TABLE DES MATIERES

LISTE DES TABLEAUX I
LISTES DES FIGURES
LISTES DES ABREVIATIONS
INTRODUCTION GENERALE 1

CHAPITRE 1- LES RESEAUX MOBILES

1 Introduction 3
2 Les réseaux mobiles 3
2.1 Architecture des réseaux mobiles 4
2.2 La première génération des téléphones mobiles (1G) 4
2.3 La deuxième génération des téléphones mobiles (2G) 4
2.4 La troisième génération des réseaux mobiles (UMTS) 7
2.4.1 Architecture du réseau UMTS et fonctionnalité 7
2.4.2 Les interfaces d'UMTS 9
2.4.3 Hiérarchie des cellules de l'UMTS 10
2.4.4 Services de l'UMTS 10
3 Conclusion 11

CHAPITRE 2 - ETUDE DETAILLE SUR LES RESEAUX MOBILE 4G

1 Introduction 13
2 La quatrième génération des téléphones mobiles (4G) 13
2.1 représentation de LTE 13
2.2 But de 4G 13
2.3 Architecture de LTE 13
2.3.1 EPC (Evolved Paquet Core) 14
2.3.2 Réseau d'accès E-UTRN 18
2.3.3 user équipement 18
2.4 caractéristiques fondamentales de la 4G 19
2.4.1 les débuts de la 4G 19
2.4.2 latence 19
2.4.3 codage et sécurité 20
2.4.4 multiplexage 20
2.4.5 mobilité 23
2.5 Type de transmission dans 4G 23
2.5.1 OFDMA 23
2.5.2 SC-FDMA 24

2.6 Le mode d'adressage et l'identification dans la LTE 25
2.6.1 L'identifiant Réseau 25
2.6.3 L'identifiant de la cellule 25
2.6.4 L'identifiant du Mobile Equipment 26
2.7 Architecture Protocolaire de la liaison Radio dans LTE 26
2.7.1 User plane 27
2.7.2 Control Plane 27
2.8 Canaux de l'interface radio de LTE 28
2.8.1 Les canaux logiques 28
2.8.2 Les canaux de transports 28
2.8.3 Les canaux physiques 29
2.9 les interfaces de réseaux LTE 29
3 Conclusion 30

CHAPITRE 3 - LTE ET LES MECANISMES DE HANDOVER

1 Introduction 32
2 Présentation de Handover 32
3 Types de handovers 33
3.1 Hard handovers 33
3.2 Le soft handover 33
3.3 Types de handover dans le LTE 34
4 Le Handover dans LTE 36
5 Gestion de la mobilité EPS 37
5.1 Attachement de l'UE au réseau EPS 38
5.2 Détachement de l'UE du réseau EPS 41
5.3 Mise à jour de Tracking Area avec changement de MME et de Serving GW 42
6 Le Handover A3 44
7 Conclusion 45

CHAPITRE 4 SIMULATION ET INTERPRETATION DES RESULTATS

1 Introduction 47
2 Choix du simulateur 47
2.1 Présentation du simulateur LTE-Sim 47
2.2 OPNET 48
2.3 NS-3 48
2.3.1 Présentation du simulateur NS-3 48
2.3.2 Terminologie et abstractions 48
3 Les étapes de la simulation 50

4 Les outils complémentaires pour le calcul des résultats 51
4.1 Gnuplot 51
4.2 GNU Octave 52
5 L'étude de Procédure Handover en réseau LTE 52
6 Scénarios de simulation déployée 53
6.1 Scénarios de mobilité 54
7 Calcul et comparerons des résultats de simulation 56
7.1 Les indicateurs utilisés dans notre simulation : 56
7.2 Scénario 1 : Choisir le meilleur ISD : 56
7.3 Scénario 2 : Mobilité Sans Algorithme du Handover A3 “ *NoOpHandoverAlgorithm* **“** 58
7.4 Scénario 3 : **Implémentation de l’Algorithme du handover A3 “ A3Rsrp Handover Algorithm“.** 59
7.5 Scénario 4 : Comparaison du Déploiement avec et sans prise en considération de l’algorithme de handover A3 : 60
8 Conclusion 65
CONCLUSION GENERALE 66
BIBLIOGRAPHE 67

LISTE DES TABLEAUX

Table 1 .1	tableau des interfaces 2G.	7
Table 1 .2 :	Tableau des interfaces	9
Table 2.1:	Public Land Mobile Network Identity.	25
Table 2.2 :	L'identifiant du MME.	25
Table 2.3 :	Identification d'un User Equipment dans un MME.	26
Table 2.4 :	Global Unique identité temporaire (GUTI).	26
Table 2.5 :	Les canaux logiques	28
Table 2.6 :	Les canaux de transports	28
Table 2.7 :	les interfaces de réseaux LTE	30
Table 3.1 :	Tableau des paramètres de simulation.	54

LISTE DES FIGURES

Figure	nom	page
Figure 1.1	Architecture générale simplifiée des réseaux mobiles.	4
Figure 1.2	Architecture du réseau GSM.	5
Figure 1.3	architecture globale de réseaux UMTS.	8
Figure 1.4	Hiérarchie des cellules de l'UMTS	10
Figure1.5	Les besoins en débit des services de l'UMTS.	11
Figure 2.1	Architecture générale de réseaux LTE.	14
Figure 2.2	architecture de réseaux cœur	14
Figure 2.3	architecture de LTE.	17
Figure 2.4	Architecture eUTRN	18
Figure 2.5	Le fonctionnement d'une trame radio.	21
Figure 2.6	Structure de la trame radio.	22
Figure 2.7	Les slots d'une trame radio.	22
Figure 2.8	technique de multiplexage OFDMA	24
Figure 2.9	Architecture Protocolaire de LTE.	27
Figure 2.10	les canaux de LTE	28
Figure 3.1	Premier cas de Handover	34
Figure 3.2	Handover sans changement de MME.	35
Figure 3.3	Deuxième cas de handover	35
Figure 3.4	Troisième cas de handover.	36
Figure 3.5	Protocoles de signalisation de l'UE	37
Figure 3.6	Attachement initial de l'UE au réseau EPS	40
Figure 3.7	L'UE se détache du réseau EPS	41
Figure 3.8	Mise à jour de TA	44
Figure 3.9	Diagramme de la procédure Handover.	44
Figure 4.1	Architecture du nœud NS-3.	49
Figure 4 .2	Etapes pour nos simulations sous NS-3.	50
Figure 4.3	Etapes pour la réalisation d'une simulation.	51
Figure 4.4	Exemple sur le GNUPLOT .	52
Figure 4.5	Exemple de résultat fournis par octave	52
Figure 4.6	diagramme de procédure de handover dans LTE.	53

Figure 4.7	Architecture du scénario déployé.	54
Figure 4.8	Exemple d'affichage de résultat de simulation	55
Figure 4.9	Architecture du scenario Vu par NetAnim	55

LISTE DES ABBREVIATION

3GPP 3rd Generation Partnership Project

BCCH Broadcast Control Channel

BCH Broadcast Channel

BTS Base transceiver station

CCCH Common Control Channel

CCDF Complementary Cumulative Density Function

C-plane Control Plane

DCCH Dedicated Control Channel

DL Downlink (base station to subscriber transmission)

DL-SCH Downlink Shared Channel

DTCH Dedicated Traffic Channel

eNB evolved NodeB

EPC Evolved Packet Core

E-UTRAN Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network

FDD Frequency Division Duplex

GSM Global System for Mobile communication

IP Internet Protocol

LTE Long Term Evolution

MME Mobility Management Entity

NAS Non-Access Stratum

OFDM Orthogonal Frequency Division Multiplexing

OFDMA Orthogonal Frequency Division Multiple Acce

PBCH Physical Broadcast Channel

PCCH Paging Control Channel

P-CCPCH Primary common control physical channel

PCFICH Physical Control Format Indicator Channel

PCH Paging Channel

PDCCH Physical Downlink Control Channel

PDCP Packet Data Convergence Protocol

PDN Packet Data Network

PDU Protocol Data Unit

PHICH Physical Hybrid ARQ Indicator Channel

PHY Physical Layer

PRACH Physical random access channel

PUCCH Physical Uplink Control Channel

PUSCH Physical Uplink Shared Channel

Qos Quality of Service

RB Resource block

RLC Radio Link Control

RNC Radio network controller

SC-FDMA Single Carrier – Frequency Division Multiple Access

SDU Service Data Unit

TDD Time Division Duplex

UE User Equipment

UL Uplink (subscriber to base station transmission)

U-plane User plane

UTRAN UMTS Terrestrial Radio Access Network

VoIP Voice over IP

INTRODUCTION GÉNÉRALE

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

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.

Dans les réseaux LTE (4G), la mobilité est un concept pivot qui attire de nombreuses recherches. L'hétérogénéité des réseaux d'accès et par conséquent des caractéristiques de l'accès (bande passante, délai, QoS) obtenue par le mobile rend le problème plus ardu à résoudre et nécessite de s'intéresser à l'impact des changements sur les applications. Cela est d'autant plus important qu'il soit nécessaire pour faciliter le développement de nouveaux services, de rendre la mobilité transparente aux applications les plus contraignantes (VoIP) en termes de débit et temps réelle.

Ce mémoire est divisé en quatre chapitres :

Le premier chapitre présente les différentes générations d'un réseau mobile et les principaux. En va décrire les architecteurs de chaque génération d'un réseau mobile.

Le deuxième chapitre donne une étude détaillé sur le réseau mobile 4G. On va aborder l'architecteur d'un réseau LTE par introduire les différentes couches ainsi que leurs fonctionnements puis on va étudier le principe d'un system de communication pour un réseau 4G qui est caractérisé par une technologie moderne par rapport d'un réseau classique.

Le troisième chapitre sera consacré sur l'étude de principe de mécanisme de handover dans un réseau LTE. Plus précisément nous présentons les différents algorithmes existes qui assure la mobilité et la connectivité d'un utilisateur et station de base dans une cellule macro.

Le dernier chapitre sera consacré sur l'implémentation et la simulation d'un réseau LTE à l'aide d'un simulateur NS3. Notre objectif dans ce mémoire d'évaluer la procédure de la gestion de mobilité et le taux de transfert (uplink et downlink) dans un réseau mobile LTE afin sélectionner les meilleurs paramètres de chaque algorithme qui assure la connectivité et la mobilité utilisateur-station de base dans une cellule macro.

CHAPITRE 1

LES RESEAUX MOBILES

1 Introduction

Ce premier chapitre présente quelques notions de base sur les réseaux des téléphones mobiles, en mettant en évidence son architecture de base des trois premières générations mobiles, ainsi que les Technique d'accès utilisé par ces réseaux.

2 Les réseaux mobiles

Un réseau informatique est un ensemble d'équipements reliés entre eux dans le but de communiquer. Ces liens peuvent être matériels (câbles) ou immatériels (faisceaux hertziens). On distingue alors les réseaux câblés et les réseaux sans fil.

La méthode utilisée pour relier entre eux les divers équipements d'un réseau constitue la topologie du réseau. Il existe six types de topologies applicables à un réseau. Il s'agit des topologies

- En bus
- en arbre
- en étoile (simple, multiple ou mixte),
- en anneau (simple ou multiple), de la topologie complète et de la topologie mixte qui constitue une hybridation des autres topologies.

Avec l'accroissement et l'amélioration des moyens de déplacement, les utilisateurs des réseaux informatiques sont de plus en plus mobiles. Ils éprouvent aussi le besoin d'accéder vaux services auxquels ils ont souscrit, quel que soit l'endroit où ils se trouvent. Cette situation a entrainé le développement des réseaux mobiles. Trois types de mobilités sont donc apparus, à savoir

- ✓ la mobilité terminale : consiste à localiser et à dentier un terminal mobile quel que soit l'endroit où il se trouve, an de lui permettre d'accéder aux services de réseau.
- ✓ la mobilité personnelle : La mobilité personnelle permet l'identification d'un abonné grâce à un numéro d'identification personnel qui lui permet, à partir de n'importe quel terminal, d'accéder à ses services.
- ✓ la portabilité des services : fait référence au concept de réseau intelligent ; elle implique la capacité du réseau à identifier les usagers en mouvement et à leur fournir les services auxquels ils sont souscrits, y compris l'émission et la réception d'appel. [1]

2.1 Architecture des réseaux mobiles :

L'architecture de base des réseaux mobiles est composée d'une partie fixe et d'une partie mobile. La partie mobile est constituée essentiellement des usagers mobiles (UM). Dans la partie fixe, on retrouve le réseau d'accès composée des stations de base et de leurs contrôleurs qui constituent des passerelles vers le réseau cœur, et le réseau cœur compose de commutateurs et/ou de routeurs. Le réseau d'accès sert d'interface entre les utilisateurs mobiles et le réseau cœur. Le réseau cœur, quant à lui, assure l'interconnexion avec le réseau d'accès et d'autres réseaux cœurs si nécessaire. Lorsque la zone à couvrir est vaste ou que le nombre d'équipements dans le réseau est élevée, un réseau de transport sert d'interface entre le réseau d'accès et le réseau cœur. [1]

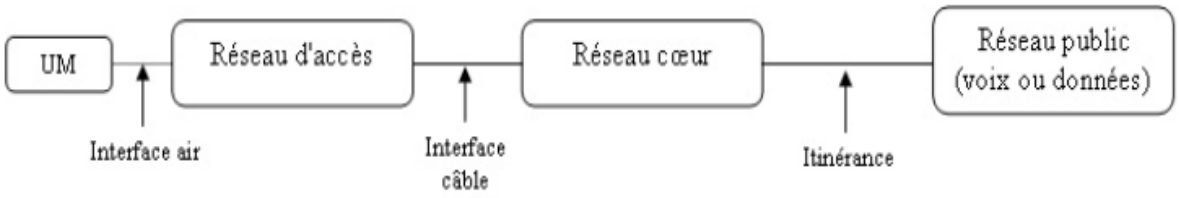


Figure 1.1 : Architecture générale simplifiée des réseaux mobiles.

2.2 La première génération des téléphones mobiles (1G)

La première génération est apparue à la fin des années 70 et était caractérisée par des terminaux analogiques dotés d'une faible mobilité et de services limités. En effet, en dehors du téléphone, les services fournis étaient pratiquement inexistants.

A cause du coût élevé de leur infrastructure, ces réseaux n'ont eu que peu de succès. Ils ont malgré tout été les premiers à permettre à un utilisateur mobile de communiquer de façon continue. [5]

2.3 La deuxième génération des téléphones mobiles (2G) :

Le marché des services mobiles a commencé à se développer au début des années 1990 par l'exploitation de réseaux de deuxième génération (2G), basés sur la norme GSM. La téléphonie en mobilité en constituait le principal service, même si les messages courts «SMS» sont rapidement apparus comme un usage essentiel aux consommateurs. [3]

Le réseau GSM est composé de trois sous-ensembles :

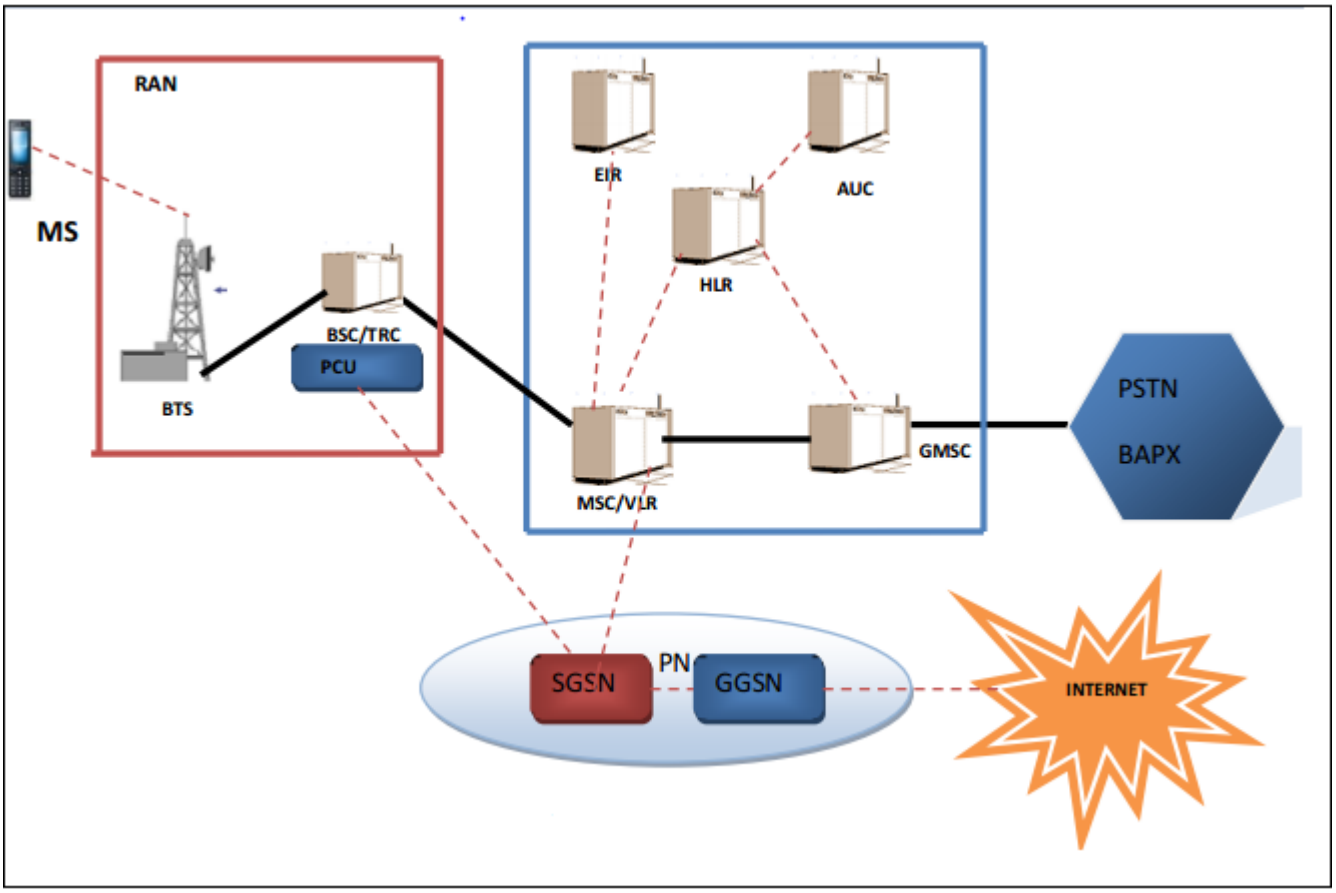


Figure 1.3 : Architecture du réseau GSM. [3]

→Le sous-système réseau (NSS) : Prennent en charge toutes les fonctions de contrôle et d'analyse d'informations contenues dans des bases de données nécessaires à l'établissement de connexions.[20]qui contient les nœuds suivants :

- ✓ Mobile Services Switching Center (MSC) : Un commutateur numérique en mode circuit. C'est le panneau d'administration et contrôle des BTSs, il Assure l'interconnexion avec les réseaux (PSTN, RNIS) ou les autres PLMNs.
- ✓ Home Location Registre(HLR) : C'est une base de données permanente contenant tous les informations relatives aux abonnées et elle contrôle aussi le routage des appels.
- ✓ Vistor Location Area (VLR) :C'est une base de données locale. C'est-à-dire une mémoire de stockage temporaire, la même information que dans HLR +TMSI+localisation.
- ✓ Authentication Center(AUC) : un panneau de sécurité et observation, il contrôle l'identité des abonnées et assure les fonctions de cryptage.par une procédure de triolet (triplet).
- ✓ Equipment Identity Register (EIR) : il contient d'un numéro d'identification (IMEI), dans chaque appelle par ce numéro il détermine l'état de mobile et la donne a MSC.

- ✓ Gateway MSC(GMSC) : il fait la commutation par circuits des appels entre MSC/VLR via HLR et le RTCP.GMSC c'est la porte entre les appelle qui viennent de RTCP. [22]

→Le sous-système radio (BSS) : Le sous-système radio gère la transmission radio. Il est constitué de La station mobile MS, la station de base BTS et un contrôleur de station de base BSC. [4]

- ✓ La station mobile (Mobile Station le téléphone portable) : Les mobiles sont classés et caractérisés par les puissances de sortie et de sensibilité. Chaque mobile possède un numéro unique d'identité appelé IMEI. [4]
- ✓ BTS (Base Transceiver Station) : Elle gère une cellule. La BTS assure également les transmissions radio entre les mobiles et le réseau, ainsi une BTS gère :
  - l'émission/réception radio.
  - la couche physique (émission en TDMA saut de fréquence lent…).
  - les mesures de qualité des signaux reçus.
  - La liaison radio
  - gère la couche liaison de données pour l'échange de signalisation entre les mobiles et l'infrastructure.
  - capacité maximale : 16 porteuses. [4]
- ✓ BSC (Base Station Controller) : C'est l'organe « intelligent » du BSS, il supervise une ou plusieurs BTS et utilise les mesures. Effectuées par la BTS pour contrôler les puissances d'émission du mobile et/ou de la BTS. Il gère les ressources radio : c'est à dire les sauts de fréquence, les handovers (Itinérances : passage d'une cellule à une autre au cours d'une communication) mais aussi de l'allocation des canaux radio. [4]

→ Le sous-système d'exploitation et de maintenance (OSS) : permet à l'opérateur d'exploiter son réseau. [4]

2.3.1 Les interfaces de GSM :

Les interfaces normalisées sont utilisées entre les entités du réseau pour la transmission du trafic (paroles ou données) et pour les informations de signalisation. Dans le réseau GSM, les données de signalisation sont séparées des données de trafic. Toutes les liaisons entre les équipements GSM sauf avec la station mobile sont des liaisons numériques. La liaison entre BTS et MS est une liaison radio numérique.

Interface	Localisation	Utilisation
Interface Um	MS-BTS	Interface radio
Interface Abis	BTS-BSC	Divers
Interface A	BSC-MSC	Divers
C	GMSC-HLR SM-GMSC-HLR	Interrogation du HLR pour appelle entrant Interrogation du HLR pour des messages courts entrant
D	VLR-HLR	Gestion d'information d'abonnes et de localisation Gestion supplémentaire
E	MSC-SM-GMSC	Transport des messages court
G	VLR-VLR	Gestion des informations d'abonnes
F	MSC-EIR	Vérification de l'identité de la terminale
B	MSC-VLR	Divers
H	HLR-AUC	Echange des données d'authentification

Tableau 1 .1 : tableau des interfaces 2G. [4]

2.4 La troisième génération des réseaux mobiles (UMTS) :

La 3G a été impulsée pour permettre des applications vidéo sur le mobile et améliorer la QoS du Multimédia. Les applications visées étaient la possibilité de regarder YouTube, de la visiophonie,...Outre l'augmentation de débit, un point complexe à résoudre était de passer d'un service de téléphonie (à connexion circuit) vers un service DATA (connexion paquets).[6]

2.4.1 Architecture du réseau UMTS et fonctionnalité :

L'architecture générale d'un réseau UMTS est composée de trois domaines :

- l'équipement usager : UE.
- le réseau d'accès universel : UTRAN.
- le réseau cœur : CN. [2]

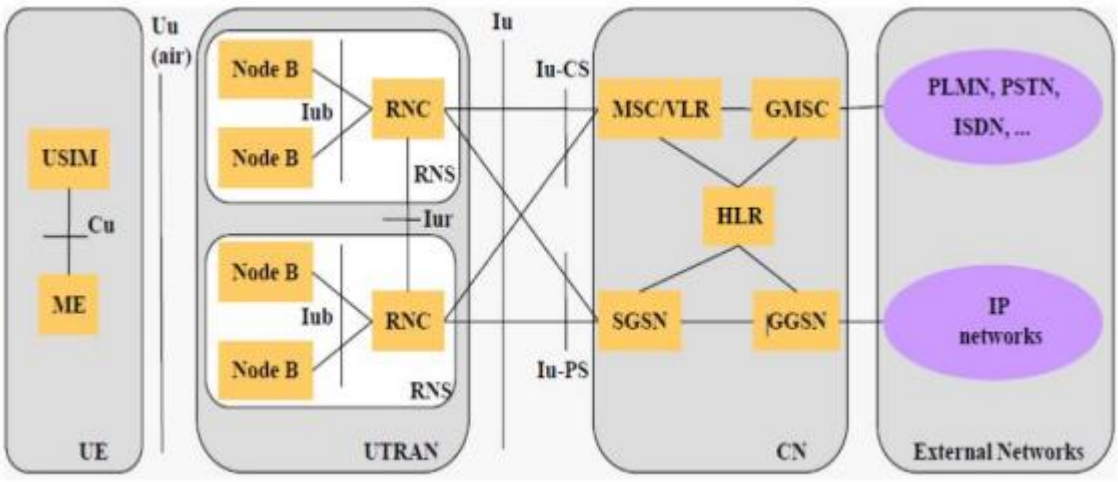


Figure 1.3 : architecture globale de réseaux UMTS. [2]

2.4.1.1 UE (User Equipment) :

L'utilisateur UMTS est équipé d'un UE (User Equipment) qui se compose du Mobile Equipment (ME) correspondant au combiné téléphonique (terminal mobile) et la carte USIM (UMTS Subscriber Identity Module). [4]

2.4.1.2 le réseau d'accès UTRAN

Est constitué de deux éléments :

- ✓ Le Node B : Il gère la couche physique de l'interface radio, régit principalement le codage du canal, l'entrelacement, l'adaptation du débit, l'étalement et le désétalement et est responsable du contrôle de puissance en boucle fermée. L'interface mobile/node B est une interface Uu. [10]
- ✓ Le RNC : c'est le nœud intelligent dans l'UTRAN et l'équivalent de BSC en GSM. Le RNC fonctionne à niveau 1 et 2 du modèle OSI. On peut trier les tâches suivantes :
  - Le contrôle de puissance en boucle externe.
  - Le faiseur de décision pour tous les mécanismes de handover.
  - Le contrôle de l'admission des mobiles au réseau et la gestion de charge.
  - L'allocation des codes CDMA.
  - la transmission de données en mode paquet.
  - La combinaison/distribution des signaux entre les différentes nœuds B pour succéder la procédure de soft handover dans une situation de macro diversité. [3]

2.4.1.3 le réseau cœur (CN)

Le réseau cœur est responsable de la commutation et du routage des communications (voix et données) vers les réseaux externes. Dans une première phase, le système UMTS s'appuiera sur le réseau cœur du GPRS. Il se décompose en deux parties. Le domaine paquet et le domaine circuit.

- ✓ le domaine circuit : Le domaine circuit permettra de gérer les services temps réels dédiés aux conversations téléphoniques (vidéo-téléphonie, jeux vidéo, streaming, applications multimédia) .Ces applications nécessitent un temps de transfert rapide.
- ✓ domaine paquet : Le domaine paquet permettra de gérer les services non temps réels. Il s'agit principalement de la navigation sur l'Internet, de la gestion de jeux en réseaux et de l'accès/utilisation des emails. Ces applications sont moins sensibles au temps de transfert, c'est la raison pour laquelle les données transiteront en mode paquet. Le débit du domaine paquet sera sept fois plus rapide que le mode circuit. [4]

2.4.2 Les interfaces d'UMTS

Interfaces	**Localement**	**Description**
Uu	UE-UTRAN	1-Interface radio qui permet au mobile de communiquer avec l'UTRAN. 2-La technologie UTRA est utilisée par cette interface dont le principe repose sur le WCDMA.
Iu	UTRAN-r cœur	Interface Iu-CS. Elle permet au RNC de communiquer avec le MSC/VLR (services en mode circuit).
Iur	RNC-RNC	Elle permet à deux RNC de communiquer c'est-à-dire il fait la synchronisation entre les RNC. Alors il joue un rôle très important dans la procédure de macro diversité (Macro diversity), c'est le mécanisme le plus important dans les mécanismes de Handover, il s'appelle soft-handover.
Iub	Nœud B-RNC	C'est l'interface qui gère la communication entre le nœud et le RNC 1-Il fait une directe signalisation à nœud B. 2-Il contrôle les ressources d'allocation.

Tableau 1 .2 : tableau des interfaces 3G. [2]

2.4.3 Hiérarchie des cellules de l'UMTS

Les couvertures globales de la planète s'organise en une structure cellulaire hiérarchisée qui assurera piténirance (roaming) mondiale .Au sommet de la hiérarchie se trouvent les satellites qui assurent une couverture sur l'ensemble de la planète. [9]

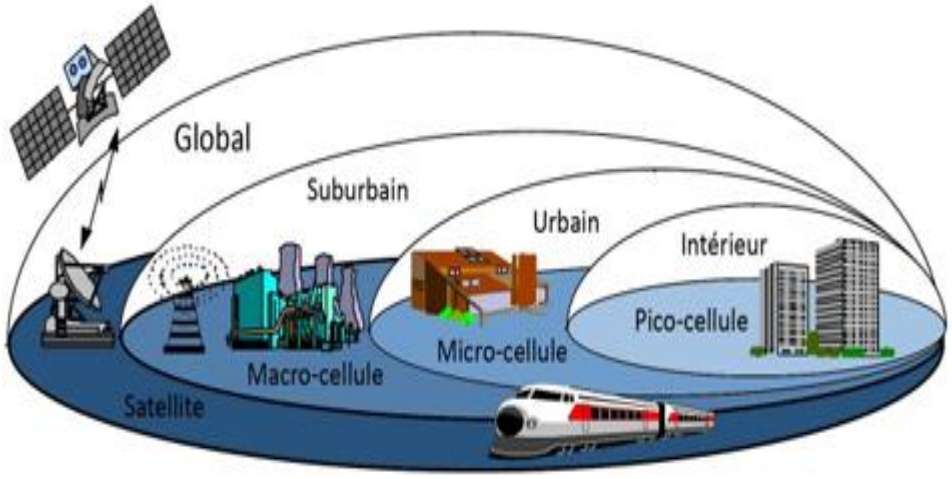


Figure 1.4 : Hiérarchie des cellules de l'UMTS

- ✓ Une pico-cellule permet des débits de l'ordre de 2 Mbits/s lors d'un déplacement de l'ordre de 10 km/h (marche à pied, déplacement en intérieur, etc.).
- ✓ Une micro-cellule permet des débits de l'ordre de 384 kbits/s lors d'un déplacement de l'ordre de 120 km/h (véhicule, transports en commun, etc.).
- ✓ Une macro-cellule permet des débits de l'ordre de 144 kbits/s lors d'un déplacement de l'ordre de 500 km/h (Train à Grande Vitesse, etc.).[9]

2.4.4 Services de l'UMTS

Le schéma ci-après présente les différents services que propose l'UMTS. Sur l'axe des ordonnées se trouve le débit demandé pour le service en question. Chacun des services est regroupé par leur type de connexion (bidirectionnel, unidirectionnel, diffusion point/ multipoint).

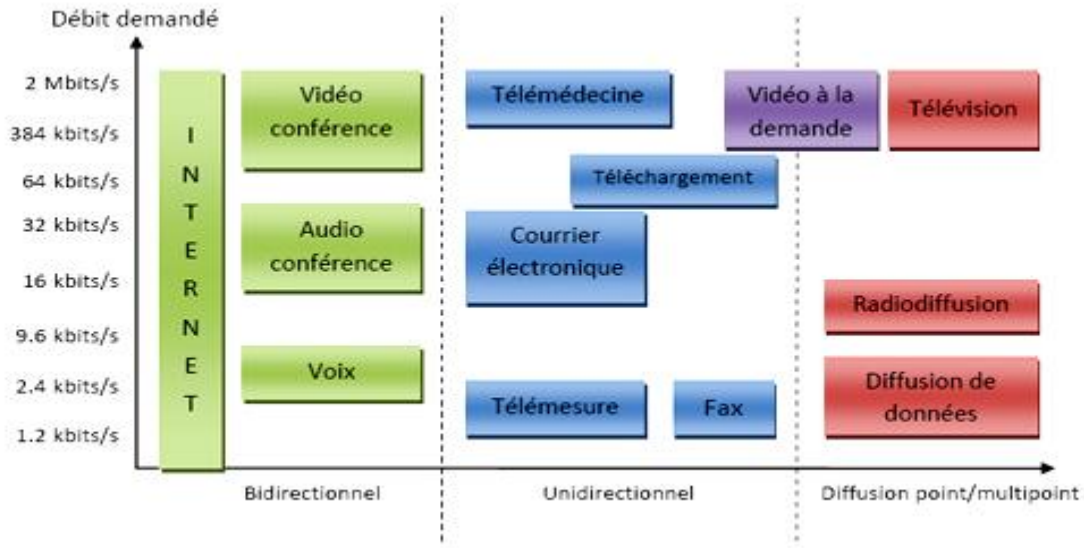


Figure1.5 : Les besoins en débit des services de l'UMTS. [9]

3 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté d'une façon générale les différentes générations de téléphone mobiles et les principales caractéristiques d'un réseau cellulaire. Pour les réseaux 4G (LTE), nous avons présenté le dans le prochain chapitre, nous allons le détailler.

La 4G vise à améliorer l'efficacité spectrale et à augmenter la capacité de gestion du nombre de mobiles dans une même cellule. Elle tente aussi d'offrir des débits Elevés en situation de mobilité et à offrir une mobilité totale à l'utilisateur en établissant interopérabilité entre différentes technologies existantes.

CHAPITRE 2

ETUDE DETAILLE SUR LES RESEAUX MOBILE 4G

1 Introduction

Dans ce premier chapitre nous avons présenté une introduction des principaux concepts de base utilisés dans la quatrième génération des téléphones mobiles (4G) ,on commencera tout d'abord par le but et en mettant en évidence son architecture de base, les caractéristiques, Les techniques de multiplexage utilisées ainsi que les Technique d'accès .

2 La quatrième génération des téléphones mobiles (4G)

2.1 représentation de LTE :

L'évolution à long terme est l'équivalent français du terme anglais LTE. Elle désigne un projet réalisée par l'organisme de standardisation 3GPP œuvrant à rédiger des techniques qui permettront d'améliorer la norme UMTS des réseaux cellulaires 3G, vers la quatrième génération, pour faire face aux futures évolutions technologiques. Les buts poursuivis pour la LTE consistent en une amélioration de l'efficacité spectrale qui permettra le transfert des données à très haut débit, de l'ordre de 50 Mbps, avec une portée plus importante, un nombre d'appels par cellule plus élevé que dans l'UMTS et une latence plus faible. La quatrième génération présente, pour l'amélioration des services, des plateformes multi-technologiques capables de supporter de nouvelles applications innovatrices [15].

Les réseaux 4G qui permettront de répondre aux demandes croissantes des usages mobiles, tant en termes de qualité des services offerts que de capacité d'écoulement du trafic par les réseaux. [25]

2.2 But de 4G :

- Prise en charge multimédia interactives, voix, vidéo, Internet sans fil et autres services large bande.
- Haute vitesse, haute capacité et à faible coût par bit.
- La mobilité mondiale, la portabilité des services, réseaux mobiles évolutifs.
- De commutation transparente, la variété de services basés sur la qualité de service (QoS).
- Une meilleure planification et des techniques de contrôle d'admission d'appel.[14]

2.3 Architecture de LTE :

L'architecture du réseau LTE est composée des trois éléments principaux suivants :

- Cœur de réseaux (Core Network EPC).
- Réseau d'accès (E-UTRAN).
- User Equipment (UE).

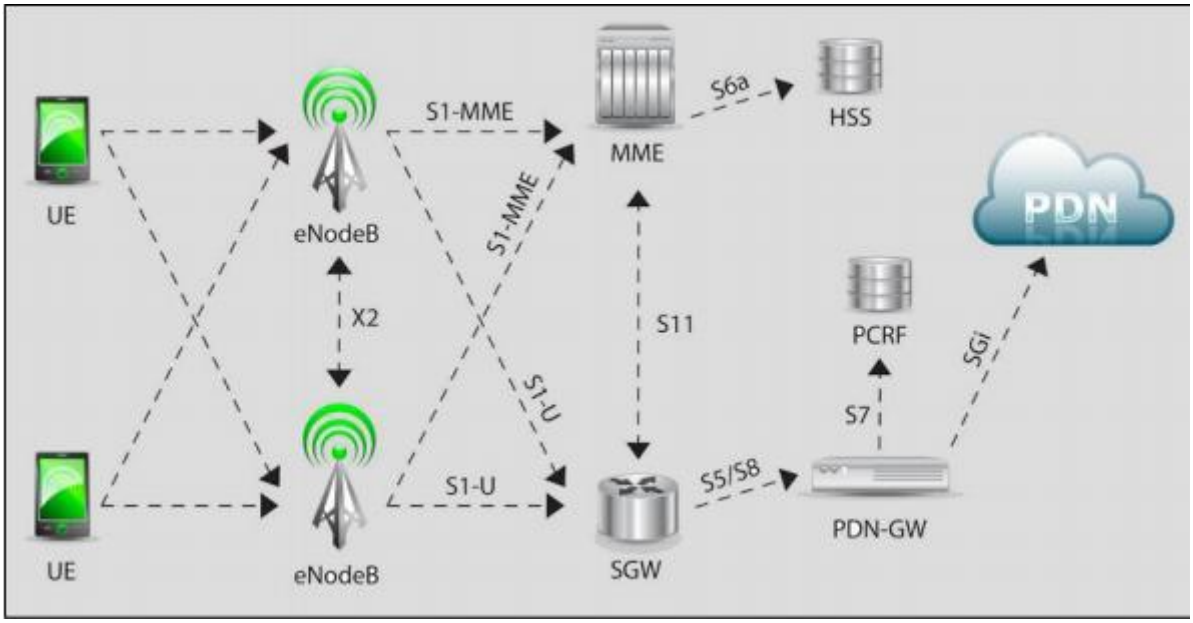


Figure 2.1 : Architecture générale de réseaux LTE.

2.3.1 EPC (Evolved Paquet Core):

L'architecture du réseau cœur EPC est présentée sur la figure que nous décrivons brièvement chaque élément du réseau :

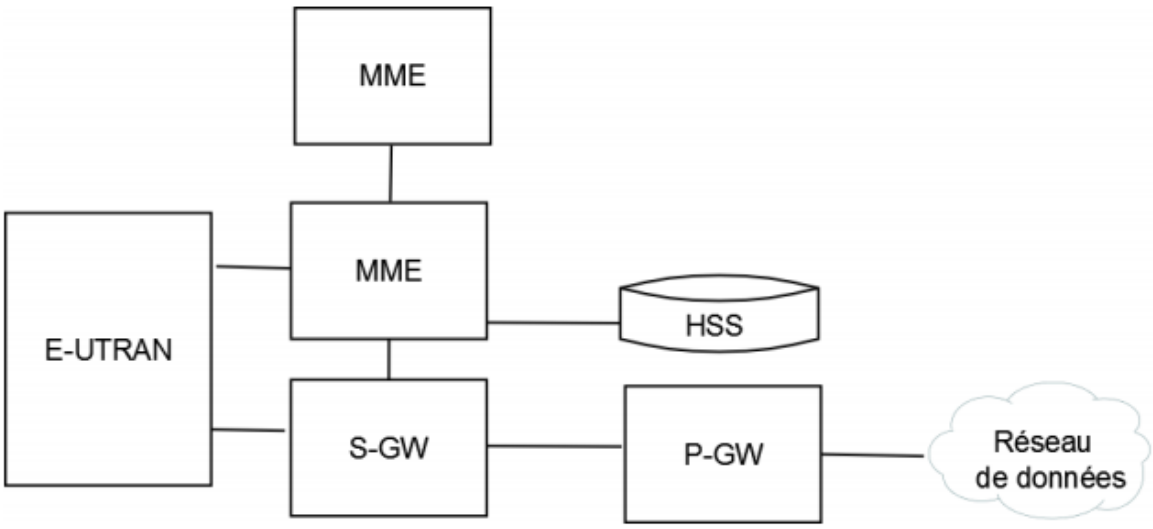


Figure 2.2 *:* architecture de réseaux cœur[7]

a. MME (Mobility Management Entity) : Les fonctions de l'entité MME incluent :

- Signalisation EMM et ESM avec l'UE. Les terminaux LTE disposent des protocoles EMM (EPS Mobility Management) et ESM (EPS Session Management) qui leur permettent de gérer leur mobilité (attachement, détachement, mise à jour de localisation) et leur session (établissement/libération de session de données) respectivement. Des messages utilisant ces protocoles sont échangés entre l'UE et le MME.

- Authentification : Le MME est responsable de l'authentification des UEs à partir des informations recueillies du HSS.
- Joignabilité de l'UE dans l'état ECM-IDLE (incluant paging) : C'est l'entité MME qui est responsable du paging lorsque l'UE est dans l'état IDLE et que des paquets à destination de l'UE sont reçus et mis en mémoire par le Serving GW.
- Gestion de la liste de Tracking Area : L'UE est informé des zones de localisation Prises en charge par le MME, appelées Tracking Area. L'UE met à jour sa localisation lorsqu'il se retrouve dans une Tracking Area qui n'est pas prise en charge par son MME.
- Sélection du Serving GW et du PDN GW **:** C'est au MME de sélectionner le Serving GW et le PDN GW qui serviront à mettre en œuvre le Default Bearer au moment du rattachement de l'UE au réseau.
- Sélection de MME lors du handover avec changement de MME **:** Lorsque l'usager est dans l'état ACTIF et qu'il se déplace d'une zone prise en charge par un MME à une autre zone qui est sous le contrôle d'un autre MME, alors il est nécessaire que le handover implique l'ancien et le nouveau MME.
- Sélection du SGSN lors du handover avec les réseaux d'accès 2G et 3G : Si l'usager se déplace d'une zone LTE à une zone 2G/3G, c'est le MME qui sélectionnera le SGSN qui sera impliqué dans la mise en place du default bearer.
- Roaming avec interaction avec le HSS nominal : Lorsque l'usager se rattache au réseau, le MME s'interface au HSS nominal afin de mettre à jour la localisation du mobile et obtenir le profil de l'usager.
- Fonctions de gestion du bearer incluant l'établissement de dedicated bearer : C'est au MME d'établir pour le compte de l'usager les defaults bearer et dedicated bearer nécessaires pour la prise en charge de ses communications.
- Interception légale du trafic de signalisation : L'entité MME reçoit toute la signalisation émise par l'UE et peut l'archiver à des fins de traçabilité. [12]

b. HSS (Home Subscriber Server) :

Le HSS se présente comme une version évoluée du HLR. Il permet de stocker des informations d'abonnement pouvant servir au contrôle des appels et à la gestion de session des utilisateurs réalisée par le MME. Il entrepose, pour l'identification des utilisateurs, la numérotation et le profil des services auxquels ils sont abonnés. En plus des données d'authentification des utilisateurs, il contient les informations de souscription pour les autres réseaux, comme le GSM, le GPRS, 3G, LTE et IMS[15].

c. PDN-GW(Packet Data Network GateWay): Les fonctions de PDN GW incluent :

- Interface vers les réseaux externes (Internet et intranet). Le PDN GW est l'entité qui termine le réseau mobile EPS et assure l'interface aux réseaux externes IPv4 ou IPv6.
- Allocation de l'adresse IP de l'UE. Le PDN GW assigne à l'UE son adresse IP dès l'attachement de l'UE lorsque le réseau établit un default bearer permanent à l'UE. Le PDN GW peut allouer une adresse IPv4 ou IPv6.
- Interception légale. Le PDN GW est sur le chemin de signalisation pour l'établissement/ la libération de bearer et sur le chemin du média (paquets de données échangés par l'UE). Il est donc un point stratégique pour l'interception légale des flux média et contrôle.
- Marquage des paquets dans les sens montant et descendant, e.g., positionnant le DiffServ Code Point sur la base du QCI (QoS Class Identifier) du bearer EPS associé. Cela permet d'associer des priorités aux flux de données au sens DiffServ.
- Taxation des flux de service montants et descendants (ex. sur la base des règles de taxation fournies par le PCRF) ou sur la base de l'inspection de paquets définie par des politiques locales).[12]

d. PCRF (Policy and Charging Rules Function) :

Le PCRF est une entité qui exécute principalement deux grandes tâches. La première est de gérer la qualité de service que requiert le réseau, et alloue en conséquence les Porteuses bearer appropriées. La deuxième tâche se rapporte principalement à la tarification. En effet, le PCRF gère les politiques de facturation qui doivent être prises en compte par le PDN-GW et applicables en fonction des actions de l'utilisateur. [15]

e. SGW : (Serving Gateway) Ou UPE (User Plane Entity) : joue le rôle d'une passerelle lors du Handover inter-domaines et inter-réseaux, et ainsi responsable du routage des paquets.[14]

f. 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.[6]

g. La partie L'IMS (IP Multimedia Sub-system) :

Est une architecture récemment appliquée dans les réseaux mobiles qui per-mettent 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[15]

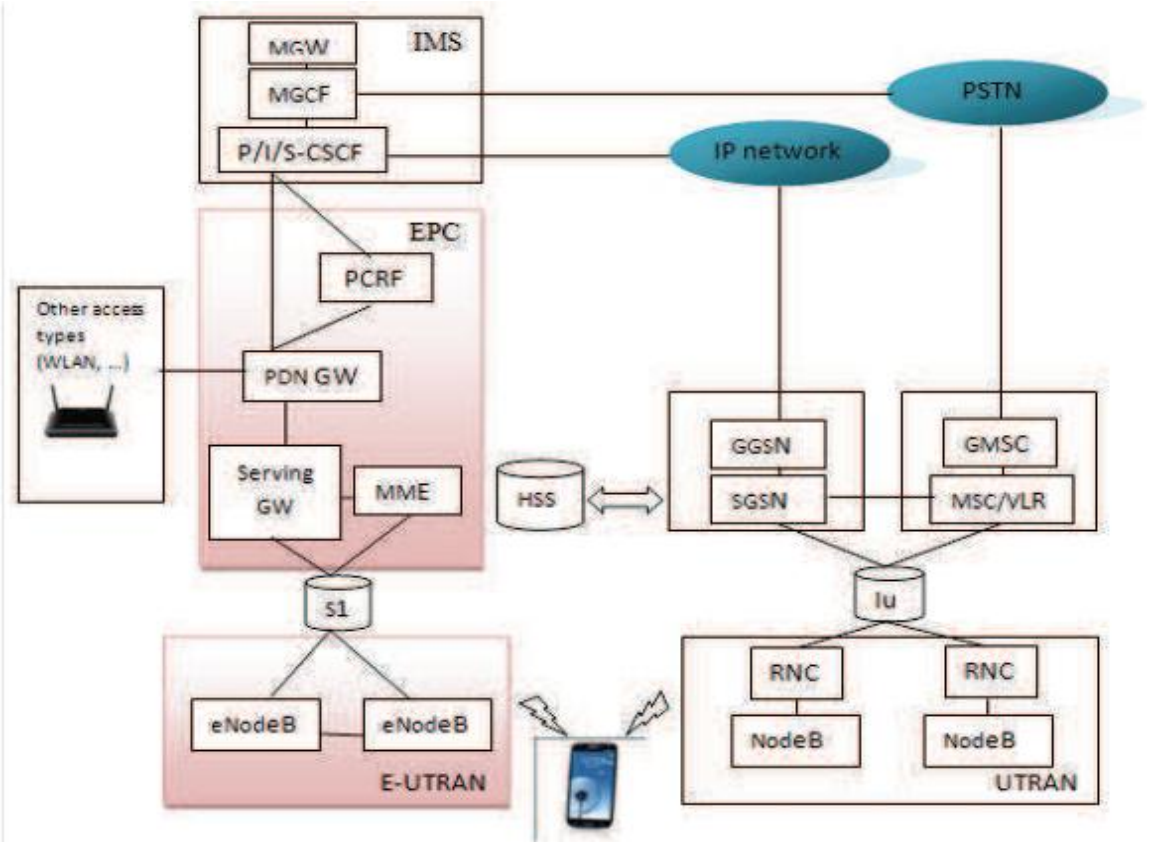


Figure 2.3 : architecture de LTE. [6]

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.[6]

2.3.2 Réseau d'accès E-UTRN :

La partie radio du réseau, il est simplifié 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 cœur Evolué.[6]

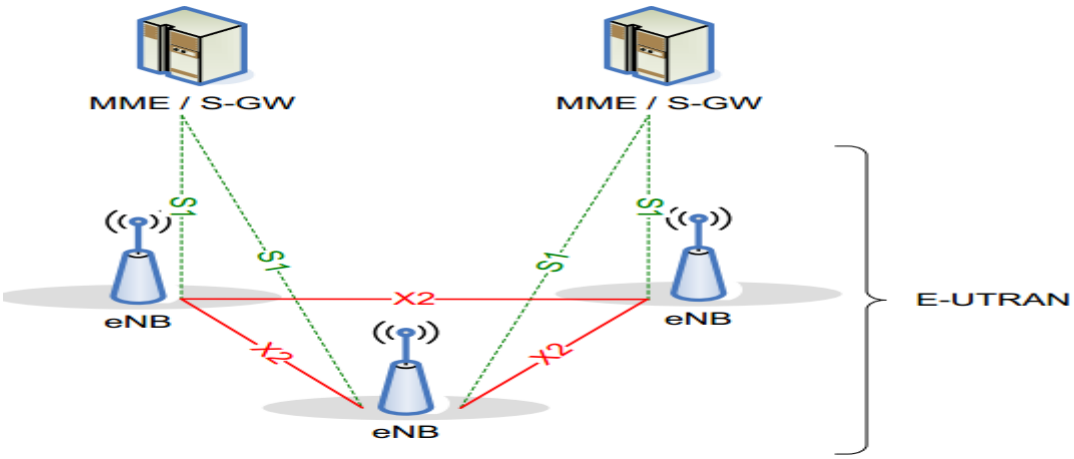


Figure 2.4 : Architecture eUTRN.[12]

- ENodeB :

Responsable de la transmission et de la réception radio avec l'UE. La principale fonction de l'eNode B est d'acheminer les flux de données de l'UE vers l'EPC (Evolved Packet Core Network) Cette opération est réalisée en utilisant l'interfaceS1 qui relie l'E-UTRAN aux composantes de l'EPC.[15]

2.3.3 user équipement :

L'architecture interne de l'équipement utilisateur (UE) pour le LTE est identique à celle utilisée par l'UMTS et le GSM qui est en fait un équipement mobile (ME). L'équipement mobile est composé de plusieurs modules :

- Terminaison mobile : elle assure toutes les fonctions de communication.
- Equipment Terminal : il assure le flux de données.
- Universal Integrated Circuit Card (UICC) : également connu comme la carte SIM pour les équipements LTE. Il exécute une application connue sous le nom Universal Subscriber Identity Module (USIM). Un USIM stocke les données spécifiques à l'utilisateur, il permet l'identification et la sécurité de ce dernier dans le réseau.[7]

2.4 caractéristiques fondamentales de la 4G :

2.4.1 les débuts de la 4G :

Les exigences pour la technologie LTE ont porté également sur des gains de débit en comparaison avec le HSPA. 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.

Nous verrons plus tard que ces exigences ont été largement dépassées. Une autre exigence a trait au débit moyen par utilisateur par MHz. Celui-ci doit être en voie descendante trois à quatre fois supérieur à celui disponible avec un UE UMTS Release 6 dans les conditions suivantes :

- pour l'UMTS : une antenne d'émission à la station de base avec un récepteur avancé au sein de l'UE ;
- pour le LTE : deux antennes d'émission à la station de base et deux antennes en réception au niveau de l'UE.

Par ailleurs, le débit moyen par utilisateur par MHz en voie montante doit être deux à trois fois supérieur à celui disponible avec un UE UMTS Release 6 dans les conditions suivantes :

- pour l'UMTS et le LTE : une antenne d'émission au niveau de l'UE et deux antennes de réception à la station de base **.**Le débit en bordure de cellule, défini comme le débit atteignable par au moins 95 % des utilisateurs de la cellule, a aussi fait l'objet d'exigences. Il doit être deux à trois fois supérieur à celui offert par le HSPA Release 6 dans les conditions précédentes, en sens descendant comme en sens montant.

2.4.2 latence

Nous avons vu que la latence du système se traduit concrètement par sa capacité à réagir rapidement à des demandes d'utilisateurs ou de services. Elle se décline en latence du plan de contrôle et latence du plan usager.

a. 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.

b. Latence du plan usager

La latence du plan usager est définie par le temps de transmission d'un paquet entre la couche IP de l'UE et la couche IP d'un nœud du réseau d'accès ou inversement. En d'autres termes, la latence du plan usager correspond au délai de transmission d'un paquet IP au sein du réseau d'accès. Le LTE vise une latence du plan usager inférieure à 5 ms dans des conditions de faible charge du réseau et pour des paquets IP de petite taille.[18]

2.4.3 codage et sécurité

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

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

2.4.4 multiplexage

Il existe deux modes de multiplexage de fréquences :

Les spécifications LTE prévoient le fonctionnement en mode dual : multiplexage de fréquences (FDD) et multiplexage temporel (TDD).En mode FDD (Frequency Division Duplexing), l'émission et la réception se font à des fréquences différentes. En mode TDD, l'émission et la réception transitent à une même fréquence, mais à des instants différents. [18]

a. Structure d'une trame LTE

Une trame LTE dure 10 ms. Elle est découpée en 10 sous trames d'une durée de1 ms. Chaque Sous trame est divisé en deux slots de 0,5ms. Un slot dure donc 0,5 ms, duré pendant laquelle est transmis 7 symboles par bande OFDM. Or, nous avons vu qu'il y avait 12 bandes.

Par conséquent, 7 symboles *12 bandes = 84 symboles sont transmis en 0,5 ms.[5]

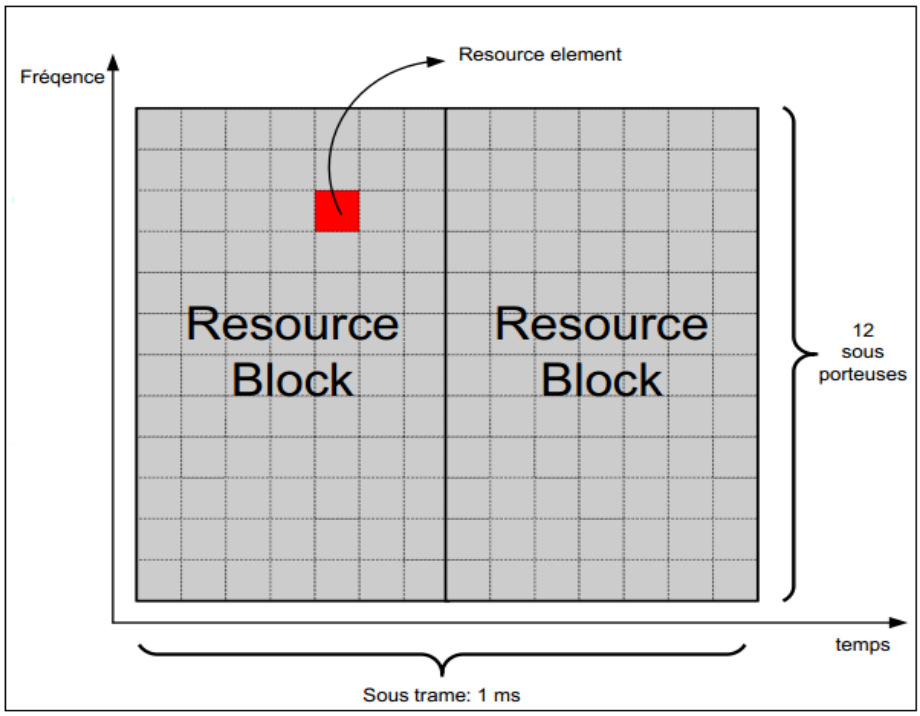


Figure 2.5 : Le fonctionnement d'une trame radio.

1 symbole peut transmette 1 bit à 6 bits selon la modulation choisie (QPSK à 128 QAM). Par exemple, 1 symbole représente un carton, et dans un carton nous pouvons avoir une boite ou 6 boites. Si nous souhaitons transporter le plus de boite, nous avons intérêt à mettre 6 boites par carton, ce qui fragilise encore plus le transport, nous favoriserons dons le 128 QAM (6 bits à transmettre) si le mobile et la station de base sont proches (transport peu Eloigné entre le point A et le point B).

Les transmissions downlink et uplink sont organisés en deux types de structures qui sont :

- Structure de type 1 : duplex de fréquence division FDD.
- Structure de type 2 : duplex par séparation temporelle TDD.

✓ Structure de type 1(Frequency Division Duplexing) :

Désigne une méthode de duplexage dans le domaine des télécommunications sans fil. L'émission et la réception des données se font à des fréquences différentes ; autrement dit, la fréquence de la porteuse du signal est différente suivant que le sens de la liaison est montant ou descendant.

Cette technique permet d'émettre et de recevoir simultanément, c'est son principal avantage face à l'autre technique majeure de duplexage, le Time Division Duplexing (TDD).[5]

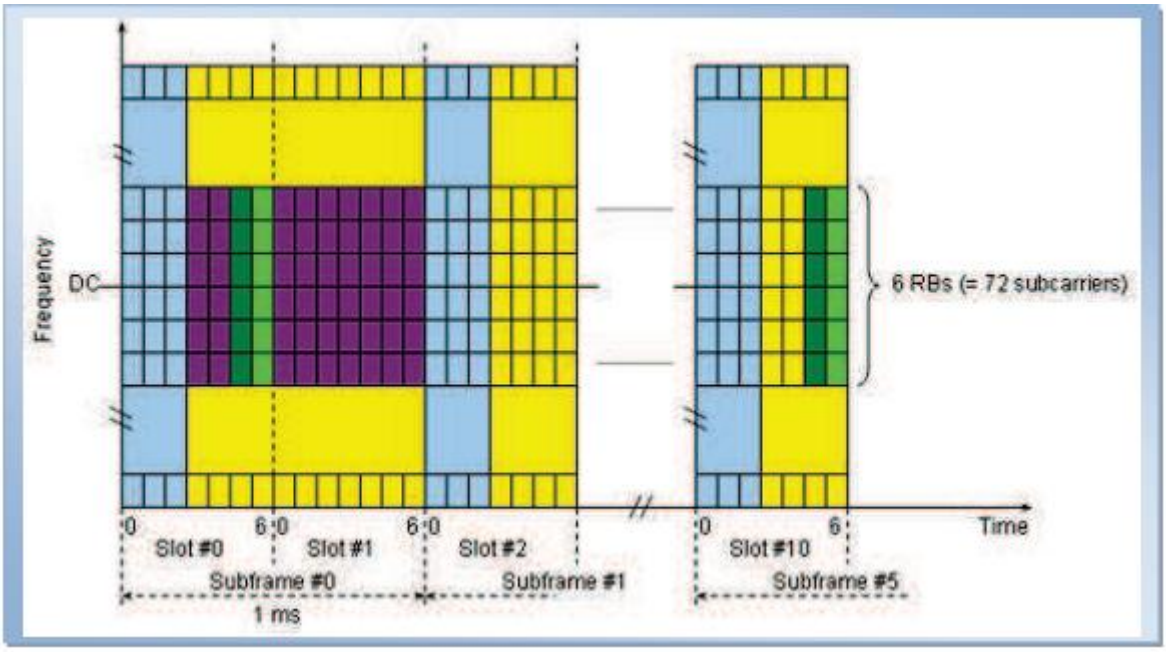


Figure 2.6 : Structure de la trame radio.

✓ Structure de type 2 (Time-Division Duplex) :

Le Duplex par séparation temporelle TDD est une technique permettant à un canal de télécommunication utilisant une même ressource de transmission (un canal radio par exemple) de séparer dans le temps l'émission et la réception.

Cette technique présente un avantage certain dans le cas où les débits d'émission et de réception sont variables et asymétriques. Lorsque le débit d'émission augmente ou diminue, davantage ou moins de bande passante peut être allouée. Un autre avantage de cette technique concerne les terminaux mobiles se déplaçant à très faible vitesse ou en position fixe.

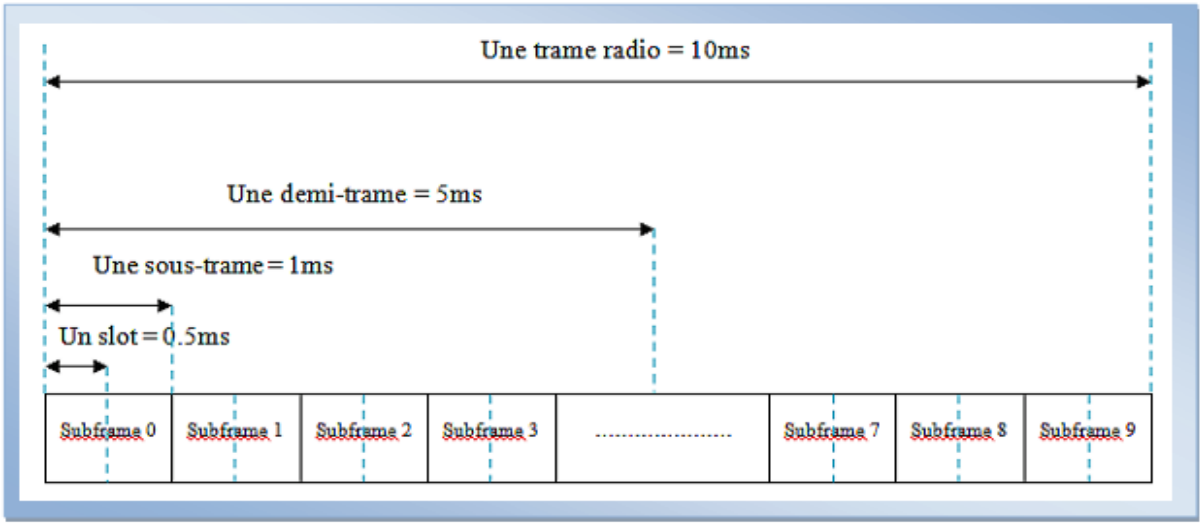


Figure 2.7 : Les slots d'une trame radio.

2.4.5 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 œuvre 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.[18]

2.5 Type de transmission dans 4G :

2.5.1 OFDMA :

Dans la technique OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access), chaque sous porteuse est exclusivement assignée à un seul utilisateur, éliminant de ce fait les Interférences Intra Cellulaires (ICI). Cela a pour conséquence directe un décodage facile de l'OFDMA par l'utilisateur. Une telle simplicité est particulièrement intéressante pour les opérations descendantes, lorsque la puissance de traitement est limitée par les terminaux utilisateurs par exemple. On imagine aisément que la performance d'un canal secondaire alloué à un utilisateur sera différente de celle d'un autre utilisateur, puisque les qualités de canal y sont différentes, en fonction des conditions de propagation individuelles. Ceci veut dire qu'un canal qui a de mauvaises performances avec un utilisateur peut se révéler favorable à un autre. La technique OFDMA exploite cette caractéristique, du fait qu'elle permet d'allouer des Canaux secondaires différents selon les utilisateurs dans une fenêtre temporelle de configuration variable pour la transmission d'un certain nombre de symboles OFDM. [9]

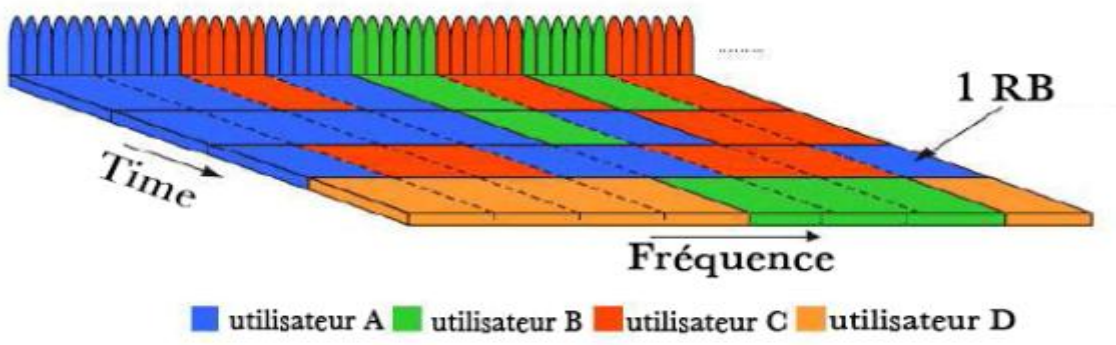


Figure 2.8 : technique de multiplexage OFDMA.

- **Avantage :**
  - ✓ Une utilisation efficace des ressources fréquentielles en comparaison avec les solutions classiques de multiplexage fréquentiel. Ceci est dû au fait que dans l'OFDM, les canaux se chevauchent tous en gardant une orthogonalité parfaite.
  - ✓ Les techniques multi-porteuses sont robustes au bruit impulsif puisque chaque porteuse est affectée d'un bruit indépendant des autres porteuses. Contrairement aux modulations mono porteuses où le bruit peut affecter un certain nombre de symboles transmis, la perte d'un symbole dû à un bruit important n'affecte pas les autres symboles.
  - ✓ Les techniques OFDM ont une très grande flexibilité dans l'allocation de bit/débit dans des contextes multi utilisateurs. En effet, en fonction de la valeur du gain instantané du canal, chaque sous-porteuse peut-être codée indépendamment des autres porteuses[1]

2.5.2 SC-FDMA :

Le single-carrier FDMA est une technologie de codage radio de type accès multiple par répartition en fréquence utilisée notamment dans les réseaux de téléphonie mobile de 4G LTE. Le SC-FDMA a attiré l'attention comme une alternative séduisante à l'OFDMA, Particulièrement dans les communications terre-satellite et dans le sens de transmission Montant des réseaux 4G LTE ou son PAPR (peak-to-average power ratio) plus faible que Celui de l'OFDMA 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).

Il a été adopté pour les liaisons uplink de certaines normes 3GPP, plus particulièrement Pour la partie radio (eUTRAN) des réseaux mobiles LTE, car ce codage permet de Diminuer la consommation électrique du terminal et donc d'augmenter l'autonomie de sa batterie. Pour les liaisons radio downlink des réseaux LTE, pour lesquelles il y a moins de contraintes

Énergétiques, c'est l'OFDMA qui est utilisé car il permet pour une même largeur spectrale, un débit binaire plus Élevé. [6]

2.6 Le mode d'adressage et l'identification dans la LTE :

2.6.1 L'identifiant Réseau :

Le réseau sera identifié à l'aide du mobile terrestre public identité réseau PLMN-ID (Public Land Mobile Network Identity) qui aura trois chiffres comme code de pays du mobile, le MCC(mobile country code) et un code de réseau mobile 'opérateur' à deux ou trois chiffres MNC(mobile network code) .[7]

MMC	MNC
PLMN-ID	

Table 2.1: Public Land Mobile Network Identity.

2.6.2 L'identifiant MME :

Chaque MME comprend trois identités principales. Un code MME (MMEC) identifie de manière unique la MME avec toutes ses zones.

Plusieurs MME constituent un groupe qui est identifié par le (MMEGI), MMEC plus MMEGI forment le (MMEI) qui identifie de manière unique le MME dans un réseau d'opérateur.

MMEC	MMEGI
MMEI	

Table 2.2 : L'identifiant du MME.

2.6.3 L'identifiant de la cellule :

Chaque cellule est identifiée de cette manière :

- ECI (E-UTRAN Cell Identity) identifie une cellule dans un réseau particulier, alors que l'identificateur global de cellule E-UTRAN (ECGI) identifie une cellule n'importe où dans le monde.
- L'identité de cellule physique est un nombre de 0 à 503 qui distingue une cellule de ses voisins.

2.6.4 L'identifiant du Mobile Equipment :

Le M temporaire abonné mobile identité (M-TMSI) identifie un mobile à son MME de service. Combiner au code MME (MMEC), nous obtiendrons le S temporaire abonné mobile identité (S-TMSI), qui identifie le mobile dans une zone de MME.

MMEC	M-TMSI
S-TMSI	

Table 2.3 : Identification d'un User Equipment dans un MME.

Enfin, on ajoutant le MMEGI et PLMN-ID aux résultats S-TMSI, nous obtiendrons le Globally Unique identité temporaire (GUTI) qui identifie un Mobile équipement d'une manière unique dans le monde.

PLMN-ID	MMEGI	S-TMSI
GUTI		

Table 2.4 : Globally Unique identité temporaire (GUTI).

2.7 Architecture Protocolaire de la liaison Radio dans LTE :

L'architecture protocolaire du réseau radio relatif à la technologie LTE est composée de deux plans : plan utilisateur (user Plane) .c'est l'application qui génère des paquets de données qui sont traités par les protocoles TCP/UDP et ensuite acheminés par le protocole de routage IP. plan de contrôle (control Plane) qui écrit les messages de signalisation échangés entre la station de base et le mobile.[12]

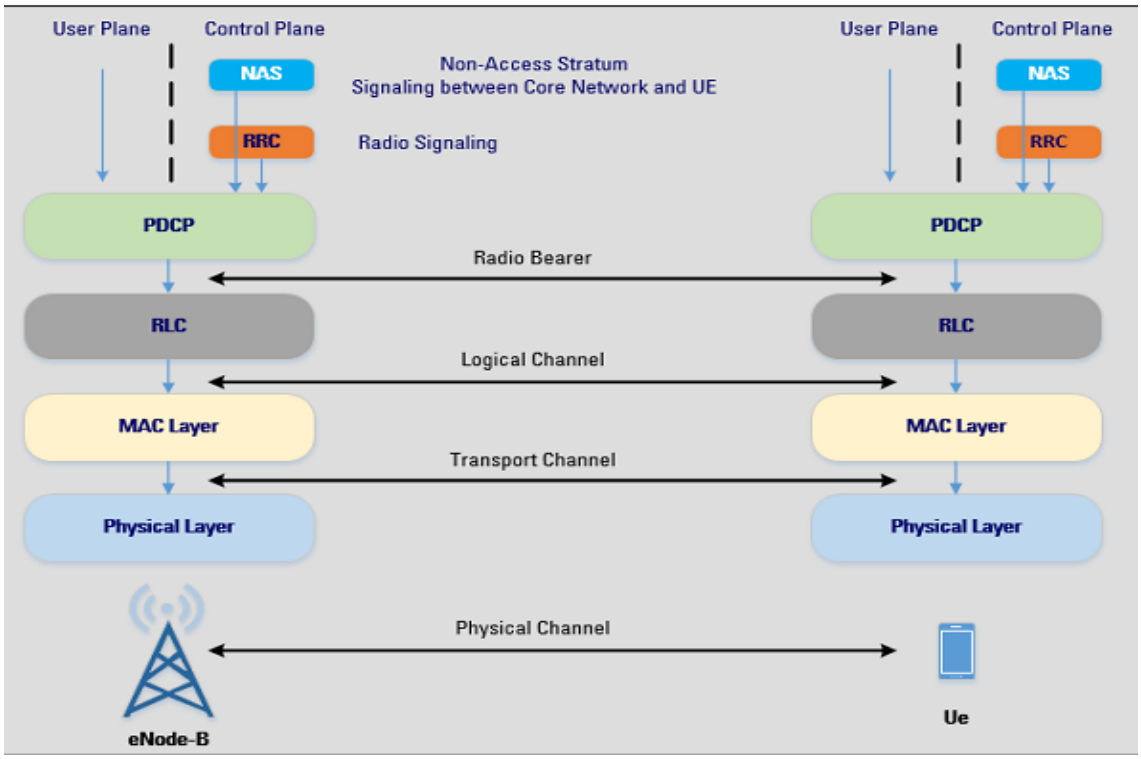


Figure 2.9 : Architecture Protocolaire de LTE.

2.7.1 User plane :

La pile protocolaire « Plan utilisateur » se situe entre l'E-NodeB et l'UE, elle se compose des sous-couches suivantes :

- PDCP (Packet Data Convergence Protocol).
- RLC (radio Link Control).
- Medium Access Control (MAC).

Sur le plan utilisateur (User plane), les paquets de données sont encapsulées au niveau du réseau Cœur (EPC) dans un protocole spécifique de ce dernier et acheminés entre la P-GW et le EnodB .

2.7.2 Control Plane :

Ce plan comprend la couche Radio Ressource Control (RRC) dont la principale fonction, consiste à établir et maintenir la connexion entre l'UE et l'EnodB.

Il gère les fonctionnalités spécifiques à la liaison radio qui dépend de l'état de l'équipement de l'utilisateur et qui est soit dans un mode « connecté », soit au en « veille »(mode inactif) :

- Mode connecté : l'UE fournit au E-UTRAN les informations de la qualité de signal des cellules voisines via le canal de liaison descendante (downlink Channel) afin de sélectionner la cellule la plus appropriée pour UE.

- Mode inactif : Dans ce mode le UE surveille un canal de messagerie pour détecter les appels entrants et recevoir les informations sur la cellule dans laquelle il est enregistré ainsi que les cellules voisines. Le rôle du Control plane est de contrôler la sélection des cellules et les procédures de re-sélection.[7]

2.8 Canaux de l'interface radio de LTE :

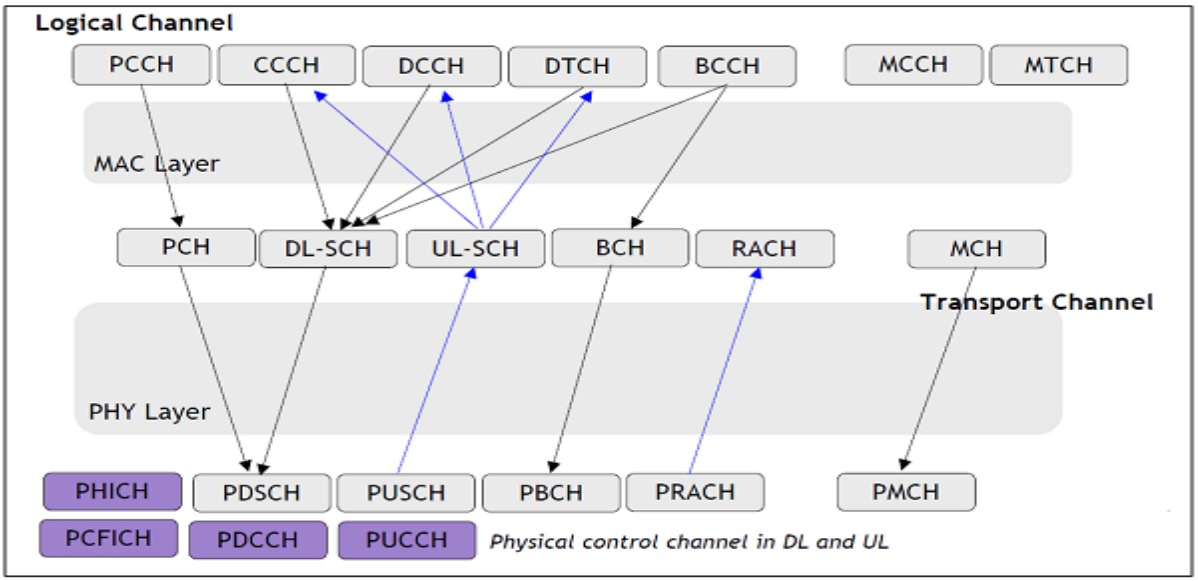


Figure 2.10 : les canaux de LTE

2.8.1 Les canaux logiques :

- ✓ les canaux de contrôles transmettent des messages de signalisation dans la partie « Control plane » ;
- ✓ canaux de trafic transportent des messages de données dans la partie « User Plane » .[12]

les canaux de contrôles	canaux de trafic
- BCCH (Broadcast Control Channel). - PCCH (Paging Control Channel). -CCCH (Common Control Channel). - DCCH (Dedicated Control Channel).	- DTCH (dedicated traffic channel)

Table 2.5 : Les canaux logiques

2.8.2 Les canaux de transports :

Ils définissent comment et avec quelles caractéristiques les données sont transmises sur les ondes, ils se distinguent par le sens de circulation des données.[7]

Les canaux de transport en downlink	Les canaux de transport en uplink
- Broadcast Channel (BCH). - Downlink Shared Channel (DL-SCH). - Paging Channel (PCH).	-Uplink Shared Channel (UL-SCH). - Random Access Channel (RACH).[11]

Table 2.6 : Les canaux de transports

2.8.3 Les canaux physiques :

Définissent où les données sont transmis sur les ondes, les messages de données et de signalisation sont transportés sur les canaux physiques entre les différents niveaux de la couche physique. [7]

- PDSCH (physical downlink shared channel).
- PUSCH (physical uplink shared channel).
- PBCH (The physical broadcast channel).
- PRACH (physical random access channel)
- PMCH (The physical multicast channel).[12]

2.9 les interfaces de réseaux LTE :

L'interface	Localisation	Fonctionnement
Uu	(UE) - eNodeB	l'eNodeB transport des données utilisateurs et des messages de Signalisation.
X2	eNodeB- eNodeB	eNodeB Transport des données utilisateurs et des messages de Signalisation.
S1-MME	eNodeB-MME	Transport de messages de signalisation.
S6a	MME-HSS	Transport de messages de signalisation.
S5/S8	S-GW-P-GW S8 SGW -PGW d'un autre réseau.	Transport des données et quelques messages de signalisation
S11	MME -SGW	point de référence entre le MME et SGW Transport messages de signalisation
S6a	MME -HSS	il permet la transmission de l'authentification pour l'accès utilisateur

S1-U	eNodeB-SGW	Transport de données utilisateurs, pas d'échange de signalisation et les routages inter-eNB pendant le handover
SGi	PGW-réseau IP externe (Internet).	point de référence entre le P_GW et le réseau paquet data qui peut être privé ou public

Table 2.7 : les interface de réseaux LTE

3 Conclusion

La future génération de réseaux sans fil dite de quatrième génération (4G) apporte un véritablement tournant dans le foisonnement et la disparité des solutions existantes. L'objectif cette fois sera certes d'augmenter les débits et les applications prises en charge par ces réseaux mais encore de construire un cadre permettant leur interopérabilité.

CHAPITRE 3

LTE ET LES MECANISMES DE HANDOVER

1 Introduction

La 4G vise à améliorer l'efficacité spectrale et à augmenter la capacité de gestion du nombre de mobiles dans une même cellule. Elle tente aussi d'offrir des débits Elevés en situation de mobilité et à offrir une mobilité totale à l'utilisateur en établissant interopérabilité entre différentes technologies existantes. 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.

2 Présentation de Handover

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

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

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

Le processus de handover permet à un terminal mobile de maintenir la communication en cours, lors d'un déplacement qui amène le mobile à changer de cellule. En effet lorsque le signal de transmission entre un téléphone et une station de base (BTS) s'affaiblit, le logiciel du téléphone mobile cherche une autre station de base disponible dans une autre cellule, qui soit capable d'assurer à nouveau la communication dans les meilleures conditions.[WEB 01]

Le handover est par définition le transfert automatique intercellulaire ou intracellulaire. Il permet d'éviter les coupures de communication en bordure de cellule et réduit significativement l'interférence créée dans le réseau. [5]

3 Types de handovers

3.1 Hard handovers

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

Le mécanisme du Hard Handover est appliqué généralement dans le cas d'une mobilité relativement lente ou moyenne. Durant le Handover, ce mécanisme oblige la station mobile à interrompre la connexion avec l'ancienne station de base avant d'établir la connexion avec la nouvelle station de base (mécanisme Break-Before-Make). Dans ce cas, le mobile ne peut communiquer qu'avec une seule station de base au cours d'une communication.

Ce mécanisme est bénéfique du point de vue de l'allocation des ressources, mais en cas d'échange du trafic temps-réel de volume important, ou dans le cas du déplacement du mobile avec une vitesse importante, ce mécanisme provoque une interruption de service au cours du Handover, ce qui n'est pas bon pour du trafic temps-réel.[17]

3.2 Le soft handover

A lieu lorsque le canal de la cellule source est maintenu pendant un certain laps de temps pendant que la liaison avec la cellule cible est engagée. Dans ce cas, la connexion avec la cellule cible est établie avant la rupture du lien avec la cellule source. Cette méthode est appelée make-before-break (qui signifie « faire avant de rompre »).Ce type de handover est utilisé dans les réseaux 3G UMTS grâce au code de brouillage (le « C » de W-CDMA) qui permet d'identifier et de recevoir simultanément depuis plusieurs cellules radio. [23]

Durant un soft Handover, le terminal mobile se trouve dans la zone de couverture commune à deux stations de base. L'état où un mobile est en liaison avec deux stations de base ou plus est appelé macro diversité. Les communications entre le terminal mobile et les stations de base utilisent simultanément deux canaux radio, un pour chaque station de base.[5]

3.3 Types de handover dans le LTE

Il n'existe plus que deux types principaux de handover :

- **Handover intra-eNodeB** : de nouvelles ressources radio (ressources blocks) sont attribuées au terminal mobile dans une autre cellule (ou un autre "secteur") gérée par le même eNodeB.
- **Handover inter-eNodeB :** de nouvelles ressources radio (Resource blocks) sont attribuées au terminal dans une autre cellule gérée par un autre eNodeB.[8]

Dans le réseau LTE, il existe trois différents cas de handover inter-eNB :

- ✓ 1er cas : L'UE se dirige vers une cellule adjacente où ces deux cellules sont reliées à la même entité MME. Dans ce cas, la demande de changement de la porteuse est faite localement entre la nouvelle et l'ancienne cellule.[8]

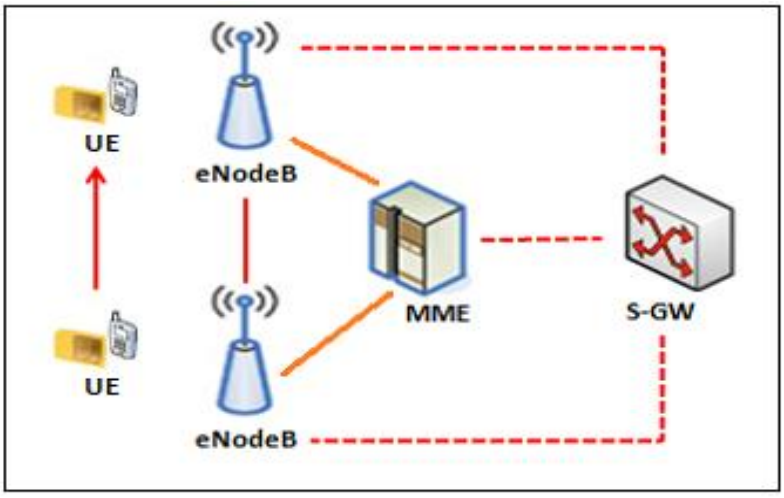


Figure 3.1 : Premier cas de Handover.

Le eNodeB envoie une demande pour prendre en charge l'UE, ce dernier fait suivre une demande de changement de porteuse à la S-GW, la réponse est rendue, par la suite, au MME et un message est envoyé à l'ancien eNodeB pour qu'il relâche l'UE. Le nouveau eNodeB reçoit l'ACK (acquittement) du MME et demande ainsi à l'ancien eNodeB, via l'interface X2, de libérer les ressources. La figure illustre le changement de cellule sans changement de MME.[8]

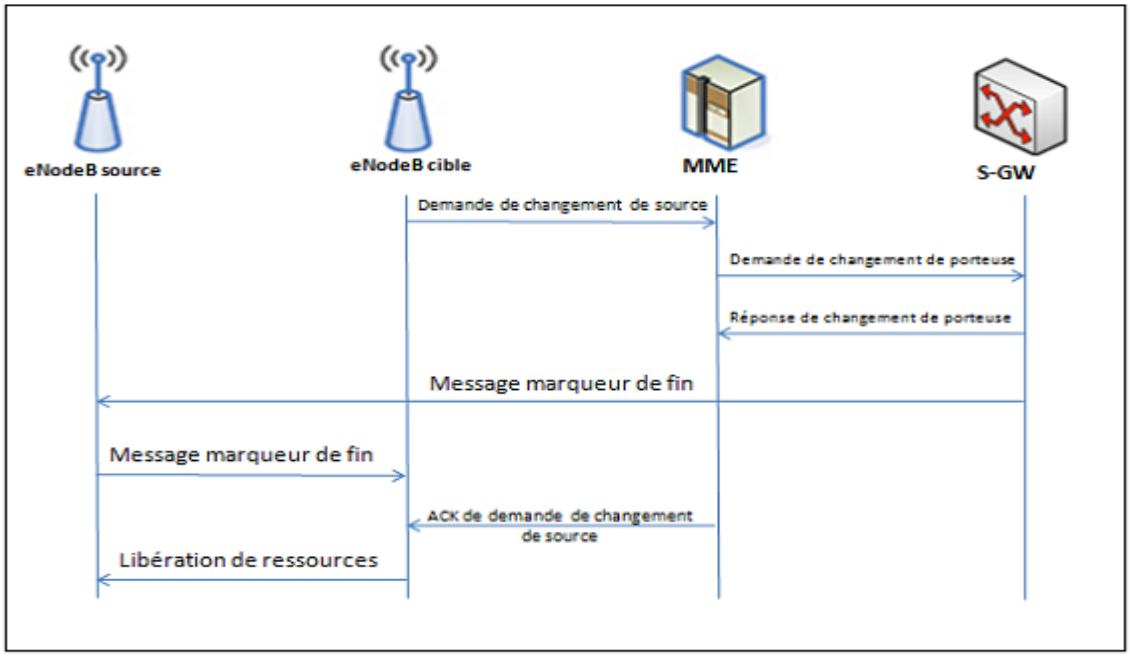


Figure 3.2 : Handover sans changement de MME.

- ✓ 2ème cas: L'UE se dirige, dans ce cas, vers un autre eNodeB (que l'on peut appeler cible), dans cette situation, l'ancien eNB et l'eNB cible sont reliés à la même entité MME sauf que, à la différence du premier cas, ces cellules ne partagent pas la même S-GW. C'est donc le MME qui fait le point d'ancrage de la mobilité en réalisant le changement de S-GW pour que la cible puisse prendre l'UE en charge. [8]

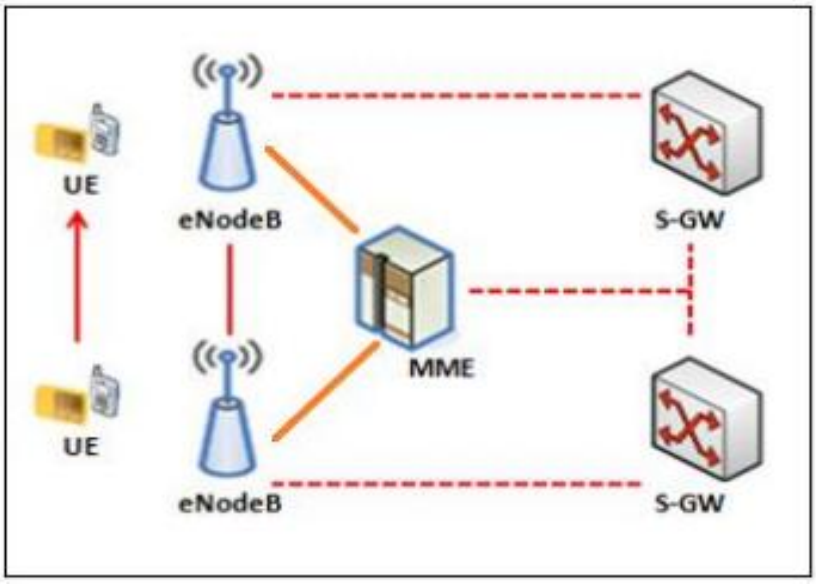


Figure 3.3 : Deuxième cas de handover .

- ✓ 3ème cas : La mobilité de l'UE engendre un changement de cellule un peu plus complexe que les cas précédents. Les deux eNodeB (source et cible) n'ont pas d'entité MME commune; ce qui engendre une opération de handover plus longue. Les deux MME de chaque eNodeB communiquent entre eux et chaque entité MME échange avec la S-GW des eNodeB concernés afin de synchroniser les opérations de libération de ressources et d'affectation des porteuses adéquates.[8]

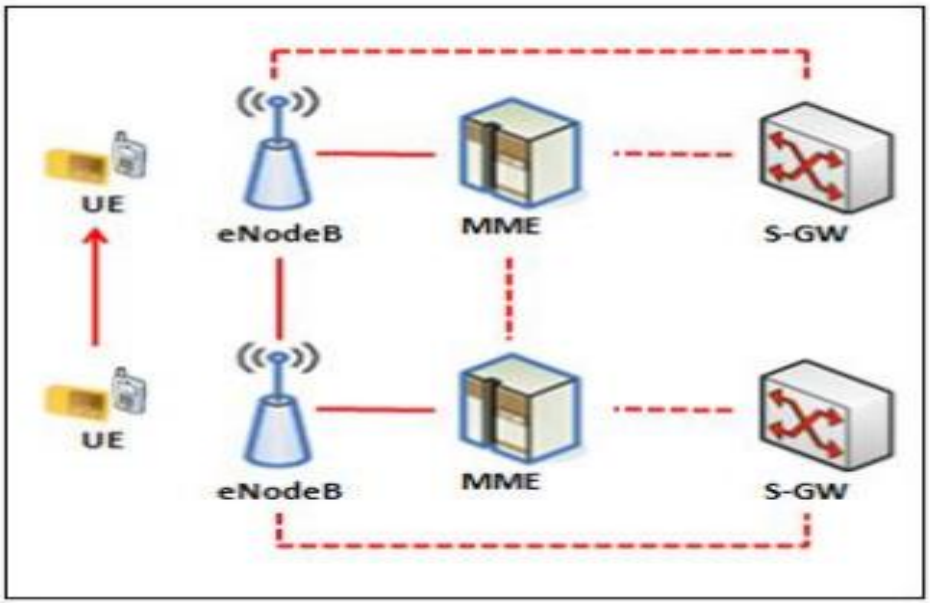


Figure 3.4 : Troisième cas de handover.

4 Le Handover dans LTE

Dans LTE la gestion de mobilité est distribuée, les eNodeBs prennent la décision de Handover d'une façon autonome sans implication des éléments : MME et S-GW. Les informations nécessaires au Handover sont échangées entre les eNodeBs via une interface appelée X2.Le MME et le S-GW recevront une notification avec un message complet de Handover après que la nouvelle connexion aura été attribuée entre l'UE et la nouvelle eNodeB. Après réception du message, les Gateways effectuent le chemin de commutation. Durant le Handover il y a un délai durant lequel l'UE n'est pas connecté au système. Pour résoudre cela, une solution temporaire de Forwarding des données perdues de l'ancien eNodeB vers le nouveau eNodeB est proposée. Dans ce cas il n y a pas de mémorisation des données au niveau des Gateways. L'intérêt de cette solution est de minimiser la charge de signalisation au niveau de l'interface entre l'eNodeB et l'MME/S-GW. [17]

5 Gestion de la mobilité EPS

Un mobile EPS appelé équipement usager (UE) utilise deux protocoles de signalisation avec le réseau EPS et en particulier avec l'entité MME . Il s'agit des protocoles EMM (EPS Mobility Management) et ESM (EPS Session Management). EMM est un protocole de gestion de la mobilité, permettant à l'UE de s'attacher, de se détacher, de mettre à jour sa tracking area, etc. Le protocole ESM est un protocole de gestion de session permet l'établissement, la modification et la libération de default bearer et de dedicated bearer. Ces bearers qui correspondent grossièrement à des circuits virtuels permettent à l'UE de transmettre et de recevoir des paquets IP.

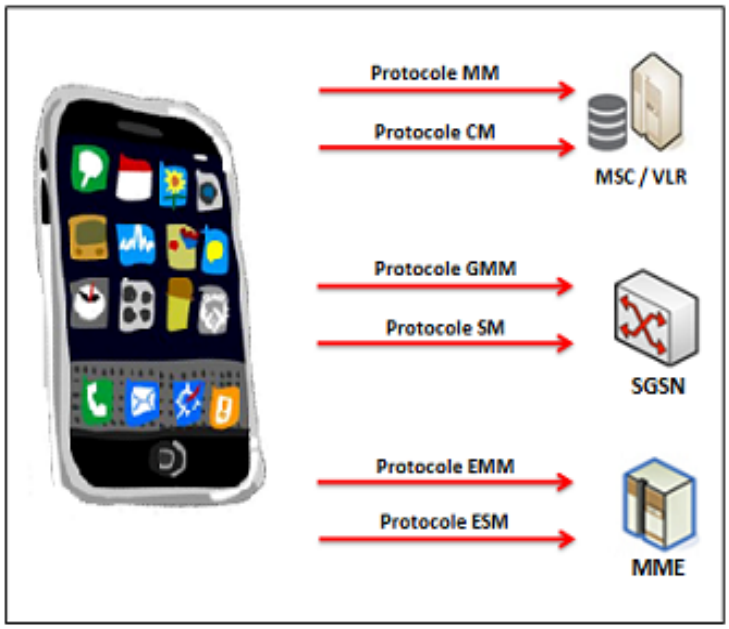


Figure 3.5 : Protocoles de signalisation de l'UE .

Le protocole EMM (EPS Mobility Management) entre l'UE et le MME assure les procédures suivantes :

- Attachement au réseau EPS.
- Détachement du réseau EPS.
- Allocation de GUTI.
- Authentification et chiffrement.
- Mise à jour d'aire de tracking.
- Demande d'identité (IMSI, IMEI).

5.1 Attachement de l'UE au réseau EPS

Lorsque l'UE souhaite s'enregistrer au réseau EPS, celui-ci conduira à la création d'un default bearer permanent correspondant à une connectivité IP à un réseau IPv4 ou IPv6. Voici les étapes d'attachement de l'UE au réseau EPS.

1. L'UE initie la procédure d'attachement en émettant une Attach request à l'eNodeB. Cette requête contient son GUTI et l'identité de l'opérateur auquel l'UE souhaite se rattacher (ceci est important notamment en situation de roaming international). D'après la structure du GUTI, l'eNodeB est capable d'identifier un MME de l'opérateur avec lequel l'UE souhaite s'attacher. L'eNodeB sélectionne ensuite le MME de cet opérateur en relation avec l'eNodeB et lui relaie la requete Attach à l'aide de l'interface S1-C (Dans le meilleur des cas, ce sera le MME identifié par le GUTI).

2. Le MME obtient auprès du HSS disposant du profil de l'UE, des quintuplés d'authentification à l'aide de la requête Send Authentication Info.

3. Le MME soumet une valeur aléatoire à l'UE et escompte une réponse de l'UE contenant un résultat d'authentification égal à celui fourni par le HSS. L'UE retourne la réponse au MME.

4. Le MME demande à l'UE de lui fournir son IMEI.

5. L 'EIR, interrogé par le MME indique dans le message de retour si le terminal fait ou ne fait pas partie de la liste des équipements interdits (black List).

6. Le MME délivre un message Update Location (adresse MME sous forme de hostname, IMSI) au HSS.

7. Le HSS émet un message Insert Subscriber Data (IMSI, données de souscription EPS) au nouveau MME. Le nouveau MME retourne une réponse Insert Subscriber Data Ack (IMSI) au HSS. Les données de souscription contiennent la liste de tous les APNs (Access Point Name) que l'UE est en droit d'accéder, une indication sur l'APN par défaut, et les paramètres de QoS associés à chaque APN.

8. Le HSS acquitte la mise à jour de localisation par une réponse Update Location Ack au MME. Si le HSS rejette la procédure de mise à jour de localisation, alors le MME rejette la demande d'attachement de l'UE.

9. Le MME sélectionne un Serving GW et assigne une valeur au paramètre EPS Bearer Identity (BI) pour le bearer par défaut associé à cet UE. Puis, il émet une requête Create Session Request (pour la création du default bearer) au serving GW sélectionné.

10. Le serving GW crée une nouvelle entrée dans sa table d'EPS bearer et émet à son tour une requête Create Session Request au PDN Gateway en utilisant le protocole GTP-C. Ce bearer permet à l'UE d'accéder à Internet par exemple.

11. Le PDN GW interagit avec l'entité PCRF afin d'obtenir les règles de taxation permettant de différencier les flux de service qui transiteront par le default bearer et ainsi différencier la taxation de ces flux.

12. Le PDN GW retourne une réponse Create Session Response au Serving GW contenant l'adresse IP allouée par le PDN GW à l'UE.

13. Le Serving GW retourne une réponse Create Session Response au MME.

14. Le MME émet un message de contrôle sur l'interface S1-C à l'eNodeB, appelé Initial Context Setup Request, afin de demander à l'eNodeB de créer un bearer d'accès entre l'UE et le Serving GW. Ce message inclut la QoS requise pour ce bearer, l'identité du bearer EPS (BI), ainsi que l'adresse du Serving GW pour la livraison des flux média au Serving GW.

15. L'eNodeB émet un message RRC Connection Reconfiguration request incluant l'identité du bearer d'accès et le message Attach Accept contenant le GUTI assigné à l'UE par le MME.

16. l'UE retourne une réponse RRC Connection Reconfiguration Complete à l'eNodeB incluant le message EMM Attach Complete.

17. L'eNodeB retourne le message Initial Context Response au MME incluant l'identité du bearer EPS, l'adresse de l'eNodeB à utiliser pour le trafic descendant du Serving GW à l'eNodeB sur l'interface S1-U.

18. A la réception du message Initial Context Response et de l'Attach Complete, l'entité MME émet une requête Modify Bearer Request (Identité du bearer EPS (BI), adresse eNodeB) au Serving GW.

19. Le Serving GW l'acquitte en retournant une réponse Modify Bearer Response (Identité du bearer EPS) au MME. Le Serving GW est dès à présent prêt à relayer les paquets IP, qu'il a mettre temporairement en mémoire tampon, dans le sens descendant à l'UE à travers l'eNodeB.[8]

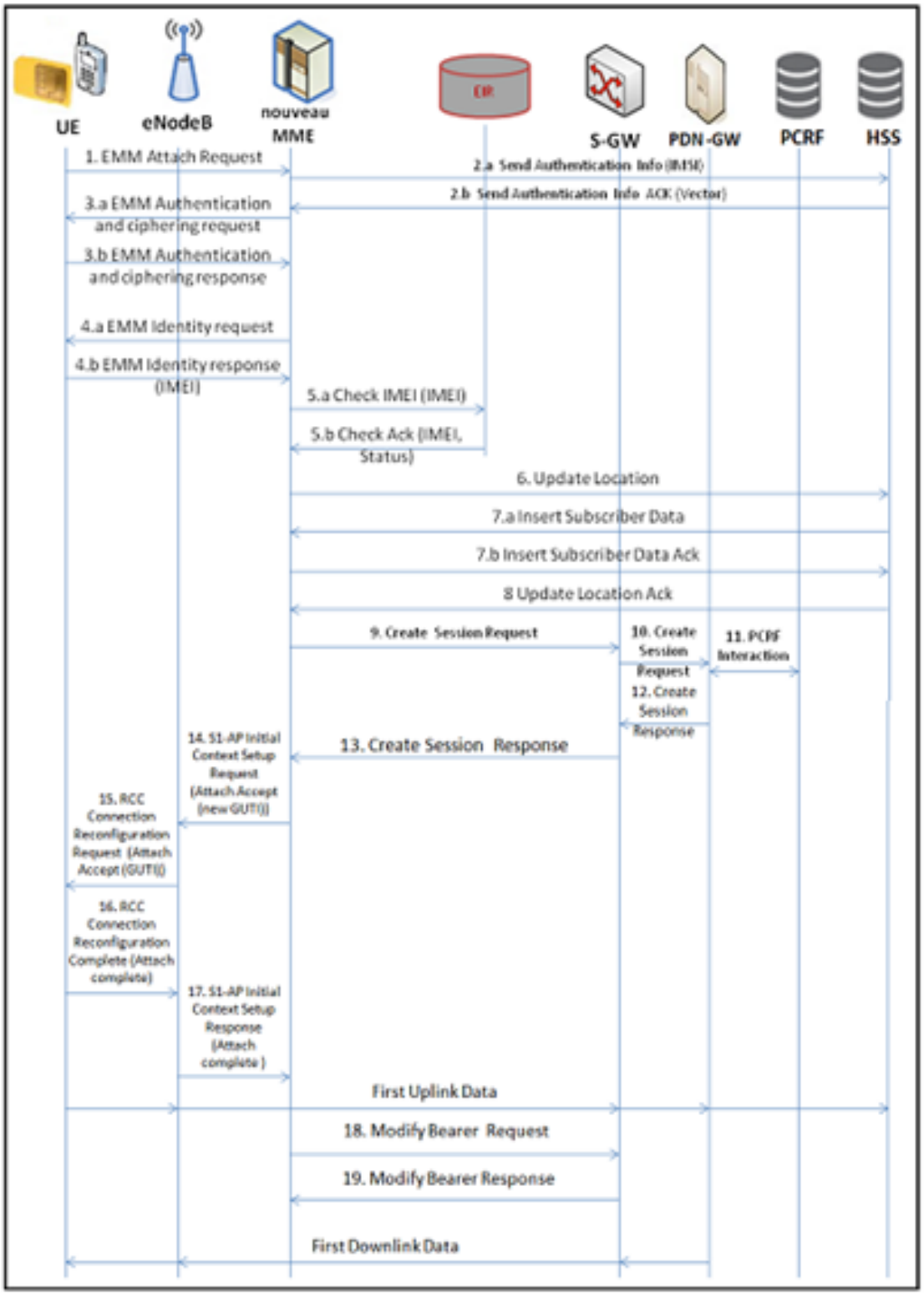


Figure 3.6 : Attachement initial de l'UE au réseau EPS.[8]

5.2 Détachement de l'UE du réseau EPS

Une fois la procédure exécutée, l'UE n'a plus accès au réseau EPS.

1. L'UE émet le message EMM Detach Request au MME.

2. Les bearers EPS pour cet UE sont désactivés par le MME à travers l'envoi du message Delete Session Request (TEID) au Serving GW. TEID signifie Tunnel End point .Identifier et identifie le tunnel à libérer entre le Serving GW et le PDN GW.

3. Le Serving GW émet la requête Delete Session Request (TEID) au PDN GW.

4. Le PDN GW l'acquitte à l'aide de la réponse Delete Session Response .

5. Le PDN GW peut interagir avec le PCRF afin d'indiquer au PCRF que les bearer EPS pour cet UE ont été libérés.

6..Le Serving GW acquitte la requête 2 au MME à l'aide de la réponse Delete Session Response (TEID).

7. Le MME émet un message EMM Detach Accept à l'UE.

8. Le MME demande à l'eNodeB de libérer le bearer d'accès à l'aide de la commande S1 Release Command avec la Cause égale à " Detach".

9. L'eNodeB acquitte ce message en retournant la réponse S1 Release Complete une fois les ressources radio libérées.[8]

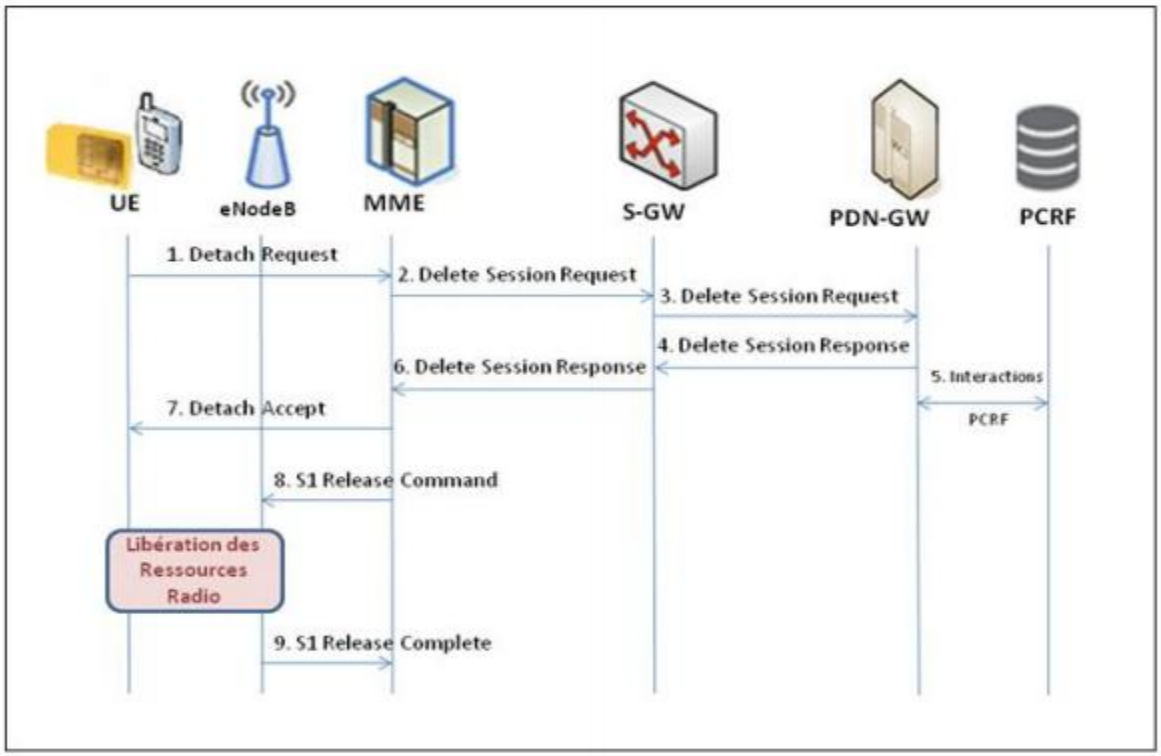


Figure 3.7: L'UE se détache du réseau EPS.

5.3 Mise à jour de Tracking Area avec changement de MME et de Serving GW

Dans le cas présenté, l'UE change de MME et de Serving GW. Les opérations suivantes doivent être réalisées lors de la procédure TAU:

- Mise à jour du chemin média : Le default bearer doit être mis à jour ainsi que tout bearer supplémentaire (defaut et dedicated) établi une fois l'UE attaché au réseau. Le PDN GW doit être informé du nouveau Serving GW en charge de la nouvelle Tracking Area (TA), et un nouveau bearer doit être créé entre l'UE et le nouveau Serving GW.
- Transfert du contexte usager de l'ancien MME au nouveau MME.
- Mise à jour du profil de l'usager dans le HSS notamment avec l'adresse du nouveau MME. Voici les étapes de Mise à jour de Tracking Area avec changement de MME et de Serving GW :

1. L'UE détecte qu'il entre dans une nouvelle Tracking Area (TA) en se rendant compte que l'identité de sa TA courante n'est pas présente dans la liste des TA prises en charge par son MME. Rappelons qu'au moment de l'attachement de l'UE, le MME lui a indiqué la liste des TA sous la responsabilité de ce MME. Tant que l'UE est présents dans un de ces TAs, il n'est pas nécessaire de mettre à jour la TA.L'UE initie la procédure TAU (Tracking Area Update) par l'envoi à l'eNodeB du message TAU request avec l'indication de l'opérateur sélectionné. Le GUTI doit être inclus.

2. L'eNodeB dérive le MME auquel router la requête TAU request à partir du GUTI et du réseau sélectionné. Le message TAU request est passé par l'eNodeB au MME.

3. Le nouveau MME émet une requête GTP-C Context request (GUTI) à l'ancien MME afin d'obtenir des informations d'usager.

4. L'ancien MME retourne la réponse GTP-C Context Response. L'adresse du PDN GW et les TEID(s) des bearers établis par l'UE sont inclus dans la réponse.

5. L'authentification s'applique à l'UE.

6. Le nouveau MME émet un acquittement GTP-C Context Acknowledge à l'ancien MME.

7. Le MME détermine s'il faut sélectionner un nouveau Serving GW par exemple dans le cas où le chemin entre l'UE à un nouveau Serving GW serait plus court. Si tel est le cas, le MME émet la requête Create Session Request (IMSI, bearer contexts, MME Context ID) au nouveau Serving GW sélectionné. L'adresse du PDN GW est indiquée dans les "bearer contexts".

8. Le nouveau Serving GW émet le message GTP-C Modify Bearer Request (Serving GW Address,Tunnel End point Identifier) au PDN GW concerné. Rappelons que le PDN GW ne

peut pas changer même s'il est possible de changer de Serving GW, car c'est le PDN GW qui a alloué l'adresse IP à l'UE. Les flux entrants passent forcément par ce PDN GW qui représente le point d'entrée du monde mobile pour les réseaux IP externes.

9. Le PDN GW met à jour ses "bearer contexts" et retourne une réponse Modify Bearer Response (adresse PDN et TEID(s)).

10. Le Serving GW retourne une réponse Create Session Response (MME Context ID, adresse Serving GW, TEID pour le plan usager, Serving GW Context ID) au nouveau MME.

11. Le nouveau MME émet un message Update Location (MME Identity, IMSI) au HSS.

12. Le HSS émet le message Cancel Location à l'ancien MME pour lui demander de supprimer le profil de l'usager.

13. L'ancien MME acquitte le message avec un message Cancel Location Ack (IMSI).

14. Le HSS émet un message Insert Subscriber Data (IMSI, Subscription Data). Le MME retourne la réponse Insert Subscriber Data Ack (IMSI) au HSS.

15. Le HSS acquitte le message Update Location en émettant la réponse Update Location Ack au nouveau MME.

16. Lorsque l'ancien MME supprime le contexte associé à l'UE, il libère toutes les ressources allouées aux bearers EPS de l'UE en envoyant le message Delete Bearer Request (TEID) au Serving GW.

17. Le Serving GW acquitte ce message avec la réponse Delete Bearer Response (TEID).

18. Le nouveau MME valide la présence de l'UE dans la TA après avoir reçu les informations de souscription de l'usager et envoie à l'UE le message TAU Accept qui peut contenir une nouvelle identité temporaire pour l'UE appelée GUTI.

19. Si une nouvelle identité temporaire est incluse dans le message TAU Accept, l'UE acquitte le message reçu en retournant le message TAU Complete au MME.[8]

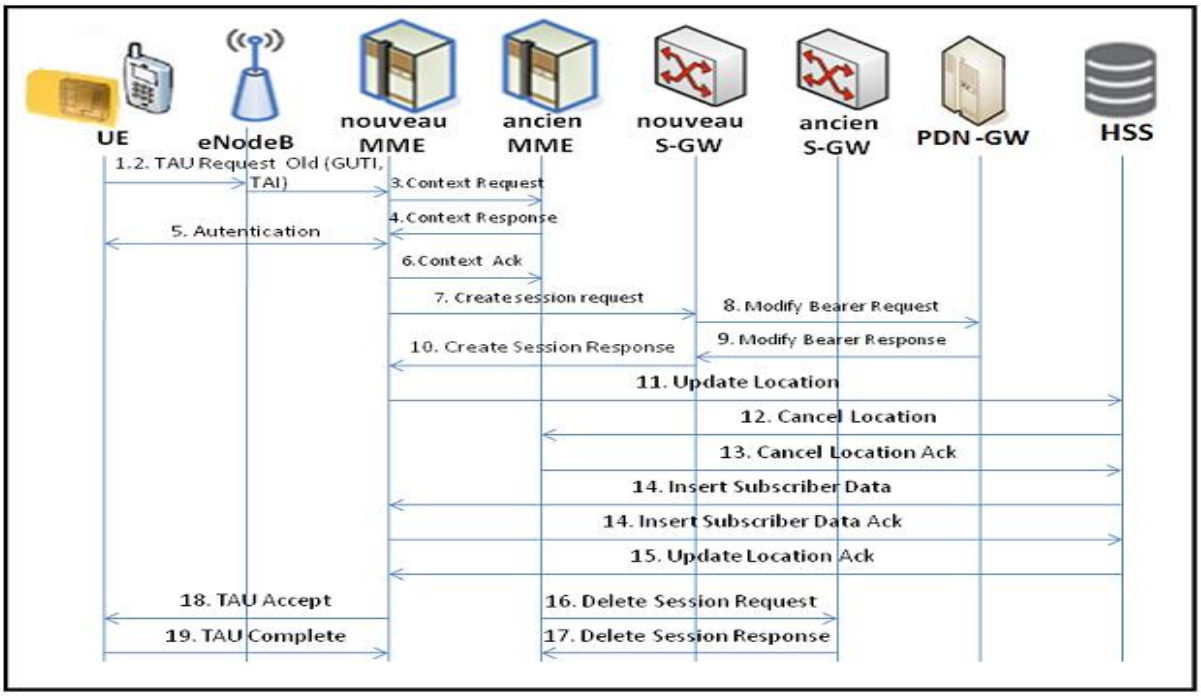


Figure 3.8 : Mise à jour de TA

6 Le Handover A3

L'idée du Handover A3 est de fournir à chaque UE la meilleure qualité de signal disponible (RSRP). Ceci est réalisé en effectuant un transfert intercellulaire dès qu'une cellule voisine propose un meilleur signal.[7]

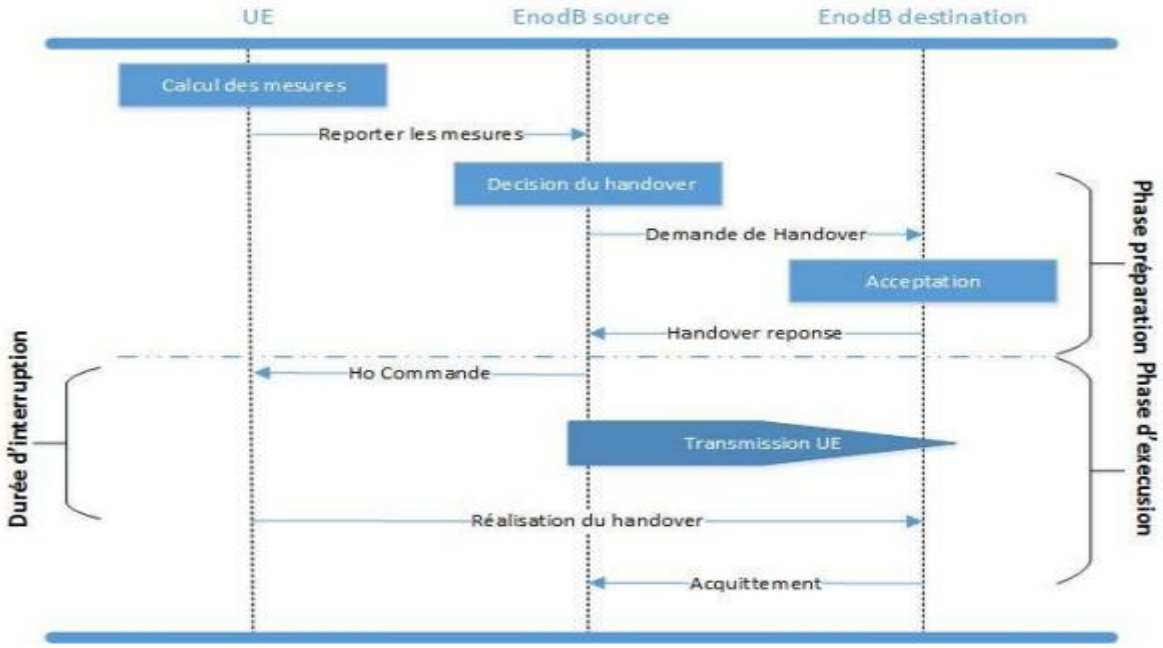


Figure 3.9 : Diagramme de la procédure Handover.[7]

7 Conclusion

Ce chapitre a été consacré aux détails sur les mécanismes de Handover ou transfert intercellulaire qui est un mécanisme fondamental dans les communications mobiles cellulaires (GSM, CDMA, UMTS ou LTE par exemple).et nous avons représenté la gestion de mobilité au sein du réseau LTE.

CHAPITRE 4

SIMULATION ET INTERPRETATION DES RESULTATS

1 Introduction

La simulation est un outil d'aide à la décision très utilisé par les concepteurs et les gestionnaires des systèmes complexes, Elle consiste à construire un modèle d'un système réel (physique, économique, humain … etc.) et à conduire des expériences sur ce modèle afin de bien comprendre le comportement de ce système et d'en améliorer les performances.

Le but principal de cette étude est de montrer l'efficacité du mécanisme de Handover pour du trafic en temps-réel dans le cas où les stations mobiles se déplacent avec différents vitesse.

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 quelques scénarios de gestion de mobilité. Ensuite, nous analyserons et comparerons les résultats obtenus.

2 Choix du simulateur

2.1 Présentation du simulateur LTE-Sim

La plupart des fournisseurs d'équipements de communication mobiles ont mis en œuvre leurs propres simulateurs. Par ailleurs, d'autres simulateurs développés peuvent être achetés au moyen d'une licence commerciale, et leurs codes sources ne sont pas accessibles au public.

Un simulateur LTE basé sur Matlab a été proposé avec la mise en œuvre d'une liaison descendante conforme à la couche physique de la norme LTE, la modulation adaptative, plusieurs utilisateurs, transmission MIMO mais il ne tient pas compte des aspects pertinents de simulation LTE. Le manque d'un simulateur commun de référence pose de sérieux problèmes dans la comparaison des résultats présentés par différents groupes de recherche.

Pour combler cette lacune, LTE-SIM a été créé pour simuler les réseaux LTE et fournir une vérification complète de la performance des systèmes LTE. LTE-Sim englobe plusieurs aspects de réseaux LTE, incluant à la fois l'accès universel Evolved Radio Terrestre (E-UTRAN) et le Système Evolved Packet (EPS). [8]

Les principales fonctionnalités du simulateur LTE-Sim sont les suivants :

- Environnement mono et multicellulaire (macro, micro, femto), Gestion de QOS.
- Environnement multiutilisateurs, Mobilité, UDP en dans la couche transport, TDD, FDD, Algorithme d'ordonnancement PF EXP, et M-LWDF, Modulation AMC.[8]

2.2 OPNET

OPNET est très réputé dans l'industrie pour la modélisation et aussi la simulation des réseaux. Parmi ses avantages, il permet de concevoir et d'étudier des réseaux de communications, des nouvelles technologies, des protocoles et des applications avec facilité et évolutivité. Il est utilisé spécialement par les entreprises des technologies les plus performantes pour accélérer et améliorer leurs procèdes de recherches et de développements. Mais, les versions qui sont compatibles avec le LTE méritent une licence [6].

2.3 NS-3

Le simulateur NS-3 est un simulateur réseau, utilisant des scripts écrit en C++ ou en Python. Nous avons choisis de travaillé avec ce simulateur pour la simple raison que ce simulateur possède des scripts dont nous pouvons les utilisés n'importe quand contrairement aux autres simulateurs, par exemple le simulateur OPNET est un simulateur qui n'est pas gratuit donc c'est impossible de l'utiliser ou de travailler avec ce type de simulateur. [24]

2.3.1 Présentation du simulateur NS-3

Le simulateur NS-3 vise à remplacer NS-2, écrit en C++, python et OTel (version orientée objet de Tel), pour tenter de remédier à ses limites (l'utilisation de multiples interfaces sur un nœud). Il peut être utilisé sur les plateformes Linux/Unix, OS X (Mac) et Windows.

Son développement a d'abord commencé en juillet 2006, et devait durer quatre ans, il est financé par les instituts comme l'université de Washington, Georgia Institue of Technologie et le Centre de l'ICSI pour la recherche sur Internet, la première version majeure publique et stable a été publié en juin 2008.

Les développeurs de NS-3 ont décidé que l'architecture de simulation devait être remaniée complètement en partant du Zéro. Dans cette optique, l'expérience tirée de NS-2 doit être associé avec les progrès des langages de programmation et du génie logiciel. L'idée de la rétrocompatibilité avec NS-2 a été abandonnée dès le départ. Cela libère NS-3 de contraintes héritées de NS-2 et permet la construction d'un simulateur qui est bien conçu depuis de début .

2.3.2 Terminologie et abstractions

Il est important de bien comprendre le sens des termes employés au sein du simulateur, ainsi que les abstractions qui ont été faites.

NS-3 utilise des termes largement employés dans le domaine des réseaux, mais qui peuvent avoir une signification particulière au sein du simulateur. Voici les principaux :

- Un nœud "Node"

Représente tous éléments de réseau. La composition d'un nœud peut être gérer (ajout de composants, d'applications et de protocoles).

- Une application "Application" :

Représente un code exécuté par un utilisateur. Ce code peut être nécessaire au déroulement d'une simulation. L'échange de paquets durant une simulation nécessite par exemple la description d'une application au sein des nœuds participants. Les applications peuvent être attachées à un Node.

- Un canal de communication "Channel"

Channel est le lien qui relie les NetDevices installés dans les nœuds. Des spécialisations de cette classe sont définies, comme par exemple LTEChannel pour modéliser un réseau LTE.

- Une interface de communication

Appelée NetDevice, qui modélise à la fois les équipements et les pilotes de communication. Des spécialisations sont fournies comme par exemple LTENetDvice qui peut être reliée à un LTEChannel.

S'il s'agit de connecter un grand nombre de nœuds pour un réseau, ce processus peut être très lourd. NS-3 fournit des TopologyHelpers pour faciliter ce genre de taches (exemple LTEHelper).[6]

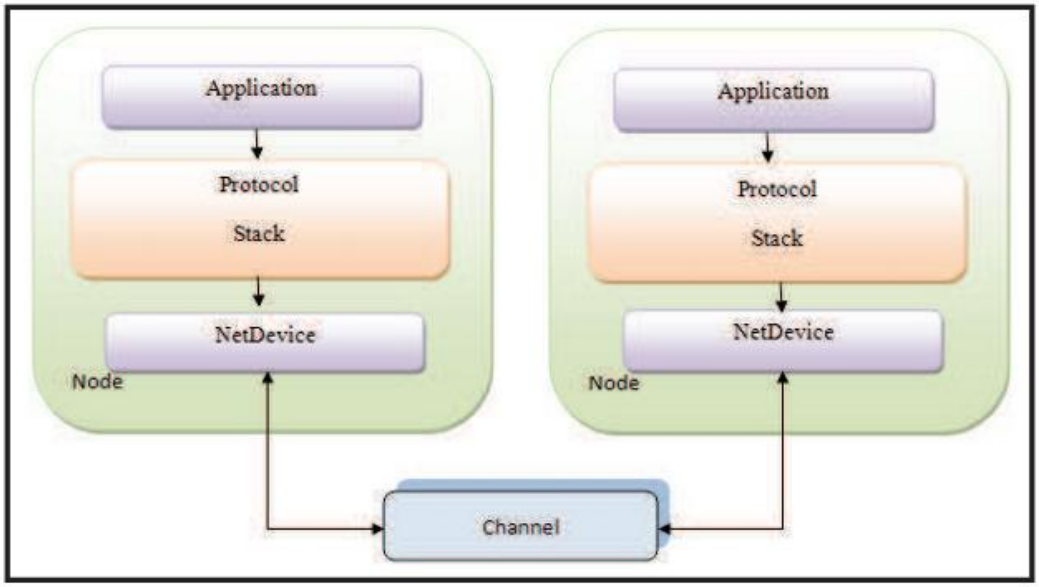


Figure 4.1 : Architecture du nœud NS-3.[6]

Nous avons utilisé une machine virtuelle (VMware Player), sur laquelle nous avons installé le système linux (Ubuntu 14.04) (voir Figure qui nous montre les différentes étapes de démarrage du VMware, Ubuntu et NS-3).

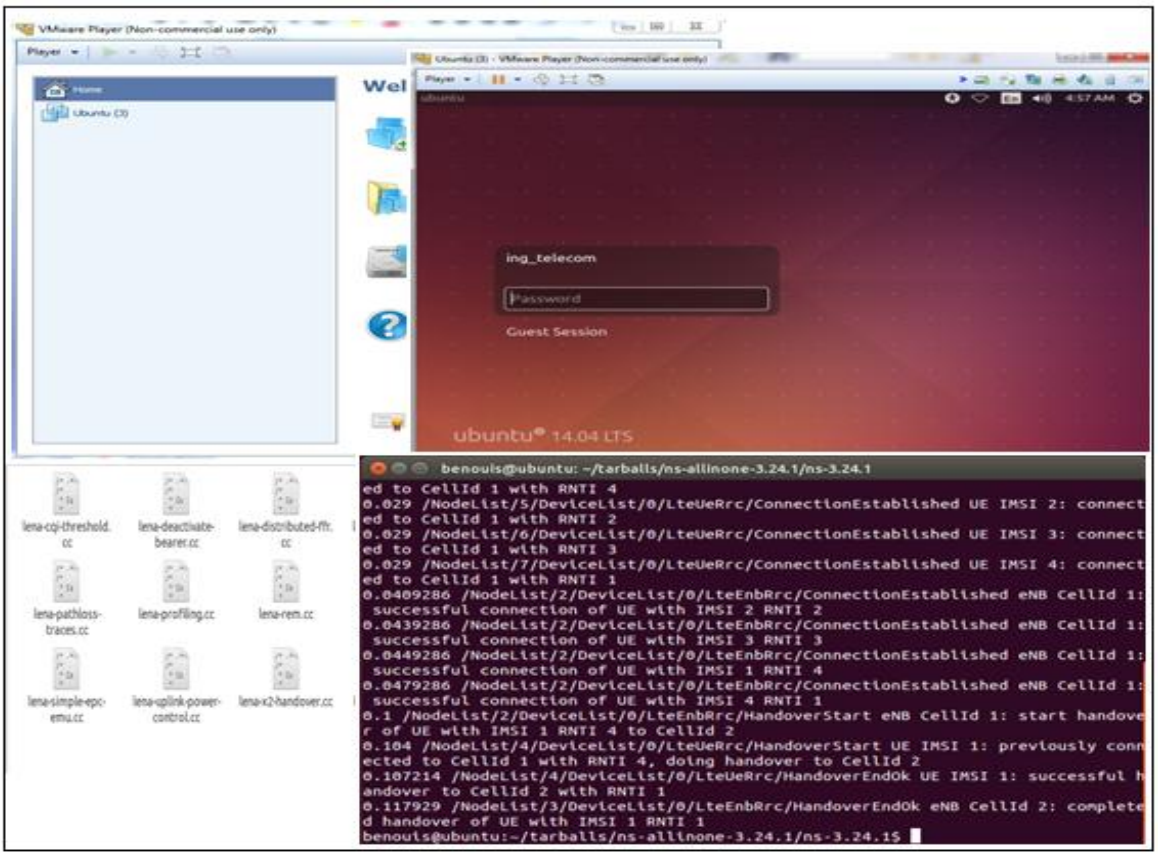


Figure 4 .2: Etapes pour nos simulations sous NS-3.

3 Les étapes de la simulation

Voici les démarches de déroulement d'une simulation, telles qu'illustrées à la figure Premièrement, il faut définir le problème: comprendre et avoir une vue d'ensemble du problème (conception).

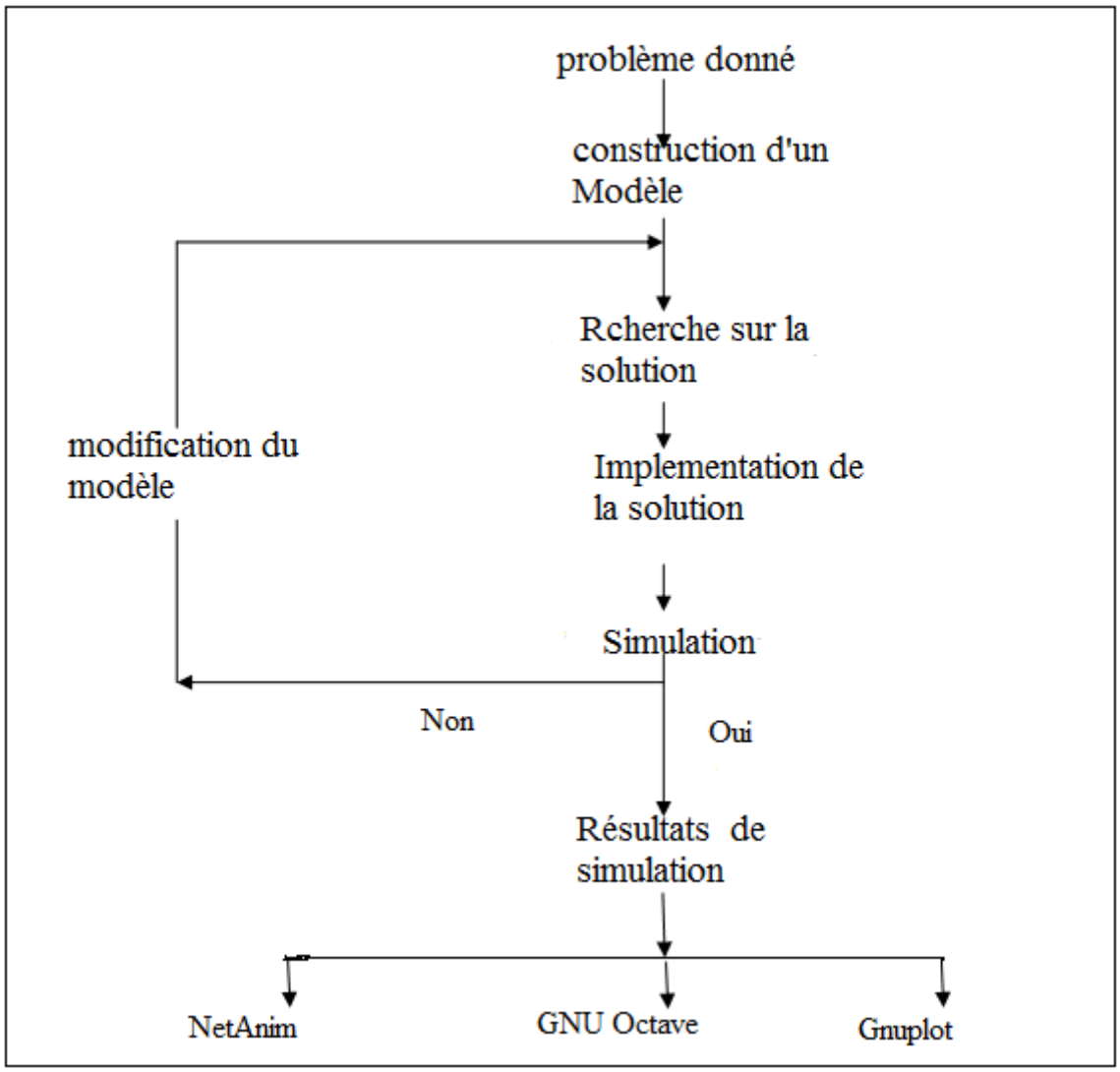


Figure 4.3 : Etapes pour la réalisation d'une simulation.

4 Les outils complémentaires pour le calcul des résultats

4.1 Gnuplot

Gnuplot est un programme qui permet de tracer des courbes 2D ou 3D.Il est disponible sur de nombreuses plates-formes. Il fonctionne de manière interactive par l'intermédiaire de commandes simples. Les instructions se transmettent soit en les tapant directement à l'invite soit à partir d'un fichier de commande UNIX ou LINUX (batch). Il est également possible de tracer des fonctions ou des fichiers de points. Différentes options sont disponibles: styles de tracés, intervalle de définition d'une fonction. De plus un grand nombre de fonctions mathématiques prédéfinies sont disponibles. Il bénéficie d'une aide interactive en ligne (help).[22]

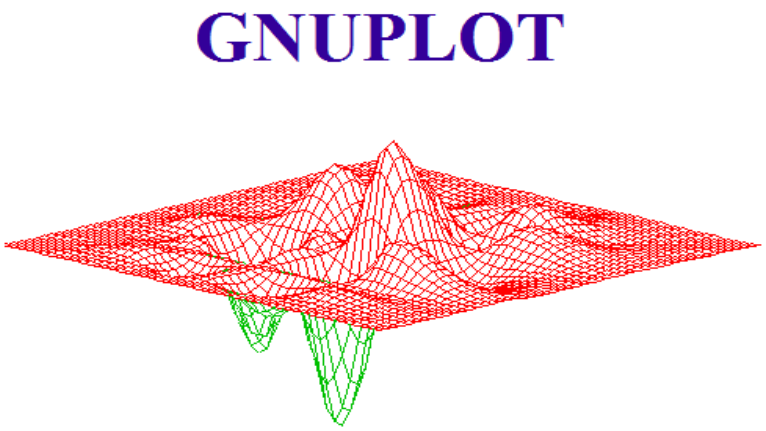


Figure 4.4 : Exemple sur le GNUPLOT . [20]

4.2 GNU Octave

Est un langage évolué, essentiellement destiné pour les comptes numériques. Il fournit une interface de ligne d'instruction convenable à résoudre des problèmes linéaires et non linéaires numériquement et à exécuter d'autres expériences numériques en utilisant une langue qui est surtout compatible avec Matlab. Il peut aussi être utilisé comme une langue orientée de fournée.[21]

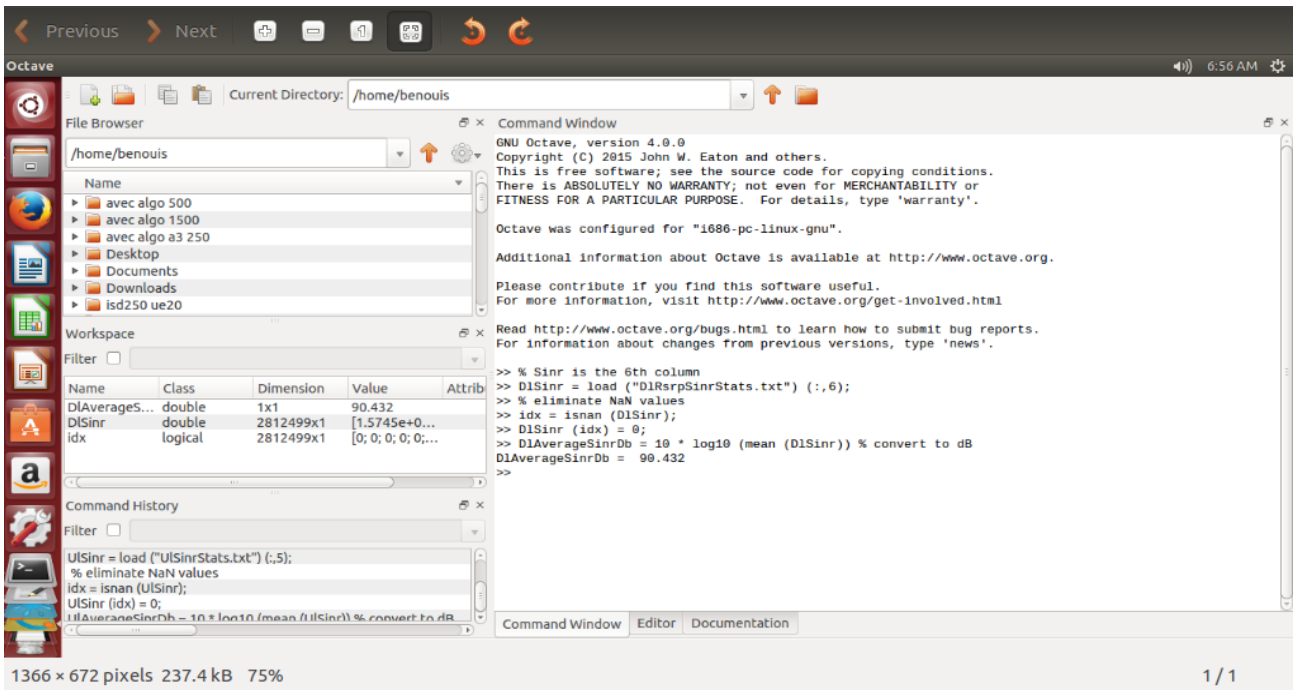


Figure 4.5 : Exemple de résultat fournis par octave.

5 L'étude de Procédure Handover en réseau LTE

Un processus de handover, en général, est divisé en :

1. UE mesures d'intensité de signal de liaison descendante
2. Le traitement des résultats de mesure
3. Envoie le rapport de mesure à l'eNodeB de service.
4. L'eNodeB servant rend alors les décisions de transfert en fonction de la mesure reçue rapports.[14]

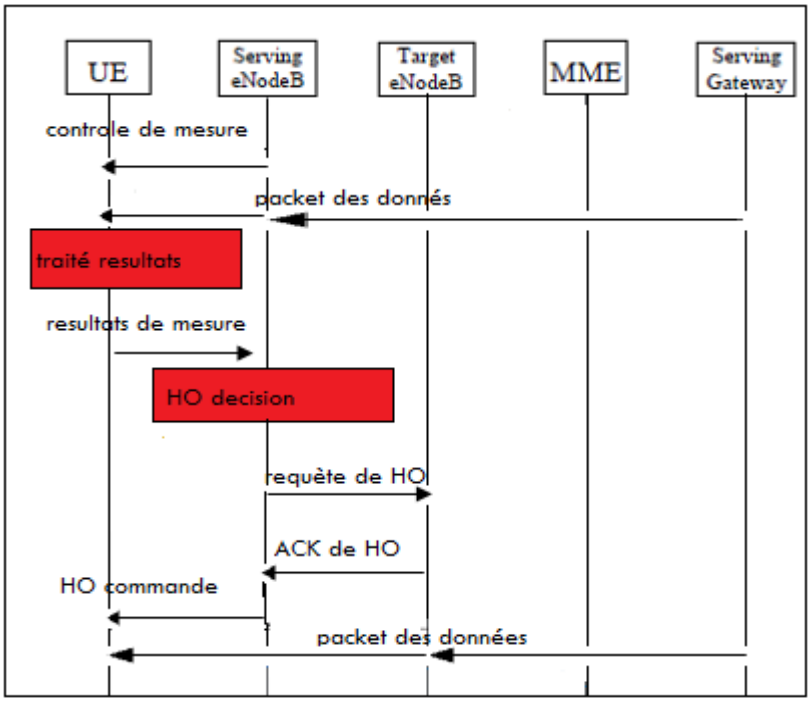


Figure 4.6 : diagramme de procédure de handover dans LTE.[16]

6 Scénarios de simulation déployée

Durant la simulation les utilisateurs vont communiquer avec un serveur distant via une application qui sera installée sur le serveur pour générer un trafic de données, les paquets de données TCP/UDP IP seront acheminé de cette façon :

✓ Liaison montante :

UE ⟶ enodeB ⟶ SGW/PGW ⟶ Internet ⟶ Serveur Distant

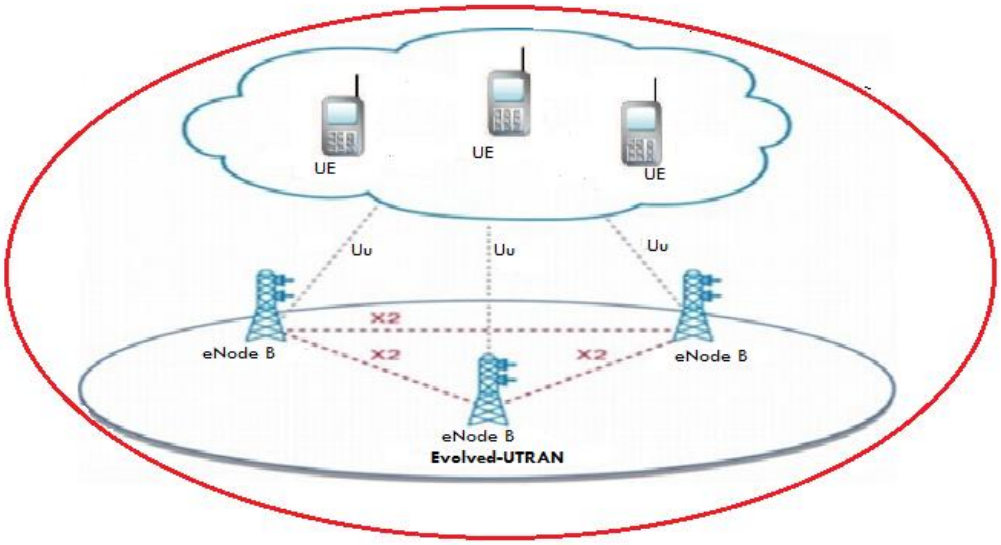
✓ Liaison descendante

Application (Serveur Distant) ⟶ Internet ⟶ SGW/PGW ⟶ Serveur Distant

6.1 Scénarios de mobilité

Dans cette étude, nous allons considérer plusieurs scénarios de mobilité. Nous allons supposer au début de chaque scénario un nombre N de stations mobiles. Vont se déplacer avec des vitesses différentes.

Dans notre première architecture, nous avons créés un réseau LTE composé de « N UE » et des points de communication eNodeB de type des macro cellules qui sont les principales stations de base dans le réseau.



.

Figure 4.7 : Architecture du scénario déployé.

- Paramètres de Simulation

Les paramètres de simulation du premier scénario sont synthétisés dans le tableau**:**

Les paramètres	Valeur
Nombre de macrocell (EnodeB)	2
La bande passante utilisée par EnodB	25 MHZ
Duré total de la simulation [s]	50 ms
Nombre de porteuse affecté par UE	2
Nombre d'UE	4
Puissance d'émission utilisée par EnodeB	46
ISD (interSiteDistance)	250 /500/1500 m
Nombre d'UE	Changer selon les scénarios 5/10/20
Vitesse d'UE (speed)	Changer selon le scénario 8/16/32/100 m/s

Tableau 3.1 : Tableau des paramètres de simulation.

```
benouis@ubuntu: ~/tarballs/ns-allinone-3.24.1/ns-3.24.1
build.py          constants.pyc  pybindgen-0.17.0.post41+ngd10fa60  util.py
choisire de ISD   netanim-3.106  README                            util.pyc
benouis@ubuntu:~/tarballs/ns-allinone-3.24.1$ cd ns-3.24.1/
benouis@ubuntu:~/tarballs/ns-allinone-3.24.1/ns-3.24.1$ ./waf --run lena-x2-hand
over
Waf: Entering directory `/home/benouis/tarballs/ns-allinone-3.24.1/ns-3.24.1/bui
ld'
Waf: Leaving directory `/home/benouis/tarballs/ns-allinone-3.24.1/ns-3.24.1/buil
d'
Build commands will be stored in build/compile_commands.json
'build' finished successfully (7.544s)
0.028 /NodeList/4/DeviceList/0/LteUeRrc/ConnectionEstablished UE IMSI 1: connect
ed to CellId 1 with RNTI 1
0.0399286 /NodeList/2/DeviceList/0/LteEnbRrc/ConnectionEstablished eNB CellId 1:
 successful connection of UE with IMSI 1 RNTI 1
0.1 /NodeList/2/DeviceList/0/LteEnbRrc/HandoverStart eNB CellId 1: start handove
r of UE with IMSI 1 RNTI 1 to CellId 2
0.104 /NodeList/4/DeviceList/0/LteUeRrc/HandoverStart UE IMSI 1: previously conn
ected to CellId 1 with RNTI 1, doing handover to CellId 2
0.107214 /NodeList/4/DeviceList/0/LteUeRrc/HandoverEndOk UE IMSI 1: successful h
andover to CellId 2 with RNTI 1
0.117929 /NodeList/3/DeviceList/0/LteEnbRrc/HandoverEndOk eNB CellId 2: complete
d handover of UE with IMSI 1 RNTI 1
benouis@ubuntu:~/tarballs/ns-allinone-3.24.1/ns-3.24.1$
```

Figure 4.8 : Exemple d'affichage de résultat de simulation.

- Architecture sur NS3

NetAnim permet une représentation graphique des résultats obtenus, et cela on exploitant le fichier XML qui est un fichier output généré par NS-3.

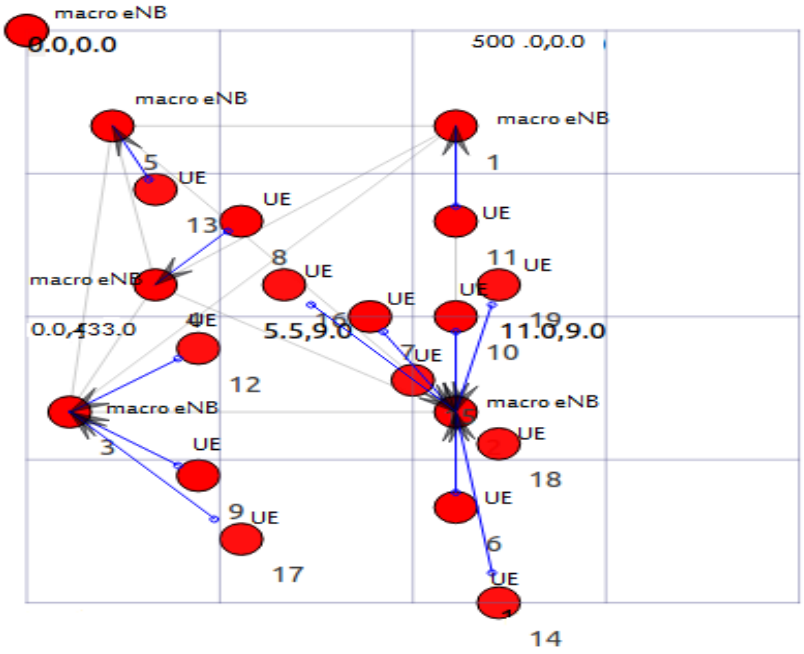


Figure 4.9 : Architecture du scenario Vu par NetAnim .

7 Calcul et comparerons des résultats de simulation

7.1 Les indicateurs utilisés dans notre simulation :

- Le SINR

Le rapport signal sur bruit est un indicateur de la qualité de la transmission d'une information qui s'exprime généralement en décibels (dB). C'est le rapport des puissances entre :

- Le signal d'amplitude maximale, déterminée par la valeur maximale admissible pour que les effets restent à une valeur admissible.
- Le bruit de fond, information non significative correspondant en général au signal présent à la sortie du dispositif en l'absence d'une information à l'entrées.[6]

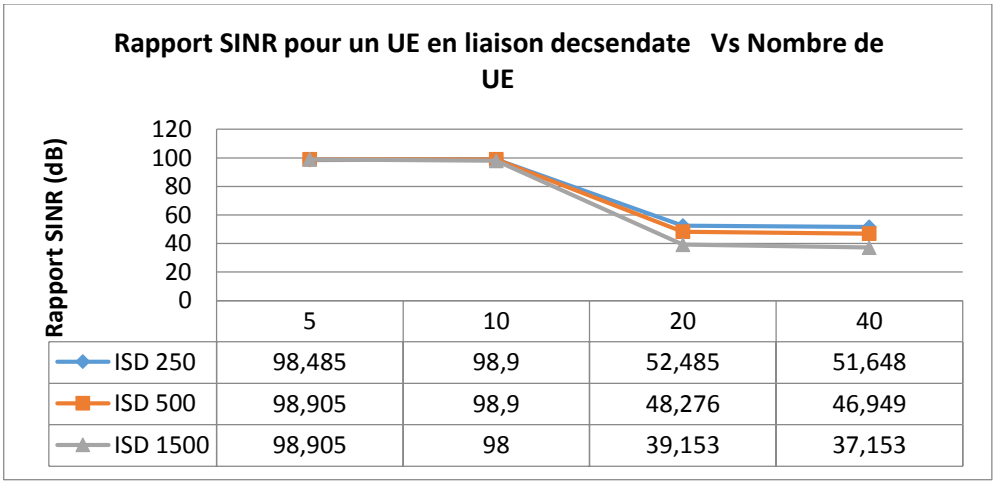
- Débit moyen

  Il définit le volume maximal pouvant être atteint pour la transmission de l'information (bits) par unité de temps (s) dans une communication entre un émetteur et un récepteur.[7]

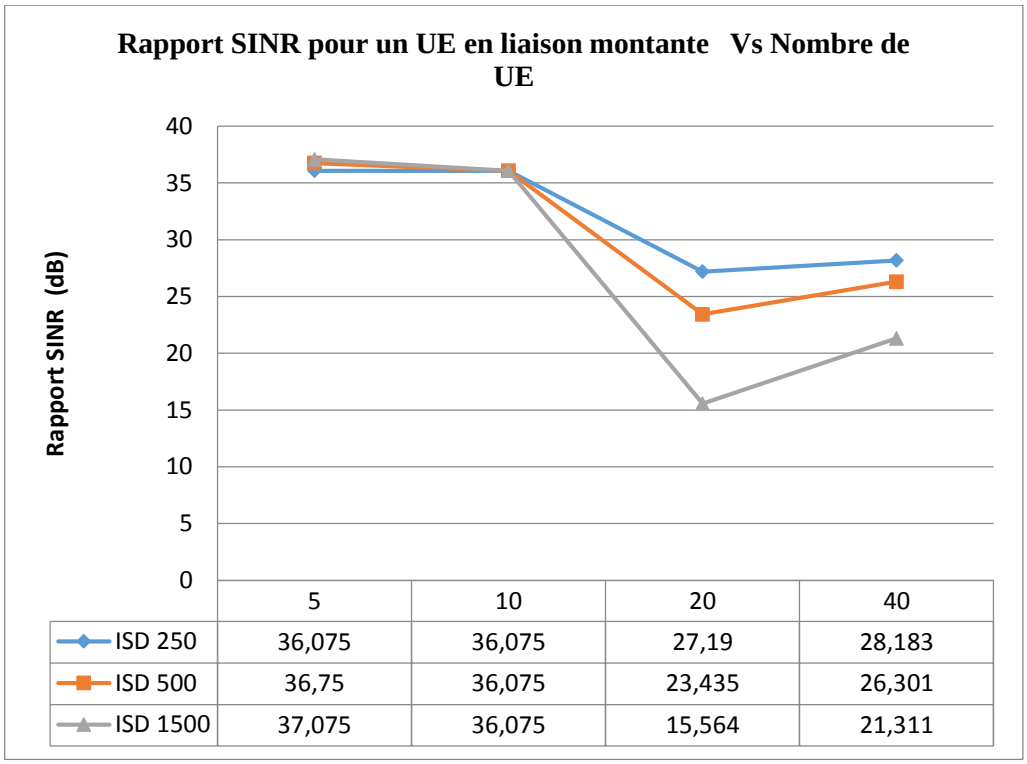
7.2 Scénario 1 : Choisir le meilleur ISD :

Les Paramètres utilisé :

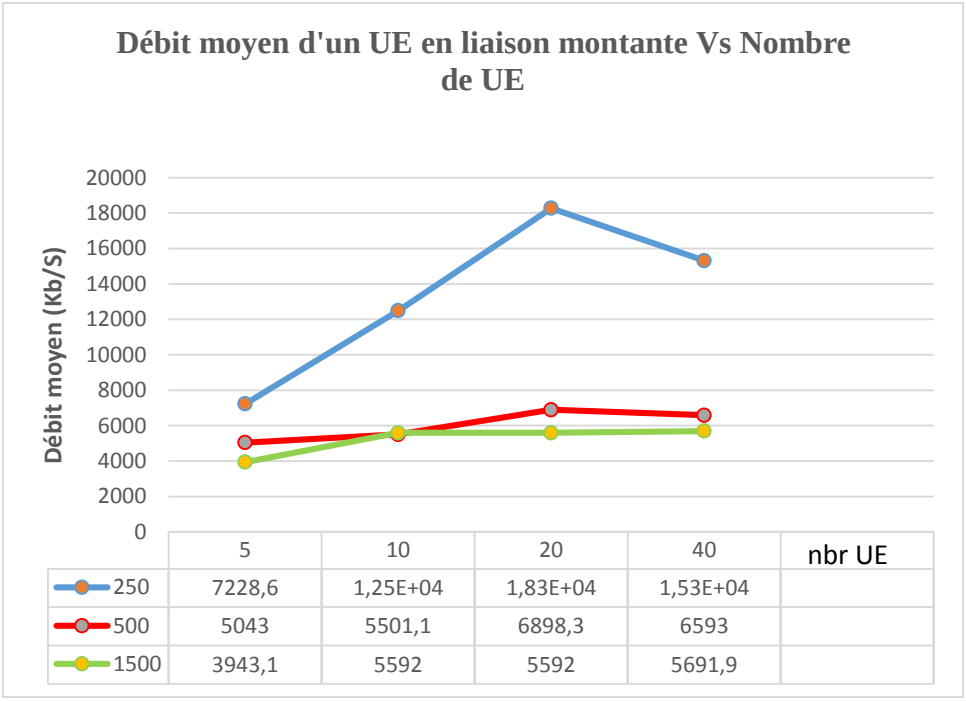
ISD	250/500/1500
UE	20/40/80/160
Vitesse	0



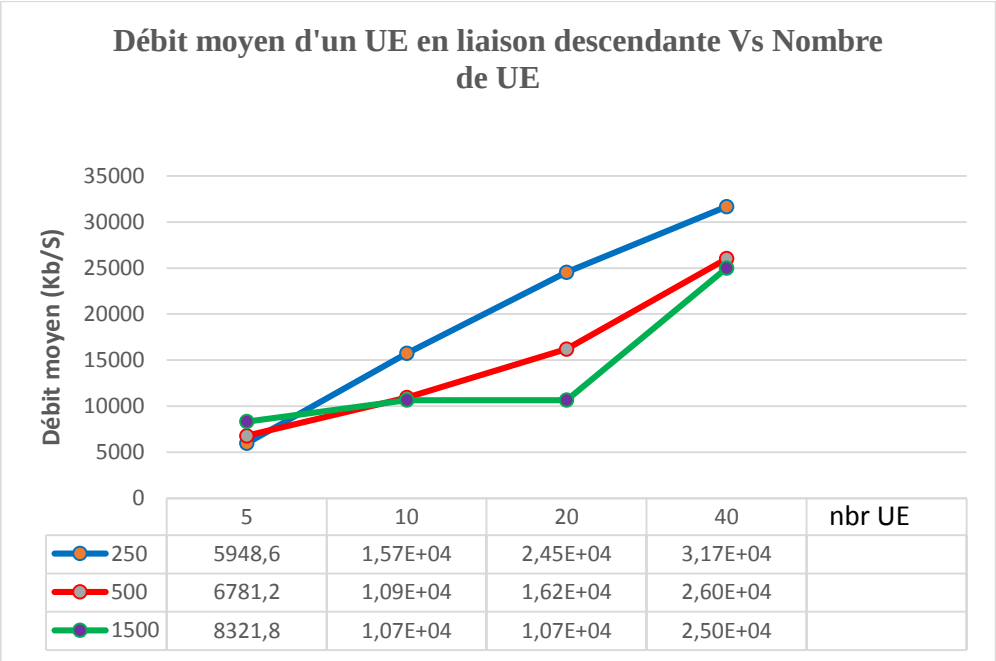
	5	10	20	40
ISD 250	98,485	98,9	52,485	51,648
ISD 500	98,905	98,9	48,276	46,949
ISD 1500	98,905	98	39,153	37,153



	5	10	20	40
ISD 250	36,075	36,075	27,19	28,183
ISD 500	36,75	36,075	23,435	26,301
ISD 1500	37,075	36,075	15,564	21,311

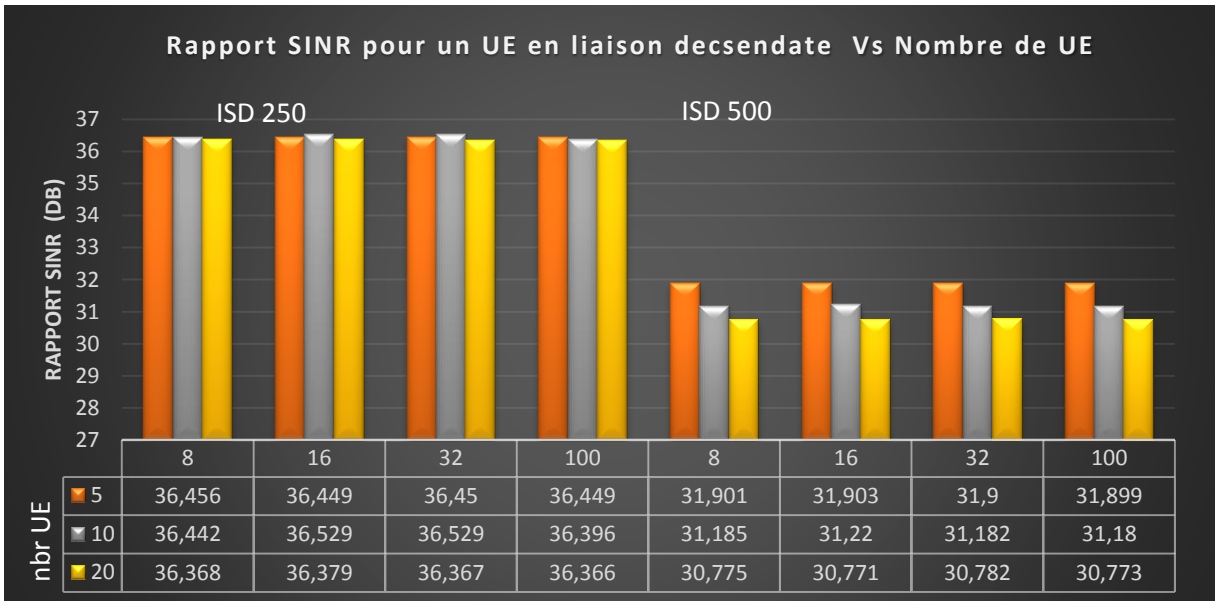


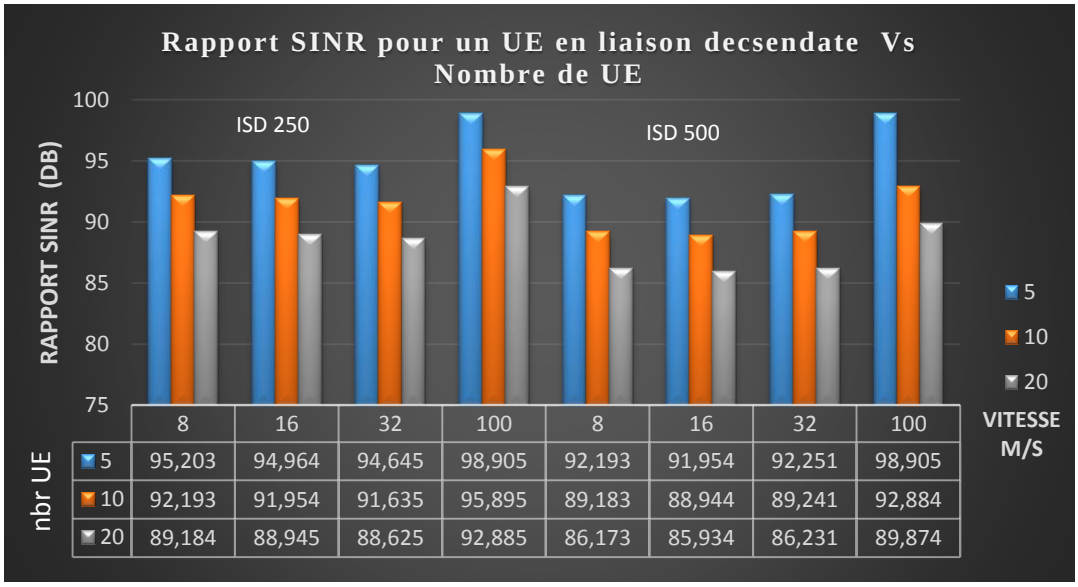
	5	10	20	40	nbr UE
250	7228,6	1,25E+04	1,83E+04	1,53E+04	
500	5043	5501,1	6898,3	6593	
1500	3943,1	5592	5592	5691,9	



7.3 Scénario 2 : Mobilité Sans Algorithme du Handover A3 " *NoOpHandoverAlgorithm* "

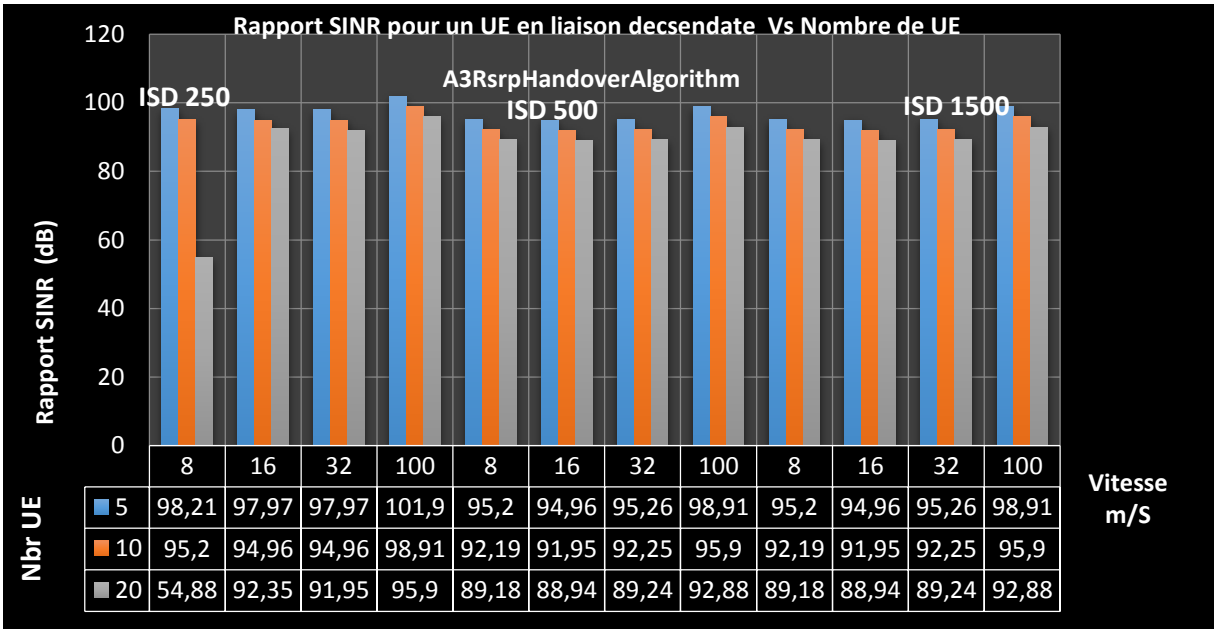
ISD	250 /500 m
Nombre UE	5/10/20
Vitesse UE	8/16/32/100 m/s





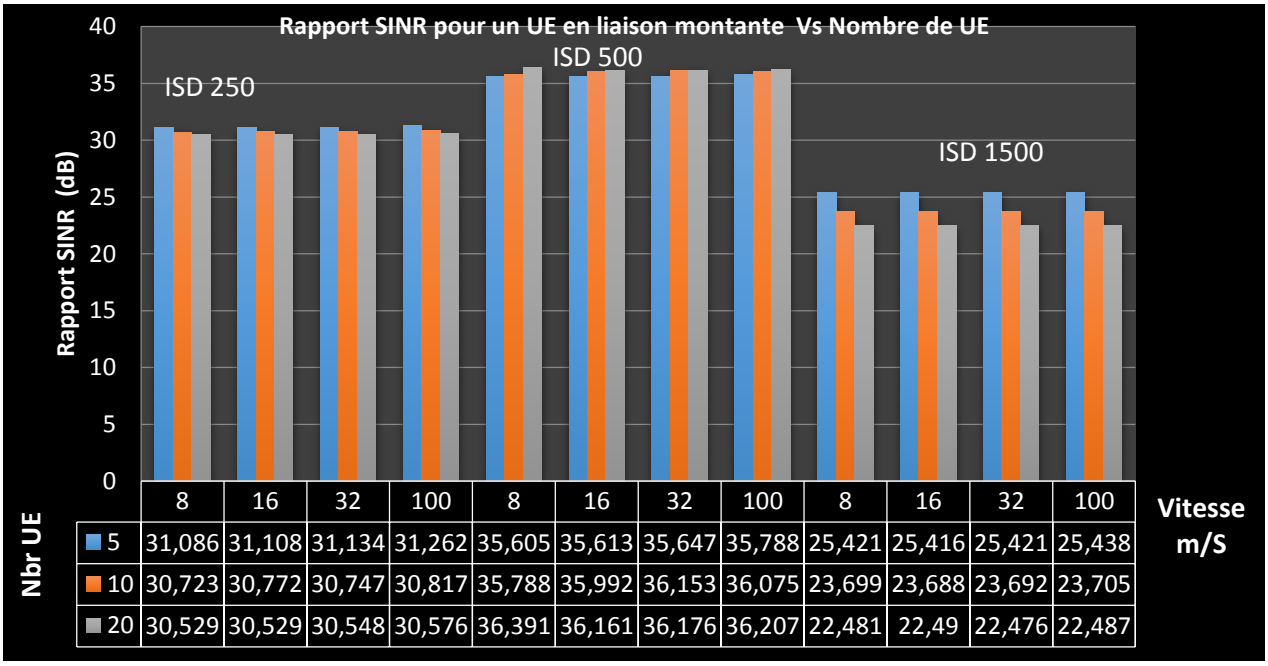
7.4 Scénario 3 : **Implémentation de l'Algorithme du handover A3 " A3Rsrp Handover Algorithm".**

ISD	250/500/1500 m
Nombre UE	5/10/20
Vitesse UE	8/16/32/100 m/s
Algorithme	A3RsrpHandoverAlgorithm



Nbr UE	8	16	32	100	8	16	32	100	8	16	32	100
5	98,21	97,97	97,97	101,9	95,2	94,96	95,26	98,91	95,2	94,96	95,26	98,91
10	95,2	94,96	94,96	98,91	92,19	91,95	92,25	95,9	92,19	91,95	92,25	95,9
20	54,88	92,35	91,95	95,9	89,18	88,94	89,24	92,88	89,18	88,94	89,24	92,88

Vitesse m/S

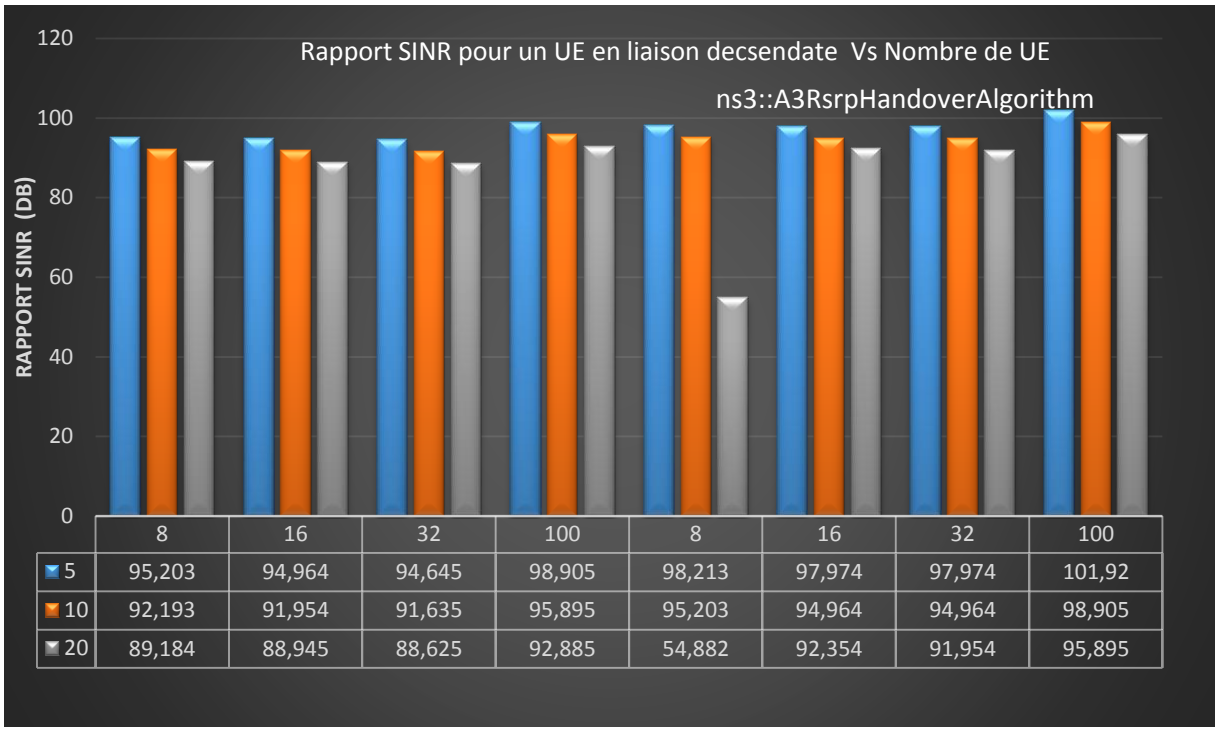


Nbr UE	8	16	32	100	8	16	32	100	8	16	32	100
5	31,086	31,108	31,134	31,262	35,605	35,613	35,647	35,788	25,421	25,416	25,421	25,438
10	30,723	30,772	30,747	30,817	35,788	35,992	36,153	36,075	23,699	23,688	23,692	23,705
20	30,529	30,529	30,548	30,576	36,391	36,161	36,176	36,207	22,481	22,49	22,476	22,487

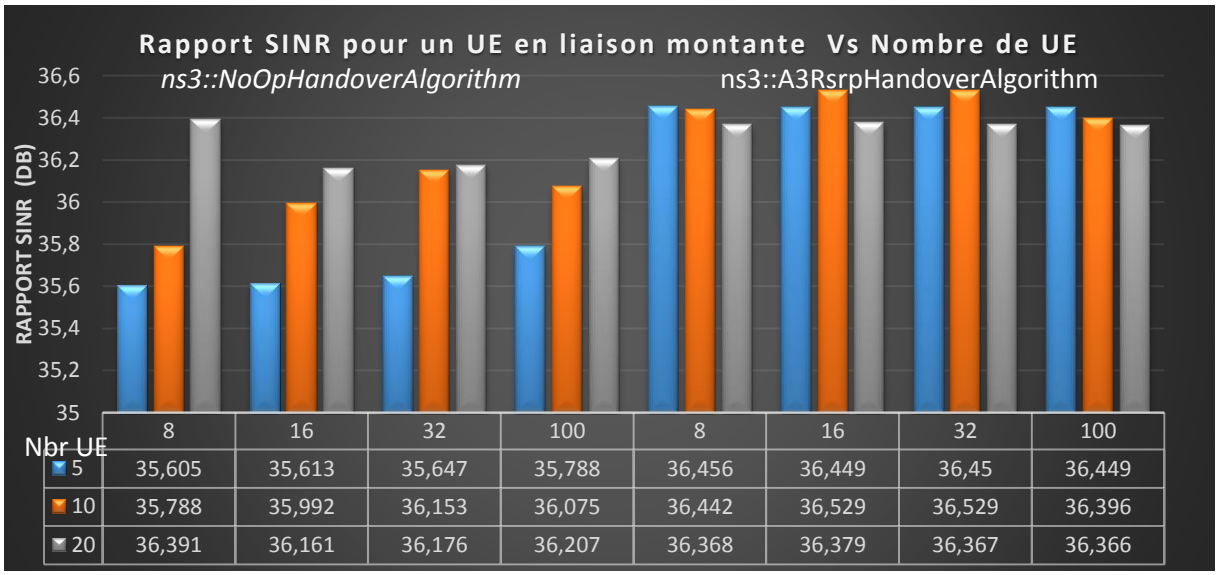
Vitesse m/S

7.5 Scénario 4 : Comparaison du Déploiement avec et sans prise en considération de l'algorithme de handover A3 :

ISD	250 m
Vitesse	8/16/32/100
Nombre d'UE	5/10/20



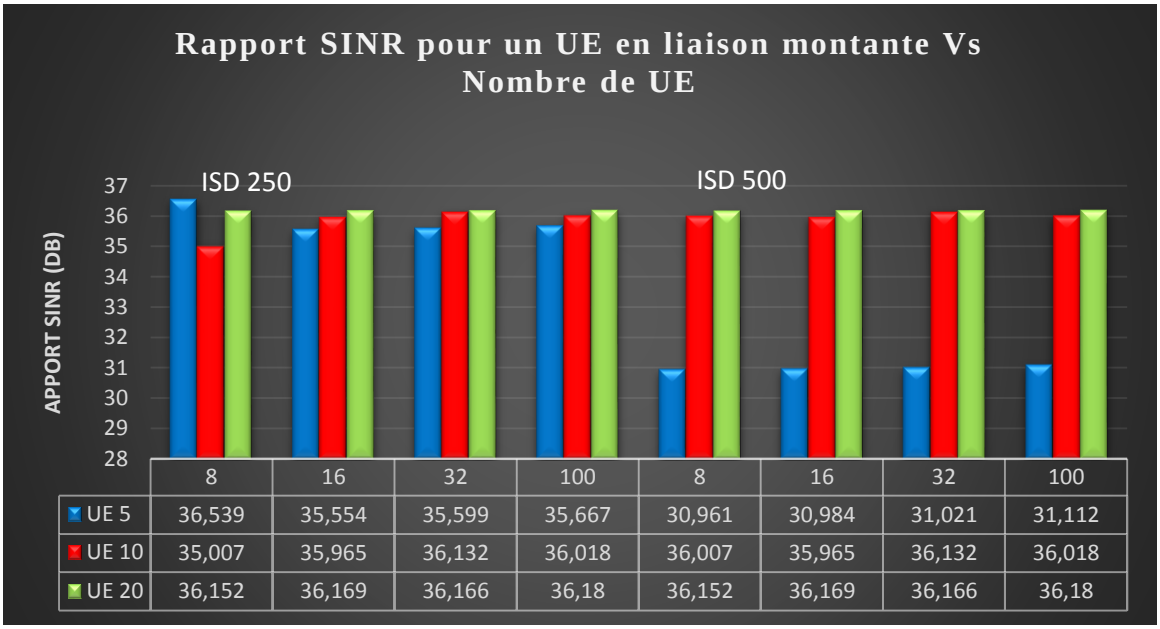
	8	16	32	100	8	16	32	100
5	95,203	94,964	94,645	98,905	98,213	97,974	97,974	101,92
10	92,193	91,954	91,635	95,895	95,203	94,964	94,964	98,905
20	89,184	88,945	88,625	92,885	54,882	92,354	91,954	95,895



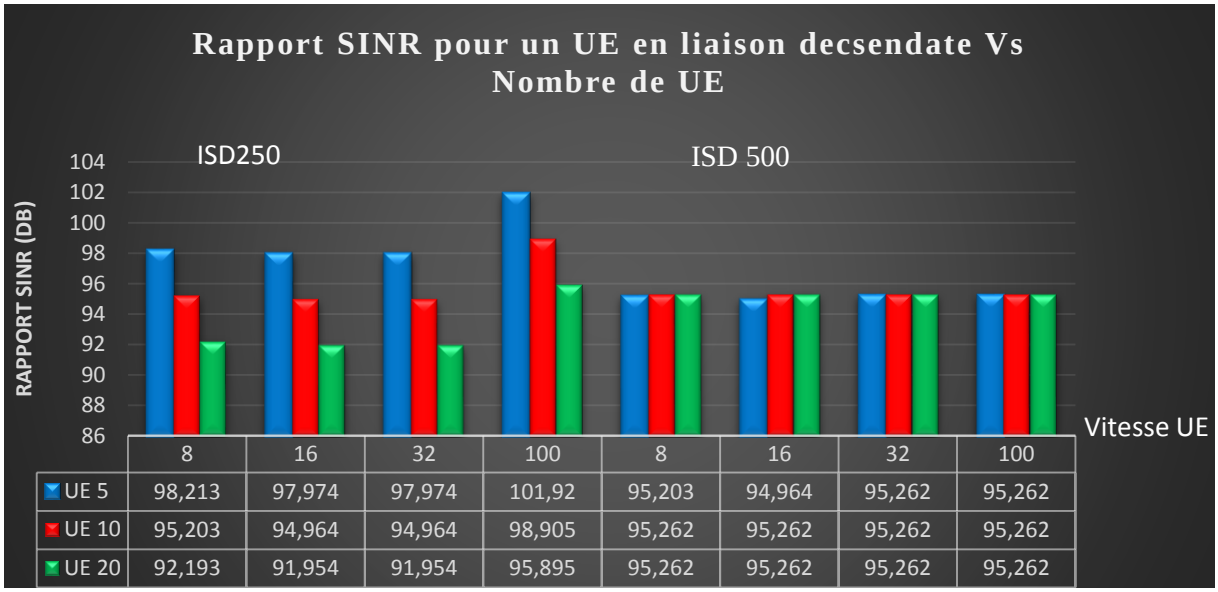
	8	16	32	100	8	16	32	100
5	35,605	35,613	35,647	35,788	36,456	36,449	36,45	36,449
10	35,788	35,992	36,153	36,075	36,442	36,529	36,529	36,396
20	36,391	36,161	36,176	36,207	36,368	36,379	36,367	36,366

7.6 Scénario 5 : Implémentation de l'Algorithme du handover A2A4 " A3Rsrp Handover Algorithm".

ISD	250 m
Vitesse	8/16/32/100
Nombre d'UE	5/10/20
Algorithme	A2A4RsrqHandoverAlgorithm



	8	16	32	100	8	16	32	100
UE 5	36,539	35,554	35,599	35,667	30,961	30,984	31,021	31,112
UE 10	35,007	35,965	36,132	36,018	36,007	35,965	36,132	36,018
UE 20	36,152	36,169	36,166	36,18	36,152	36,169	36,166	36,18



	8	16	32	100	8	16	32	100
UE 5	98,213	97,974	97,974	101,92	95,203	94,964	95,262	95,262
UE 10	95,203	94,964	94,964	98,905	95,262	95,262	95,262	95,262
UE 20	92,193	91,954	91,954	95,895	95,262	95,262	95,262	95,262

La batterie de tests que nous avons effectué sur le réseau LTE à base de cellule macro nous a permis d'avoir les résultats suivants :

- 250 M représente le meilleur ISD pour toutes les configurations par rapport au SINR, débit et le nombre de paquets perdus.
- L'implémentation de mobilité (Handover A3 / A2A4) et plus que nécessaire pour une simulation réaliste.

Apres cette étude comparative de différents scénarios, nous pouvons dire que le choix de l'algorithme de handover dans réseau LTE non dépend que des paramètres non déterministe, a

cette effet nous proposons un algorithme de handover qui peut être utilisé dans un contexte plus difficile sous différents variation corrèles ou non corrélés. Vu l'architecteur d'un réseau mobile et le milieu de communication entre deux utilisateurs qui cherchent une bonne qualité de service dans un scénario supporte une forte variation talques la vitesse de user, la technologie de cellule (femto, macro, pico), l'énergie de puissance au niveau user, les interférences génère par les trois couches ou le milieu, la gestion de bande de fréquence et la sécurité de données. Nous avons remarques il y a un compromis entre ces paramètres dans le but de développer notre algorithme comparent aux algorithmes A3/A2A5 qui sont base sur le RSB, la vitesse, distance et le RSB. L'effet de propagation d'une onde dans un milieu (radio mobile) a une influence crête dans un réseau mobile qui est généralement modéliser par des model stochastique ou paramétriques. Dans ce mémoire nous avons introduit un paramètre baptisé HHM [24] (les variations d'une onde EM). ' L'équation suivante récapitule les facteurs implorants pris en considération dans notre algorithme.

Où le paramètre $HHM_{c,(dB)}^{UTPR}$ est donné par (14).

$$HHM_{c,(dB)}^{UTPR} = \begin{cases} 10\ log \dfrac{P_{c,RS}^{TTT}.\left(\bar{I}_c^{TTT} - \bar{P}_u^{TTT}.\bar{h}_{u\to c}^{TTT}\right)}{P_{s,RS}^{TTT}.\bar{I}_s^{TTT}} & c,s \in C_n \\ 10\ log \dfrac{P_{c,RS}^{TTT}.\bar{I}_c^{TTT}}{P_{s,RS}^{TTT}.\bar{I}_s^{TTT}} & autrement \end{cases}$$

La sélection d'une cellule parmi N cellule pour exécuter la décision du handover pour un user mobile se basée sur la maximisation le facteur de RSRP et la minimisation de UTPR qui est définit par cette équation :

$$\arg max_{c\,\epsilon\,L_u}\ RSRP_{c\to u,(dB)}^{TTT} = \left\{c \middle| RSRP_{c\to u,(dB)}^{TTT} > RSRP_{s\to u,(dB)}^{TTT} + HHM_{c,(dB)} + HHM_{c,(dB)}^{UTPR}\right\}$$

TTT: Time to Trigger

$\bar{h}_{u\to c}^{TTT}$: Le gain du canal (user-cellule)

$\bar{I}_s^{TTT}$: La puissance générée par les interférences des cellules en service

$P_{c,RS}^{TTT}$: La puissance de référence d'un signal transmit par une cellule sélectionnée

$P_{s,RS}^{TTT}$: La puissance de référence d'un signal transmit par une cellule en service

$\bar{P}_u^{TTT}$: La puissance de référence d'un signal transmit par un terminal use

RSRP : Signal de référence puissance reçue

C : Cellule destination

S : cellule en service

U : utilisateur

HHM : HO Hysteresis Margin(la marge du Hystérésis)

UTPR : UE Transmit Power Reduction (l'énergie de transmission réduit d'un utilisateur)Cette équation à nous permet de réaliser le handover d'une façon intelligent afin garantir le management de trafic d'un utilisateur, la mobilité, la connectivité, la consommation d'énergie par réduction de nombre de handvoder dans une cellule (femto, pico, macro) avec une forte mobilité et des facteurs très dégrades (RSB très faible). Afin valider notre approche nous proposons à intégrer ce paramètre dans la négociation de rétablissement de la liaison user-base station comme un travail de futur dans le but d'améliorer la performance de réseau LTE et l'émigration vers les réseaux 5G.

Les mécanismes de handover dans les réseaux LTE joue le rôle d'un support fort pour la couverture radio d'un but garantit une bonne fiabilité pour la planification radio, cependant il est le responsable de gérer la mobilité d'utilisateur dans un reseau cellulaire, pour cela le mécanisme de handover est un paramètre inévitable pour les ingénieurs de planification radio qui sont intéresses de planifier les reseau cellulaire.

Pendant notre étude de ce mémoire, on a découvert la différence entre les deux procédures de handover dans LTE soft handover, hard handover. Mais on a concentre sur le mécanisme de soft handover dans le types générale intra fréquence handover, car la majorité des handovers ils se font dans les régions intra fréquence, en outre on trouvé qu'il ya une grande relation entre le contrôle de puissance et le mécanisme de A3, A2A4 et notre algorithme proposé, ou dans le cas de soft handover, le mobile connecte avec plusieurs noeuds B, donc le reseau il doit contrôler tous les puissances de lien radio avec l'UE pour éviter l'augmentation inutile de la puissance avec le mobile et au même temps pour garantir que il n ya aucun interférence entre les mobile a cause de la puissance augmentée par un mobile.

Après la simulation visuelle en NS3 on a simulé le déplacement de mobile entre les noeuds B en cas de A3 ,A2A4 et vérifiée les mesure de RSB, on a vu que le mobile toujours connecte avec la cellule qui a la puissance de RSB la plus élevée et supprime tous les cellules qui contient la puissance de RSB la plus faible, Néanmoins ces deux algorithmes sont sensibles au la variation de puissance reçus qui est affecté par plusieurs facteur , a cet effet nous avons proposé

un algorithme qui pris en considération ces facteurs pour faire le handover au fur et à mesure en garantit la Qs d'un mobile dans un réseau LTE.

8 Conclusion

Dans ce chapitre, on a présenté le simulateur ns-3, en raison de la complexité de la technologie LTE, le module ns-3 est limité dans ces fonctionnalités. On a concentré nos discussions, nos simulations et nos interprétations dans la partie e-UTRAN du système.

Dans le domaine des réseaux sans fil, la mobilité d'un réseau à un autre est un enjeu important. La MS se déplacera alors vers la deuxième cellule, en continuant sa communication avec son correspondant. Pendant le déplacement de la MS et son passage par la zone de Handover.

Un réseau 4G devra être fondé sur une technologie qui résistera aux coupures causées par le déplacement d'un terminal mobile entre des cellules couvertes par cette technologie. Cela se passe de façon qu'un utilisateur en communication ne perde pas sa connexion en cours.

CONCLUSION GENERALE

La LTE représente une évolution majeure, car elle permit l'amélioration des performances en termes de débit (300Mb/s en liaison descendante et 75 Mb/s en liaison montante) et aussi un bien meilleur rendement spectral pour les réseaux cellulaires. Toutes les interfaces entre les nœuds du réseau LTE basés IP, y compris la connexion secondaire vers les stations de base radio.

Le handover est l'une des principales procédures clés des réseaux mobiles radio-cellulaires pour veiller à ce que les utilisateurs se déplacent librement à travers le réseau tout en maintenant la connectivité et l'accès continu aux services . Comme le taux de réussite du handover est un indicateur cl´e de la performance du réseau, il est essentiel que cette procédure se passe aussi vite et aussi efficacement que possible.

La 4G, toujours en cours de recherche, est un futur standard qui vise en général à améliorer la QoS en terme de débit, mobilité, etc, dans le cas d'échange de trafic temps-réel sensible au délai par les abonnés. Cependant, il y a quelques buts visés par la 4G qui sont très difficiles à réaliser, comme offrir des débits très élevés pour des utilisateurs qui se déplacent à très grande vitesse, ou encore garantir à l'utilisateur un Handover transparent et sans aucune interruption.

La LTE est une technologie idéale pour soutenir les débits de données élevés pour les services tels que la voix sur IP (VoIP), le multimédia, vidéoconférence ou même un modem cellulaire haut débit en continu .nous avons mis l'accent sur la technologie LTE qui succède non seulement à l'UMTS, Malgré l'importance des débits atteints en DL et en UL, 3GPP vise à aller encore plus loin en ciblant un débit de 1Gbits/s et cela en exploitant une bande passante de 100Mhz avec une configuration MIMO 8x8 pour l'eNodeB et 4x4 pour l'UE, ce qui est un vrai défis que 3GPP veut relever dans le but de répondre aux exigences de la 4G que l'ITU a fixé, et ainsi son système sera appelé LTE-Advanced.

BIBLIOGRAPHE

[1]ADDOUR nadir, DJAFAR fatima zohra , Les Antennes MIMO Appliquées A La 4G, Diplôme Des Etudes Universitaires Appliquées (DEUA) En Télécommunications Institut National des télécommunications Et Des Technologies De L'information Et De La Communication Oran , 2009/2010

[2]ADJIOUA Youcef, HADDAD Mohamed ,3G Network Dimensioning and Planning, Diplôme d'Ingénieur d'Etat En Télécommunications , Institut National des Télécommunications et des Technologies de l'Information et de la Communication Oran,2014/ 2015.

[3]AHMED Ahmed &CHAROU Mohamed, Etude des mécanismes du Handover du réseau UMTS, JUIN 2009

[4]BELBAL Yahia, Mr. SOUALMIA Abdelbasset , Etude et proposition des techniques de migration optimales des réseaux 2G vers les réseaux 3G ;INTIC Oran, 2012/2013(IGE 33)

[5]BOUASLA oualid, ZERROUKI yacine, Optimisation Radio 3G+, Diplôme d'Ingénieur d'Etat En Télécommunications, Institut National des Télécommunications et des Technologies de l'Information et de la Communication Oran, IGE32.

[6]BOUCHENTOUF Hadjer, BOUDGHENE STAMBOULI Riyad, Etude Des Performances Des Réeaux 4g (Lte), Mémoire Master En Télécommunication, Université Abou bker blkaid Tlemcen Algérie ,2012 – 2013

[7]DJAMEL EDDINE BELGHOUL, MEBARKIA WALID ; Etude et modélisation du déploiement des Réseaux hétérogènes LTE-Advanced BELGHOUL, diplôme d'ingénieur d'état en informatique, Ecole Nationale supérieure d'informatique ,2013 / 2014.

[8]FUITIH iman, KAYED OMAR nassima Sécurité mobile et Qst

[9]GHANEMI Abdeldjalil ,OULED-AISSA Arabi, Evolution de 2G au 4G, Diplôme d'Ingénieur d'Etat En Télécommunications, INTTIC, 2009 – 2010 (IGE30)

[10]JIHEN THABET, Etude De L'interface Radio De L'umts Et Implémentation Sur Des Procédures D Allocations Des Ressources, 2001/2002

[11]LEMAMOU Eunice Adjarath, Planification Globale Des Réseaux Mobiles De La Quatrième Génération (4g), Diplôme De Philosophie Doctorat (Génie Informatique) AVRIL 2014

[12]MADJOUR Rachid &SI MOUSSI Toufik ,3GPP/LTE : Etude de l'interface Air et simulation**, Diplôme** d'Ingénieur d'Etat En Télécommunications, INTTIC Oran, 24 Juin 2010

[13]MANZO Bachir, Lte Radio Access Network Planning And Optimization , diplôme d'ingénieur d'état en télécommunications, Institut National des Télécommunications Et Des Technologies De L'information Et De La Communication Oran, 2013/2014(IGE34)

[14]MERAH Hocine, Conception d'un MODEM de la quatrième génération (4G) des réseaux de mobiles à base de la technologie MC-CDMA, diplôme de Magister En électronique en communication, Université Ferhat Abbas – Setif ,11 /09 /2012.

[15]SEIDE Germine, Planification D'un Réseau De Quatrieme Generation A Partir D'un Réseau De Troisieme Generation , diplôme de Maîtrisé Sciences Appliquées, université MONTREAL AOUT 2011.

[16]Shaik Asif Ahammeed, Pavan Kumar, Siva Krishna, Jamanjyothi Sreekanth, Anish Chandra, The Study & implementation of Handover Procedure in LTE-based Femtocell Network", to the Indian Institute of Technology,

[17]Tarek BCHINI, Gestion de la Mobilité, de la Qualité de Service et Interconnexion de Réseaux Mobiles de Nouvelle Génération , l'obtention du doctorat , L'université de Toulouse 10/06/2010

[18]Yannick Bouguen François-Xavier Wolff ,LTE de réseaux 4G, Groupe Eyrolles, ISBN : 978-2-212-12990-8,20 12

Site web:

[19]D. Xenakis, N. Passas, and C. Verikoukis "An energy-centric handover decision algorithm for the integrated LTE macrocell–femtocell Network", Computer Communications, Elsevier, 2012, disponible sur: http://dx.doi.org/10.1016/j.comcom. consulter le 18.04.2016

[20]http://enseignement.ensi-bourges.fr/cours/GNUPLOT/document/gnuplot.html

[21]http://octave.org/community-news.html

[22]http://www.gnu.org/software/octave/about.html

[23]https://fr.wikipedia.org/wiki/Handover

[24]https://www.nsnam.org/

[25]Rapport sur la couverture et la qualité des services mobiles en France métropolitaine,France, ISSN : 2258-3106 ,Novembre 2012 www.arcep.fr/.../tx.../**rapport**-bilan-**couverture**-QoS-2g-3g-nov2012.pdf consulté le : 12.03.2016.