lors de cette procédure d'accès aléatoire, un nouveau C-RNTI est alloué à l'UE par la cellule d'arrivée. L'UE reçoit en retour le message RRC Connection Reestablishment, à l'aide duquel il dérive les nouvelles clés de chiffrement et d'intégrité RRC. Tous les messages suivants sont alors protégés en intégrité et chiffrés à l'aide de ces clés, avec les algorithmes de chiffrement et d'intégrité utilisés dans la cellule d'origine. La clé de chiffrement du plan usager est également calculée par l'UE à la réception de ce message. À partir de ce moment, la sécurité entre l'UE et l'eNodeB est donc rétablie. Ce dernier peut maintenant procéder au rétablissement des radios bearers de données, via la procédure de reconfiguration de la connexion RRC. Le basculement du plan usager vers l'eNodeB cible est alors demandé par l'eNodeB source au MME et suit le même mécanisme que pour un Handover.

II.9.7 Vitesse de déplacement et mobilité

En mode connecté, un ajustement peut être effectué en fonction de la vitesse de l'UE sur la rapidité de détection d'un événement particulier. Dans ce cas, l'UE modifie la durée de validation du critère associé à l'événement, appelée *time-to-trigger*, selon sa vitesse de déplacement.

Il évalue sa vitesse en comptant le nombre de handovers réalisés dans un intervalle de temps donné et, selon le résultat et la configuration indiquée par l'eNodeB, il considère qu'il évolue à une vitesse faible, moyenne ou élevée. Il ajuste alors le paramètre time-to-trigger d'un coefficient associé à cette vitesse et fourni par l'eNodeB. Le mécanisme est donc identique à celui utilisé en mode veille, la seule différence portant sur le paramètre affecté, time-to-trigger étant l'équivalent en mode connecté de Treselection. Les paramètres nécessaires à la détection de la vitesse de déplacement (durée d'évaluation, nombre de handovers pour chaque niveau de vitesse) et à l'adaptation du time-to-trigger (coefficient pour chaque niveau de vitesse) sont indiqués par l'eNodeB dans le message RRC Connection Reconfiguration, typiquement lors de la configuration des événements de mesure. Cependant, ce mécanisme est optionnel pour l'eNodeB et l'opérateur peut faire le choix de ne pas l'utiliser.

II.10 Les performances de l'UE en Handover

Comme nous l'avons vu, la procédure de Handover est contrôlée par le réseau et l'algorithme de décision réside dans l'eNodeB. On peut donc s'attendre à ce que la différence de comportement et les écarts de performance entre des UE de constructeurs différents soient nettement moins marqués que pour la resélection. L'UE réalise toujours des mesures, et donc leur justesse reste un point important, mais ces mesures sont éventuellement moyennées et corrigées par l'eNodeB dans son traitement. En revanche, le délai effectif de bascule radio est un point crucial, surtout dans un environnement radio perturbé, et dépend entièrement de l'UE pour une configuration donnée du réseau.

Pour le Handover intra-LTE, les exigences de performance sur le délai de bascule varient entre 20 et 130 ms, suivant le fait que l'UE connaît ou non la cellule cible. Par exemple, si l'UE a mesuré la cellule cible avant de recevoir l'ordre de bascule, l'exigence de délai sera de l'ordre de 20 à 50 ms.

En revanche, pour un Handover en aveugle (blind Handover), l'exigence est relâchée à plus de 100 ms car l'UE doit rechercher cette cellule avant d'y accéder.

II.11 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons défini les mécanismes de handover, présenté ses différents caractéristiques suivis d'une partie dans laquelle nous avons décrit les types de ce processus dans le réseau LTE.

Dans le cadre de notre travail porté sur le handover intra-LTE, une étude détaillée a été consacrée à ce type de handover et le réseau LTE. Le chapitre suivant fera l'objet de l'implémentation des scénarios de handovers intra-LTE sous le simulateur NS3.

Chapitre III

Etude de handover intra-LTE sous NS3

SOMMAIRE

III.1 INTRODUCTION	65
III.2 MESURES DU HANDOVER [8]	65
III.2.1 Signal de référence de la puissance reçue (RSRP)	65
III.2.2 Signal de référence de la qualité reçu (RSRQ) [2]	67
III.2.3 Mesure de la qualité du signal radio et la puissance reçue réalisée au niveau de la couche physique [8]	68
III.3 PARAMÈTRES DU HANDOVER [8]	69
III.3.1 Niveau de seuil de l'initiation du Handover RSRP et RSRQ	69
III.3.2 La marge d'hystérésis	69
III.3.3 Time-to-Trigger (TTT)	69
III.3.4 La longueur et la forme de la fenêtre moyenne	70
III.4 SIMULATEUR NS3 [7]	71
III.4.1 Description du NS3	71
III.4.2 Modules du simulateur NS3	71
III.4.3 Etapes de l'installation sous NS3	74
III.5 DÉROULEMENT DE LA SIMULATION	78
III.5.1 Indicateurs utilisés dans notre simulation	80
III.6 RÉSULTATS DE SIMULATIONS	80
III.6.1 Algorithme A2-A4RSRQ	80
III.6.2 Algorithme A3RSRP	82
III.6.3 Résultats	82
III.7 CONCLUSION	90

III.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 intra-LTE. Notre intérêt est d'évaluer l'influence de ces paramètres.

III.2 Mesures du Handover [8]

La procédure de Handover intercellulaire dans le LTE est basée sur les mesures de l'équipement utilisateur UE.

Les décisions de Handover sont généralement basées sur les mesures de canal de liaison descendante qui consistent en Reference Signal Received Power (RSRP) et Reference Signal Received Quality (RSRQ) ménagées dans l'UE et envoyé à l'eNB régulièrement. Les descriptions de chacun d'entre eux sont présentées ci-dessous [8] :

III.2.1 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 1dB.

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 ci-dessous, on présente la position des signaux de référence dans un RB (transmis sur les symboles 1 et 5 sur cette figure ou sur les symboles 0 et 4 selon la numérotation du premier symbole).

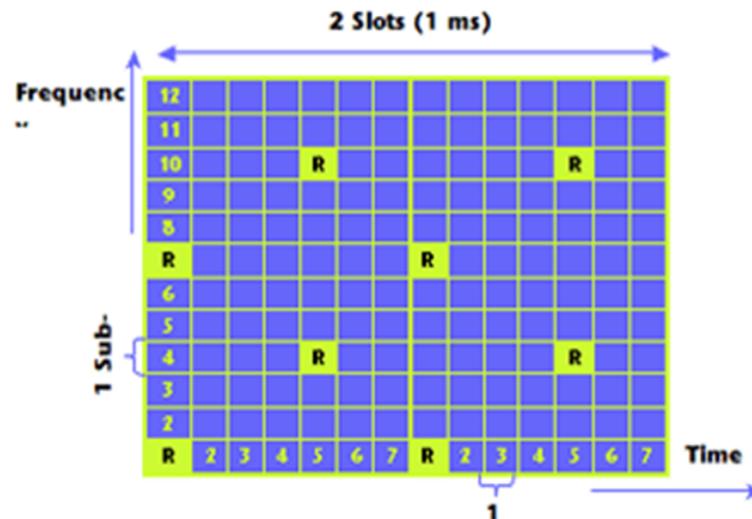


FIGURE III.1 – La position des signaux de référence dans un RB (Ressource de Base) [2]

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 2 RSRP est effectuée sur 2 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 sélectionner le 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.

III.2.2 Signal de référence de la qualité reçu (RSRQ) [2]

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 [2].

$$RSRQ = 10 * \log \left(\frac{N * RSRP}{RSSI} \right) \quad (III.1)$$

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 à -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-freventiel) varie de $\pm 2.5 \pm 4dB$.

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

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

- **Noise Ratio du signal (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.

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

Où P est la puissance moyenne, Les deux puissance 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 .

– **Le signal d'interférence plus bruit (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 :

$$SINR = \frac{P_{signal}}{P_{noise} + P_{interference}} \quad (III.3)$$

Où P est la puissance moyenne , les valeurs sont généralement indiqués 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.

III.2.3 Mesure de la qualité du signal radio et la puissance reçue réalisée au niveau de la couche physique [8]

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 tenons 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-Reference 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 broadcasté 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 intercorrélacion) 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).

III.3 Paramètres du Handover [8]

La procédure de Handover à des paramètres qui sont utilisés pour améliorer sa performance et le réglage de ces paramètres sur les valeurs optimales est une tâche très importante. Dans LTE le déclenchement du Handover est généralement basé sur la mesure de qualité de liaison et d'autres paramètres afin d'améliorer le rendement. Les plus importants sont :

III.3.1 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.

III.3.2 La 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.

III.3.3 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.

III.3.4 La 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 réduisent le nombre de transferts, mais augmentent 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.

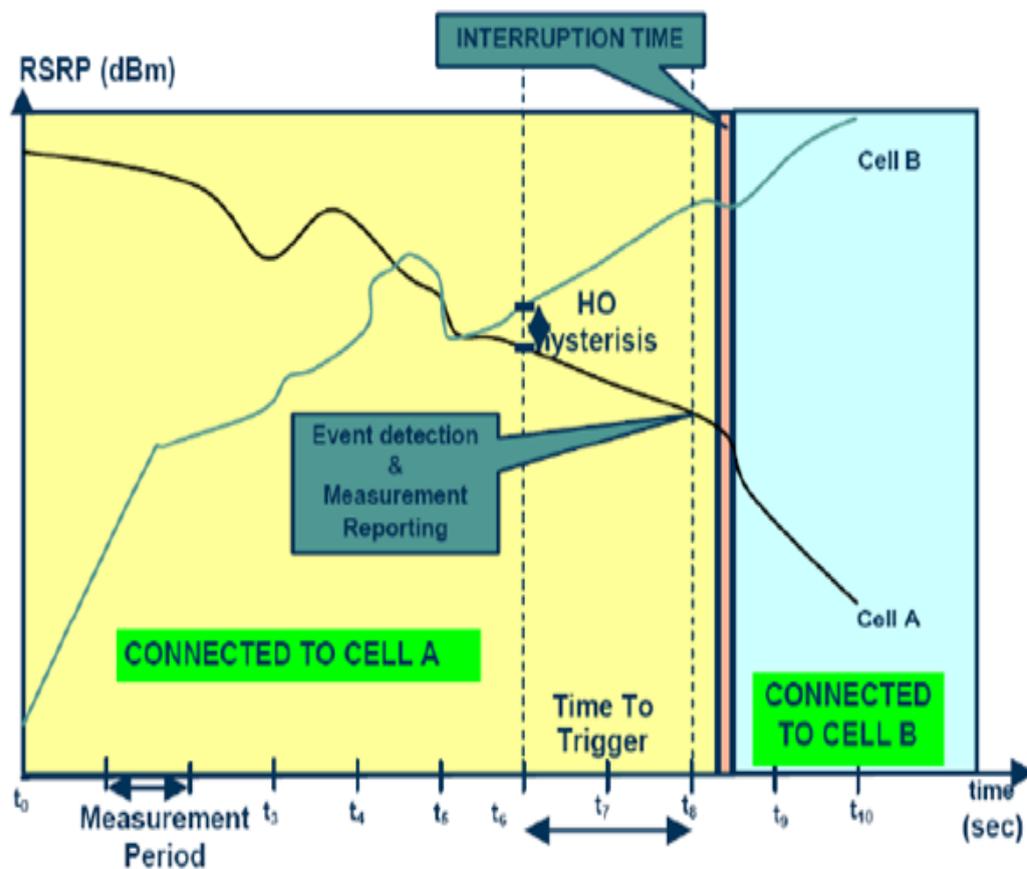


FIGURE III.2 – Procédure de déclenchement du handover [8]

III.4 Simulateur NS3 [7]

III.4.1 Description du NS3

Le simulateur NS3 a été créé en 2006, par les étudiants de l'université de Washington (Thomas R, Henderson et Sumit Roy).

Le NS3 est un puissant outil de recherche pour étudier la conception et les interactions des protocoles, et les problèmes de performance à grande échelle, sa conception est orientée vers des pratiques de logiciels de développement communautaire et open source pour encourager la participation de la communauté de recherche et d'enseignement général.

Le NS-3 a été écrit de zéro. Conçu pour améliorer l'évolutivité, la modularité, le style de codage et la documentation.

Son noyau et ses modèles sont implémentés en C++, mais avec une interface de script Python, construit comme une bibliothèque qui peut être statique ou dynamique liée à un programme principal C++ qui définit la topologie de simulation et démarre le simulateur. ns-3 exporte également la quasi-totalité de son API pour Python, permettant aux programmes Python d'importer un module "ns3" de la même manière que la bibliothèque ns-3 est lié par exécutables en C++.

Sous les termes de la GNU GPLv2 ; étant open-source le projet s'efforce de maintenir un environnement ouvert pour les chercheurs de contribuer et de partager leur logiciel.

Le système de ns-3 utilise plusieurs composants de la GNU "toolchain" pour le développement par exemple : gcc, binutils GNU, et gdb. Il fonctionne seulement sous un environnement de type Linux. Pour ceux fonctionnant sous Windows, il existe des environnements qui simulent l'environnement Linux à des degrés divers.

Un ensemble de compilation peut être générer pour permettre à un script python d'interagir avec l'API du NS-3 qui sera normalement accessible à partir d'un script C++.

III.4.2 Modules du simulateur NS3

La figure III.3 illustre les modules de base de NS-3 :

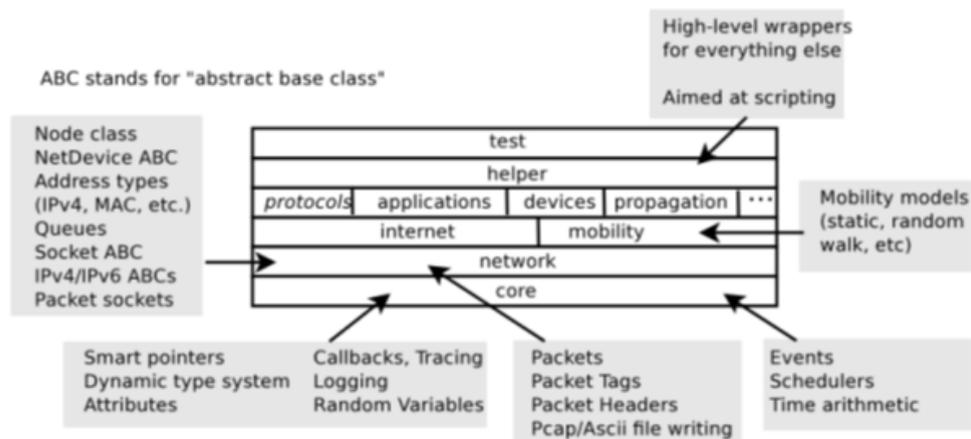


FIGURE III.3 – Les modules de simulateur NS3 [7]

– **Module Core :**

Qui permet de créer une structure de classes hiérarchiques qui dérive de la classe objet de base. et ce module de base est indépendant. Parmi lesquels : l'agrégation d'objets, l'enregistrement actif (TypeId) avec les attributs publiques...etc.

– **Module Common :**

Permet de gérer les actions liées à l'émission et la réception des paquets, centré sur la classe Paquets utilisé pour la simulation de réseau au niveau des paquets sont utilisation permet d'optimiser la gestion de la mémoire en utilisant la méthode copier/coller La plupart des autres modules utilisent ses fonctionnalités.

– **Module Simulator :**

Permet de gérer la simulation des événements, il prévoit explicitement la possibilité de planifier ces derniers à des moments différents et ensuite de les exécuter.

La classe Time représente le temps simulé à haute résolution en utilisant un entier de 128 bits, et cette classe est la classe la plus importante du simulateur.

– **Module Mobility :**

Ce module permet de définir la position des noeuds et d'associe un modèle de mouvement aux agents de la simulation.

– **Module Helper :**

Ce modèle peut être considéré comme un conditionnement de haut niveau. Il facilite la construction des scénarios complexes de simulation et l'installation des différents modules dans des agents différents.

– **Module Application :**

Certaines applications sont intégrées et fournies par NS3. Elles sont installées dans

les noeuds et peuvent être démarrées/arrêtées à des moments précis dans la simulation.

– **Module Devices :**

Les composants de ce type représentent des périphériques réseaux et transmettent des paquets via un canal virtuel à d'autres instances de la même classe NetDevice.

– **Routing Module :**

Deux algorithmes de routage sont disponibles dans NS3. Le premier appelé Global-Router, utilise des routes statiques et le deuxième met en oeuvre le protocole OLSR pour les réseaux dynamiques ad-hoc.

III.4.3 Etapes de l'installation sous NS3

III.4.3-a Ressources

– **Web**

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

– **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.

– **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.

– **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).

III.4.3-b Installation de NS3 sous Ubuntu

Pour notre travail on a installé une machine virtuelle Linux (Ubuntu 12.04 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-3.21.1.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.4) et exécutez les commandes suivantes pour installer la liste des packages nécessaires :

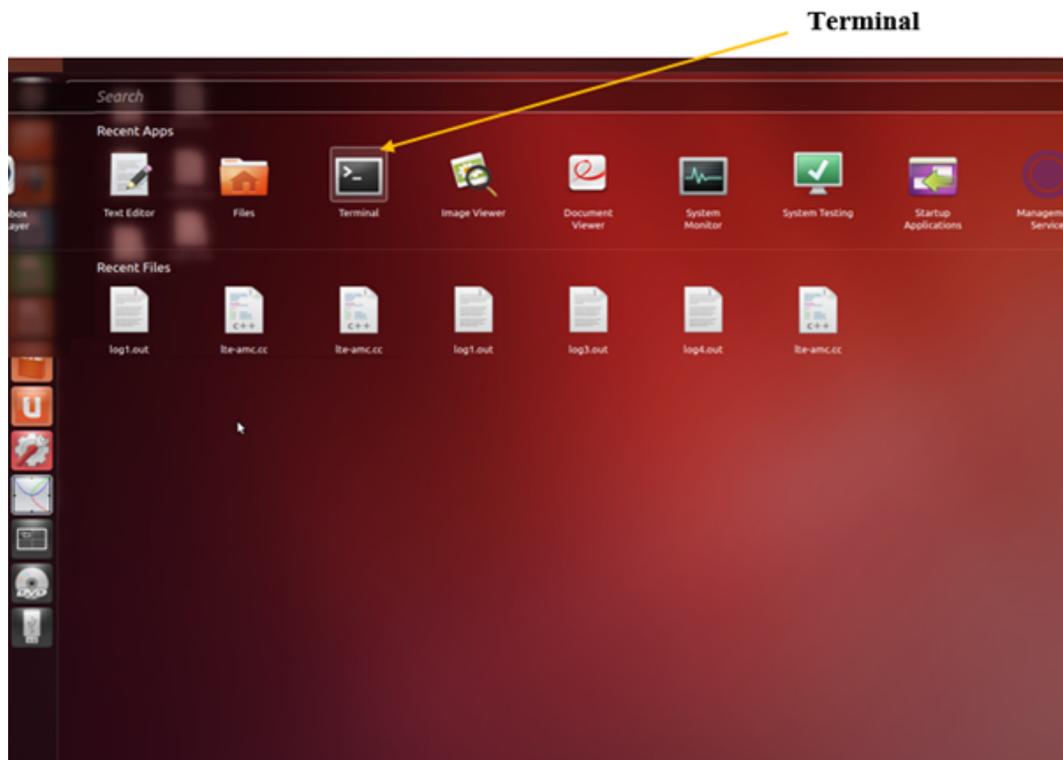


FIGURE III.4 – Interface graphique Ubuntu 14.04 LTS

```
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 gdb valgrind
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 vtun lxc
sudo apt-get install uncrustify
sudo apt-get install doxygen graphviz imagemagick
sudo apt-get install texlive texlive-extra-utils texlive-latex-extra
sudo apt-get install python-sphinx dia
sudo apt-get install python-pygraphviz python-kiwi python-pygoocanvas
libgoocanvas-dev
sudo apt-get install libboost-signals-dev libboost-filesystem-dev
sudo apt-get install openmpi*
```

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 NS3
cd NS3
wget https://www.nsnam.org/release/ns-allinone-3.24.1.tar.bz2
tar xjf ns-allinone-3.24.1.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-3.13
./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.

```
./waf distclean
./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 figures III.5 et III.6, présentes les lignes des commandes sous la console d'Ubuntu pour le module NS-3

Dossier NS3

```

Terminal
abdelhafid@abdelhafid-HP-Compaq-6730s:~$ ls
Bureau      Modèles  ns-allinone-3.24.1.tar.bz2  Téléchargements
Documents  Musique  octave-workspace            trunk
Images     ns3      Public                       Vidéos
abdelhafid@abdelhafid-HP-Compaq-6730s:~$ cd ns3
abdelhafid@abdelhafid-HP-Compaq-6730s:~/ns3$ ls
ns-allinone-3.24.1
abdelhafid@abdelhafid-HP-Compaq-6730s:~/ns3$ cd ns-allinone-3.24.1/
abdelhafid@abdelhafid-HP-Compaq-6730s:~/ns3/ns-allinone-3.24.1$ ls
bake          constants.pyc  pybindgen-0.17.0.post41+ngd10fa60  util.pyc
build.py      netanim-3.106  README
constants.py  ns-3.24.1      util.py
abdelhafid@abdelhafid-HP-Compaq-6730s:~/ns3/ns-allinone-3.24.1$

```

FIGURE III.5 – Une console dans une interface graphique

```

Terminal
abdelhafid@abdelhafid-HP-Compaq-6730s:~/ns3/ns-allinone-3.24.1/ns-3.24.1$ cd src
abdelhafid@abdelhafid-HP-Compaq-6730s:~/ns3/ns-allinone-3.24.1/ns-3.24.1/src$ ls
antenna      dsdv          network       test
aodv         dsr           nix-vector-routing  topology-read
applications  energy       olsr          uan
bridge       fd-net-device openflow      virtual-net-device
brite        flow-monitor  point-to-point  visualizer
buildings    internet      point-to-point-layout  wave
click        lr-wpan       propagation    wifi
config-store lte           scratch        wimax
core         mesh          sixlowpan     wscript
create-module.py  mobility     spectrum
csma         mpi           stats
csma-layout  netanim       tap-bridge
abdelhafid@abdelhafid-HP-Compaq-6730s:~/ns3/ns-allinone-3.24.1/ns-3.24.1/src$

```

FIGURE III.6 – Module ns-3

III.5 Déroulement de la simulation

Les démarches de déroulement de la simulation sont représentées dans la figure III.7. D'abord il faut définir le problème : comprendre et avoir une vue d'ensemble du problème (conception).

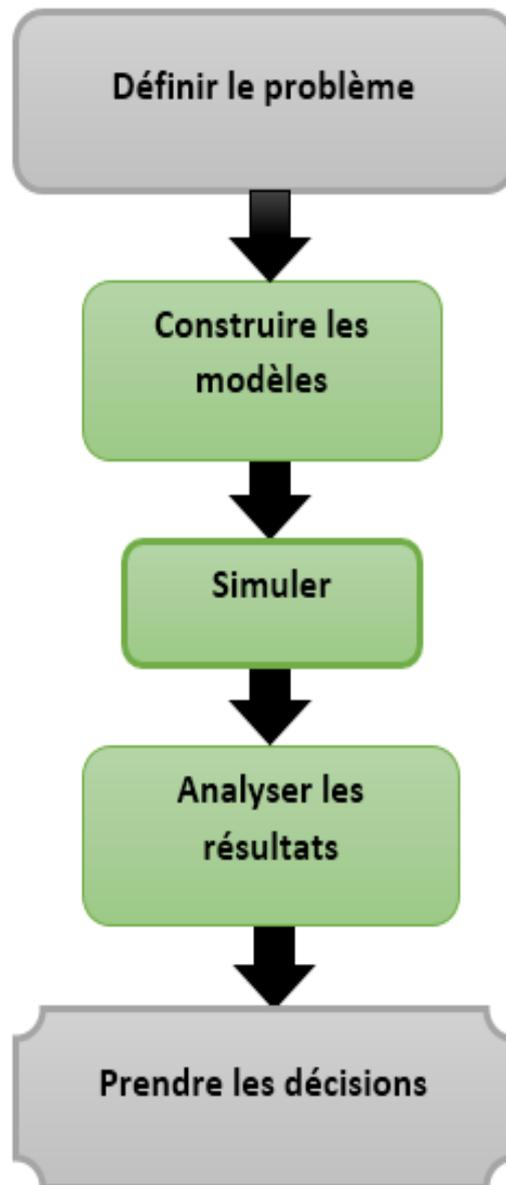


FIGURE III.7 – Étape de réalisation de la simulation

Premièrement, nous avons utilisé une machine virtuelle (VMware Workstation), sur laquelle nous avons installé Linux (Ubuntu 14.04) (voir Figure III.8 qui nous montre les différentes étapes de démarrage du VMware, Ubuntu et NS3).

Nos simulations ont été réalisées sous le simulateur NS3 (version 3.24), qui possède un module qui permet de simuler le réseau LTE avec une variété de mécanismes de Handover intra-LTE.

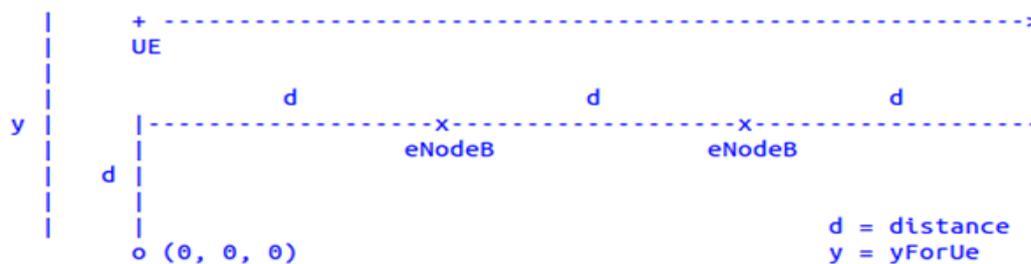


FIGURE III.9 – Réseau LTE test

III.5.1 Indicateurs utilisés dans notre simulation

La norme LTE définit des indicateurs de qualité qui servent de mesure pour la qualité de transmission en liaison descendante (downlink) et ascendante (uplink). Parmi ces indicateurs on trouve notamment le SINR (Signal Interference noise Ratio), le nombre des paquets perdus, et le nombre des Handovers effectués.

III.6 Résultats de simulations

Grace au simulateur NS3 nous avons pu tester le mécanisme du Handover selon deux algorithmes différents le A2A4RSRQ et A3RSRP.

Dans ce contexte le SNIR est évalué en fonction de la vitesse de déplacement de l'UE, de la distance entre eNodeBs, de la puissance d'émission et de nombre des eNodeBs. Le nombre de paquets perdus et le nombre de Handover réalisés sont aussi calculés en fonction de la vitesse de déplacement pour les deux algorithmes.

III.6.1 Algorithme A2-A4RSRQ

L'algorithme A2-A4-RSRQ, utilise la mesure du signal de référence de la qualité reçue (RSRQ) acquises de l'événement A2 et de l'événement A4 (figure III.10)

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

- Événement A2 (Serving Cell's 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 (Neighbour Cell's 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.

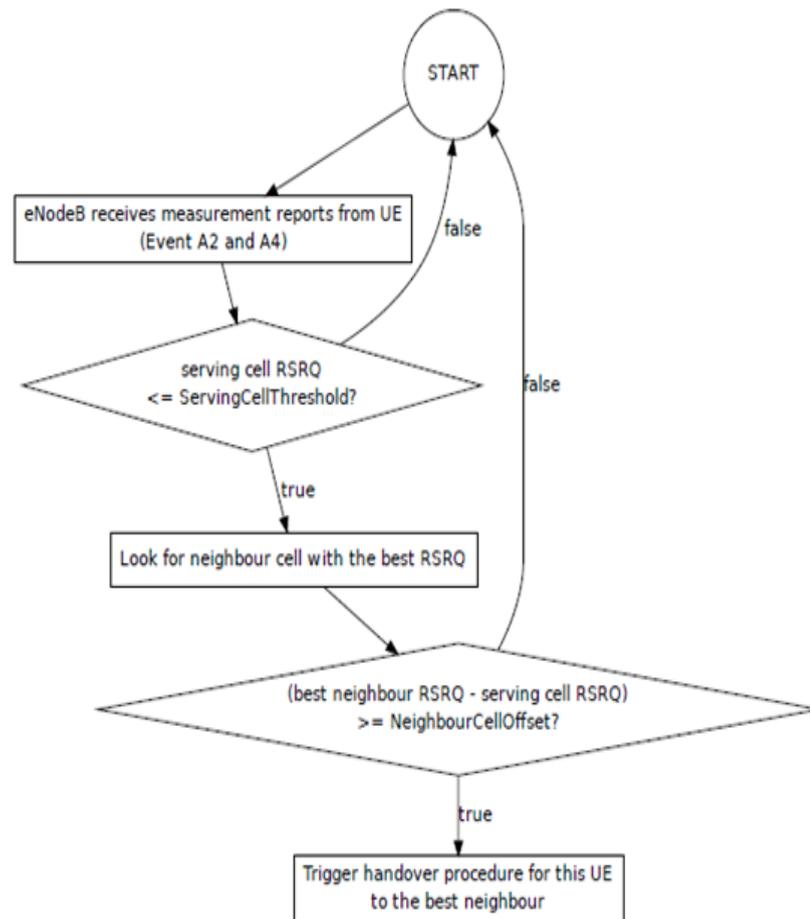


FIGURE III.10 – Algorithme de handover A2-A4-RSRQ

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

- **ServingCellThreshold** : Le seuil pour l'événement A2, à savoir un UE doit avoir un RSRQ inférieur à ce seuil à prendre en considération pour le handover.
- **NeighbourCellOffset** 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.

La valeur des deux attributs sont des nombres entiers compris entre 0 et 34, avec 0 est le RSRQ le plus bas.

III.6.2 Algorithme A3RSRP

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

Une simulation qui utilise cet algorithme est généralement plus vulnérable au ping-pong handover (handover consécutif à une courte période de temps), surtout quand le modèle fading est activée. Ce problème est généralement abordé par l'introduction d'un certain délai pour la remise.

L'algorithme a deux paramètres, l'hystérésis et le délai de déclenchement (TTT) à la configuration des mesures de l'UE. L'hystérésis (marge de handover) retarde la remise à l'égard du RSRP.

D'autre part, le délai de déclenchement 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.

III.6.3 Résultats

– SINR en fonction de la vitesse de déplacement de l'UE

Dans ce cas nous considérons un UE qui se déplace avec des vitesses différentes et deux eNodeBs séparées d'une distance de 500 m avec une puissance d'émission des eNodeBs de 43.0 dBm (20Wats).

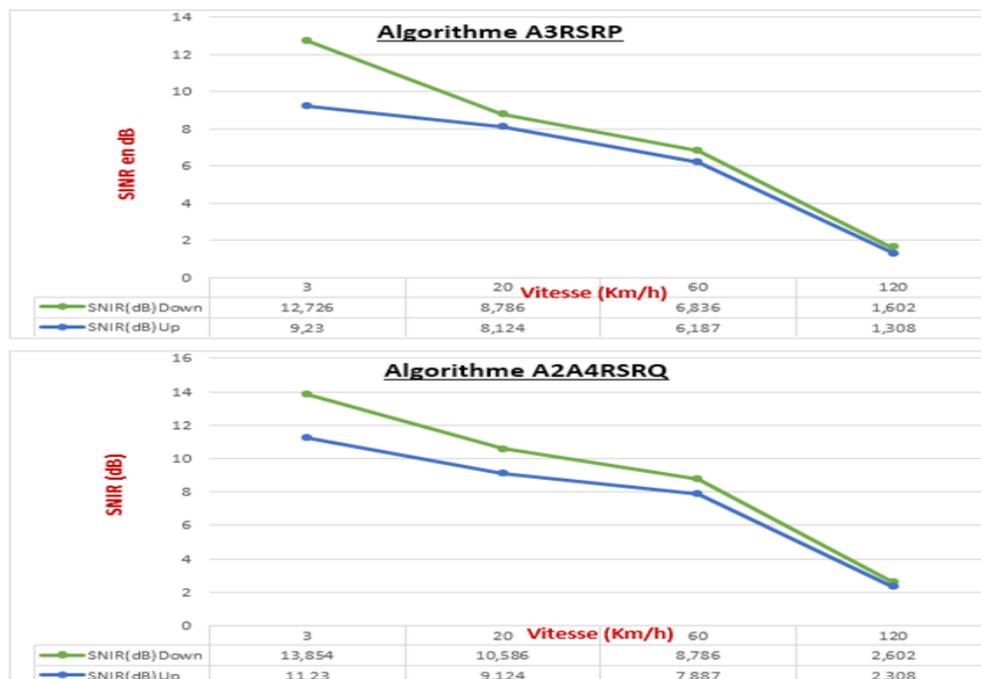


FIGURE III.11 – SINR en fonction de la vitesse

Sur ce graphe, nous remarquons clairement une diminution excessive du rapport SINR mesuré lors des handovers dans les deux sens DL/UL, pour les deux algorithmes, avec l'augmentation de vitesse de déplacement de l'utilisateur.

Ceci est dû principalement à l'augmentation de la puissance de bruit et d'interférence et aux atténuations du signal, fading, dispersions et multi-trajets.

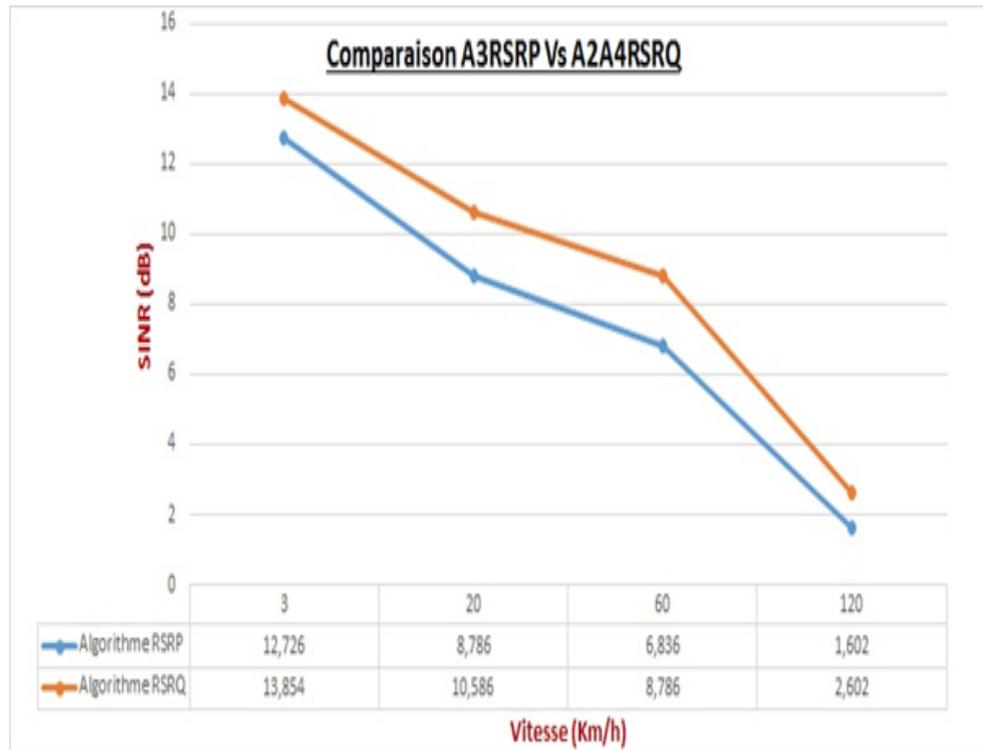


FIGURE III.12 – Comparaison RSRP Vs RSRQ (SINR en fonction de la vitesse)

L'algorithme A3RSRP est plus précis pour faire le handover par rapport à l'algorithme A2A4RSRQ parce qu'il est bien remarquable que la valeur SINR est plus élevée dans le cas d'utilisation du deuxième algorithme.

– **La variation de SINR en fonction de la distance entre les eNodesBs**

Dans ce cas nous considérons un UE qui se déplace avec une vitesse de 60 Km/h et deux eNodeBs séparées par des distances différentes avec une puissance d'émission de 43.0 dBm.

Le graphe de la figure III.13, présente une augmentation de SINR dans les deux sens à partir de 500 m jusqu'à 1 Km de distance entre les eNodeBs à cause de la diminution de la puissance des interférences puisque le modèle est linéaire.

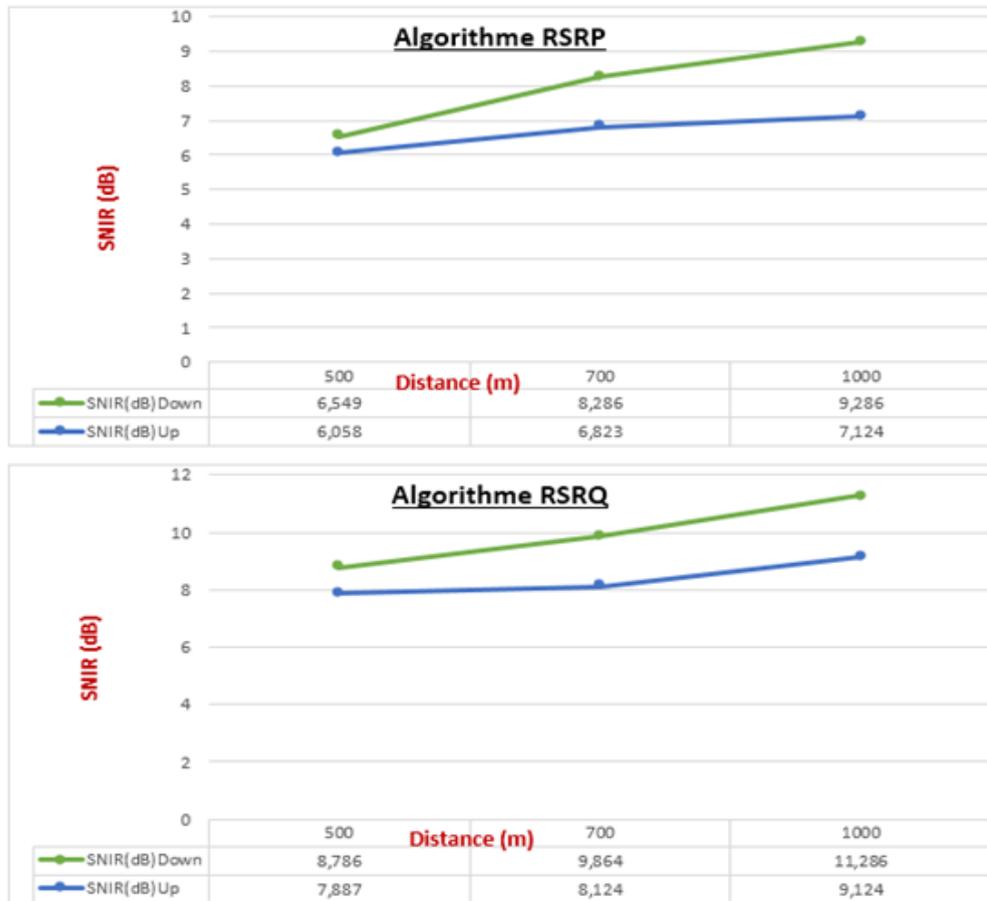


FIGURE III.13 – SINR en fonction de la distance

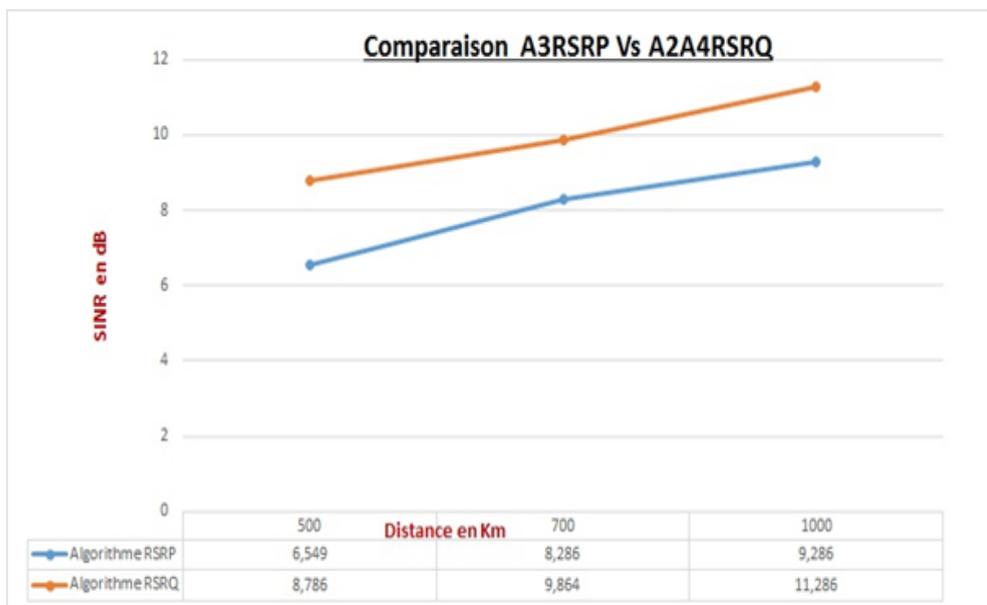


FIGURE III.14 – Comparaison RSRP Vs RSRQ (SINR en fonction de la distance)

Nous remarquons dans cette variation que l’algorithmes A3RSRP est plus précis pour faire le handover parce que le rapport d’interférence SINR est petit par rapport au SINR de l’algorithmes A2A4RSRQ pour toutes les valeurs de distance choisies.

– **Variation de SINR en fonction des puissances des eNodeBs**

Dans ce cas nous considérons un UE qui se déplace avec une vitesse de 60 Km/h et deux eNodeBs séparées par une distance de 500 m avec des puissances d’émission différentes

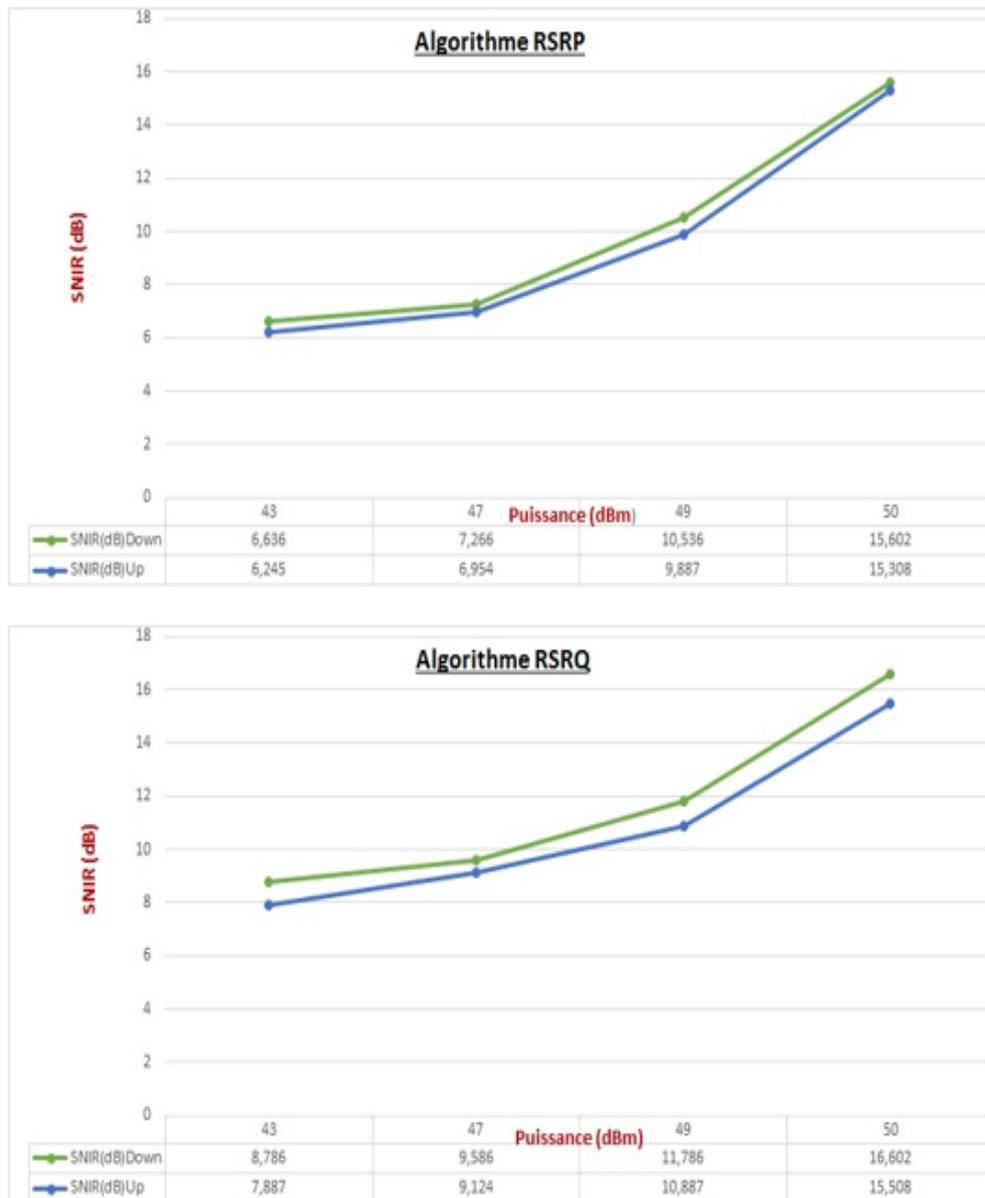


FIGURE III.15 – SINR en fonction des puissances d’émission

Le résultat obtenu est logique, vu le SINR augmente avec l'augmentation de la puissance d'émission.

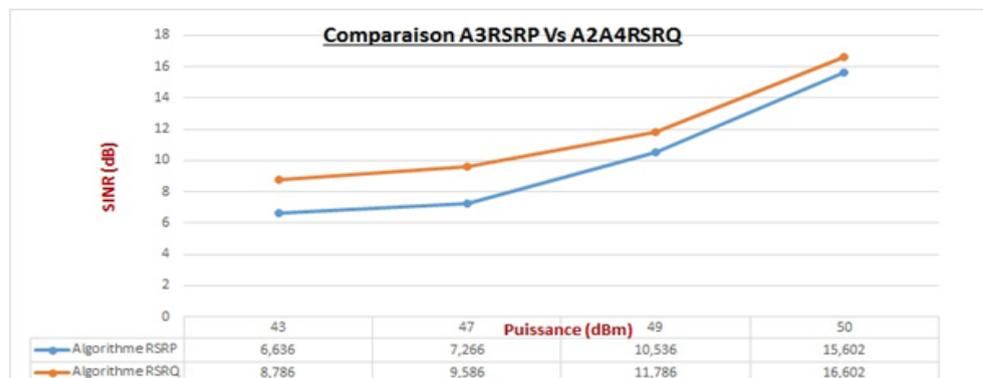


FIGURE III.16 – Comparaison RSRP Vs RSRQ (SINR en fonction de la puissance d'émission)

Dans ce cas l'algorithme A3RSRP est plus performant par rapport à l'algorithme A2A4RSRQ parce que la valeur SINR est moins élevée dans le cas d'utilisation du premier algorithme d'où la puissance de bruit et d'interférence augmente donc il y a une nécessité de faire le handover utilisant cet algorithme.

– Nombre de paquets perdu en fonction de la vitesse de déplacement de l'UE

Dans ce graphe nous avons étudié l'influence de la vitesse sur le nombre des paquets perdu, ce paramètre est très révélateur de la qualité du handover et de l'algorithme utilisé.

Nous considérons, dans ce cas, un UE qui se déplace et deux eNodeBs séparées d'une distance de 500 m avec une puissance d'émission de 43.0 dBm (20Wats).

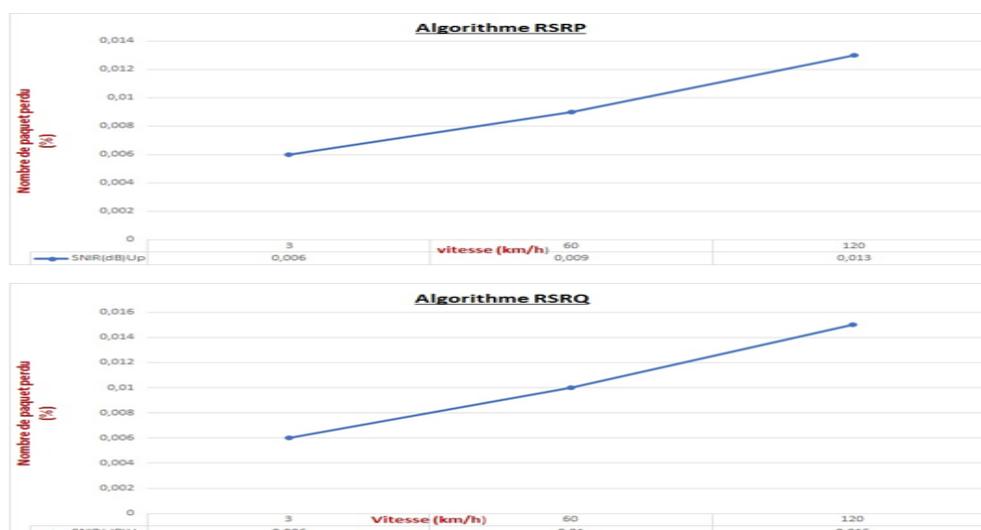


FIGURE III.17 – Nombre de paquets perdus en fonction de la vitesse

Nous remarquons une augmentation du nombre de paquets perdus pour les deux sens proportionnellement à la vitesse de déplacement de l'UE. Cela est en relation avec le nombre de handover réalisés, comme on le verra un peu plus loin de ce chapitre.

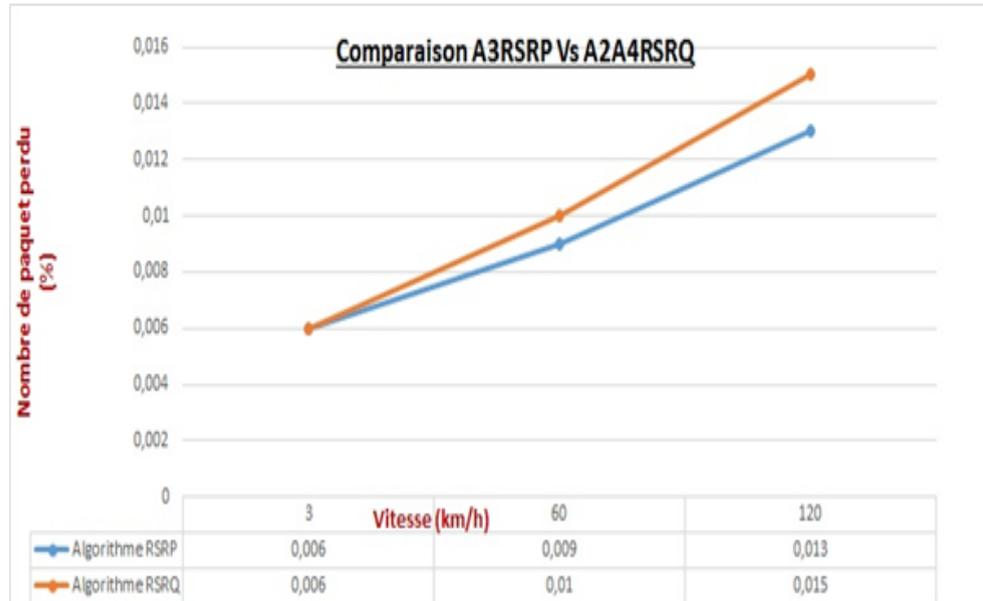


FIGURE III.18 – Comparaison RSRP Vs RSRQ (Nombre de paquets perdus en fonction de la vitesse)

Cette comparaison nous montre que le nombre des paquets perdus est plus élevé dans l'algorithme A2A4RSRQ par rapport à l'algorithme A3RSRP ce qui confirme que les résultats de premier algorithme sont plus précis.

– **Nombre de handover en fonction de la vitesse de déplacement de l'UE**

Dans ce graphe nous avons étudié l'influence de la vitesse sur le nombre de handover.

Là aussi, c'est un paramètre important pour juger l'algorithme de handover.

Nous considérons, dans ce cas un UE qui se déplace et deux eNodeBs séparées d'une distance de 500 m avec une puissance d'émission de 43.0 dBm (20Wats).

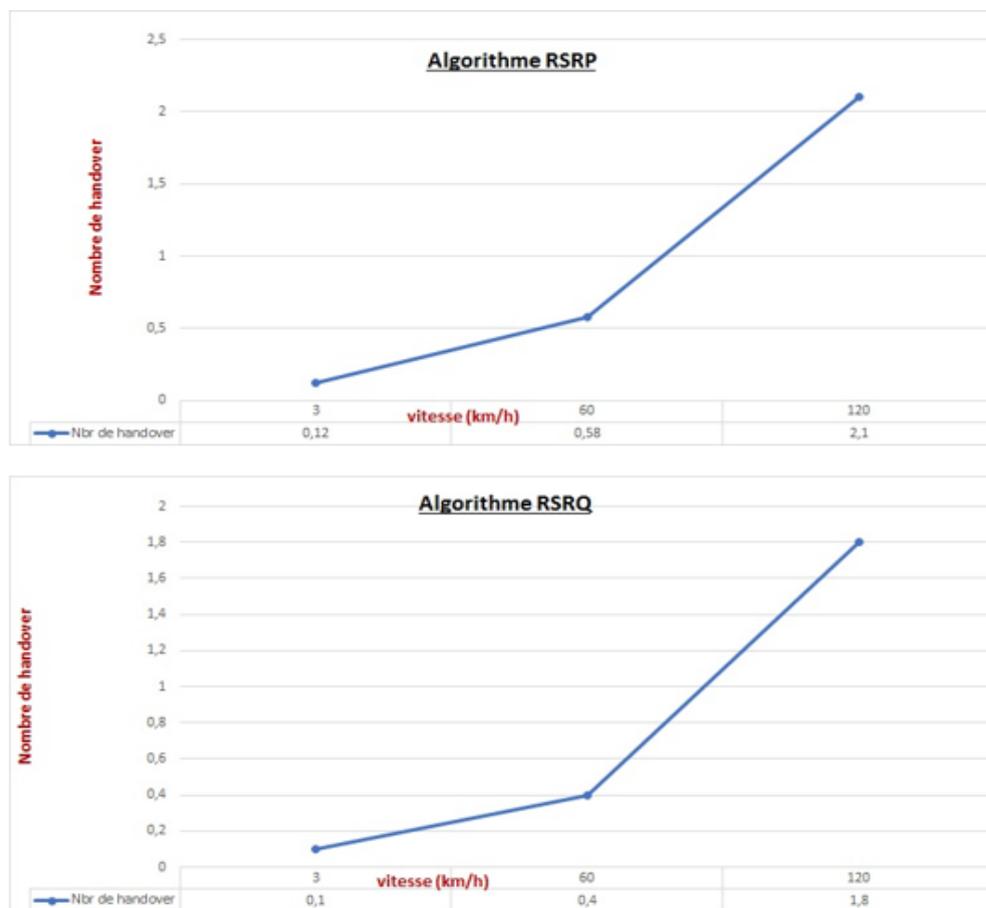


FIGURE III.19 – Nombre de handover en fonction de la vitesse

Dans cette dernière variation nous observons une graduation du nombre de handover avec la vitesse dans le cas des deux algorithmes utilisés. Ce qui nous confirme que le nombre de handover est proportionnel à la vitesse de déplacement de l'UE. Cet effet proportionnel est plus accentué dans notre cas, puisque le modèle utilisé est linéaire.

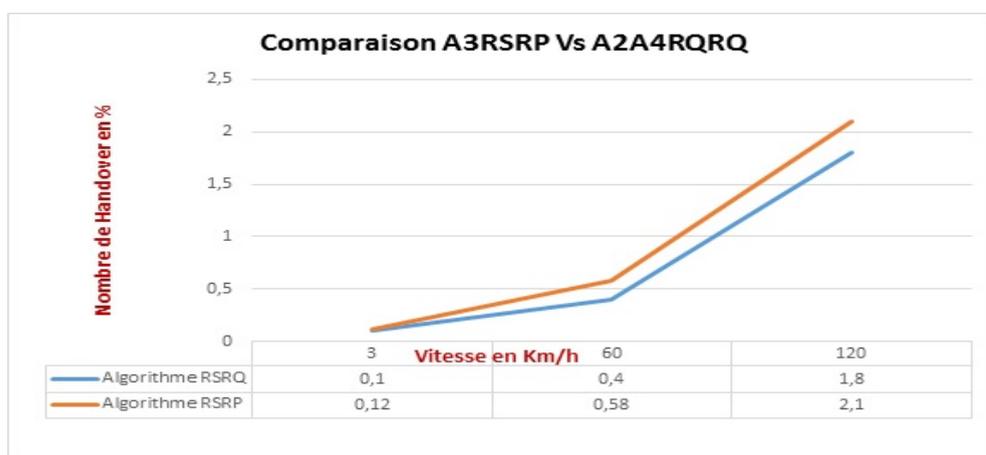


FIGURE III.20 – Comparaison RSRP Vs RSRQ (Nombre de handover en fonction de la vitesse)

Pour des vitesses plus-au-moins faible le nombre de handover réalisés reste équivalent pour les deux algorithmes, la différence est plus claire pour des vitesses élevées et c'est l'algorithme RSRQ qui réalise les meilleurs performances.

– Influence de l'hystérésis du TTT sur les performances de l'algorithme RSRP

Dans cette dernière simulation nous étudions l'influence des paramètres TTT (time-to-trigger) et l'hystérésis, sur le rapport SINR et le nombre de paquets perdus lors du handover.

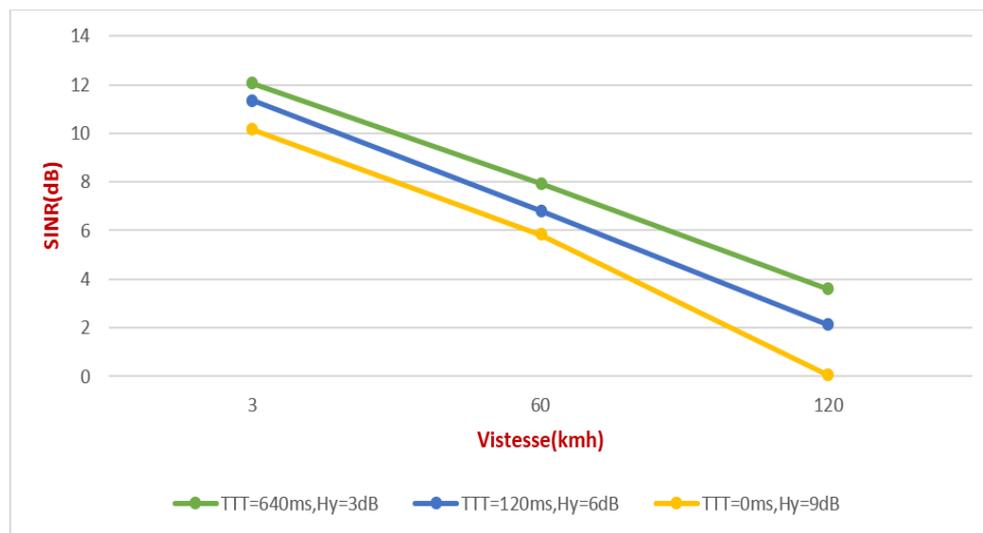


FIGURE III.21 – SNIR en fonction de la vitesse et du TTT/hystérésis

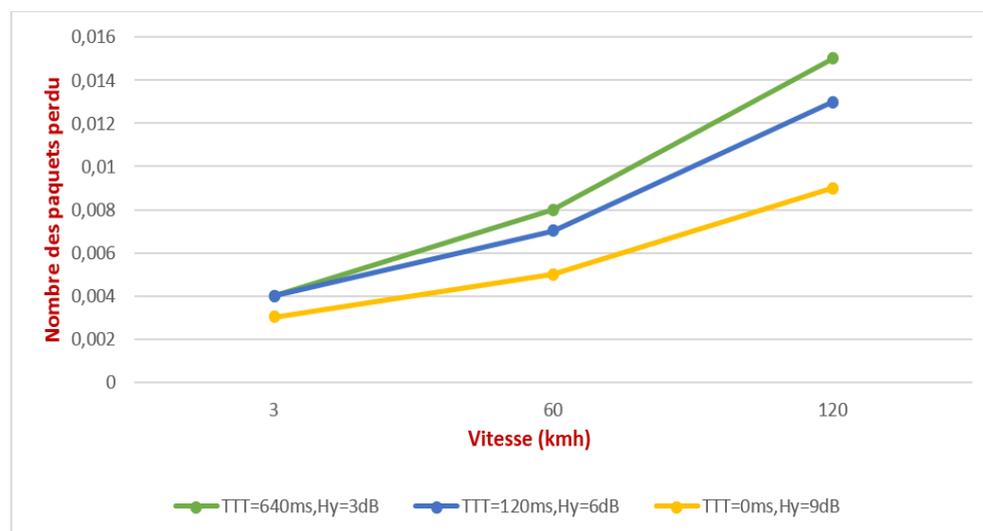


FIGURE III.22 – Nombres de paquets perdus en fonction de la vitesse et du TTT/hystérésis

La figure III.21 illustre la variation du SNIR en fonction de la vitesse, le TTT et l'hystérésis. On remarque sur ces courbes que le SNIR diminue avec l'augmentation de l'hystérésis et la diminution du TTT. Pour une vitesse de l'UE de 120kmh le SINR est respectivement, égale à 3dB, 2dB et 0.058dB pour des couples TTT/Hystérésis égale à (640ms/3dB), (120ms/6dB) et (0ms/9dB).

La figure III.22, 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 paques perdus. Mais avec l'augmentation de la vitesse l'effet est net.

Suite à ces deux dernières simulations, il est clair que le couple TTT/hystérésis doit être adapté en fonction de la vitesse de déplacement de l'UE.

III.7 Conclusion

Ce chapitre était consacré à la présentation des paramètres du handover et du simulateur NS3. Dans ce contexte nous avons commencé par donnée une idée sur les mesures utilisées lors des Handovers suivi de la présentation du simulateur NS3, l'installation la configuration et l'exécution.

En fin de ce chapitre nous avons illustré et interprété les résultats obtenues pour des algorithmes différents exécutant le handover.

Conclusion générale

Nous arrivons au terme de notre travail de projet de fin d'étude portant sur l'évaluation des performances du Long Term Evolution (LTE). Cette étude s'installe dans le cadre de l'arrivée de la prochaine norme de téléphonie mobile (LTE advanced) sous la dénomination 4G «4 ème génération».

Les systèmes de communication utilisant le support hertzien constituent aujourd'hui une solution de substitution aux moyens filaires pour le raccordement direct des clients. Plusieurs communautés collaborent afin de standardiser les technologies qui sont, tantôt concurrentes, tantôt complémentaires de ces réseaux. Chaque technologie devrait pouvoir trouver sa place, son usage et sa cible. Le choix d'une technologie sans fil dépend de l'usage que l'on souhaite en faire. Le LTE est l'une de ces nouvelles technologies. Elle porte beaucoup de promesses pour l'avenir.

La norme LTE se donne pour objectif principale d'assurer à l'utilisateur une mobilité maximale. Une fois connecté, en utilisant le réseau disponible, celui-ci pourra passer d'un réseau à un autre sans interruption de la communication et avec une même qualité de service à tout moment.

Dans notre travail, nous nous sommes intéressés à plusieurs aspects liés à ces réseaux de 4ème génération. Ainsi dans la première partie nous avons procédé à une étude des réseaux LTE. Cette étude préliminaire nous a permis de comprendre que le but recherché dans l'amélioration des systèmes radio mobiles était entre autre : Une bonne couverture des cellules, une facilité d'accès, une allocation et une gestion des ressources optimisés, des services multimédia facilitant le quotidien de l'utilisateur, le transport de la voix uniquement par IP, l'accès haut débit, etc.

Par la suite dans la deuxième partie de notre travail nous avons réalisé une étude approfondie sur les mécanismes du Handover, où on a examiné les procédures utilisées pour réaliser la commutation d'une cellule vers une autre. Les conditions de l'établissement du handover ont été aussi étudiées.

Finalement, nous avons évalué les performances du handover au sein du réseau LTE, en utilisant le simulateur NS-3.

Le LTE offre des perspectives spectaculaires pour les abonnés et les opérateurs. 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.

Bibliographie

- [1] <https://fr.wikipedia.org/wiki/SC-FDMA>. site, SC-FDMA, 02 Février 2016.
- [2] <http://blogs.univ-poitiers.fr/f-launay/tag/rssi/>. Site, Frédéric Launay (4G - LTE), 12 Avril 2016.
- [3] *Rapport LTE, School Work/ Essays*. Site, LTE + SAE = EPS Principes et Architecture, 16 Janvier 2016.
- [4] <https://fr.wikipedia.org/wiki/OFDMA>. site, OFDMA, 18 Janvier 2016.
- [5] <http://www.mtuci.ru/structure/faculty/otf2/ino/veexam/phd/fr.html>. Site, Réseaux Mobiles de Nouvelle Génération et leurs technologies de bases, 18 Janvier 2016.
- [6] Amazit Abdelghani. *IMPACT DES INTERFÉRENCES DE LA COUCHE PHYSIQUE SUR LA COUCHE MAC DANS LA TECHNOLOGIE LTE*, Juin 2011, *L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC TROIS-RIVIÈRES*, Montréal. 02 Février 2016.
- [7] BACHA Wissem et CHAIANI Mounira BABAAMEUR Dalila, BOUMGHAR Fériel Célia. *Les Simulateurs : NS3 and NS2*. 2013/2014, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene, 14 Avril 2016.
- [8] José Bruno Iniguez Chavarria. *LTE Handover Performance Evaluation Based on Power Budget Handover Algorithm*. Février 2014, Université polytechnique barcelanTECH, 01 Mars 2016.
- [9] VU DINH Dau. *Utilisations de la compression des en-têtes dans les réseaux cellulaires de type 4G(LTE/SAE)*. CESSON-SEVIGNE, France.
- [10] BOUDGHENE STAMBOULI Riyad et BOUCHENTOUF Hadjer. *ETUDE DES PERFORMANCES DES RESEAUX 4G (LTE)*. juin 2013, Université Abou bekr Belkaid, Tlemcen, 19 décembre 2015.
- [11] George Lawton. *4G : Engineering versus Marketing*. <http://ComputingNow.computer.org>, March 2011, Janvier 2016.
- [12] Marwa BEN MESSAOUD. *étude des performances du réseau 4G(LTE)*. 7 Décembre 2015, 14 Janvier 2016, <https://prezi.com/rytwh167lycy/etude-des-performances-du-reseau-4gl/>.

-
- [13] Latifa MOKDDAD. *Rapport LTE, School Work/ Essays*. Theses, 16 Mars 2011, 17 Janvier 2016, <http://fr.scribd.com/doc/50868690/Rapport-LTE#scribd>.
- [14] Ahmad Rahil. *Gestion du Handover dans les réseaux hétérogènes mobiles et sans fil, Réseaux et télécommunications*. Septembre 2015, Université de Bourgogne, Français, Février 2016.
- [15] NGOUAHA RONALD. *DEVOIR DE RESEAU MOBILE UMTS HSPA*. Ecole national des postes et télécommunication,2015/2016, 17 avril 2016, https://www.academia.edu/22184058/DEVOIR_DE_RESEAU_MOBILE_UMTS_HSPA.
- [16] Geovanny Mauricio ITURRALDE RUIZ. *LTE et Réseaux 4G*. Université de Toulouse, octobre 2012.
- [17] Senior Architect et Rambabu Gajula V. Srinivasa Rao. *Interoperable UE Handovers in LTE*. Ouvrage, 08 Mars 2016.
- [18] François Xavier Wolff Yannick Bouguen, Eric Hardouin. *LTE et Réseaux 4G*, chapitre 1, Guy Pujolle.
- [19] François Xavier Wolff Yannick Bouguen, Eric Hardouin. *LTE et Réseaux 4G*, chapitre 19. Guy Pujolle.
- [20] François Xavier Wolff Yannick Bouguen, Eric Hardouin. *LTE et Réseaux 4G*, chapitre 3. Guy Pujolle.

Résumé

La norme LTE est la norme de communication mobile qui est proposée par l'organisme 3GPP dans le contexte de la 4G. Le LTE définit l'évolution technologique des réseaux de télécommunications cellulaires pour les années à venir. Il propose des débits élevés, et un meilleur niveau de QoS pour ses abonnés.

Ce travail présente une vue d'ensemble technique du Long Term Evolution (LTE), son architecture, ses caractéristiques et ses performances. Une étude détaillée des mécanismes du handover est abordée. Le document fournit aussi l'implémentation des mécanismes du handover sous Network Simulator NS-3.

Abstract

LTE is a mobile communication standard proposed by the 3GPP organization in the context of 4G technology. LTE defines the technological evolution of mobile telecommunications networks for the next years. LTE allow to subscribers high flow rates and a higher level of QoS.

This work presents a technical overview of Long Term Evolution (LTE), architecture, structures and performance. Full study of the is discussed. The document also provides handover mechanism implementation in Network Simulator NS-3.

ملخص

قمنا في هذه الدراسة بتقديم تكنولوجيا LTE كأحدث معيار للاتصالات المتنقلة في سياق الجيل الرابع 4G ، والتي تمكن من نقل البيانات بسرعة عالية جدا، مع مدى واسع، بأقل كمون وبتنقل أثناء الاتصال. وقد عملنا على تنفيذ سيناريوهات التنقل داخل شبكة LTE عن طريق محاكي الشبكة NS3 ، الذي يمثل جهدا جديدا لتطوير البرمجيات الجديدة ، التي تحتوي على ميزات مبتكرة تسمح بدراسة سلوك الشبكة ذات طوبولوجيا وخصائص محددة مع مرونة كبيرة .