الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE DR. YAHIA FARES DE MEDEA

FACULTE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE

Département du Génie Électrique et de l'Informatique



Projet de Fin d'étude

Présenté pour l'obtention du Diplôme
de Master en Génie Électrique

Spécialité : Systèmes de Télécommunication

THEME

Simulation d'un appel téléphonique mobile avec handover inter eNodeB dans le réseau LTE

Proposé et dirigé par :

M.KHEDDAR Hamza

Préparé et présenté par :

M. ARKAB Oussama

M. SAHRAOUI Walid

Remerciements

D'abord nous remercions ALLAH qui nous dirige après nous remercions notre encadreur

*Mr : **KHEDDAR Hamza**, pour son aide, son encouragement, et son patience avec laquelle il a bien voulu travaillé avec nous.*

Nous remercions également tous les membres du jury, pour avoir bien voulu évalué notre travail, et l'ensemble des maitres de la département de génie électrique et informatique.

Nous remercions aussi tous les travailleurs de la bibliothèque et du périodique de l'université pour leurs aides et leur soutien.

Et finalement, nous adressons nos remerciements les plus profonds et les plus distingués à tous ceux qui ont contribué de proche Ou de loin à ce modeste travail.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

A mon cher père, à ma très chère mère ;

A mes sœurs et mon frère Yousef

A mon grand père et mes grandes mères

A tous ceux qui portent le nom SAHRAOUI et KADRI

*Et mon petit frère « **Zino** » qui est décédé c'est déjà 2 ans que dieu le biniez*

Spécialement

A tous mes fidèles amis surtout Chamso, Bilel, Rabah, Oussama, Belaid, Mustapha,

Ghano et Amine .

A l'ensemble des étudiants de ma promotion, particulièrement ceux système de télécommunications

Sans oublier tous mes enseignants qui ont contribué à ma formation, depuis le Primaire à ce jour,

Enfin, à tous ceux que j'aime, et qui m'aiment

Walid

DEDICACES

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

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

Ce travail est le fruit de tes sacrifices que tu as Consentis pour mon éducation et ma formation

Je dédie ce travail à mes parents pour ses encouragements et ses prières tout au long de mes études, pour tous ce qu'ils avaient fait pour avoir ce résultat.

Je le dédie à mes frères Tarik et Badro et mes sœurs Rajaa et Maroua, à mon cousin Walid et à ma grande famille.

À mes préfères amis :Hiba ,Mustapha ,Mouh ,Ghano , Rabah, Walid ,Salim ,Farouk .

OUSSAMA

ملخص :

لقد أنشأت شبكات الهاتف المحمول في بداية الأمر من أجل استعمال الصوت كأداة للتواصل (الجيل الأول) و (الجيل الثاني) وتدريجيا تطورت طبيعة الحركة نحو المزيد من الخدمات المعقدة مثل: نقل البيانات ,الرسائل القصيرة، الاتصال بشبكة الإنترنت ، التلفزيون المتنقل وخدمات الوسائط المتعددة(الجيل الثالث).

لقد أحدث جيل الأخير من شبكات الهواتف النقالة (الجيل الرابع) مثل LTE زيادة حقيقية في سرعة نقل المعلومات و يتيح قابلية التوافق مع الشبكات الأخرى .

في هذه الدراسة قمنا بفعل محاكاة مكالمة هاتفية مع استخدام آلية تنسيق المناولة لتقديم مؤشرات جودة الخدمة باستخدام شبكة المحاكاة NS3

كلمات مفتاحيه : الجيل الرابع ,آلية تنسيق المناولة ,محاكاة مكالمة هاتفية, LTE.

Résumé

Les réseaux mobiles ont été fondés initialement pour le trafic de la voix (1G) et (2G) Progressivement, la nature du trafic a évolué vers des services plus complexes comme le transfert des données tels que les SMS, l'accès Internet, la télévision mobile et les services de la multimédia (3G). La dernière génération de réseaux de la téléphonie mobile (4G) comme LTE apporte une véritable augmentation du débit et permet l'interopérabilité avec les autres réseaux.

Nous avons fait une simulation d'un appel téléphonique avec l'utilisation du mécanisme du handover afin de présenter les Indicateurs de qualité de service en utilisant le simulateur réseau NS3.

Mots clé : 4G, LTE, simulation, QoS, NS3, handover.

Abstract

The mobile networks were initially established for the voice traffic (1G) and (2G). Gradually, the nature of the traffic has evolved towards more complex services like the data's transfer such as SMS, internet access, mobile TV and multimedia services (3G). The latest generation of the mobile networks (4G) as LTE provides a real increase of the debit and enables interoperability with other networks. We did a simulation of a phone call with enabling the handover mechanism during the communication to present the service quality indicators using the network simulator NS3.

key words : 4G, LTE, simulation, QoS, NS3, handover.

TABLE DES MATIERE

LISTE DES FIGURES I

LISTE DES TABLEAUX III

LISTE DES ACRONYMES IV

INTRODUCTION GENERALE 1

CHAPITRE I : L'EVOLUTION DES RESEAUX MOBILES

1.Introduction 2
2. Les réseaux mobiles de la première génération 2
3. Les réseaux mobiles de la deuxième génération 3
3.1. Le GSM 3
3.2. Le GPRS (General Packet Radio Service) 10
4. Les réseaux mobiles de troisième génération 10
4.1. L'UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) 10
4.2. L' HSPA (High Speed Packet Access) 15
4.3. L' HSPA+ 16
5. Comparaison entre les technologies de 2G et 3G 17
6. Conclusion 18

CHAPITRE II : LE RESEAU LTE

1.Introduction 20
2. Le LTE 20
3. Buts de la normalisation LTE 20
3.1. Débits et efficacité spectrale 20
3.2. Le délai 21
3.3. La mobilité 21
3.4. La couverture 21
3.5. La coexistence 21
4. Architecture de la technologie LTE 21
4.1. L'équipement d'utilisateur (UE) 22
4.2. L'architecture de l'interface radio 22
4.3. Le réseau cœur EPC (Evolved Packet Core) 23
4.4. Le réseau IMS 25

5. Les couches protocolaires dans le LTE 25
5.1. La couche physique 26
5.2. Les couches MAC (Media Access Control) et RLC (Radio Link Control) 27
5.3. La couche PDCP (Packet Data Control Protocol) 27
5.4. La couche RRC (Radio Resource Control) 27
5.5. La couche NAS (Non-Access Stratum) 28
6. Techniques de transmission et de multiplexage 28
6.2. SC-FDMA 32
7. La technologie MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) 33
8. La structure d'une trame LTE 34
9. Les méthodes de duplexage 35
9.1. Le FDD (Frequency Division Duplexing) 35
9.2. Le TDD 36
10. Conclusion 36

CHAPITRE III : LA QUALITE DE SERVICE (QOS) ,HANDOVER ET LES MODELES DE PROPAGATION SUR LTE

1. Introduction 37
2. La qualité de service 37
2.1. But de la QoS 37
2.2. Paramètres de la QoS 37
3. Handover 39
3.1. Les différents types de handover 39
3.3. Rôle de l'UE 42
3.4. Le handover au sein du système LTE 42
4. Les modèles de propagation 44
4.1. Le model SUI (Stanford University Interim) 44
4.2. Le modèle Okumura 46
4.3. Le model de Propagation Cost-231 Hata 47
4.4. Le model COST-231 Walfisch-Ikegami 48
4.5. Le model Ericsson 9999 49
5. Conclusion 50

CHAPITRE IV : RESULTAS ET INTERPRETATIONS

1. Introduction 51
2. Le NS-3 51

2.1. Terminologie et abstractions 52
2.2. Installation du simulateur NS-3 52
2.3. Les étapes pour réaliser une simulation dans NS-3 54
3. Déroulement de la simulation 56
4. Les indicateurs de QoS utilisés dans notre simulation 58
4.1. Le SINR 58
4.2. Le CQI 58
4.3. Le RSRP 60
5. Les résultats et les interprétations de simulation 60
6. Comparaison entre des scenarios avec et sans handover 65
7. Conclusion 66

CONCLUSION GENERALE 67

BIBLIOGRAPHIE

ANNEX : Le programme en NS-3

LISTE DES FIGURES

Figure I.1 : *structure général d'un réseau GSM……..4*

Figure I.2 : *l'architecture du réseau UMTS……13*

Figure I.2 : *Les différents types de Node-B……14*

Figure II.1 : *Architecture simplifiée du réseau LTE……22*

Figure II.2 : *L'architecture d'un E-UTRAN……23*

Figure II-3 : *Positionnement des couches protocolaires. ……26*

Figure II.4 : *Les étapes de connexion entre UE et E-UTRAN*……...……...28

Figure II.5: *La propagation multi-trajet et étalement maximal*……..29

Figure II.6 :*Chaines de transmission et de réception OFDM/OFDMA*……..30

Figure II.7 : *Intervalle de garde du symbole OFDM*……...30

Figure II.8: *L'addition des signaux sinusoïdaux des sous-porteuses*……..31

Figure II.9 : *Rapport pic sur moyenne de la puissance du signal OFDM*……...31

Figure II.10 : *Chaine de transmission et de réception SC-FDMA*……..32

Figure II.11: *Techniques de transmission OFDMA*……33

Figure II.12: *Techniques de transmission SC-FDMA*……...……..33

Figure II.13 : Le *fonctionnement de l'antenne SISO et MIMO*……...……34

Figure II.14 : *Le fonctionnement d'une trame radio……35*

Figure III.1 : *Principes du soft handover et du hard handover……40*

Figure III.2 :*Le facteur d'atténuation Median pour Okumura Modèle……47*

Figure IV.1 : *Architecture du nœud NS-3……53*

Figure IV.2 : *Les étapes de nos simulations sous NS-3……55*

Figure IV.3 : *le scenario de notre projet*……56

Figure IV.4 : *L'organigramme de notre simulation*……57

Figure IV.5 : *Valeurs du CQI en fonction de QPSK*……59

Figure IV.6: *Valeurs du CQI en fonction de la modulation 16QAM*……60

Figure IV.7: *Valeurs du CQI en fonction de la modulation64QAM*……61

Figure IV.8 : *SINR en fonction de la distance sur la voie descendante*……62

Figure IV.9 : *SINR en fonction de la distance sur la voie montante*……63

Figure IV.10 : *RSRP en fonction de la distance*……64

Figure IV.11: *SINR en fonction RSRP*……65

Figure IV.12 : *CQI en fonction de la distance*……66

Figure IV.13 : *SINR en fonction de la distance*……68

LISTE DES TABLEAUS

Tableau I.1 : *Comparaison des technologies de la 2G et la 3G du groupe 3GPP….18*

Tableau III.1 : *Différents terrains et leurs paramètres……45*

Tableau IV.1 : *Les valeurs de CQI en fonction de la modulation* ……59

LISTE DES ACRONYMES

1G	**1**ère **G**énération
2G	**2**ème **G**énération
3G	**3**ème **G**énération
3GPP	**3**rd **G**eneration **P**artnership **P**roject
4G	**4**ème **G**énération
AMPS	**A**dvanced **M**obile **P**hone **S**ystem
AUC	**A**uthentification **C**enter
BSC	**B**ase **S**tation **C**ontroller
BSS	**B**ase **S**tation **S**ub-system
BTS	**B**ase **T**ransceiver **S**tation
CC	**C**ountry **C**ode
CDMA-2000	**C**ode **D**ivision **M**ultiple **A**ccess-**2000**
CQI	**C**hannel **Q**uality **I**ndicator
CPC	**C**ontinuous **P**acket **C**onnectivity
CS	**C**ircuit **S**witching
D-AMPS	**D**igital **A**MPS
DCS1800	**D**igital **C**ellular **S**ystem **1800**
DPC	**D**ynamic **P**ower **C**ontrol
EIR	**E**quipment **I**dentity **R**egister
EPC	**E**volved **P**acket **C**ore
ETACS	**E**xtended **T**otal **A**ccess **C**ommunication **S**ystem
E-UTRAN	**E**volved **U**MTS **T**errestrial **R**adio **A**ccess **N**etwork
FDD	**F**requency **D**ivision **D**uplex
FDMA	**F**requency **D**ivision **M**ultiple **A**ccess
FFT	**F**ast **F**ourier **T**ransform
FH	**F**requency **H**opping
GGSN	**G**ateway **G**PRS **S**upport **N**ode
GPRS	**G**eneral **P**acket **R**adio **S**ervice
GSM	**G**lobal **S**ystem for **M**obile communications
HARQ	**H**ybrid **A**utomatic **R**epeat on **R**equest
HLR	**H**ome **L**ocation **R**egister

HSS	**H**ome **S**ubscriber **S**erver
HSDPA	**H**igh **S**peed **D**ownlink **P**acket **A**ccess
HSPA	**H**igh **S**peed **P**acket **A**ccess
HSUPA	**H**igh **S**peed **U**plink **P**ack **A**ccess
IES	**I**nterférences **E**ntre **S**ymboles
IFFT	**I**nverse **F**ast **F**ourier **T**ransform
IMEI	**I**nternational **M**obile **E**quipment **I**dentity
IMS	**I**P **M**ultimedia **S**ubsystem
IMSI	**I**nternational **M**obile **S**ubscriber **I**dentity
IMT2000	**I**nternational **M**obile **T**elecommunications 2000
ISDN	**I**ntegrated **S**erving **D**igital **N**etwork
LAI	**L**ocation **A**rea **I**dentity
LTE	**L**ong **T**erm **E**volution
MAC	**M**edia **A**ccess **C**ontrol
MCC	**M**obile **C**ountry **C**ode
ME	**M**obile **E**quipment
MIMO	**M**ultiple-**I**nput **M**ultiple-**O**utput
MME	**M**obility **M**anagement **E**ntity
MNC	**M**obile **N**etwork **C**ode
MS	**M**obile **S**tation
MSC	**M**obile **S**ervices **S**witching **C**enter
MSIN	**M**obile **S**tation **I**dentification **N**umber
MSISDN	**M**obile **S**tation **ISDN**
NAS	**N**on-**A**ccess **S**tratum
NDC	**N**ational **D**estination **C**ode
NGN	**N**ext **G**eneration **N**etwork
NS-3	**N**etwork **S**imulation-**3**
NSS	**N**etwork **S**witching **S**ub-system
OFDM	**O**rthogonal **F**requency **D**ivision **M**ultiplexing
OFDMA	**O**rthogonal **F**requency **D**ivision **M**ultiple **A**ccess
OMC	**O**peration and **M**aintenance **C**enter
OMC-M	**O**peration and **M**aintenance **C**enter-**M**aintenance
OMC-R	**O**peration and **M**aintenance **C**enter-**R**adio
OMC-S	**O**peration and **M**aintenance **C**enter- **S**witching

OSS	**O**perating **S**ub-**S**ystem
PAPR	**P**eak to **A**verage **P**ower **R**atio
PCRF	**P**olicy and **C**harging **R**ules **F**unction
PDC	**P**assific **D**igital **C**ellular
PDCP	**P**acket **D**ata **C**ontrol **P**rotocol
PDN-GW	**P**acket **D**ata **N**etwork **G**ateway
PL	**P**ath **L**oss
PS	**P**aquets Switching
PSTN	**P**ublic **S**witched **T**elecommunication **N**etwork
P-TMSI	**P**acket – **T**emporary **M**obile **S**ubscriber **I**dentity
QoS	**Q**uality **o**f **S**ervice
RA	**R**outing **A**rea
RAN	**R**adio **A**rea **N**etwork
RLC	**R**adio **L**ink **C**ontrol
RACH	**R**andom **A**ccess Channel
RNC	**R**adio **N**etwork **C**ontroller
RNIS	**R**éseau **N**umérique à **I**ntégration de **S**ervice
ROS	**R**apport des **O**ndes **S**tatiques
RRC	**R**adio **R**esource **C**ontrol
RSRP	**R**eference **S**ignal **R**eceived **P**ower
RTCP	**R**éseau **T**éléphonique **P**ublic **C**ommuté
SAE	**S**ystem **A**rchitecture **E**volution
SC-FDMA	**S**ingle **C**arrier- **F**DMA
SINR	**S**ignal **I**nterference **N**oise **R**atio
SGSN	**S**erving **G**PRS **S**upport **N**ode
SGW	**S**erving **G**ateway
SIM	**S**ubscriber **I**dentity **M**odule
SN	**S**ubscriber **N**umber
SUI	**S**tanford **U**niversity **I**nterim
TACS	**T**otal **A**ccess **C**ommunication **S**ystem
TD-CDMA	**T**ime **D**ivision **CDMA**
TDD	**T**ime **D**ivision **D**uplex
TDMA	**T**ime **D**ivision **M**ultiple **A**ccess
TD-SCDMA	**T**ime **D**ivision **S**ynchronous **CDMA**.

TE	**T**erminal **E**quipment.
TMSI	**T**emporary **M**obile **S**ubscriber **I**dentity.
UE	**U**ser **E**quipment.
UICC	**U**niversal **I**ntegrated **C**ircuit **C**ard.
UMTS	**U**niversal **M**obile **T**elecommunications **S**ystem.
USIM	**UMTS S**ubscriber **I**dentity **M**odule.
UTRAN	**U**MTS **T**errestrial **R**adio **A**ccess **N**etwork.
VLR	**V**isitor **L**ocation **R**egister.
VMware	**V**irtuel **M**achine **w**are.
VoIP	**V**oice **o**ver **IP**
W-CDMA	**W**ideband **C**ode **D**ivision **M**ultiple **A**ccess.
WiFi	**W**ireless **F**idelity.

INTRODUCTION GENERALE

L'évolution et la progression de la téléphonie cellulaire ont connu un sommet avec la création d'Internet et sa propagation à travers les cinq coins du monde. Ce dernier joue un rôle efficace dans la distribution et le partage rapide et gratuit de l'information.

Les téléphones cellulaires sont en progression constante. Ils sont utilisés non seulement pour les communications vocales, mais également, grâce aux avancées technologiques, pour la partie vision comme dans (3G, 4G), dans le partage d'applications et même comme modems sans fil ou navigateurs web.

Dans le début des années 2000, plusieurs opérateurs mobiles et équipementiers télécoms et organisations se sont réunies dans le but de développer un réseau de mobile dit nouvelle génération basée sur la 3G et appelée LTE (Long Term Evolution). Le principal avantage de ce nouveau standard est de permettre des débits pouvant aller jusqu'à 1 Gbit/s en vitesses fixes (stable), et 100 Mbit/s pour les utilisateurs mobiles.

Dans ce mémoire nous allons présenter les différentes générations de la téléphonie mobile, on commencera par la première génération ensuite la génération très connu dans le monde la 2G (GSM), c'est la norme la plus utilisée dans le monde de nos jours et est toujours utilisée, ensuite on passera à la 2.5G (GPRS) le réseau issu du réseau GSM, ce réseau est une extension du réseau GSM, après on présentera les réseaux 3G (UMTS).

Notre travail est concentré de faire une simulation d'un appel téléphonique mobile avec handover dans le réseau LTE, pour cela on va étudier ce réseau en détail, présenter et étudier ces performances, présenter les différentes Qualités de Service, et enfin faire une simulation démontrant l'intérêt de faire le handover pour meilleur performances de QoS des réseaux de 4ème génération cellulaire.

Pour effectuer ce travail nous avons choisis de travailler avec le simulateur ns-3 à fin de pouvoir faire une bonne simulation et obtenir de bon résultat qui est similaire à celle qui existe en réalité.

CHAPITRE I

L'EVOLUTION DES RESEAUX MOBILES

1.Introduction

Les réseaux mobiles et sans fil évoluent très rapidement. Les premières expériences réalisées dans le domaine de la transmission sans fil consistaient à définir une zone de couverture relativement grande puis à y installer une antenne relais, laquelle servait de point d'accès aux utilisateurs qui évoluaient dans cette zone. Cette technique nécessitait une puissance d'émission importante, capable d'atteindre la périphérie de la couverture. La forte atténuation du signal au niveau de cette périphérie permettait de réutiliser les fréquences de l'antenne relais [1].

Ce chapitre concerne d'une part l'évolution des réseaux mobiles et les principes fondamentaux de communication sans fil (les architectures, les caractéristiques, les services fournissent) et l'intégration des réseaux mobiles dans l'architecture Internet. D'autre part, il décrit les fonctionnements de réseaux mobiles (GSM, GPRS, UMTS et LTE) [2].

2. Les réseaux mobiles de la première génération

La 1ère génération des téléphones mobiles dédiés essentiellement à la transmission de la voix et offre un service médiocre de communication mobile, médiocre mais très couteux. La 1 génération (1G) avait beaucoup de défauts : Des normes incompatibles d'une région à une autre, une transmission analogique non sécurisée (on pouvait intercepter « écouter » les appels), pas de roaming, veut dire il n` y a pas la possibilité de conserver son numéro sur un réseau autre que celui de son opérateur vers l'international [3].

De nombreux systèmes cellulaires 1G ont été développé a travers le monde. ils utilisent généralement la technique FDMA, il s'agissait principalement des standards suivants:

- AMPS (Advanced Mobile Phone System), apparu en 1976 aux Etats-Unis, constitue le premier standard de réseau cellulaire. Utilisé principalement Outre-Atlantique, en Russie et en Asie.

- TACS (Total Access Communication System) est la version européenne du modèle AMPS. Utilisant la bande de fréquence de 900 MHz, ce système fut notamment largement utilisé en Angleterre, puis en Asie (Hong-Kong et Japon).

- ETACS (Extended Total Access Communication System) est une version améliorée du standard TACS développé au Royaume-Uni utilisant un nombre plus important de canaux de communication [4].

Les systèmes 1G présentent beaucoup de points faibles la plus grandes faiblesse demeure leur capacité limité qui rendu opportune l'introduction d'une technologie de deuxième génération.

3. Les réseaux mobiles de la deuxième génération

La deuxième génération (2G) de la téléphonie mobile repose sur une technologie numérique a été développée à la fin des années 1980. Ces systèmes cellulaires utilisent une technologie numérique pour la liaison ainsi que pour le signal vocal. Ce système apporte une meilleure qualité comparativement à la première génération ainsi qu'une plus grande capacité à moindre coût pour l'utilisateur [4]. L'usage de la technologie numérique a en effet permis de résoudre les problèmes de la capacité et de la sécurité inhérent aux systèmes 1G. La différence entre la 1G et la 2G se trouve au niveau des signaux radios : les réseaux 1G travaillent avec des signaux analogiques, tandis que dans la 2G, les signaux sont numériques.

Au début des années 1990, plusieurs technologies numériques cellulaires font leur apparition :

- GSM (Global System for Mobile communications), en Europe fonctionnant à 900 MHz.
- DCS1800 (Digital Cellular System 1800) système équivalent au GSM mais avec des fréquences plus élevé 1800 MHz.
- PCS1900 (Personnel communication System1900) et le D-AMPS (Digital AMPS) au Etats Unis.
- PDC (Passific Digital Cellular) au Japon.

3.1. Le GSM

Dans cette partie, on va étudier le réseau GSM car c'est la technologie utilisée dans notre région (L'Afrique de nord et l'Europe).

3.1.1. Structure générale d'un système GSM

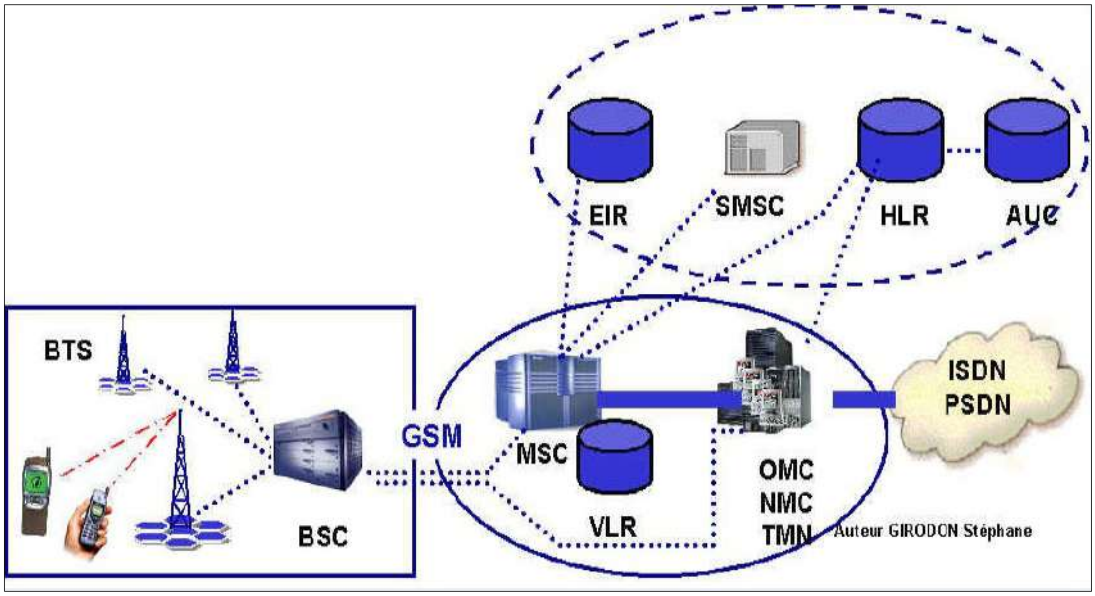


Figure I.1 : *structure général d'un réseau GSM.*

3.1.1.1. Mobile Station

La Station Mobile (MS) est composée d'un terminal GSM et d'une carte SIM (Subscriber Identity Module), qui sert à identifier l'abonné indépendamment du terminal employé; il est donc possible de continuer à recevoir et à émettre des appels et d'utiliser tous ces services simplement grâce à l'insertion de la carte SIM dans un terminal quelconque [5].

- **Le terminal GSM**

Le terminal est identifié (exclusivement) à l'intérieur de n' importe quel réseau GSM par l'International Mobile Equipment Identity (IMEI) qui est un numéro à 15 chiffres .

- **La carte SIM**

La carte SIM contient le IMSI (International Mobile Subscriber Identity), qui sert à identifier l'abonné dans n'importe quel système GSM et les procédures de cryptographie qui sécurise les informations de l'utilisateur ainsi que d'autres données telles que, par exemple, la mémoire alphanumérique du téléphone et la mémoire relative aux messages de texte(SMS) et enfin les mots de passe qui empêchent l'utilisation interdite de la carte et l'accès à d'autres fonctions supplémentaires.

L'IMSI présente la structure suivante la norme E212[6] : MCC / MNC / MSIN

Où:

MCC = **Mobile Country Code** (2 ou 3 chiffres, pour l'Algérie 213).
MNC = **Mobile Network Code** (2 chiffres, pour l'opérateur, exemple ooredoo 05).
MSIN = **Mobile Station Identification Number** (maximum 10 chiffres)

3.1.1.2. Le sous-système radio BSS (Base Station Sub-system)

Sa fonction principale est la gestion de l'attribution des ressources radio, indépendamment des abonnés, de leur identité ou de leur communication. On distingue dans le BSS :

- **La station de base BTS (Base Transceiver Station)**

La BTS contient tous les émetteurs-récepteurs reliés à la cellule et dont la fonction est de transmettre et recevoir des informations sur le canal radio en proposant une interface physique entre la Mobile Station et le BSC. La BTS exerce une série de fonctions décrites ci-après :

- Mesures des interférences sur les canaux non alloués à des communications (idle channels).

- Mesures sur la liaison montante (up-Link), servant à l'algorithme de décision du handover.

- Calcul l'avance de temps (Timing Advance) pour la synchronisation temporelle, selon la distance qui sépare la BTS du mobile.

- Détection des demandes d'accès des mobiles reçus sur le canal de contrôle commun (RACH).

-Détection des messages de handover access (HO ACCESS).

- La capacité de gérer les canaux Full Rate et Half Rate.

- La gestion de la Diversité d'Antennes, autrement dit l'utilisation de deux antennes de réception afin d'améliorer la qualité de signal reçu; les deux antennes reçoivent le même signal, indépendamment l'une de l'autre et sont atteintes différemment par le fading qu' est une déviation de l'atténuation affectant un signal sur certains milieux de propagation. (la probabilité qu'elles soient atteintes en même temps par un fading important est presque nulle).

- La supervision du Rapport des Ondes Statiques (ROS) en antenne (OMC).

- Le saute de fréquence (Frequency Hopping **FH**): la variation de fréquence utilisée dans un canal radio à des intervalles réguliers, afin d'améliorer la qualité du service à travers

la diversité dans la fréquence. L'étalement de spectre par saut de fréquence a originalement été conçu dans un but militaire afin d'empêcher l'écoute des transmissions radio [7].

- Le Contrôle Dynamique de la Puissance (DPC) de la MS et des BTS: le BSC détermine la puissance optimale avec laquelle la MS et le BTS effectuent la transmission sur le canal radio

- La gestion des algorithmes de chiffrage: l'information de l'utilisateur est cryptographiée afin de garantir à l'abonné une certaine réserve sur le canal du trafic et sur celui de codage.

- Le gestion de la connexion radio se fait en relevant les signaux radiofréquences, ces relevés sont ensuite envoyés au BSC (OMC-R) pour l'élaboration afin d'assurer un haut niveau de qualité à la communication radio [5].

- **La station de contrôle (BSC)**

Gère les ressources radio pour une ou plusieurs BTS, à travers le monitorage de la connexion entre la BTS et les MSC (il s'agit des centrales de commutation qui offrent la liaison au réseau fixe ou à d'autres réseaux), et aussi, à travers les canaux radio, le codage, le frequency hopping et les handovers. Il permet plus précisément:

- La gestion et la configuration du canal radio : il doit choisir pour chaque appel la cellule la mieux adaptée et doit sélectionner à l'intérieur de celle-ci le canal radio le plus adapté à la mise en route de la communication.

- La gestion de handover intra BSC : il décide, sur la base des relevés reçus par la BTS, le moment pour effectuer le handover, autrement dit, le changement de cellule lors des déplacements de l'utilisateur pendant une conversation, à l'intérieur de la surface de couverture de sa compétence.

- Les fonctions de décodage des canaux radio Full Rate (16 kbps) ou Half Rate (8 kbps) pour des canaux à 64 kbit/s.

3.1.1.3. Le sous-système réseau NSS (Network Switching Sub-system)

Il assure principalement les fonctions de commutation et de routage. C'est donc lui qui permet l'accès au réseau public RTCP (Réseau Téléphonique Public Commuté) en anglais c'est PSTN (Public Switched Telecommunication Network) ou RNIS (Réseau Numérique à Intégration de Service) en anglais c'est ISDN (Integrated Serving Digital Network).En plus

des fonctions indispensables de commutation, on y retrouve les fonctions de gestion de la mobilité, de la sécurité et de la confidentialité qui sont implantées dans la norme GSM [5].

- **Le MSC (Mobile Services Switching Center)**

Le MSC (Mobile Switching Centre) est l'élément central du NSS. il assure la commutation des appels en cours entre des BSC ou vers un autre MSC. Il gère aussi grâce aux informations reçues par le HLR et le VLR, la mise en route et la gestion du codage de tous les appels directs et en provenance de différents types de réseau.

- **L'EIR (Equipment Identity Register)**

Un EIR sauvegarde toutes les identités des équipements mobiles utilisés dans un réseau GSM. Cette fonctionnalité peut être intégrée dans le HLR et chaque poste mobile est enregistré dans l'EIR dans une liste :

-Liste "blanche" : poste utilisable sans restriction.

-Liste "grise" : poste sous surveillance (traçage d'appels).

-Liste "noire" : poste volé ou dont les caractéristiques techniques sont incompatibles, avec la qualité requise dans un réseau GSM (localisation non autorisée) [8].

- **Le HLR (Home Location Register)**

Le HLR est une base des données des utilisateurs qui souscrivent au réseau GSM, toutes les informations qui concernent ses identifications sont mémorisées sur le HLR. Il a pour mission de communiquer au VLR pour la mise a jour de quelques données relatives aux abonnés, lorsque ces derniers se déplacent d'une zone à une autre. A l'intérieur du HLR les abonnés sont identifiés comme suit : MSISDN(Mobile Station ISDN Number) (norme E.164 **[9]**) = CC / NDC / SN

Où :

- CC (Country Code), un indicatif international (le CC Algérie 213)
- NDC (National Destination Code),un indicatif national de l'abonné sans le zéro.
- SN (Subscriber Number), un numéro qui identifie l'utilisateur mobile.
- MSISDN : un identifie exclusivement un abonnement d'un téléphone mobile sur le plan de numérotation du réseau public international commuté.

A) Les informations de type permanent :

- Le IMSI (International Mobile Subscriber Identity), information qu'identifie exclusivement l'abonné à l'intérieur de tout réseau GSM et qui se trouve aussi bien dans la carte SIM.

- Le MSISDN.

Tous le services auxquels l'abonné a souscrit et auxquels il est capable d'accéder (voix, service de donnés, SMS, éventuels verrouillages des appels internationaux, et d'autres services complémentaires).

B) Les informations de type dynamique :

- La position courante de la station mobile MS, autrement dit l'adresse de VLR sur lequel elle a été enregistrée.
- Eventuellement la situation d'un certain nombre de services auxiliaires.

➢ Le VLR (Visitor Location Register)

Le VLR est une base de données qui mémorise de façon temporaire les données concernant tous les abonnés qui appartiennent à la surface géographique qu'elle contrôle. Ces données sont réclamées à l'HLR auquel l'abonné appartient. Généralement pour simplifier les données réclamées et ainsi la structure du système, les constructeurs installent le VLR et le MSC côte à côte, de telle sorte que la surface géographique contrôlée par le MSC et celle contrôlée par le VLR correspondant.

Plus précisément il contient les informations suivantes :

- Temporary Mobile Subscriber Identity (TMSI), il est employé comme garant de la sécurité.
- IMSI (il est attribué à chaque changement de LA).
- La condition de la MS (en veille, occupée, éteinte).
- L'état des services complémentaires (comme : Call Waiting, Call Divert, Call Barring, etc).

- Les types de services auxquels l'abonné à souscrit et auxquels il a droit d'accès (le profile: voix, service de données, SMS, d'autres services auxiliaires).

- La Location Area Identity (LAI) qui comprend la MS faisant partie du groupe contrôlé par le MSC/VLR.

- **L'AUC (Authentication Center) :**

Le Centre d'authentification est une fonction du système qui a pour but de vérifier si le service est demandé par un abonné autorisé, et ceci en fournissant soit les codes pour l'authentification que pour le chiffrage. Le mécanisme d'authentification vérifie la légitimité de la SIM sans transmettre, pour autant, sur le canal radio les informations personnelles de l'abonné, telles l'IMSI et la clef de chiffrage dans le but de vérifier si l'abonné qui essaye d'accéder au service est autorisé et n'est pas abusif. Le chiffrage par contre génère quelques codes secrets qui serviront pour cryptographier tous les échanges qui ont lieu sur le canal radio. Les codes d'authentification et de chiffrage sont obtenus aléatoirement pour chaque abonné grâce à quelques ensembles d'algorithmes définis par le standard et sont mémorisés soit sur l'AUC que sur la SIM.

3.1.1.4 Le sous-système opérationnel OSS (Operating Sub-System)

Il assure la gestion et la supervision du réseau. C'est la fonction dont l'implémentation est laissée avec le plus de liberté dans la norme GSM. La supervision du réseau intervient à de nombreux niveaux :

- Détection de pannes.
- Mise en service de sites.
- Modification de paramétrage.
- Réalisation de statistiques.

Dans les OMC (Operation and Maintenance Center), on distingue l'OMC-R (Radio) qui est relié à toutes les entités du BSS, à travers les BSC, l'OMC-S (Switching) qui est relié au sous système NSS à travers les MSC. Enfin l'OMC-M (Maintenance) contrôle l'OMC-R et l'OMC-S [5].

3.2. Le GPRS (General Packet Radio Service)

Le GPRS peut être considéré comme une évolution des réseaux GSM avant leur passage aux systèmes de troisième génération. En termes de services et de débits. Toutefois, la transition du GSM au GPRS demande plus qu'une simple adaptation logicielle **[2].**on parle généralement de 2.5G pour classifier le standard GPRS. Le GPRS permet d'étendre l'architecture du standard GSM, afin d'autoriser le transfert de données par paquets, avec des débits théoriques maximums de l'ordre 171,2 kbit/s (en pratique jusqu'à 114 kbit/s).

Grâce au mode de transfert par paquets, les transmissions de données n'utilisent le réseau que lorsque c'est nécessaire. Le standard GPRS permet donc de facturer l'utilisateur au volume échangé plutôt qu'à la durée de connexion, ce qui signifie notamment qu'il peut rester connecté sans surcoût. [4]

Le GPRS s'inspire des usages devenus courants d'Internet : lors de la consultation de pages Web, une session peut durer plusieurs dizaines de minutes alors que les données ne sont réellement transmises que pendant quelques secondes, lors du téléchargement des pages. Le trafic de données ainsi engendré est donc très sporadique, contrairement à celui de la voix **[2].**

4. Les réseaux mobiles de troisième génération

Il existe plusieurs technologies 3G dans le monde. Chacune d'elles suivent les recommandations IMT2000. Suivant les continents, la norme utilisée est différente :

- Europe: UMTS (Universal Mobile Telecommunications System).
- Amérique: CDMA-2000.
-Japon et Corée du sud : W-CDMA (Wideband Code Division Multiple Access).
- Chine : TD-SCDMA.

Ces normes permettent de transporter les données sans-fil à haut-débit sur la même connexion. La particularité des technologies 3G est d'avoir un réseau cœur IP [10].

4.1. *L'UMTS (Universal Mobile Telecommunications System)*

L'UMTS désigne une technologie retenue dans la famille dite IMT 2000 (International Mobile Telecommunications) comme norme pour les systèmes de télécommunications mobile

dits de troisième génération (3G), qui succéderont progressivement au standard actuel : le GSM.

L'UMTS permet des améliorations substantielles par rapport au GSM, notamment :

- Elle rend possible un accès plus rapide à Internet depuis les téléphones portables, par un accroissement significatif des débits des réseaux de téléphonie mobile.
- Elle améliore la qualité des communications en tendant vers une qualité d'audition proche de celle de la téléphonie fixe.
- Elle permet de concevoir une norme compatible à l'échelle mondiale, contrairement aux technologies actuelles (les normes utilisées aux Etats-Unis et au Japon ne sont pas toutes compatibles avec le GSM).
- Elle répond au problème croissant de saturation des réseaux GSM, notamment en grandes villes. Les technologies développées autour de la norme UMTS conduisent à une amélioration significative des vitesses de transmission pouvant atteindre 2 Mbit/s. De tels débits sont significativement supérieurs à ceux permis par les réseaux GSM actuels (9,6 kbit/s) ou par le GPRS.
- Cette amélioration des débits est rendue possible par l'évolution des technologies radio qui autorise une meilleure efficacité spectrale et l'exploitation de bandes de spectre de fréquence supérieure à celles utilisées par la technologie GSM. Alors que les réseaux GSM déployés au cours des dernières années reposaient sur l'utilisation de bandes de fréquences autour de 900 MHz et de 1800 MHz, la norme UMTS exploite de nouvelles zones du spectre (notamment les bandes 1920-1980 MHz et 2110-2170 MHz).
- Ces différences entre les normes GSM et UMTS rendent nécessaires le déploiement de nouveaux réseaux de stations de base, y compris pour les opérateurs existants [10].

4.1.1. Les multiplexages

Le CDMA (Code Division Multiple Access) est basé sur la répartition par codes. En effet, chaque utilisateur est différencié du reste des utilisateurs par un code N qui lui a été alloué au début de sa communication et qui est orthogonal au reste de codes liés à d'autres utilisateurs. Dans ce cas, pour écouter l'utilisateur, le récepteur n'a qu'à multiplier le signal reçu par le code N associé à cet utilisateur. La tentative de choix d'une interface radio unique, parmi plusieurs propositions de constructeurs et d'opérateurs, a finalement abouti, début 1998, à l'adoption de deux normes d'interface différentes incompatibles entre elles et qui sont toutes

deux des évolutions de la technique CDMA : W-CDMA (Wide Band CDMA) et TD-CDMA (Time Division CDMA).

Le W-CDMA utilise le mode de duplexage FDD (Frequency Division Duplex). W-CDMA utilise deux bandes passantes de 5 Mhz, l'une pour le sens montant (Up-Link), l'autre pour le sens descendant (Down-Link). Le débit maximal supporté par un seul code est de 384 kbit/s. Pour les services à haut débit, plusieurs codes sont nécessaires pour supporter un débit de 2 Mbit/s.

Le TD-CDMA utilise le mode de duplexage TDD (Time Division Duplex). TD-CDMA n'utilise qu'une bande passante de 5 Mhz divisée en intervalles de temps (time slot) ; elle est utilisée pour les deux sens. Elle comprend donc une composante TDMA (Time Division Multiple Access) fondée sur la trame GSM en plus de la séparation par code. Ce concept offre une large gamme de débits (2 Mb/s) de service en allouant plusieurs codes ou plusieurs intervalles de temps à un utilisateur.

Le WCDMA est particulièrement adapté aux grandes cellules alors que TD-CDMA est limité aux petites cellules. En terme de services supportés, W-CDMA est adapté aux services symétriques (voix et services de données à bas et moyen débit) alors que TD-CDMA est approprié pour les services de données en mode paquet, à haut débit et asymétrique. Ces deux modes devront cohabiter dans un même terminal et un même réseau afin de couvrir l'ensemble des services et des environnements prévus pour l'UMTS [10].

4.1.2. L'architecture de l'UMTS

L'architecture UMTS est constituée d'une partie radio appelée UTRAN et d'une partie réseau de base appelée CN (Core Network). Les trois versions de l'architecture UMTS (R3, R4, R5) considèrent une même partie radio. Par contre, la partie réseau de base (CN) est différente d'une release à l'autre. La Release 3 (Aussi appelée Release 99) des spécifications de l'UMTS élaborée dans le cadre du projet de partenariat de 3ème génération (3GPP, 3rd Generation Partnership Project). On observe que seule la partie radio a changé de BSS au GSM vers l'UTRAN dans UMTS [10].

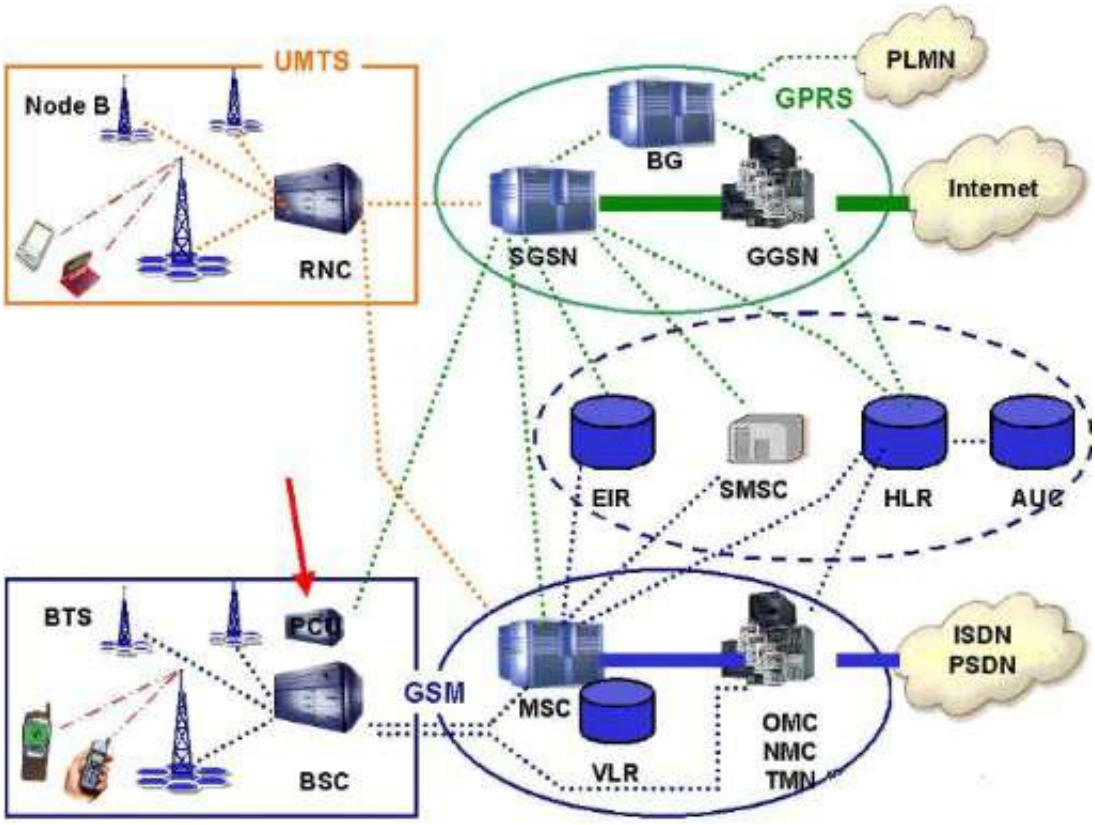


Figure I.2 : *l'architecture du réseau UMTS*

.

4.1.2.1. Station Mobile (UE, User Equipment)

L'utilisateur UMTS est équipé d'un UE (User Equipment) qui se composé du Mobile Equipment (ME) correspondant au combiné téléphonique (terminal mobile) et la carte USIM (UMTS Subscriber Identity Module). Le rôle de l'USIM est semblable à celui de la carte SIM en GSM. Elle enregistre les identités de l'abonné telles que l'IMSI, TMSI,P-TMSI(Packet – Temporary Mobile Subscriber Identity (pour PS Domain)), les données de souscription, la clé de sécurité (Ki) et les algorithmes d'authentification et de génération de clé de chiffrement. Le UE peut se rattacher simultanément aux domaines circuit (MSC) et paquet (SGSN) et peut alors disposer simultanément d'un service GPRS et d'une communication téléphonique, comme un terminal GPRS**[10]**.

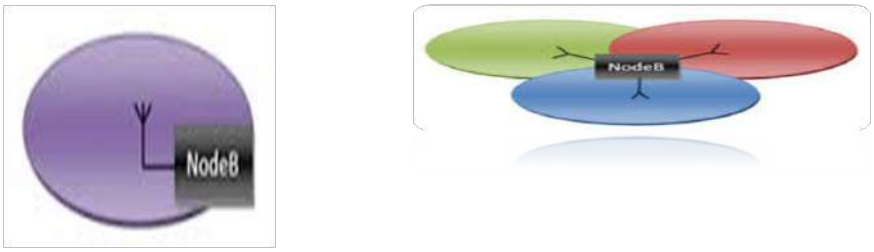
4.1.2.2. le réseau d'accès (UTRAN)

Le sous-système radio se compose de deux éléments distincts, à savoir le noeud B (node B) et le contrôleur de réseau radio RNC (Radio Network Controller).

- Node-B

Le rôle principal du NodeB est d'assurer les fonctions de réception et de transmission radio pour une ou plusieurs cellules du réseau d'accès de l'UMTS avec un équipement usager. Le Node-B travaille au niveau de la couche physique du modèle OSI (codage et décodage). Nous pouvons trouver deux types de Node-B :

Node-B avec antenne omnidirectionnelle et Node-B avec antennes sectorielles. La figure suivante illustre les différents types de Node-B [11].



NodeB avec antenne omnidirectionnelle. NodeB avec antennes sectorielles.

Figure I.3 : *Les différents types de Node-B*

- Le RNC

Le rôle principal du RNC est de router les communications entre le NodeB et le réseau cœur de l'UMTS. Il travaille au niveau des couches 2 et 3 du modèle OSI (contrôle de puissance, allocation de codes). le RNC constitue le point d'accès pour l'ensemble des services vis-à-vis du réseau cœur [11].

4.1.2.3. La partie réseau cœur

Le réseau cœur de l'UMTS est composé de deux domaines :

- Le domaine CS (Commutation de Circuit)

Le domaine CS est composé des mêmes modules que le GSM tel que: Le MSC, Le GMSC (Gateway MSC) et Le VLR. Le domaine circuit permettra de gérer les services temps réels dédiés aux conversations téléphoniques qui nécessitent un temps de transfert rapide [11].

- le domaine PS (Commutation de Paquets)

Le domaine PS est composé de plusieurs modules :

- Le SGSN (Serving GPRS Support Node) : est en charge d'enregistrer les usagers dans une zone géographique dans une zone de routage RA (Routing Area)

- Le GGSN (Gateway GPRS Support Node) : est une passerelle vers les réseaux à commutation de paquets extérieurs tels que l'Internet [11].

La commutation de paquet permettra de gérer les services non temps réels. II s'agit principalement de la navigation sur Internet, de la gestion de jeux en réseaux ainsi que l'accès et l'utilisation des e-mails. 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 environ 2Mbits/s.

L'infrastructure s'appuie alors sur les principaux éléments du réseau GPRS : SGSN (équivalent des MSC / VLR en réseau GSM) et le GGSN (équivalent du GMSC en réseau GSM) [12].

4.1.4. La qualité de service (QoS)

L'UMTS propose quatre classes de qualité de services selon les applications :

- La classe Conversationnel *:* qui permet aux conversations vocales de proposer une bande passante contrôlée avec échange interactif en temps réel avec un minimum de délai entre les paquets.

- *La classe Streaming :* qui permet aux services de streaming de fournir une bande passante continue et contrôlée afin de pouvoir transférer la vidéo et l'audio dans les meilleures conditions.

-*La classe Interactive* : destinée à des échanges entre l'équipement usager et le réseau comme la navigation Internet qui engendre une requête et une réponse par le serveur distant.

-*La classe Background* : qui a la plus faible priorité, permet des transferts de type traitements par lots qui ne demandent pas de temps réel et un minimum d'interactivité (envoi et réception de messages électroniques ou d'un fichier) [11].

4.2. *L' HSPA (High Speed Packet Access)*

Les premières versions du réseau UMTS (3G) proposaient des débits théoriques de 384 Kbits/seconde, loin des 2 Mbits/s promis au début des années 2000. Des débits descendants allant jusqu'à 3,6 Mbits/s sur téléphones mobiles ont pu être constatés, ainsi que des débits

montant jusqu'à 5,8 Mbits/s depuis un PC portable (pourvu d'une carte HSPA Novatel Wireless). Un flux vidéo d'excellente qualité a ainsi été diffusé en direct via le réseau téléphonique mobile 3G.

Le HSPA est en fait une évolution de deux normes: la 3,5G/3G+ ou HSDPA (High speed downlink packet access) et le HSUPA (High speed uplink pack access), la première augmente considérablement les débits pour atteindre 3,6 Mbits. Dans le détail, le HSDPA est la version 5 de la norme WCDMA. Pour les opérateurs, HSDPA permet surtout d'accepter d'avantage d'utilisateurs sur une même fréquence radio, sans pénaliser les autres services.

Cependant, elle ne résout pas toutes les problématiques. Cette technologie trouve ses limites pour l'envoi de fichiers volumineux (vidéo, e-mail avec pièces jointes, transfert de fichiers en mode connecté), car elle n'optimise que les flux descendants (données en réception sur le terminal mobile).Afin d'y remédier, le 3GPP, doit proposer prochainement le HSUPA, version 6 de la norme WCDMA. Cette technologie est censée optimiser les flux ascendants pour offrir un débit théorique maximal de 5,8 Mbits/s.

Le HSPA , meilleur des deux mondes, fournira ainsi aux utilisateurs un débit symétrique. Une évolution qui ne devrait cependant pas se généraliser avant la fin 2008 [13].

4.3. *L'HSPA+*

La HSPA+ est la version R7 et R8 du 3GPP, introduit un certain nombre de fonctionnalités permettant de monter en débit (par des améliorations de la couche PHY et de la couche liaison) et d'optimiser l'utilisation des canaux rapides, notamment pour introduire la voix sur HSPA. Les principaux changements sont les suivants :

- Des modulations de plus grand ordre : HSPA+ introduit la 64-QAM sur la voie descendante et la 16-QAM sur la voie montante.

- Les techniques multi-antennaires MIMO sur la voie descendante : en utilisant deux antennes au Node-B et à l'UE, la technologie MIMO (tel que MIMO 2 x 2) permet d'exploiter la diversité du canal pour rendre plus fiable la transmission ou pour augmenter le débit par multiplexage spatial.

- L'état CELL FACH étendu : cette fonctionnalité permet d'associer les canaux logiques communs avec les canaux de transport HSDPA et HSUPA.

- La fonctionnalité CPC (Continuous Packet Connectivity) : il s'agit d'éviter de transmettre sur les canaux de contrôle quand ce n'est pas nécessaire de façon à réduire l'interférence dans le réseau.

- La double porteuse : lorsque le canal radio ne permet pas une utilisation efficace des MIMO, l'UE peut recevoir des signaux émis sur deux porteuses simultanément.

- Des améliorations de la couche 2 : elle s'adapte aux augmentations de débits induits pas les changements au niveau physique.

- La voix sur HSPA : la version R8 permet le transport de la voix sur les canaux HSDPA et HSUPA et fait un premier pas vers la VoIP dans les réseaux mobiles [14].

5. Comparaison entre les technologies de 2G et 3G

A chaque génération de réseau mobile (2G, 3G, 3G+, etc.) correspond une nouvelle technologie (GSM, GPRS, UMTS). A chaque évolution technologique, le réseau mobile gagne en performance : les données transitent plus rapidement. Ces meilleurs débits améliorent la qualité du service existant et permettent de nouveaux usages (internet mobile, visiophonie, télévision, etc.).

Le tableau suivant résume les différents changements du réseau mobile à partir de la 2 G jusqu'à la 3.75 G

Tableau I.1 : *Comparaison des technologies de la 2G et la 3G du groupe 3GPP*

Génération	**Acronyme**	**Intitulé**	**Débits théoriques Descendant / Montant**	**Roles**
2G	**GSM**	Global System for Mobile Communication	9,6 Kbits/s / -	Echanges de type voix uniquement.
2.5G	**GPRS**	Global Packet Radio Service	171,2 Kbits/s 17,9 Kbits/s	Echange de données sauf voix
3G	**UMTS**	Universal Mobile Telecommunications System	384 Kbits/s / 64 Kbits/s	Transfert simultané de la voix et la données numériques.
3.5G	**HSPA**	High speed Packet Access	14 Mbits/s 5.8Mbits/s	Dérivé de l'UMTS avec un débit plus élevé
3.75G	**HSPA+**	High Speed Packet Access +	42 Mbits/s	Dérivé de l'HSPA avec un débit plus élevé.

6. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté d'une façon générale les différentes générations de téléphone mobiles. Ainsi, la mise en ouvre du service GPRS implique une évolution matérielle et logiciel s'ajoutant au réseau GSM déjà existants. L'évolution du GSM vers GPRS prépare à l'introduction des Réseaux de troisième génération l'UMTS. Le GPRS est conçu pour la transmission de données en mode paquet pour assurer l'accès simple au réseau Internet. Les réseaux de prochaine génération orientent la planification des réseaux cellulaires

vers des nouvelles avenues de recherche. donc nous allons présenter en détaille dans les prochaines chapitres la quatrième génération de téléphone mobile .

CHAPITRE II

Le réseau LTE

1.Introduction

En décembre 2008, le groupe 3GPP a finalise la normalisation d'une nouvelle technologie de réseaux cellulaires appelée LTE (Long Term Evolution). Bien que de nombreux concepts soient repris des normes précédentes, c'est une technologie qui voit le jour. En effet, contrairement aux améliorations successives vues jusqu'ici, LTE n'est pas une simple évolution de la version R99. Cette norme introduit une nouvelle technique de transmission sur plusieurs porteuses complètement différente de l'étalement de spectre des releases précédentes. **[15]**

2. Le LTE

La technologie LTE ou la 4G s'appuie sur un réseau de transport à commutation de paquet IP. Le réseau téléphonique cellulaire dans la 4G devient un réseau tout IP, contrairement à la 3G qui transporte la voix en mode circuit **[12]** .

3. Buts de la normalisation LTE

LTE recouvre les versions R8 et R9 de la normalisation 3GPP. La version R9 n'apportant que peu de modifications sur l'interface radio, on se limite dans notre présentation à la version R8. La normalisation se développe parallèlement aux évolutions de HSPA+ (versions R7 et R8). Ses objectifs sont les suivants

3.1. *Débits et efficacité spectrale*

Les débits crêtes doivent atteindre sur la voie descendante 100 Mbits/s et sur la voie montante 50 Mbits/s pour une largeur de bande de 20 MHz. Le débit moyen des utilisateurs doit atteindre, pour une même bande, 3 à 4 fois le débit moyen HSDPA sur la voie descendante et 2 à 3 fois le débit moyen HSUPA sur la voie montante. L'efficacité spectrale visée en [bits/s/Hz] site doit augmenter dans les mêmes proportions.

3.2. *Le délai*

Le délai de transmission d'un paquet IP à travers le RAN (Radio Access Network) en faible trafic et jusqu'a l'UE ne doit pas dépasser 5 ms. La transition d'un état de veille (idle mode) à un état actif (active mode) ne doit pas dépasser 100 ms.

3.3. *La mobilité*

Les performances maximales ne sont bien sur assurées que pour les faibles mobilités, typiquement inferieures a 15 km/h, mais le service doit être assuré jusqu'a 350 km/h.

3.4. *La couverture*

Les performances précédentes doivent être assurées pour des rayons de cellules allant jusqu'a 5 km.

3.5. *La coexistence*

Les terminaux multi-technologies doivent pouvoir effectuer des mesures sur les réseaux 2G et 3G et l'interruption de service due a un handover vers ou depuis le réseau d'accès ne doit pas dépasser 300 ms pour les services temps réel et 500 ms pour les services non temps réel [15].

4. Architecture de la technologie LTE

L'architecture générale du LTE est définie d'un point de vue physique et d'un point de vue fonctionnel. Elle se compose des éléments suivants

- L'UE (User Equipment ou équipement d'abonné).
- L'E-UTRAN (Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network) qui constitue le réseau d'accès,
- L'EPC (Evolved Packet Core) qui représente le réseau cœur,
- L'IMS (IP Multimedia Subsystem**)** [16].

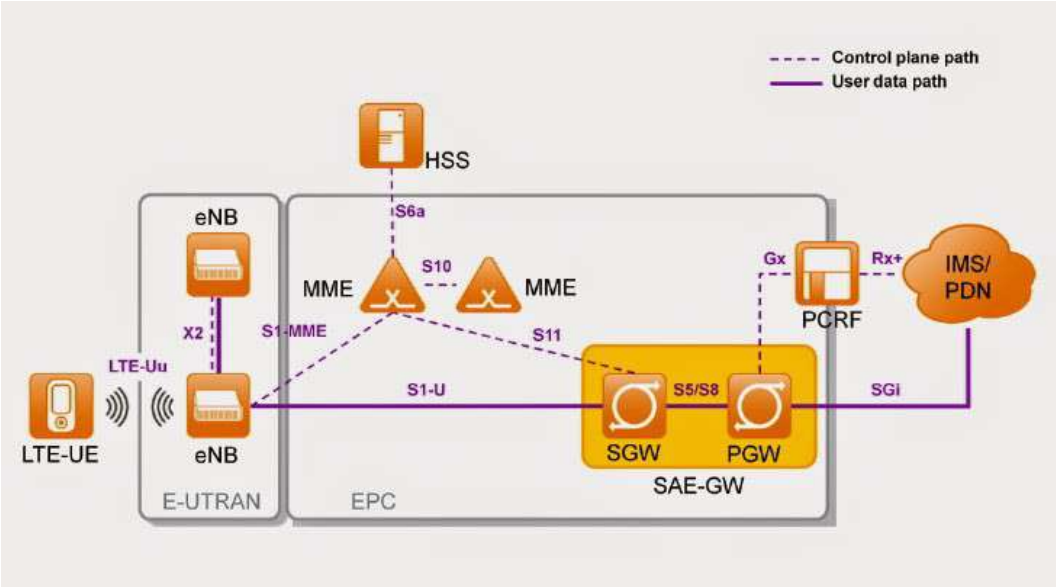


Figure II.1 *: Architecture simplifiée du réseau LTE.*

4.1. L'équipement d'utilisateur (UE)

C'est un terminal mobile équivalent au MS (Mobile Station) dans le réseau GSM, il est constitué des éléments suivants :

- ME (Mobile Equipment) : son rôle principal est la gestion de la connexion au réseau mobile et la continuité de service en mobilité de façon transparente pour l'équipement terminale (TE).

- TE (Terminal Equipment) :c'est un module avec lequel l'utilisateur accède au réseau mobile.

- UICC (Universal Integrated Circuit Card): ce module représente la carte SIM pour les équipements LTE.

4.2. L'architecture de l'interface radio

Le réseau d'accès LTE se nomme l'E-UTRAN, pour Evolved UTRAN. Elle est composée des eNodes-B qui peuvent être interconnectes entre eux par l'interface X2 (qui est donc optionnelle).

L'E-UTRAN est connecté au réseau cœur, l'EPC, et plus précisément à la MME dans le plan contrôle et a la SGW dans le plan utilisateur, via l'interface S1. Le RNC disparait donc de

l'architecture du réseau d'accès au profit d'un eNode-B aux fonctions considérablement augmentées.

L'eNode-B conserve les fonctions du Node-B au niveau MAC et PHY comme avec HSPA, il assure l'ordonnancement rapide et la fonction HARQ (Hybrid Automatic Repeat on request) qui permet une transmission fiable de données sur un canal de communication .En plus, il fait maintenant des fonctions qui étaient auparavant dévolues au RNC: gestion des ressources radio, de la mobilité et des handovers, remontée des mesures, contrôle des canaux radios, terminaison des protocoles RLC et PDCP [15].

Figure II.2 - Architecture de l'E-UTRAN

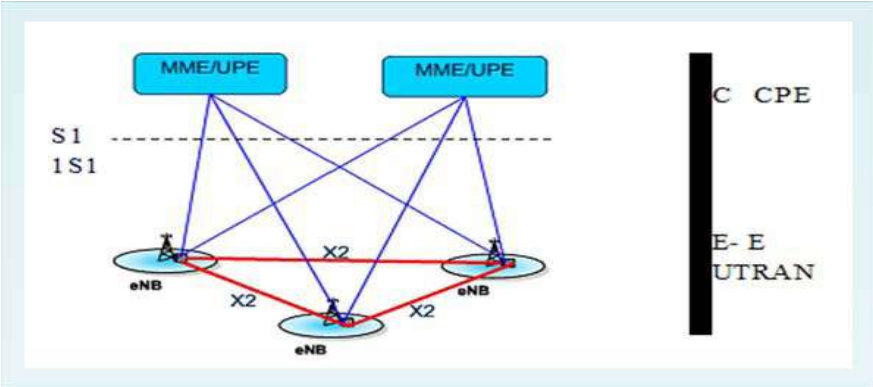


Figure II.2 *: L'architecture d'un E-UTRAN.*

4.3. Le réseau cœur EPC (Evolved Packet Core)

Connu aussi sous le nom de SAE (System Architecture Evolution), l'EPC représente le réseau cœur de LTE. Il se compose des équipements qui doivent supporter la connectivité tout-IP dans l'architecture 4G. Il assure la gestion des utilisateurs, la gestion de la mobilité, la gestion de la qualité de service (QoS) et la gestion de la sécurité, au moyen des équipements tels que le MME, le SGW, PDN-GW (Packet Data Network Gateway) et le PCRF (Policy and Charging Rules Function)[17].

4.3.1. Le MME (Mobility Management Entity)

Le MME gère la signalisation (plan de contrôle) entre les terminaux (UE) et l'EPC. Il est chargé de dialoguer avec le HSS de manière à consulter et stocker les profils et les données de sécurité des terminaux situés dans une grande région. Ces données sont ensuite utilisées dans

son dialogue avec les stations de base notamment pour faire du contrôle d'accès et gérer la connexion, les droits d'accès et la sécurité des abonnés.

C'est également le MME qui sélectionne le PGW et le SGW qui seront utilisés ultérieurement pour les transferts de données lors de la connexion au réseau d'un terminal donné. Un MME peut être vue comme la mémoire cache d'un HSS. [18]

4.3.2. Le SGW (Serving Gateway)

La passerelle de service SGW, est un élément au sein de la LTE. Son objectif principal est de gérer la mobilité du plan utilisateur, elle agit également comme une frontière principale entre le Radio Access Network (RAN) et le réseau cœur. La SGW maintient également les chemins de données entre les eNodes-B et la passerelle PDN. De cette façon le SGW forme une interface pour le réseau de données par paquets à l'E-UTRAN. Aussi quand les UEs se déplacent dans les régions desservies par des eNodes-B différentes.

4.3.3. PDN-GW (Packet Data Network Gatway)

C’est une entité qui assure la connectivité pour l'UE à des réseaux de paquets de données externes, remplissant la fonction d'entrée et de sortie pour les données UE. L'UE peut disposer d'une connectivité avec plus d'un PGW pour l’accès à des PDNs multiples.

4.3.4. Le HSS (Home Subscriber Server)

Avec la technologie LTE, le HLR (Home Location Register) est réutilisé et renommé HSS. Le HSS est donc un HLR évolué qui contient l’information de souscription pour les réseaux GSM, GPRS, 3G, LTE et IMS.

4.3.5. Le PCRF (Policy and Charging Rules Function)

L’entité de contrôle et de la politique et de facturation (PCRF) réalise deux fonctions :

- Elle fournit au PDN-GW les règles de taxation lorsqu’un trafic par défaut (default bearer : qu’il porte les service d’internet comme facebook et Gmail.) Ou un trafic dédie (dedicated bearer : qu’il porte les services comme voLte et Skype) est activé ou modifié pour l’usager. Ces règles de taxation permettent au PDN-GW de différencier les flux de données de service et de les taxer de façon appropriée.

- Elle permet de demander au PDN-GW d’établir, de modifier et de libérer des dedicated bearer sur la base de QoS souhaitée par l’usager [16].

4.4. Le réseau IMS

4.4.1. *Définition*

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

L'objectif d'IMS n'est pas seulement de permettre de nouveaux services, existants ou futurs, proposés sur Internet, les utilisateurs doivent aussi être capables d'utiliser ces services aussi bien en déplacement (situation de roaming) que depuis chez eux.

Pour cela, l'IMS utilise les protocoles standards IP. Ainsi, une session multimédia, qu'elle s'effectue entre deux utilisateurs IMS, entre un utilisateur IMS et un internaute, ou bien encore entre deux internautes, est établie en utilisant exactement le même protocole. De plus, les interfaces de développement de services sont également basées sur les protocoles IP. C'est pour cela IMS fait véritablement converger l'Internet et le monde de la téléphonie cellulaire. Autrement dit, il utilise les technologies cellulaires pour fournir un accès en tout lieu, et les technologies Internet pour fournir les services.

4.4.2. *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 [12].

5. Les couches protocolaires dans le LTE

Le LTE fonctionne sur un système à couches entre UE, l'eNode-B et le MME. Chaque couche communique avec son équivalente du même niveau [19].

Avec la notable exception que l'eNode-B inclut la totalité de la couche MAC et les couches RLC, PDCP et RRC. La MME assure la signalisation NAS [15].

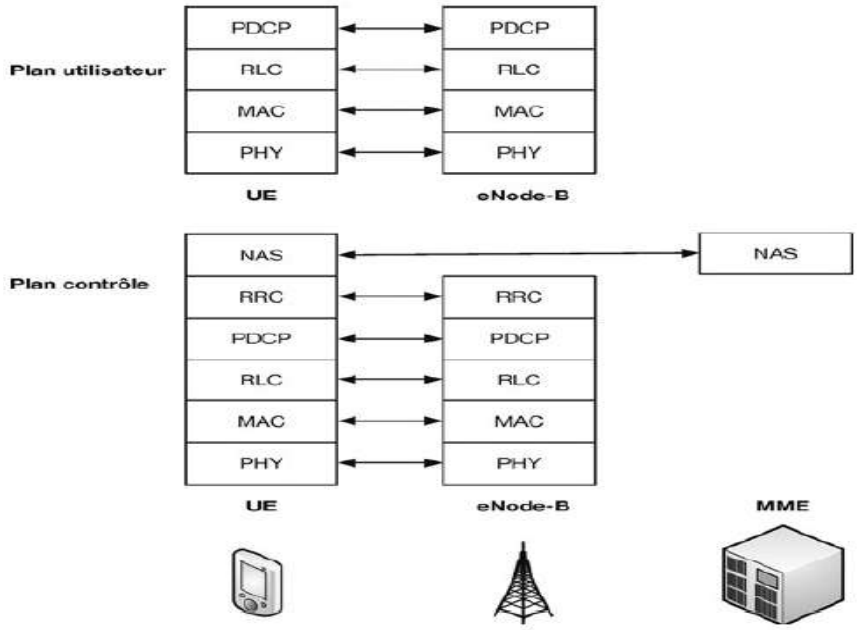


Figure II-3 : *Positionnement des couches protocolaires.*

5.1. *La couche physique*

La couche physique subite une profonde évolution par rapport aux versions précédents puisque l'étalement de spectre utilisée par la technique CDMA est abandonnée au profit de la transmission multi-porteuse. Cette technique d'accès, qui se généralise dans les systèmes cellulaires et sans fil, implique une nouvelle organisation des ressources radio. Par ailleurs, les techniques multi-antennaires prennent toute leur place dans LTE à sa première version.

5.1.1. *Caractéristiques générales*

- La couche physique se fonde sur la transmission multi-porteuse, OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) sur la voie descendante, SC-FDMA (Single-Carrier Frequency Division Multiple Access) sur la voie montante.

- La norme offre plusieurs bandes spectrales possibles: 1.4, 3, 5, 10, 15 et 20 MHz.

- Les modulations utilisées sont la BPSK, la QPSK, la 16-QAM et la 64-QAM.

- Les deux types de codage canal sont le codage convolutionnel et le codage turbo convolutionnel.

- Deux méthodes de duplexage sont possibles, le TDD et le FDD.

- La couche physique de LTE offre la possibilité de transmissions MIMO sur la voie descendante avec deux ou quatre antennes de transmission et de réception. Jusqu'a quatre flux parallèles peuvent ainsi être utilisés en fonction des conditions radio. Les transmissions MIMO multi-utilisateurs sont possibles en voie descendante comme en voie montante.

- La couche physique est également adaptée à la transmission en diffusion (unicast) ou en multidiffusion (multicast). Elle doit permettre notamment la diffusion efficace de services de télévision ou de radio, grâce a une approche point à multipoint.

- Elle a défini de nombreuses bandes de fréquences pour le mode FDD (autour des fréquences 700, 800, 1400, 1700, 1900, 2100 et 2600 MHz). Il s'agit des bandes déjà utilisées en 2G et 3G [15] .

5.2. Les couches MAC (Media Access Control) et RLC (Radio Link Control)

Constituant la couche de Liaison de Données. La sous-couche MAC est chargée de l'interface entre les couches supérieures et la couche physique. La sous-couche RLC fiabilise la transmission de données en mode paquet .

5.3. *La couche PDCP (Packet Data Control Protocol)*

Cette couche est chargée de la compression et de la décompression des données pour leur acheminement sur le réseau. Elle se trouve côté utilisateur ("user plane").

5.4. *La couche RRC (Radio Resource Control)*

Comme son nom l'indique, le RRC est chargé de contrôler les ressources afin de garantir la Qualité de Service (QoS). Deux états sont possibles : RRC_IDLE (pas d'équipement connecté) ou RRC_CONNECTED. C'est un protocole en mode connecté qui fonctionne en 3 étapes.

Une demande est effectuée par l'utilisateur au réseau E-UTRAN (RRC CONNECTION REQUEST), qui accepte (RRC CONNECTION SETUP) ou refuse la connexion (RRC CONNECT ION REJECT).En cas d'acceptation, l'utilisateur renvoie un RRC CONNECTION SETUP COMPLETE et la connexion est établie.

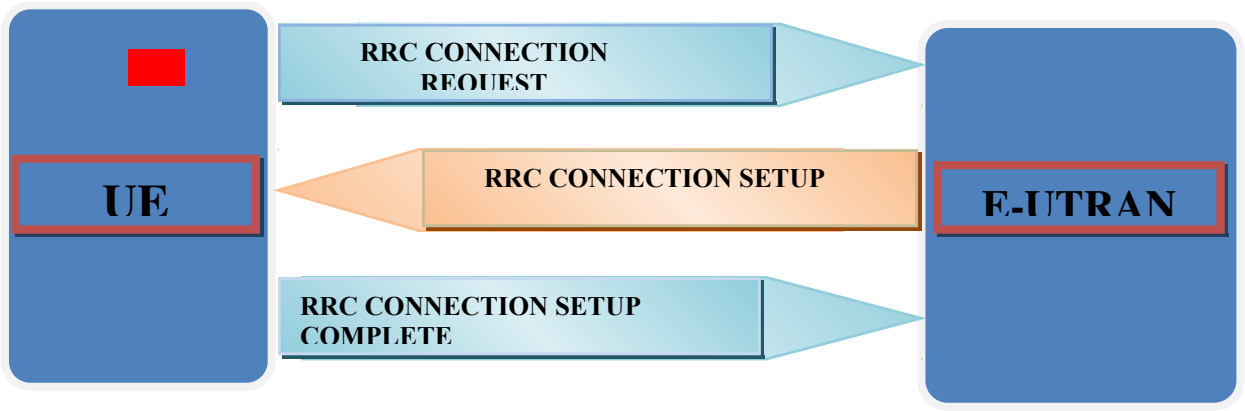


Figure II.4 :*Les étapes de connexion entre UE et E-UTRAN.*

5.5. *La couche NAS (Non-Access Stratum)*

C'est la couche réseau communiquant entre l'utilisateur et le MME, gérant l'établissement des appels et la gestion de la mobilité [19].

6. Techniques de transmission et de multiplexage

En LTE, la technique de transmission et la méthode d'accès sont l'OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) et l'OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access) respectivement sur la voie descendante, et le SC-FDMA (Single Carrier Frequency Division Multiple Access) sur la voie montante.

6.1. OFDM et OFDMA

L'OFDM est une technique de transmission qui permet de lutter contre la propagation multi-trajet et les interférences entre symboles (IES); elle demeure à la fois efficace d'un point de vue spectral et relativement simple d'implémentation.

La figure II.5 montre le signal entre un émetteur et un récepteur emprunte généralement plusieurs trajets a cause des réflexions et diffractions que provoquent les obstacles de l'environnement. Un tel canal est caractérisé par le nombre des trajets principaux, leurs amplitudes, leurs délais relatifs (par rapport au chemin le plus court) et l'étalement maximal dans le temps du signal (ou *delay spread)* note *T max,* l'inverse de cet étalement maximal, la bande de cohérence, est un intervalle de fréquence sur le quel le gain du canal est à peu prés constant.

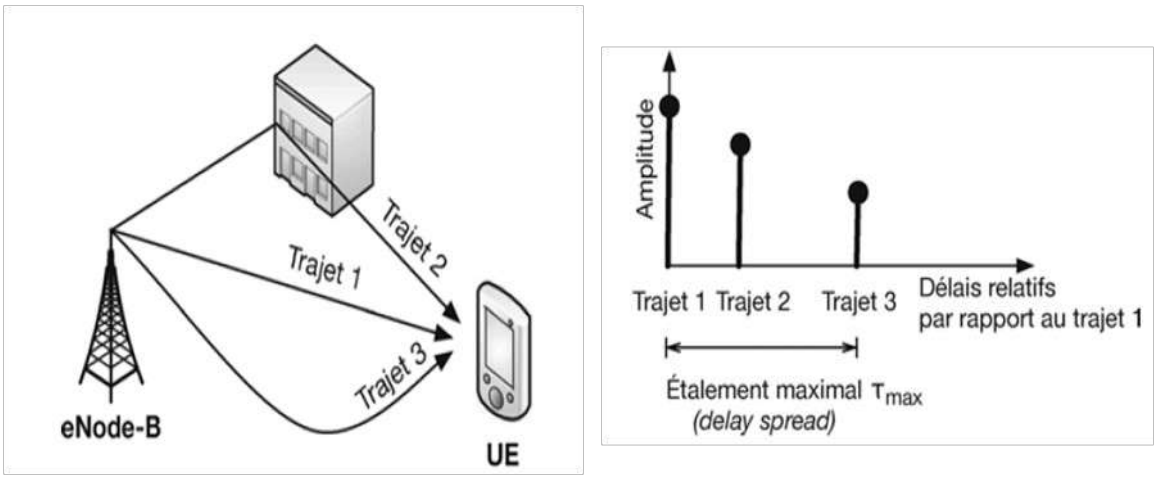
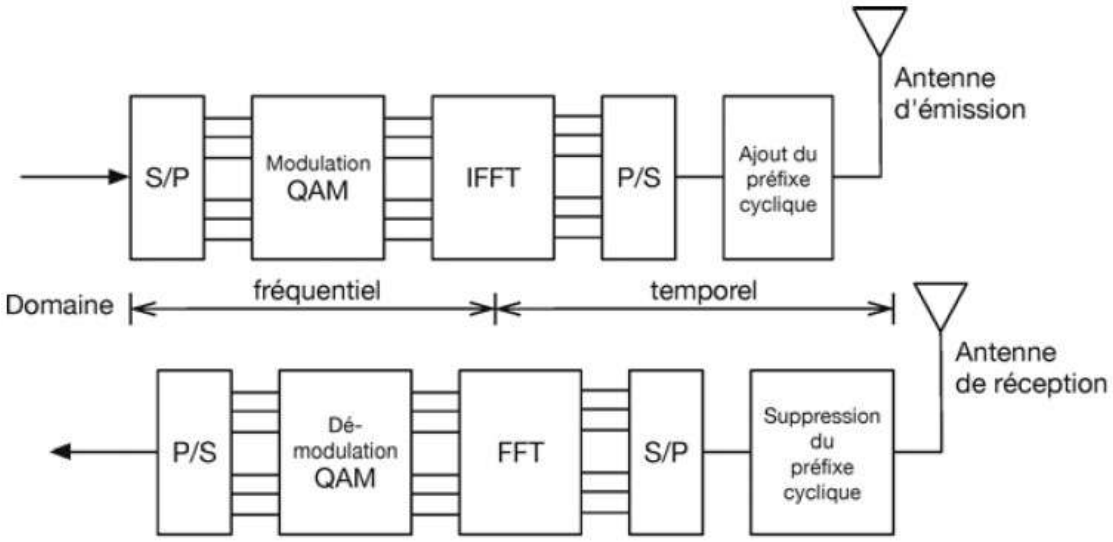


Figure II.5: La propagation multi-trajet et étalement maximal.

Si la durée d'un symbole, *T Symb,* est inferieure à l'étalement maximal du signal, plusieurs symboles arrivent au récepteur de manière simultanée, c'est *l'interférence entre symboles* ou IES. Pour un canal donné, plus la durée d'un symbole est faible, c'est-a-dire plus la bande du signal est grande, plus l'IES est importante. D'une autre façon d'exprimer la présence d'IES est de dire que la bande du signal est supérieure à la bande de cohérence.

Pour lutter contre l'IES, l'OFDM divise la bande totale du signal en sous-bandes fréquentielles ou sous-porteuses, toutes d'une largeur spectrale Δf très inferieure a la bande de cohérence $(\Delta f \ll 1/Tmax)$. Sur chaque sous-porteuse, la durée d'un symbole est très supérieure a l'étalement du signal $:1/\Delta f \gg Tmax$. De cette façon, l'IES est presque intégralement supprimée.

Le signal OFDM est très simple a moduler et a démoduler, il peut en effet être facilement obtenu par une transformée de Fourier rapide inverse ou IFFT (Inverse Fast Fourier Transform).De la même manière, les sous-porteuses peuvent être démodulées par une transformee de Fourier rapide ou FFT (Fast Fourier Transform). IFFT et FFT sont des implémentations très simples et rapides.



P/S : parallèle /série

Figure II.6 : *Les chaines de transmission et de réception OFDM/OFDMA.*

La division de la bande du signal en plusieurs sous-porteuses n'élimine pas toute les IES. Pour lutter contre l'IES résiduelle, on ajoute dans le domaine temporel un intervalle de garde au début du symbole OFDM.

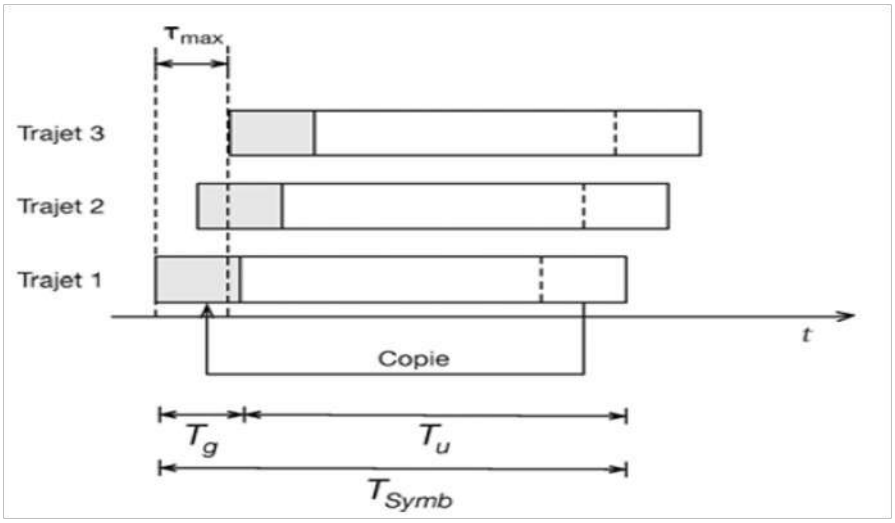


Figure II.7 : L'intervalle de garde du symbole OFDM.

Par ailleurs, le signal OFDM présente dans le domaine temporel de fortes variations de puissance. Cela est dû au fait que l'énergie des symboles QAM est variable et que le signal OFDM est une somme de sinusoïdes. L'addition des signaux sinusoïdaux des sous-porteuses

crée un signal temporel caractérisé par une valeur moyenne $Pmoy$ et une valeur crête $Pmax$. Ce signal doit être amplifie avant d'être transmis (Figure II.8), la fonction caractéristique des amplificateurs de puissance (figure II.9) est d'abord linéaire mais devient fortement non-linéaire a partir d'un certain seuil, avec le signal OFDM, le fort PAPR (Peak to Average Power Ratio) induit donc une perte de puissance.

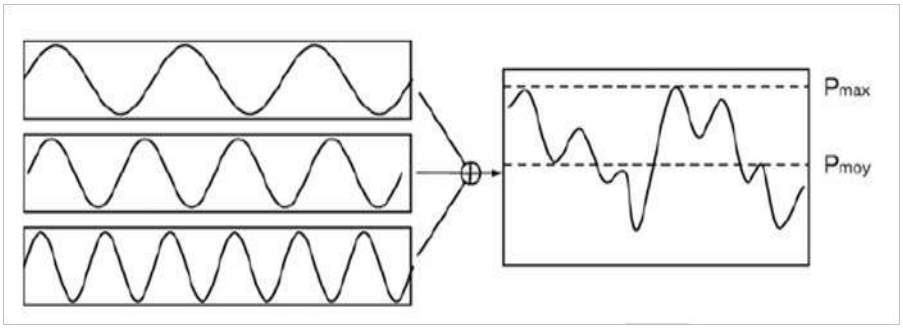


Figure II.8: L'addition des signaux sinusoïdaux des sous-porteuses.

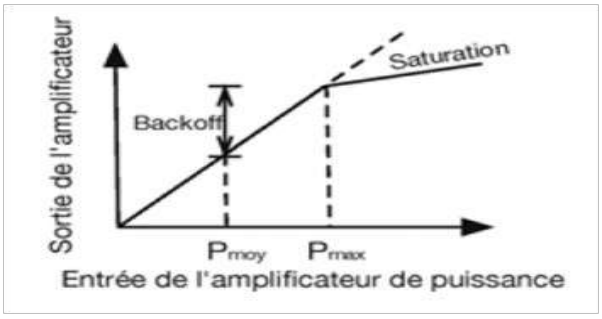


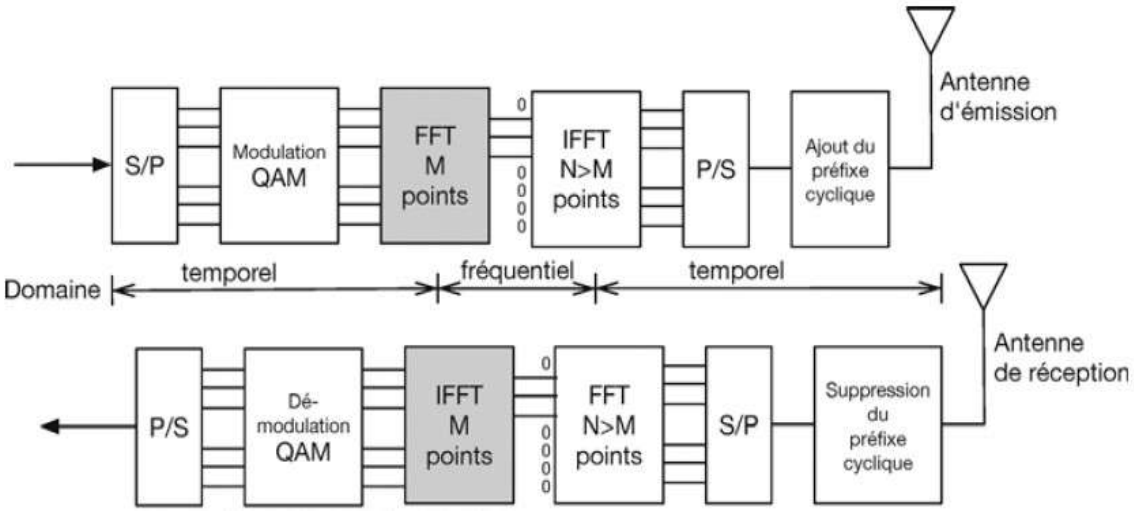
Figure II.9 : Rapport pic sur moyenne de la puissance du signal OFDM.

Alors que l'OFDM est une technique de transmission, l'OFDMA est une méthode d'accès multiple fondée sur l'OFDM. Dans l'utilisation classique de l'OFDM, toutes les sous-porteuses sont allouées à un unique utilisateur pendant la durée d'un symbole. En OFDMA, des groupes de sous-porteuses peuvent potentiellement être attribues a des utilisateurs différents. L'orthogonalité des sous-porteuses assure l'absence d'interférence entre les utilisateurs d'une même cellule, ce qui rend l'OFDMA fondamentalement différent du CDMA. Puisque les utilisateurs peuvent également être séparés dans le temps, l'allocation des ressources radio est faite dans l'espace a deux dimensions, temps et fréquence [15].

6.2. *SC-FDMA*

Comme on a pu le voir, l'OFDM a pour grand inconvénient un fort PAPR. Sur la voie descendante, ce défaut est amoindri car l'amplificateur de puissance de l'eNode-B est de bonne qualité et la station de base dispose d'une grande puissance. C'est en revanche plus problématique sur la voie montante car l'amplificateur des terminaux doit rester a un prix raisonnable. En outre, il faut préserver l'autonomie des batteries sans trop affecter la couverture en bordure de cellule. La norme a donc prévu une technique de transmission avec PAPR réduit sur la voie montante, le SC-FDMA

Les chaines de transmission et de réception du SC-FDMA sont assez semblables a celles de l'OFDM/OFDMA. Les différences sont indiquées en figure II.10



P/S : parallèle /série

Figure II.10 : *Chaine de transmission et de réception SC-FDMA.*

Contrairement a l'OFDM, chaque sous-porteuse transporte des informations relatives à tous les symboles transmis car la FFT a eu pour effet d'étaler chaque symbole QAM sur *M* sous-porteuses., pendant la durée d'un symbole OFDM, *T Symb ,* chaque sous-porteuse transporte un unique point de la constellation QAM.

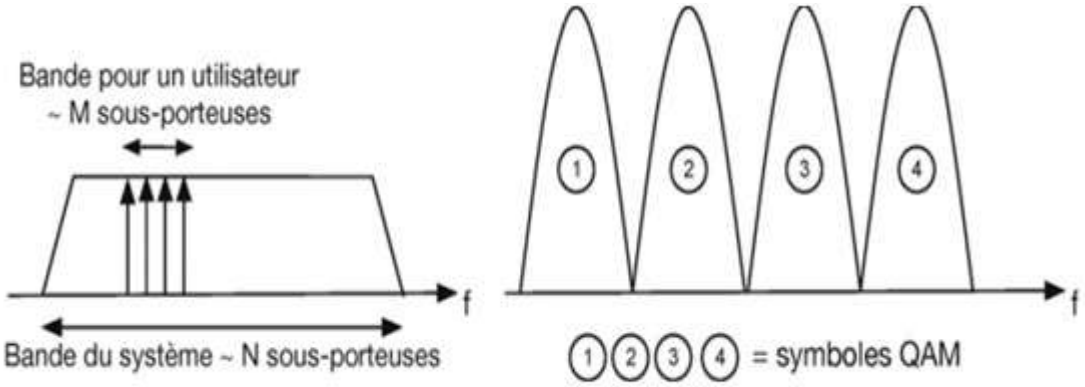


Figure II.11: *Techniques de transmission OFDMA.*

En SC-FDMA, *M* points de la constellation QAM se succèdent pendant la durée *TSymb* et occupent chacun l'ensemble des *M* sous-porteuses. à un instant donné, un unique symbole QAM est donc transporté par le signal SC-FDMA, d'où le préfixe SC pour *single carrier.* C'est cette propriété qui maintient le PAPR faible car il est le même que celui obtenu après une modulation QAM et quel que soit le nombre de sous-porteuses considérées. Au contraire, en OFDM, le PAPR augmente avec la taille de la FFT.

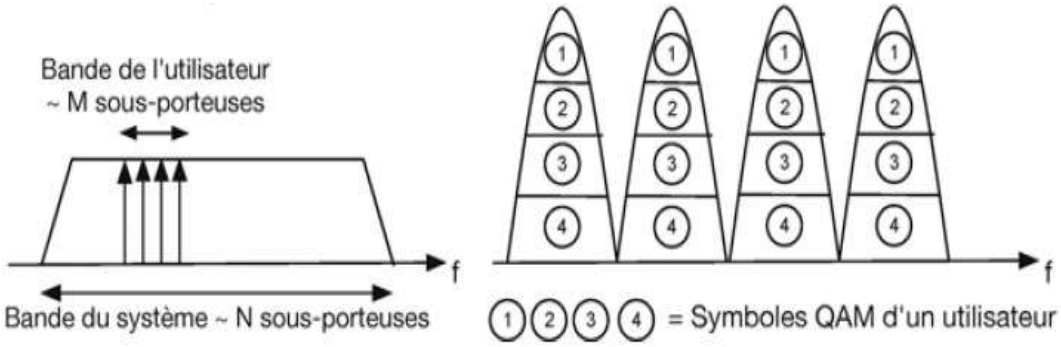


Figure II.12: *Techniques de transmission SC-FDMA.*

Le spectre utilisé par un utilisateur sur la voie montante, par conséquent, une largeur de M sous-porteuses. Le spectre non utilisé peut être attribué par l'eNode-B à d'autres utilisateurs. Le SC-FDMA est donc bien une méthode d'accès multiple sur la voie montante [15].

7. La technologie MIMO (Multiple-Input Multiple-Output)

Alors que le déploiement des réseaux téléphoniques mobiles de troisième génération (UMTS) n'en n'est qu'à ses débuts, des chercheurs allemands viennent de présenter une technologie cellulaire qui permet de transmettre des données avec un débit pouvant atteindre

100 Mb/s. La technologie présentée par les chercheurs de l'institut Heinrich Hertz est basée sur l'utilisation de multiples antennes de type MIMO . Déjà utilisée dans les équipements WiFi(Wireless Fidelity).

Les équipements de tests qu'ont utilisés les chercheurs lors de leur démonstration sont basés sur les spécifications développées au sein du 3GPP, responsable du standard UMTS. La technologie employée s'appuie sur un couple d'antennes placées dans la station de base et un téléphone portable équipé, lui aussi, de deux antennes. Cette technologie leur a permis d'atteindre un débit de 100 Mb/s en réception et 50 Mb/s en émission, sur une distance de quelques kilomètres. Par comparaison, les débits de réception sur les réseaux 3G+ (HSDPA) ne dépassent pas 3,6 Mb/s. Selon les chercheurs cette technologie autorise la réception et l'émission simultanée de données et que la bande passante fournie sera suffisante pour utiliser plusieurs applications Internet en même temps (navigation sur le Web, jeux en ligne et VoIP). Ces derniers n'ont toutefois pas précisé quand cette technologie sera adoptée par les opérateurs de téléphonie mobile [20].

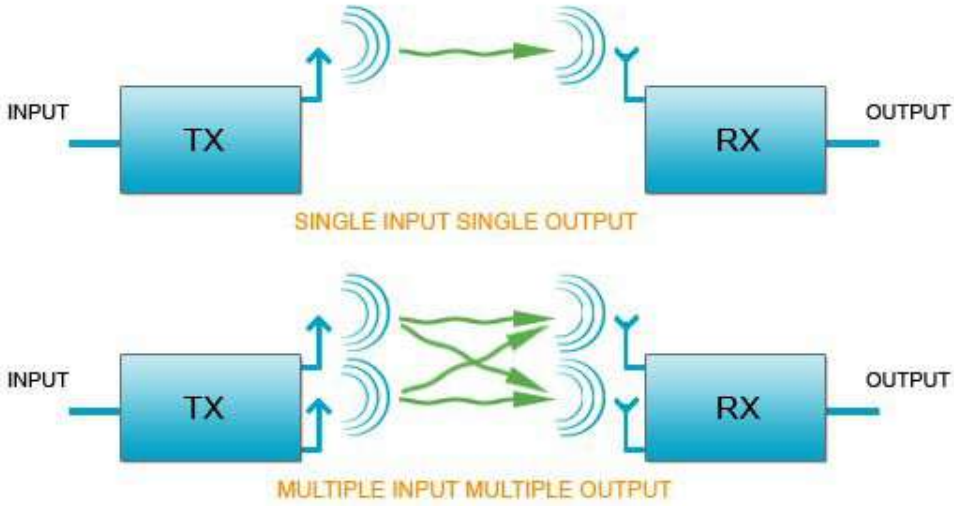


Figure II.13 : *Le fonctionnement des antennes SISO et MIMO.*

8. La structure d'une trame LTE

Une trame LTE dure 10 ms. Elle est découpée en 10 sous trames d'une durée de 1 ms. Chaque Sous trame est divisée en deux slots de 0,5 ms. Un slot dure donc 0,5 ms, durée pendant laquelle est transmis 7 symboles par bande OFDM. , nous avons vu qu'il y avait

12 bandes. Par conséquent, les 84 symboles sont transmis en 0,5 ms. La figure suivante présente la trame radio dans le réseau LTE.

Un symbole peut transmette 1 bit à 6 bits selon la modulation choisie (QPSK à 128, QAM). le 128 QAM (6 bits à transmettre) est meilleur si le mobile et la station de base sont proches [12].

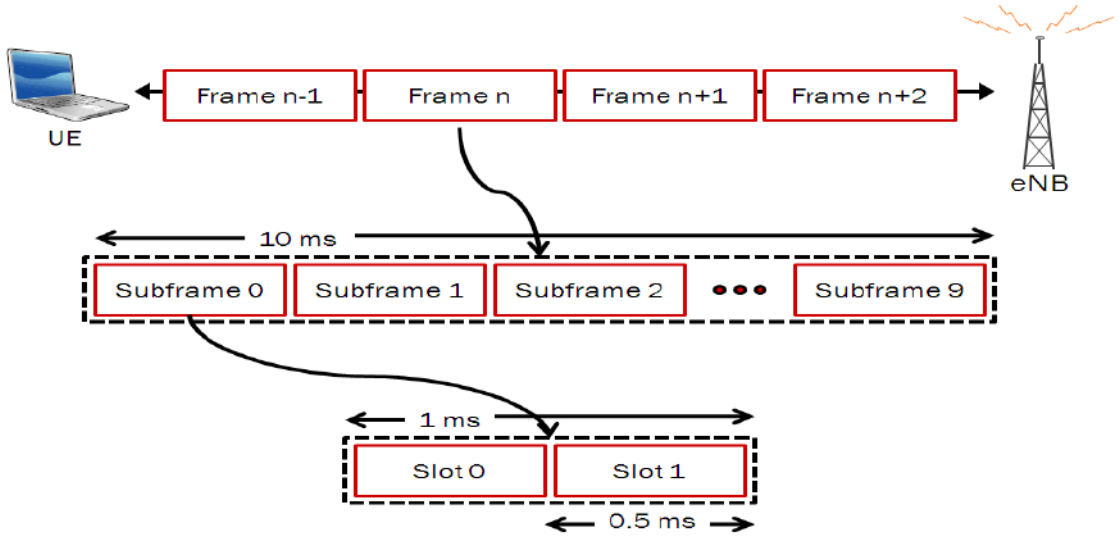


Figure II.14 *: Le fonctionnement d'une trame radio.*

9. Les méthodes de duplexage

Les transmissions Down-link et Up-Link 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.

9.1. *Le FDD (Frequency Division Duplexing)*

FDD 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) [12].

9.2. *Le TDD*

Le Duplex par séparation temporelle TDD (Time-Division Duplex) 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. Un autre avantage de cette technique concerne les terminaux mobiles se déplaçant à très faible vitesse ou en position fixe. Dans ce cas, la technique de beamforming (filtrage spatial **:** est une technique de traitement du signal) très efficace avec un système TDD [12].

10.conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté un aperçu de la technologie LTE (4G) et leur caractéristique générale afin de présenter par la suite les différents techniques et notions qui sont reliées a cette technologie.

Dans le chapitre suivant, nous décrivons les performances de la qualité de service de la technologie LTE. Ainsi, le handover et les modèles de propagation qui sont utilisés.

CHAPITRE III

La qualité de service (QoS), Handover et les modèles de propagation sur LTE

1. Introduction

En télécommunication, chaque réseau à mettre en place, le plus grand objectif est d'avoir les meilleures performances, pour cela le taux de Qualité de Service doit être au minimum au niveau des exigences des utilisateurs, pour leur entière satisfaction.

Le principal objectif d'un opérateur est de regrouper le plus grand nombre d'abonnés pour pouvoir augmenter son chiffre d'affaire pour ça il doit se préoccuper sur l'amélioration de son réseau (couverture) et des paramètres de la Qualité de Servie (débit, latence,…etc.).

Dans ce chapitre, nous allons étudier les différents paramètres de la QoS, le Handover qui est un paramètre très important dans les réseaux cellulaires et les modèles de propagation utilisés dans le LTE.

2. La qualité de service

La qualité de service ou Quality of service (QoS) est la capacité de transmission dans de bonnes conditions un certain nombre de paquet dans une connexion entre un émetteur et un récepteur, et cela va se représenter sous plusieurs termes tel que la disponibilité, débit, délais de transmission, gigue, la bande passante.

2.1. But de la QoS

Le but de la QoS est donc d'optimiser les ressources du réseau et de garantir de bonnes performances aux applications. La qualité de service sur les réseaux permet d'offrir aux utilisateurs des débits et des temps de réponse différenciés par application suivant les protocoles mis en ouvrent au niveau de la couche réseau.

Elle permet ainsi aux fournisseurs de services de s'engager formellement auprès de leurs clients sur les caractéristiques de transport des données applicatives sur leurs infrastructures IP [12].

2.2. Paramètres de la QoS

La 4G permet effectivement d'avoir des performances de QoS très fiables, en citant par la suite quelques paramètres

2.2.1. Le Débit

C'est une quantité fournie dans un temps donné , en télécommunication, on parle de débit binaire et il s'exprime en bits par seconde tel que la transmission de l'information exprimé en bits/s et pour les réseaux 4G :100 Mbit/s sur le lien radio descendant et 50 Mbit/s maximum sur le lien montant .

Concernant les débits, au-delà des largeurs de bande qui peuvent varier de 1.4 MHz à 20 MHz, le multiplexage OFDMA optimise l'utilisation spectrale et minimise les interférences. Le codage 64QAM est ainsi utilisé dans les zones qui le permettent et des techniques mettant en œuvre plusieurs antennes (MIMO pour multiple-input and multiple-output) en émission et en réception (au niveau du terminal mobile et des stations de base) assurent également l'augmentation du débit ainsi que la portée [21].

2.2.2. Le délai de transit (latence)

La latence est le temps que met un paquet pour arriver d'un ordinateur à un autre ordinateur, On comprend bien que plus la latence (le temps) est faible, c'est meilleure pour la connexion. La latence s'exprime en millisecondes (ms).

Les paquets de données transitent par différents équipements informatiques et chacun de ces équipements va mettre quelques millisecondes pour répondre et communiquer entre eux. C'est la somme de tous ces délais qui va donner au final la latence de votre connexion.

Si vous ne faites que du téléchargement, une grosse latence ne devrait pas vous gêner. Mais pour toutes les utilisations temps réel, une latence importante est très gênante et peut même rendre votre connexion inutilisable [22].

2.2.3. La gigue

La gigue exprime la variation de la latence .Il est tout à fait possible d'avoir une latence élevée, par exemple de 200ms, et d'avoir une gigue très faible. Cela veut dire que la latence est toujours la même.

Le problème d'une gigue élevée (donc une latence qui n'arrête pas de varier), c'est que les paquets vont arriver tous d'un coup en même temps, et d'un coup, aucun paquet n'arrivera, mais dans une visioconférence ou une conférence téléphonique, il faut que le débit de parole ou d'image soit continue et le plus fluide possible [22].

2.2.4. La bande passante

Il existe deux modes de disponibilité de la bande passante, en fonction du type de besoin exprimé par l'application. Le mode "burst" est un mode immédiat, qui monopolise toute la bande passante disponible (lors d'un transfert de fichier par exemple). Le mode "stream" est un mode constant, plus adapté aux fonctions audio/vidéo ou aux applications interactives **[23]**.

3. Handover

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

Le handover désigne l'ensemble des opérations mises en œuvre pour permettre qu'un téléphone mobile ou un Smartphone (dénommés station mobile - MS en GSM, ou *User Equipment* UE dans les réseaux 3G et 4G) de faire un changement d'une cellule radio a l'autre sans interruption de la conversation ou du transfert des données.

3.1. Les différents types de handover

On peut caractériser un handover à partir des critères suivants :

• la technologie d'accès radio (RAT) et/ou la fréquence respective des cellules source et cible.

• l'interruption ou non du lien radio lors de la bascule.

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

Le second critère est moins évident. Si le lien radio sur la cellule source est relâché avant l'établissement du lien radio sur la cellule cible, la bascule est réalisée avec une interruption de la transmission sur l'interface radio entre l'UE et le réseau. C'est le type de handover utilisé en GSM, ou en UMTS pour les handover inter-fréquences.

Le terme *soft handover* a été choisi pour désigner cette bascule opérée sans interruption du lien radio entre l'UE et le réseau. Par opposition, on a alors consacré la dénomination *hard*

handover au type de handover précédent, illustré sur la partie droite de la figure III.1 ci-dessous : le lien radio sur la cellule C1 est relâché avant l'établissement du lien sur la cellule C2.

Le principe du soft handover a été en premier lieu utilisé dans les systèmes CDMA de seconde génération. Il a été repris dans le système UMTS (qui repose également sur un accès à répartition par les codes, ou CDMA) comme principal mécanisme de mobilité intra-fréquence. Le soft handover n'a en revanche pas été défini dans la première version (Release 8 3GPP) du système LTE.[24]

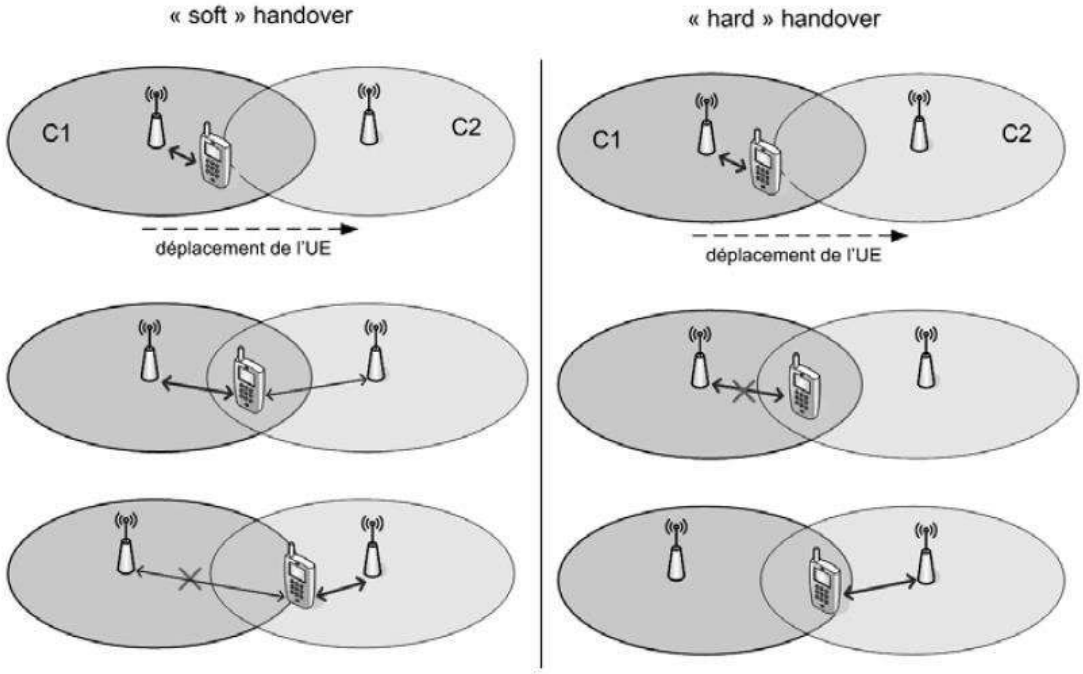


Figure III.1 : *Principes du soft handover et du hard handover.*

3.2. Les phases du handover

Cette section présente les étapes de la réalisation d'un handover de façon générale, c'est-à-dire sans aborder les spécificités propres au système LTE.

On peut distinguer trois phases dans la réalisation d'un handover :

1. la phase de mesure sur la cellule serveuse et sur les cellules voisines.

2. la phase de *préparation* de la cellule cible, qui met en jeu des échanges entre les contrôleurs de stations de base source et destination, ainsi qu'entre ces contrôleurs et le réseau cœur.

3. la phase d'*exécution*, c'est-à-dire la bascule de l'UE et des flux de données, puis la relâche des ressources dans la cellule d'origine.

3.2.1. La phase de mesure

Cette phase précède la décision de handover prise par le contrôleur de station de base source et donc le déclenchement effectif de ce handover. Les critères de décision sont essentiellement basés sur la qualité et/ou le niveau de signal des cellules voisines, mesurés par l'UE. La station de base informe au préalable l'UE des éléments suivants, dans un message de configuration :

• les mesures attendues : par exemple le niveau ou la qualité de signal, la puissance reçue.

• l'objet à mesurer : cellule, fréquence porteuse.

• le mode de remontée : périodique ou sur événement.

3.2.2. La phase de préparation

L'objectif premier de cette phase est de maximiser les chances de succès de la procédure de handover, par l'échange d'informations entre les contrôleurs de stations de base source et cible, en préalable à la réalisation de la bascule proprement dite. La préparation commence dès lors que le contrôleur source a pris la décision de réaliser un handover de l'UE, sur la base des mesures remontées par celui-ci et de ses critères de déclenchement, elle consiste en un simple échange de messages visant à :

• interroger le contrôleur de la station de base gérant la cellule cible sur la possibilité de réaliser ce handover.

• obtenir de sa part les informations et paramètres grâce auxquels l'UE accèdera rapidement et de façon fiable aux ressources de la cellule, par exemple la configuration des canaux logiques et de transport.

3.2.3. La phase d'exécution

Pour l'exécution du handover, le contrôleur source envoie un ordre de bascule à l'UE. Cette commande est typiquement un message RRC, indiquant à l'UE la cellule cible (fréquence, identifiant) et des informations sur sa configuration, afin de permettre un accès rapide et fiable de l'UE aux ressources qui lui sont réservées ou qui sont partagées au sein de la cellule entre les UE [24].

3.3. Rôle de l'UE

Le rôle de l'UE dans la procédure de handover est crucial à deux égards :

• réaliser des mesures fiables sur son environnement et les remonter au contrôleur de la station de base.

• basculer sur la cellule cible.

3.4. Le handover au sein du système LTE

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

Les aspects suivants sont décrits dans cette section :

• les mesures.
• la préparation du handover.
• l'exécution du handover.
• la procédure en cas d'échec.
• et enfin, le délai du handover « XREF ».

3.4.1. La phase de mesures

Le UE est capable, en mode veille, de détecter les cellules voisines intra et inter-fréquences sur la seule indication de leur fréquence porteuse, évitant ainsi la nécessité d'indiquer sur la cellule serveuse une liste complète de cellules voisines LTE.

En mode connecté, il faut considérer deux contraintes.

• Les informations dont l'UE a besoin pour détecter une cellule voisine. Ici, les capacités de l'UE sont identiques au mode veille.

• Le besoin ou non d'intervalles de mesures aménagés spécifiquement par l'eNodeB pour l'UE dans la trame radio (trous). Cette question ne se pose pas en mode veille puisque l'UE ne reçoit pas de données de l'eNodeB d'une manier continue.

3.4.1.1. La détection des cellules voisines LTE

L'UE n'a pas besoin de recevoir une liste de cellules LTE voisines pour les détecter. Cette détection met en jeu les signaux de synchronisation émis par chaque cellule. l'eNodeB peut

signaler une liste noire (ou blacklist) de cellules que l'UE ne doit pas mesurer. Signaler cette liste à l'UE pour les mesures limite sa consommation. En effet, même si, infinie, l'eNodeB décide de ne pas réaliser le handover vers une cellule cible faisant partie de la liste noire, l'UE détectera et mesurera inutilement ces cellules si elles ne lui sont pas interdites.

3.4.1.2. Mesures intra-fréquences et inter-fréquences

En LTE, une cellule se caractérise dans le domaine fréquentiel par sa fréquence centrale fc et sa largeur de bande. Deux cellules voisines peuvent donc avoir la même fréquence centrale mais une largeur de bande différente, ou une fréquence centrale différente avec la même largeur de bande. Le terme intra-fréquence est réservé au cas de cellules partageant la même fréquence centrale, quelle que soit leur largeur de bande respective. Au contraire, si cette fréquence est différente, on parlera de cellules inter-fréquences.

3.4.1.3. Configuration et remontée des mesures

Lors de la configuration d'une mesure, l'eNodeB associe un objet, l'objet de mesure peut être la fréquence LTE courante ou une autre fréquence LTE. L'UE mesure pour chaque cellule détectée le niveau de signal qu'il reçoit de la cellule.

3.4.2. La phase de préparation

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

3.4.3. La phase d'exécution

Après la réception du message de réponse au « Handover Request », l'eNodeB source déclenche le handover par l'envoi à l'UE du message « RRC Connection Reconfiguration » lorsqu'il reçoit ce message, l'UE doit immédiatement tenter de basculer sur la cellule cible.

3.4.4. En cas d'échec : la procédure de rétablissement

Lors de la réception du message « RRC Connection Reconfiguration » commandant le handover, l'UE démarre la temporisation du handover. Celle-ci est arrêtée par l'UE lorsque la procédure d'accès aléatoire sur le canal RACH de la cellule cible aboutit. Si cette temporisation expire avant la fin de cette procédure, l'UE considère que le handover a échoué et lance alors une procédure de rétablissement de connexion RRC. L'UE reprend alors la configuration RRC et PDCP utilisée dans la cellule source et supprime les configurations des couches physique et MAC établies pour la cellule cible [24].

3. Les modèles de propagation

Les modèles de propagation des ondes sont des modèles mathématiques qui permettent de prédire l'impact d'un émetteur sur une certaine zone de réception telle que la puissance du signal reçu. Ces modèles sont utilisés pour planifier la couverture d'un réseau radio, mobile (GSM, UMTS,…etc.), broadcaste (radio, TV) [25].

L'affaiblissement de propagation (perte de trajet), aussi connu comme affaiblissement de parcours (en anglais : path loss) joue un rôle très important dans la planification de tous les systèmes de communication sans fil. Elle dépend de l'état de l'environnement (urbain, rural, dense urbain, suburbain, ouvert, forêt, mer,…etc.), la fréquence de fonctionnement, les conditions atmosphériques, et la distance entre l'émetteur et le récepteur.

Dans cette partie, une comparaison est faite entre les différents modèles de propagation radio utilisés dans le système LTE dans différents terrains pour découvrir le modèle ayant moins d'affaiblissement dans un terrain.

4.1. Le model SUI (Stanford University Interim)

L'SUI est développé pour IEEE 802.16 par l'Université de Stanford. Il est utilisé pour les fréquences supérieures à 1900 MHz. Dans ce modèle de propagation, trois types de terrains ou de zones différentes sont envisagées. Ceux-ci sont appelés en tant que terrain A, B et C.

Terrain A représente une zone avec la plus grande perte de trajet, il peut être une région très dense, alors que le terrain B représente une zone avec une moyenne perte de trajet, un environnement de bon lieu. Terrain C à le moins de perte de chemin qui décrit une zone

rurale. Dans le tableau III.1**,** ces différents terrains et les différents facteurs utilisés dans le modèle SUI sont décrits.

Tableau III.1 : *Différents terrains et leurs paramètres.*

Paramètres	Terraine A	Terraine B	Terraine C
a	4.6	4	3.6
b (1/m)	0.0075	0.0065	0.005
c(m)	12.6	17.1	20

La perte de trajet dans le modèle SUI peut être décrite comme suit [26] :

$$PL = A + 10\gamma log(d/d0) + X_f + X_h + S \qquad (III.1)$$

où PL (path loss) représente l'affaiblissement de propagation en décibel (dB) , d est la distance entre l'émetteur et le récepteur, d0 est la distance de référence (ici, sa valeur est 100) X_f est le facteur de correction de fréquence, X_h est le Facteur de correction pour la hauteur de BS (base station ou eNodeB) , S (Shadowing : c'est l'effet que la puissance du signal reçu fluctue en raison des objets obstruant le chemin de propagation entre l'émetteur et le récepteur [27].) ,γ est la composante de l'affaiblissement (path loss) , et elle est décrit comme

$$\gamma = a - bh_b + \frac{c}{hb} \qquad (III.2)$$

où hb est la hauteur de la station de base et a, b et c représentent le terrain dont les valeurs sont choisies dans le tableau ci-dessus

$$A = 20log\left(\frac{4\pi d0}{\lambda}\right) \qquad (III.3)$$

où A est l'affaiblissement en espace libre sur le trajet alors que d0 est la distance entre Tx et Rx et λ est la longueur d'onde. X_f et X_h sont les suivantes:

$$X_f = 6\,Log\left(\frac{f}{2000}\right) \qquad (III.4)$$

$$X_h = -10{,}8\,Log\left(\frac{hr}{2000}\right) \qquad (III.5)$$

où f est la fréquence en MHz, et hr est la hauteur de l'antenne du récepteur. Cette expression est utilisée pour le type de terrain A et B. mais pour le terrain C, l'expression en dessous est utilisé.

$$X_h = -20\,Log\left(\frac{hr}{2000}\right) \qquad (III.6)$$

$$S = 0{,}65\,(Log\ f)^2 - 1{,}3\,Log\,(f) + a \qquad (III.7)$$

Ici α = 5,2 dB pour les environnements ruraux et suburbains (Terrain C & B) et 6,6 dB pour l'environnement urbain (Terrain A).

4.2. Le modèle Okumura

Le modèle Okumura est l'un des modèles les plus couramment utilisés. Presque tous les modèles de propagation sont améliorés sous forme de modèle Okumura. Il peut être utilisé pour des fréquences jusqu'à 3000 MHz.

La distance entre l'émetteur et le récepteur peut être à environ 100 km tandis que la hauteur du récepteur peut être de 3 m à 10 m. le path loss dans le modèle Okumura peut être calculé comme [26]

$$PL(dB) = L_f + A_{m,n}(f,d) - G(ht) - G(hr) - G_{AREA} \qquad (III.8)$$

Ici, Lf est la perte de trajet en espace libre et est calculée par l'expression suivante:

$$L_f = -20\,Log\left(\frac{\lambda}{4\pi d0}\right) \qquad (III.9)$$

Tandis que $G\,(ht)$ et $G\,(hr)$ sont les facteurs de gain d'antenne de station de base et des facteurs de gain du récepteur, respectivement. Leurs formules sont les suivantes:

$$G(h_t) = 20\,Log\left(\frac{ht}{200}\right) \qquad (III.10)$$

$$G(hr) = 10\,Log\left(\frac{hr}{3}\right) \qquad (III.11)$$

où h_t et h_r sont les hauteurs de la station de base et le récepteur respectivement. $A_{m,n}(f,d)$ est appelé le facteur d'atténuation du milieu de transmission. Le gain de l'aire G_{area} dépend de la zone utilisée et sa représentation graphique avec un facteur d'atténuation moyen représenté sur la figure III.2.

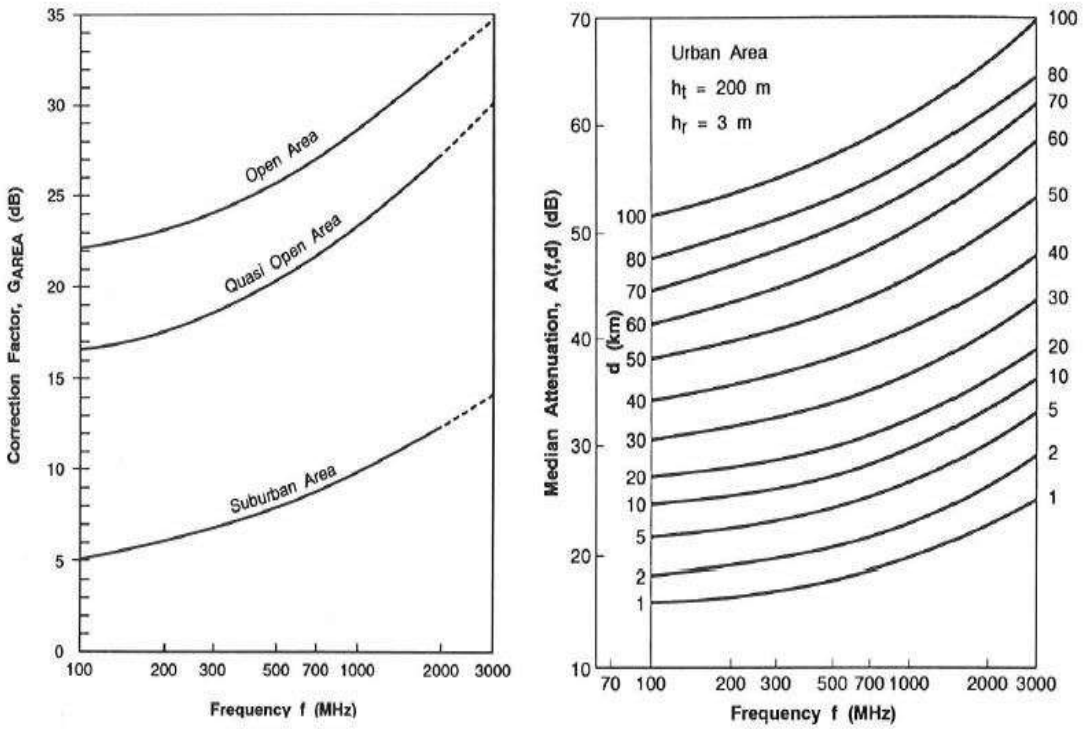


Figure III.2 : *Le facteur d'atténuation médian pour le modèle Okumura.*

4.3. Le model de Propagation Cost-231 Hata

COST-231 Hata model est également connu sous le nom COST Hata model. il peut être utilisé pour les fréquences jusqu'à 2000 MHz. L'expression de l'affaiblissement de trajet moyenne dans les zones urbaines est donnée par :

$$PL(dB) = 46{,}3 + 33{,}9\,Log\,(f) - 13{,}02\,Log\,(h_b) - a(h_r) + [44{,}9 - 6{,}55Log(h_b)] - Log(d) + c \qquad (III.12)$$

Ici, f représente la fréquence en MHz, d représente la distance entre l'émetteur et le récepteur, h_b et h_r les facteurs de correction pour la hauteur de la station de base et la hauteur du récepteur, respectivement [26].

Le paramètre c est égal à zéro pour les environnements suburbains et ruraux alors qu'il a une valeur de 3 pour la zone urbaine. La fonction $a(h_r)$ pour la zone urbaine est définie comme:

$$\mathrm{a}(h_r) = 3{,}2\,(Log(11.75\,hr))^2 - 4{,}97 \qquad (III.13)$$

Pour les zones rurales et suburbaines est comme suit:

$$a(hr) = (11\,Log(f) - 0{,}7\,hr - (1{,}58f - 0{,}8) \qquad (III.14)$$

4.4. Le model COST-231 Walfisch-Ikegami

Le modèle COST-231 Walfisch-Ikegami est une extension du modèle COST Hata model. Il peut être utilisé pour des fréquences supérieures à 2000 MHz. Quand la distance est direct (exprimée en vole d'oiseau) (LOS : visibilité directe) entre l'émetteur et le récepteur le path loss est donnée par la formule suivante:

$$PL = 42{,}64 + 26\,Log\,(d) + 20\,Log\,(f) \qquad (III.15)$$

Alors que dans le cas NLOS (non visibilité directe), l'affaiblissement est donnée comme:

$$PL = Lo + L_{RTS} + L_{MSD} \qquad (III.16)$$

Où Lo est l'atténuation en espace libre et est décrit comme:

$$Lo = 32{,}45 + 20Log\,(d) + 20\,Log\,(f) \qquad (III.17)$$

$Lrts$ Représente la diffraction rooftop to street, et est défini comme suit:

$$L_{RTS} = -16{,}9 - 10\,Log\,(w) + 10\,Log\,(f) + 20\,Log\,(h_b - h_r) + L_{ori} \qquad (III.18)$$

f :fréquence en (Mhz)

w : La distance entre deux bâtiments voisines en (m)

Ici $LORI$ est une fonction de l'orientation de l'antenne par rapport à la rue, a(en degrés) et est définie comme suit:

$$Lori = \begin{cases} -10 + 0{,}354\,a & pour \quad 0 < a < 35 \\ 2{,}5 + 0{,}075\,(a - 35) & pour \quad 35 < a < 55 \\ 4 - 0{,}114\,(a - 55) & pour \quad 55 < a < 90 \end{cases} \qquad (III.19)$$

L_{MSD} représente la perte de diffraction due à de multiples obstacles et est spécifié comme suit:

$$L_{MSD} = L_{BSH} + K_A + K_D Log(d) + K_f Log(f) - 9 Log(S_b) \quad (III.20)$$

Où

$$L_{BSH} = \begin{cases} -18\ Log(1 + ht - hb) & pour\ ht > hb \\ 54 + 0{,}8(ht - hb)2d & pour\ ht \leq hb \\ & et\ d < 0{,}5\ km \end{cases} \quad (III.21)$$

$$K_A = \begin{cases} 54 & pour\ ht > hb \\ 57 + 0{,}8(ht - hb) & pour\ ht \leq hb \\ & et\ d > 0.5\ km \end{cases} \quad (III.22)$$

$$K_D = \begin{cases} 18 + 15\left(\frac{ht-hb}{hb}\right) & pour\ ht > hb \\ 18 & pour\ ht \leq hb \\ & et\ d > 0.5km \end{cases} \quad (III.23)$$

$$K_F = -4 + k\left(\frac{f}{924}\right) \quad (III.24)$$

Ici, k = 0,7 pour les centres de banlieue et 1,5 pour les centres métropolitains.

4.5. Le model Ericsson 9999

Ce modèle est mis en œuvre par Ericsson comme une extension du model Hata. Ce dernier est utilisé pour des fréquences allant jusqu'à 1900 MHz. Dans ce modèle, nous pouvons ajuster les paramètres en fonction du scénario donné. La perte de trajet évaluée par ce modèle est décrite comme suit:

$$PL = a_0 + a_1 Log(d) + a_2 Log(h_b) + a_3 Log(h_b) Log(d) - 3{,}2\left(Log(11{,}75)\right)^2 + g(f) \quad (III.25)$$

où

$$g(f) = 44{,}49\ Log(f) - 4{,}78\left(Log(f)\right)^2 \quad (III.26)$$

Les valeurs de $a0, a1, a2\ et\ a3$ sont des constantes, mais ils peuvent être modifiés en fonction du scénario (environnement). Les valeurs par défaut données par le modèle Ericsson

sont $a0 = 36{,}2$; $a1 = 30{,}2$; $a2 = 12{,}0$ et $a3 = 0{,}1$. Le paramètre f représente la fréquence [26].

4. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons défini la QoS, présenté ses différents paramètres, suivis d'une partie qui exprime en détail le Handover et a la fin on nous avons cité les déférent modèles de propagation utilisés dans le réseau cellulaire de la quatrième génération (LTE).

Le chapitre suivant contient la simulation d'un UE en mouvement, le UE va se déplacer d'un eNodeB à un autre se qui déclenche un Handover. Des mesures sur différents paramètres de la QoS existants dans la 4G (LTE) seront étudiées en fonction de modèle de propagation utilisé.

CHAPITRE IV

RESULTAS ET INTERPRETATIONS

1. Introduction

Le domaine des réseaux connait une expansion importante grâce à plusieurs moyens qui ont pu se développer au cours du temps, donc c'est très couteux de déployer un banc d'essai complet contenant plusieurs matérielles, des routeurs et des liaisons de données pour valider ou vérifier des protocoles de réseau ou de certains algorithmes spécifiques. C'est la raison pour que les simulateurs de réseaux sont utilisés.

Les simulateurs du réseau offrent beaucoup d'économie, d'argent et de temps pour l'accomplissement des tâches de simulation et sont également utilisés pour que les concepteurs des réseaux puissent tester les nouveaux protocoles ou modifier les protocoles déjà existants d'une manière contrôlée et productrice. Dans ce mémoire on a utilisé le NS-3(Network Simulation-3) comme un simulateur de réseau.

La problématique étudiée dans ce mémoire étant la simulation d'un système LTE (réseaux 4G), et en particulier les paramètres de la QoS.

Nous présentons dans ce qui suit quelques connaissances en termes du simulateur NS-3 et le déroulement des étapes de simulation que nous avons menée dans ce travail de fin d'études qui consiste à simuler quelques critères de QoS. Notre intérêt est d'offrir les meilleurs services à un débit et QoS prestigieux

2. Le NS-3

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.

NS-3 a été développé pour fournir une plate-forme extensible de simulation ouverte, utilisé dans le domaine de la recherche de l'éducation, ns-3 est un projet open-source de développement, il utilisant des scripts écrit en C++ ou en Python.

Nous avons choisis de travaillé avec ce simulateur pour un simple raison que ce simulateur possède des scripts dont nous pouvons les utilisés n'importe quand contrairement aux autres simulateurs.

2.1. Terminologie et abstractions

Dans cette section, nous allons examiner certains termes qui sont couramment utilisés dans les réseaux, mais ont une signification particulière dans le NS-3.

2.1.1. *Les nœuds "Node"*

Dans le NS-3 l'abstraction de base de dispositif informatique est appelé le nœud. Cette abstraction est représentée en C ++ par la classe "Node". La classe Node fournit des méthodes pour gérer les représentations des dispositifs informatiques dans les simulations.

Vous devriez penser à un nœud comme un ordinateur sur lequel vous allez ajouter des fonctionnalités. On ajoute des choses comme des applications, des piles de protocoles et les cartes périphériques avec leurs pilotes associés pour permettre à l'ordinateur de faire un travail utile , dans notre travail les nœud sont les deux eNode-B, le romote host et le UE.

2.1.2. *Les 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.

2.1.3. Le canal de communication "Channel"

Dans le monde réel, qui peut connecter un ordinateur à un réseau. Le canal "Channel" c'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.

2.1.4. Les interfaces de la communication "NetDevice"

Appelée NetDevice, qui modélise à la fois les équipements et les pilotes de la communication. Des spécialisations sont fournies comme par exemple « LTE-NetDvice » qui peut être reliée à un «LTEChannel ». Et le protocole stack représente le protocole utilisé durant la simulation par exemple le IPV4 (Internet Protocol Version 4).

2.1.5. Les "Topology Helpers"

Dans NS-3 nous dire que vous voulez trouver des nœuds avec NetDevices attachés. Dans un grand réseau simulé, vous aurez besoin d'organiser de nombreuses connexions entre les

nœuds, NetDevices et canaux. depuis la connexion NetDevices aux nœuds, NetDevices aux canaux, l'attribution des adresses IP, etc. , sont telles tâches commune (qui sont répéter à chaque nœud en NS-3) , le NS-3 fournis ce que nous appelons les Topology Helpers pour faire la simulation facile que possible [28].

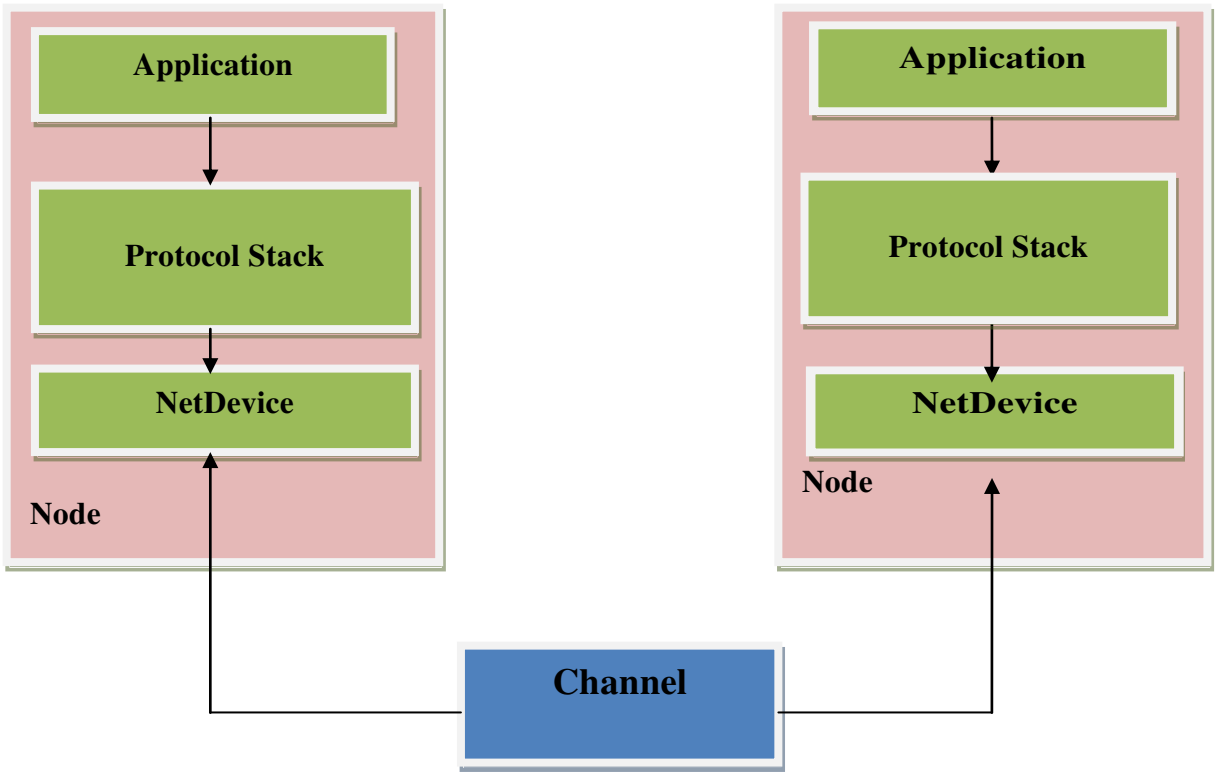


Figure IV.1 : *Architecture du nœud NS-3.*

2.2. Installation du simulateur NS-3

Pour installer NS-3 nous devons avoir une interface Linux, et cela ce fait soit en installant Linux directement sur la machine ou bien utilisés une machine virtuel (VMware) , alors on peut utiliser le Kali comme une interface de Linux, et les étapes suivantes sont des commandes pour télécharger et installer les différents paquets utiliser dans Linux (distribution Kali).

- Package pour C++, c'est le package minimal pour le besoin de l'installation de NS-3.

sudo apt-get install gcc g++ python

- Paquage pour Python.

sudo apt-get install gcc g++ python python-dev

- Package pour Mercurial.

sudo apt-get install mercurial

- Doxygen and related inline documentation:

sudo apt-get install doxygen graphviz imagemagick

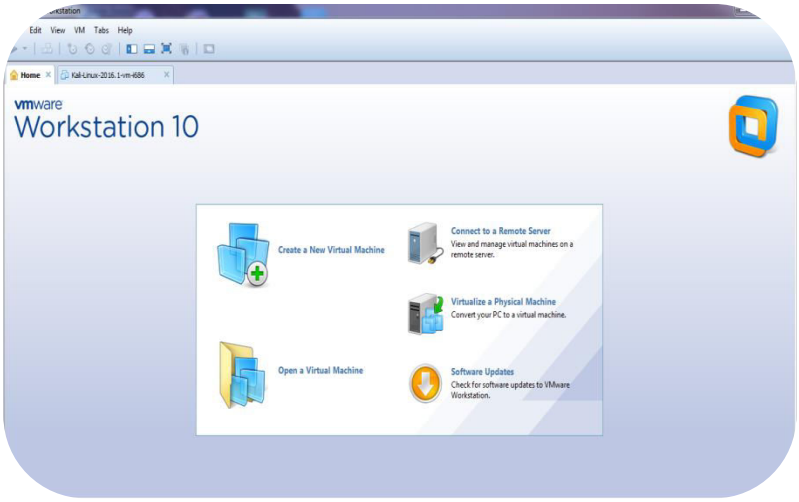
Après toutes ces étapes nous allons maintenant passer à l'installation de NS-3 , nous allons utiliser le fichier exécutable « Build.py » qui se trouve dans le répertoire NS-3 :

build.py --enable-examples --enable-tests [28].

2.3. Les étapes pour réaliser une simulation dans NS-3

Premièrement, nous avons utilisé une machine virtuelle (VMware Workstation 10) sur laquelle nous avons installé le système linux (kali-linux-mini-2.0) Figure IV.2 montre les différentes étapes de démarrage du VMware, kali-linux et NS-3.

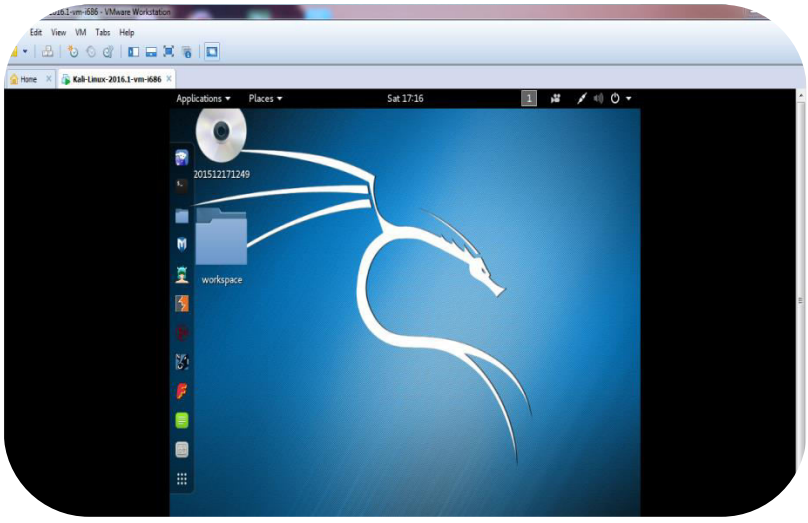
Nos simulations ont été réalisées sous le simulateur NS-3 (version 3.24.1), qui possède un module qui permet de simuler le réseau LTE avec une variété de mécanismes de qualité de services.

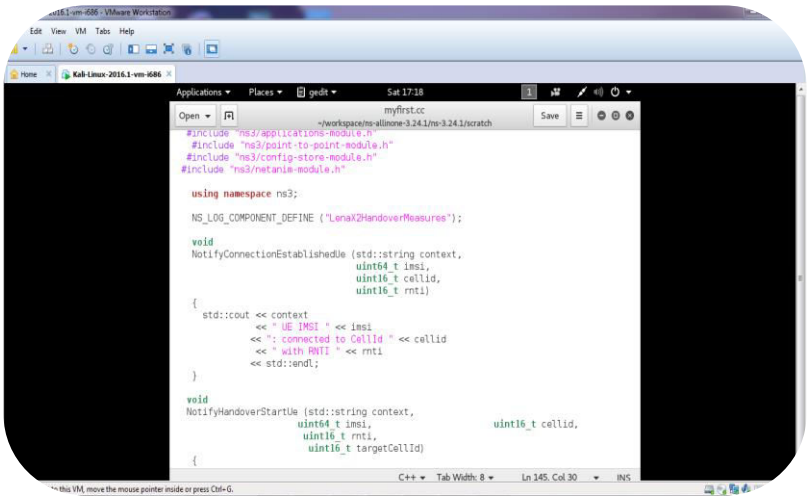


La machine vertuelle :

virtuelle VMware Workstation 10

Le système linux





NS-3

Figure IV.2 : *Les étapes de nos simulations sous NS-3.*

3. Déroulement de la simulation

Dans notre projet, nous avons créés un réseau LTE composé d'un UE en mobilité reçoit des données à partir un remote host(source d'information). Ce UE traverse un point de communication(eNodeB) vers un autre point de communication avec l'utilisation du mécanisme de handover et mesuré les différents indicateurs dans la technologie LTE.

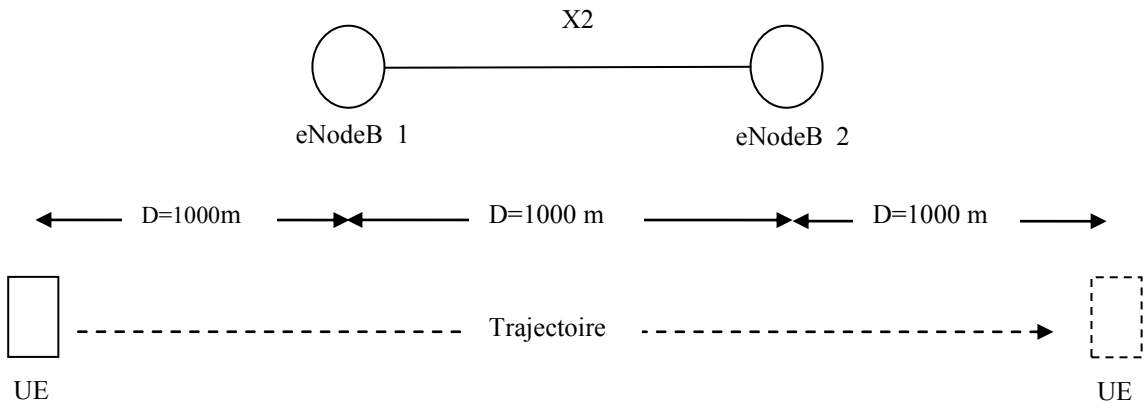


Figure IV.3 : *Le scenario de notre projet.*

La figure IV.3 illustre le scenario de notre étude. Nous avons fixé dans chaque 1000 m un eNode-B et un UE déplace dans un vecteur linéaire a partir de point 0 à 3000 m avec une vitesse de 20 m/s. Nous avons aussi utilisé le model de propagation HOST-231(cf. Chapitre III) pour faire notre simulation plus proche de la réalité et nous avons fixé le moment du handover à D=1500 m.

La figure IV.4 montre le modèle simplifié du code créé en NS- 3 pour simuler le handover.

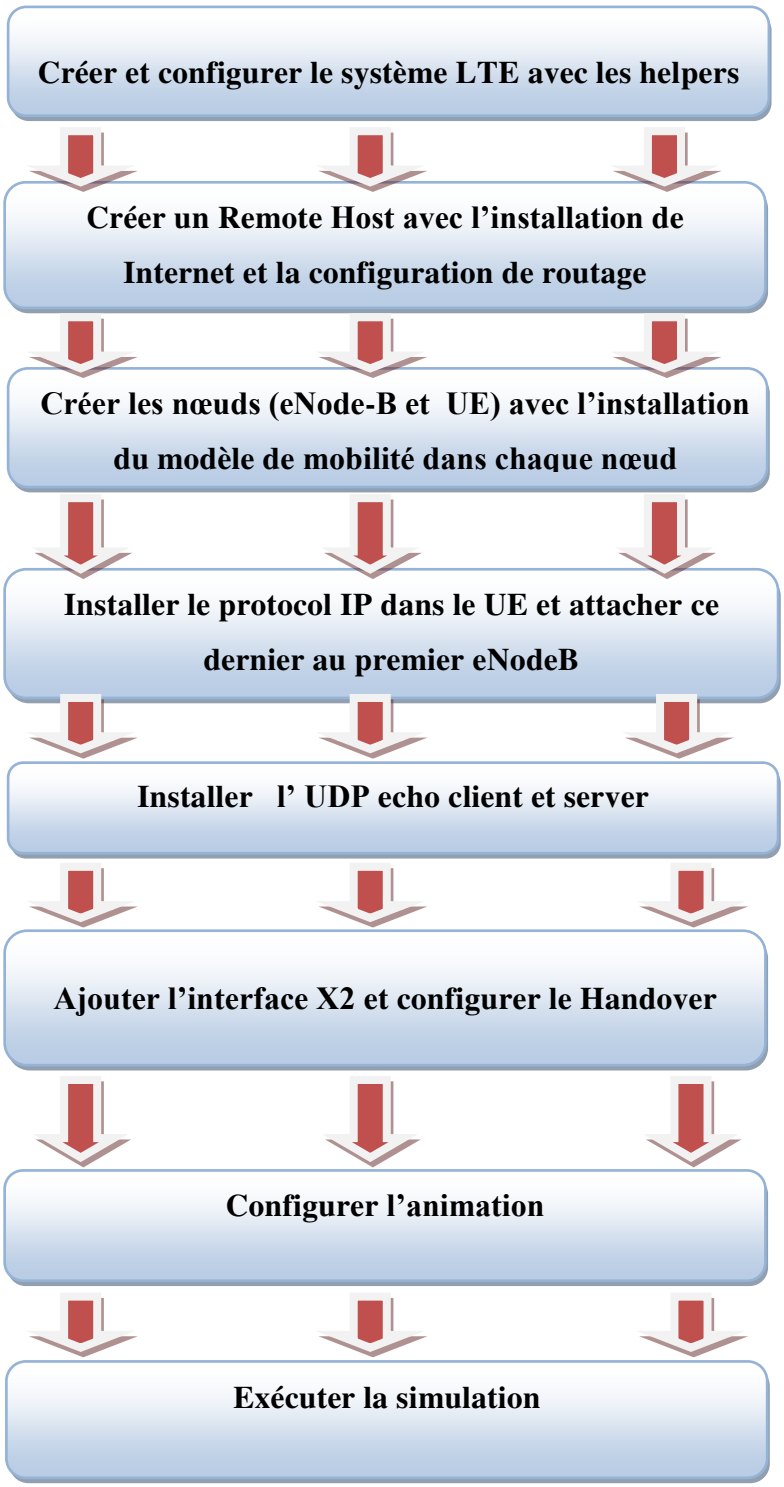


Figure IV.4 : *L'organigramme de notre simulation.*

4. Les indicateurs de QoS utilisés dans notre simulation

La norme LTE définit des indicateurs de qualité qui servent de mesure pour la qualité de transmission en liaison descendante (downlink) et ascendante (uplink). Parmi ces indicateurs on trouve notamment le CQI (Channel Quality Indicator) l'indicateur de la qualité du canal, le SINR (Signal Interference noise Ratio) rapport signal sur bruit et le RSRP (Reference Signal Received Power).

4.1. *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 :

* L'amplitude maximale du signal, déterminé par la valeur maximale de puissance (S).

* 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'entrée (B).

* La puissance d'interférence (I) .

le SINR est exprimé comme suit :

$$SINR = \frac{S}{B + I} \qquad (IV.1)$$

4.2. *Le CQI*

Le CQI est un élément très important dans le réseau LTE, il signifie l'indicateur de la qualité du canal. comme son nom l'indique, il nous rapporte la qualité du canal de la communication que soit bonne ou mauvaise [1] .il varie entre 0 à 15, Il précise a l'eNode-B la modulation utilisée (QPSK, 16-QAM ou 64-QAM) et la taille maximale des blocs de transport que l'UE peut recevoir .

Il est exprimé comme suit [29] :

$$CQI = 0.5223\ \mathrm{SINR} + 4.6176 \qquad (IV.2)$$

Le tableau suivant illustre les valeurs de CQI en fonction de la modulation utilisé [29].

Tableau IV.1 : *Les valeurs de CQI en fonction de la modulation.*

CQI Index	Modulation	CQI Index	Modulation
0	Pas de transmission	8	16QAM
1	QPSK	9	16QAM
2	QPSK	10	64QAM
3	QPSK	11	64QAM
4	QPSK	12	64QAM
5	QPSK	13	64QAM
6	QPSK	14	64QAM
7	16QAM	15	64QAM

Lorsque le CQI varie entre 1 et 6 dans une communication utilisant une modulation de type QPSK, ce type de modulation permet de transmettre 2 bit par symbole.

Les valeurs du CQI prennent 7,8 et 9 pour une communication utilisant la modulation 16QAM c'est-à-dire envoyer 4 bits par symbole.

Et les valeurs du CQI qui varie entre 10 et 15 pour une communication utilisant la modulation 64QAM c'est-à-dire l'envoi de 6bits par symbole.

on remarque que la modulation 64QAM donne les meilleurs valeurs de CQI que les autres types de modulation utilisés dans les réseaux LTE (QPSK et 16QAM), par ce que ce type de modulation permet d'envoyer de 6 bits par symbole que nous donne un débit plus important que les autres modulations .

4.3. *Le RSRP*

C'est la mesure la plus basique réalisée par la couche physique du l'UE, permettant d'obtenir une valeur moyenne de la puissance reçue du signal de référence (RS) émise de la part de l'eNode-B pour chaque RE(Resource Element). La mesure s'exprime en Watt ou en dBm[30].

5. Les résultats et les interprétations de la simulation

Grace à ce simulateur NS-3 nous avons pu tester les paramètres de QoS (CQI, SINR, RSRP) pour voir ainsi l'influence de quelques facteurs sur ces paramètres, nous allons présenter tous nos résultats sur des graphes qu'on a testé.

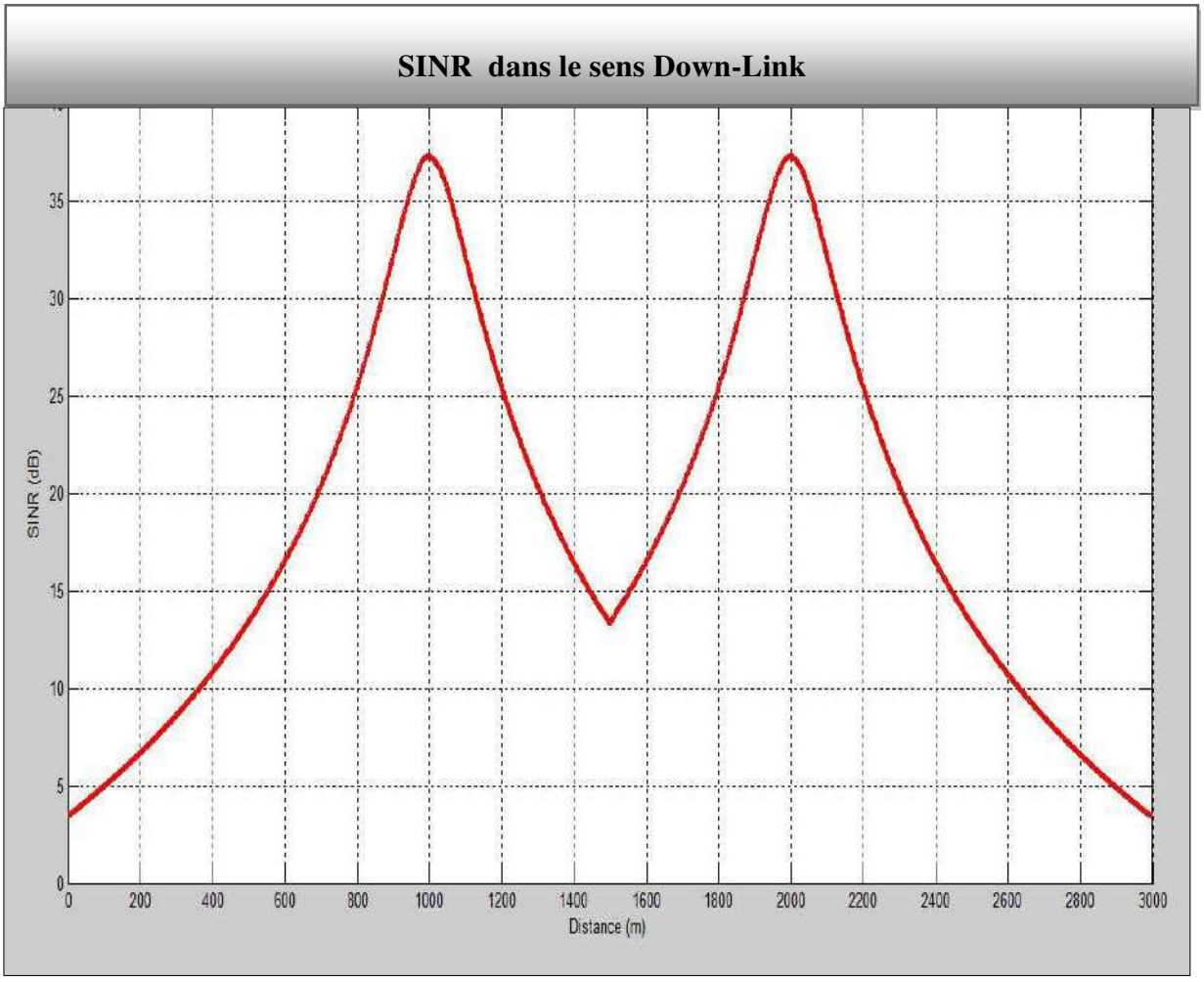


Figure IV.8 : *SINR en fonction de la distance sur la voie descendante*

La figure IV.8 représente le SINR dans la voie descendante, lorsque le UE est en mobilité . à chaque fois il est proche de eNode-B le signal augmente jusqu'à 37 dB qui correspondant la position du premier eNode-B (1000m),après cette point le signal diminué jusqu'à 13 dB (à 1500 m) ,cette dernier point implique la discision de faire le Handover vers l'autre eNode-B que nous donne encore la ré-augmentation du signal jusqu'à la position du deuxième eNode-B et le signal ré-diminué chaque fois quand le UE est plus loin que le deuxième eNode-B dû à l'affaiblissement de signal.

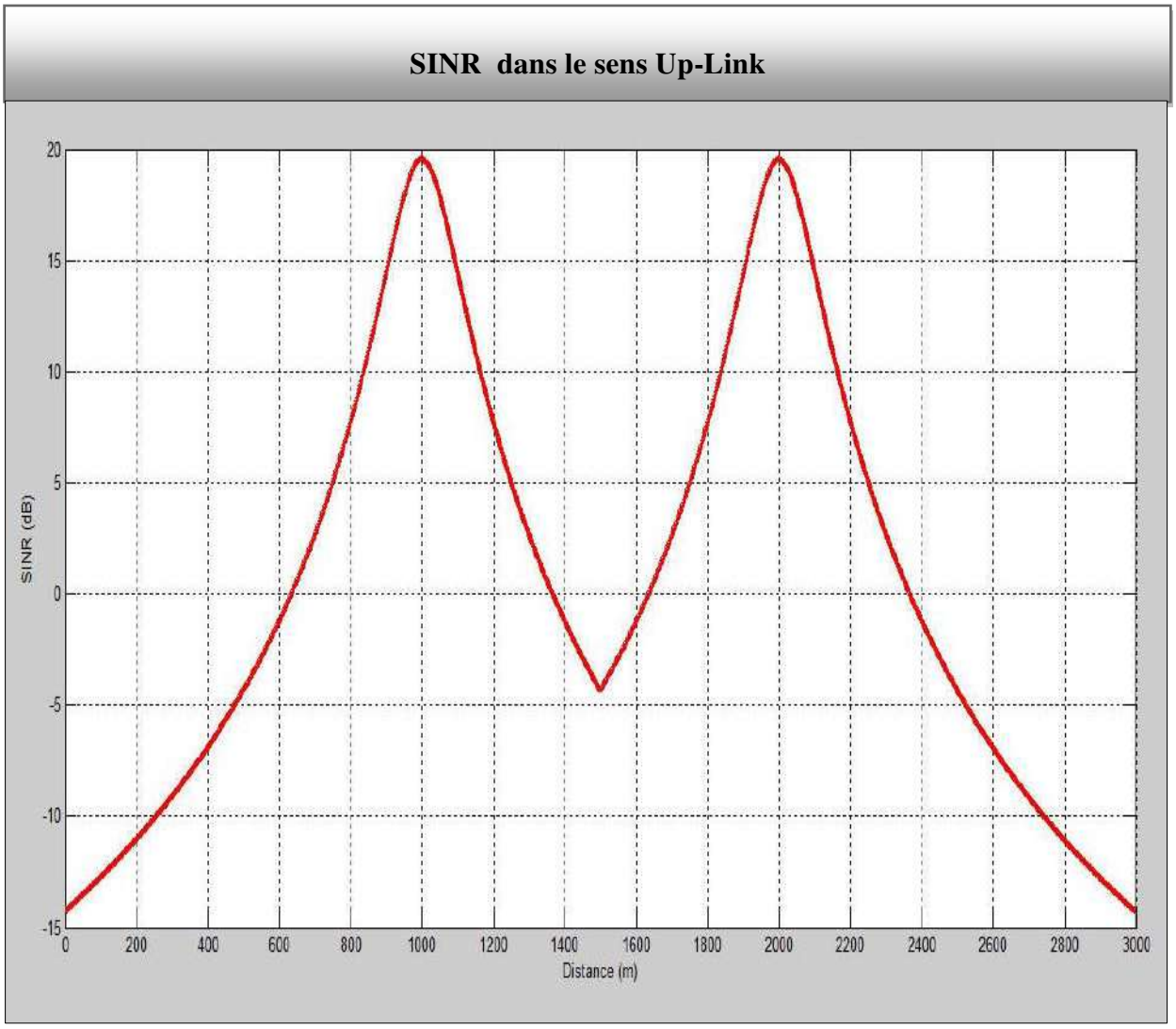


Figure IV.9 : *SINR en fonction de la distance sur la voie montante*

La figure IV.9 représente le signal du rapport SINR dans la voie montante, nous avons le même scenario que la voie descendante mais avec un rapport SINR plus faible que le SINR dans la voie descendante parce que le niveau de signal de eNode-B est plus fort que le signal de le UE.

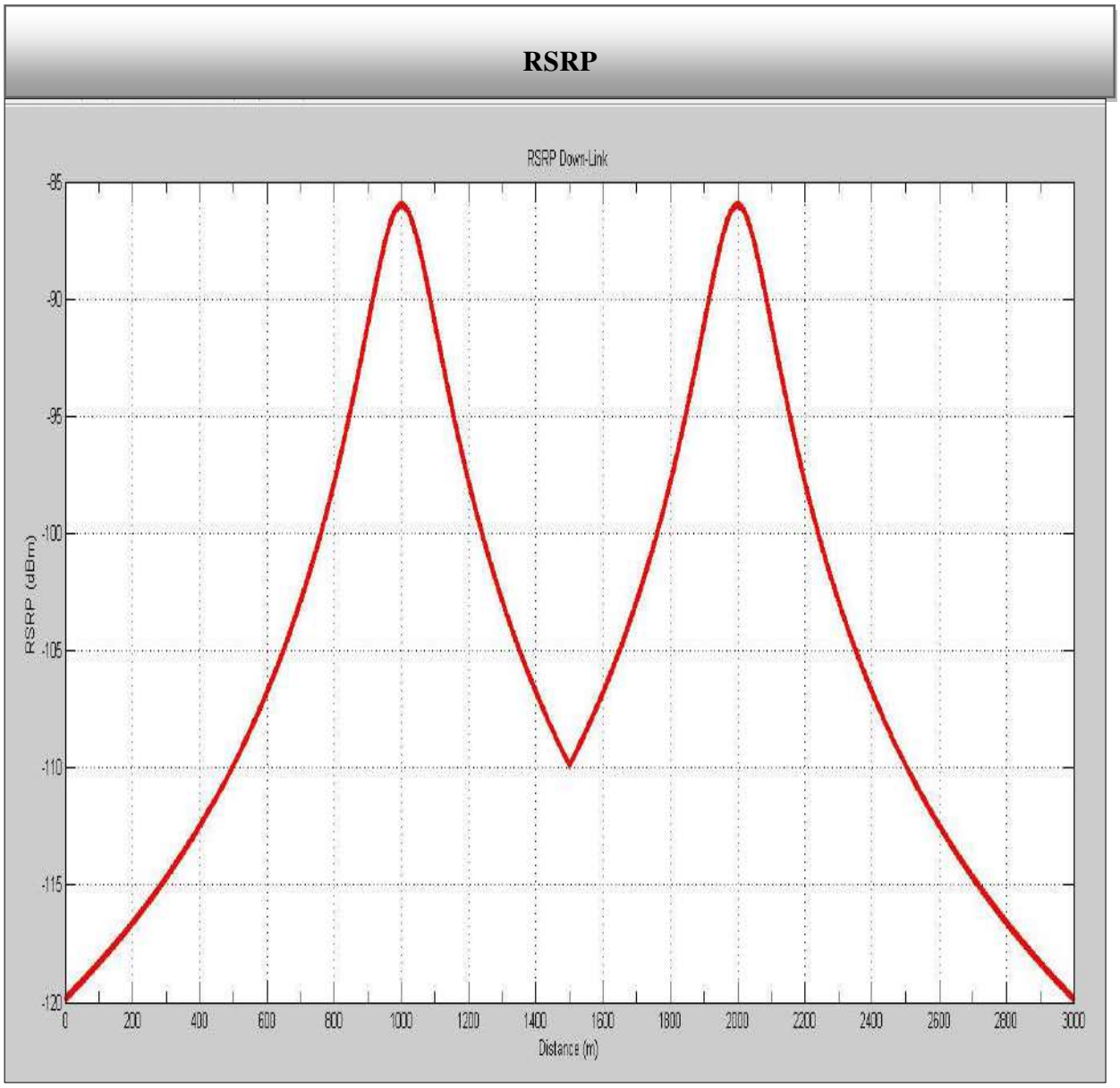


Figure IV.10 : *RSRP en fonction de la distance*

Dans la figure IV.10 qui représente la variation de RSRP en fonction de la distance .On remarque une relation linéaire entre le SINR et le RSRP qui nous implique la ressemblance des graphes ces derniers prennent les mêmes scenarios, La figure IV.11 présente la linéarité entre le SINR et le RSRP.

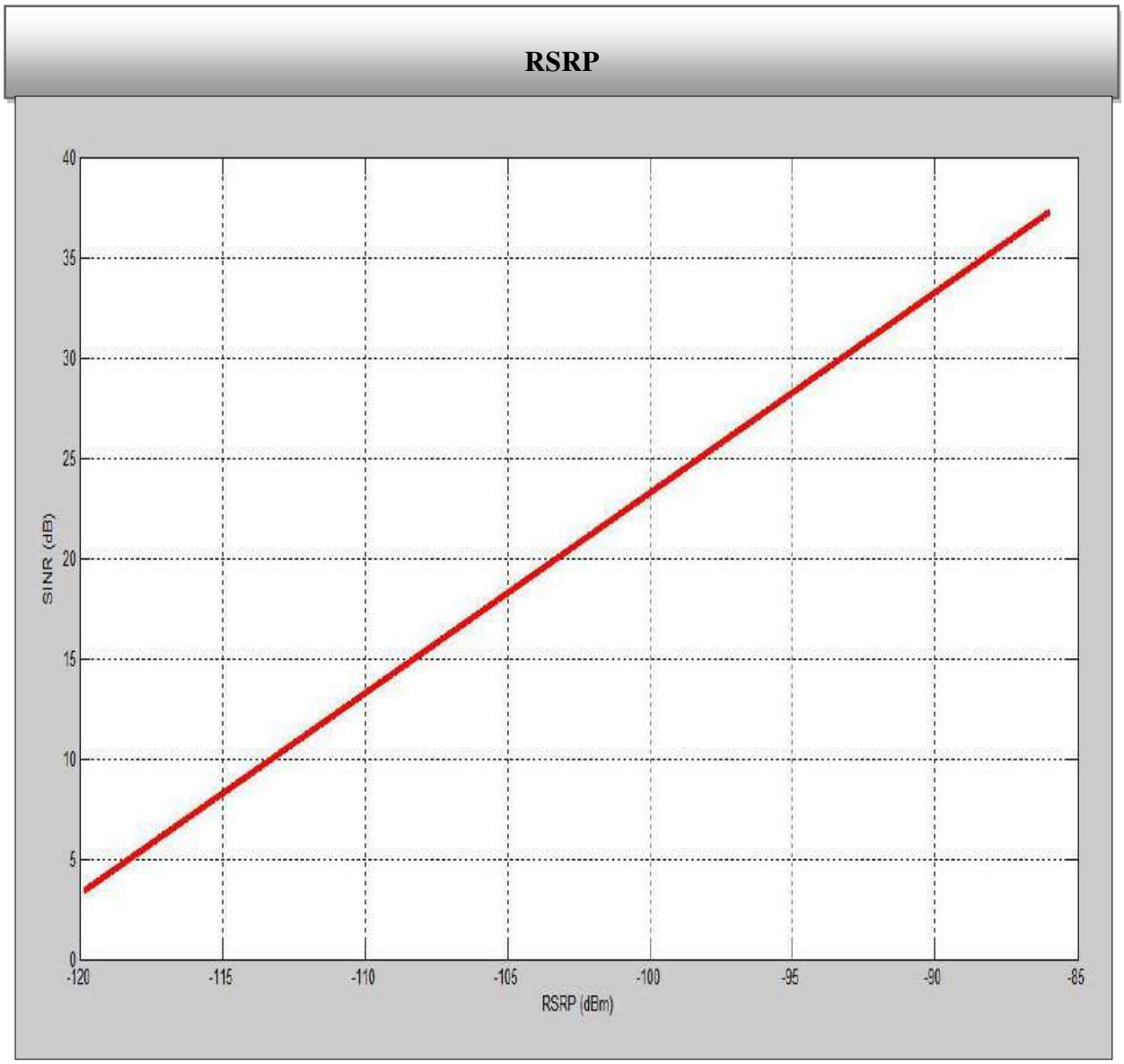


Figure IV.11: *SINR en fonction RSRP.*

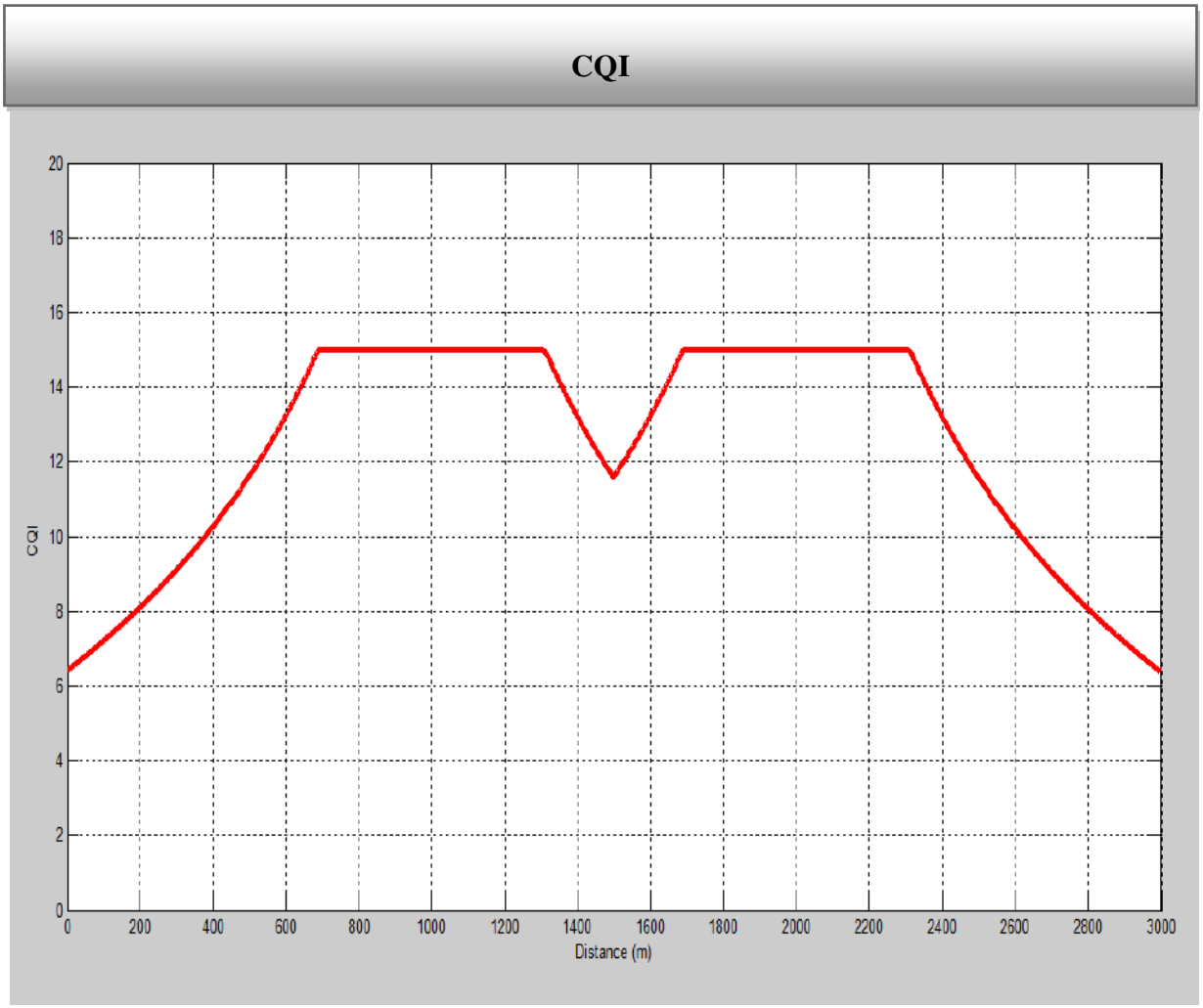


Figure IV.12 : *CQI en fonction de la distance*

Cette figure représente la variation de CQI en fonction de la distance, on remarque l'augmentation de CQI de 6 jusqu'à la valeur maximal de ce paramètre 15 (de 650m jusqu' à environ 1300 m) ce qui implique une forte qualité de signal dans la zone proche du premier eNodeB.

Lorsque le UE était loin de l'eNodeB on observe une dégradation de CQI jusqu'à la valeur environ de 12 (de 1300m jusqu'à 1500 m) , cette dégradation est due essentiellement à la diminution de l'intensité du signal, l'augmentation du taux d'erreur binaire et aussi aux interférences jusqu'à le point de handover (1500 m) après cette valeur on a une ré-augmentation de CQI(de 1500m jusqu'à environ 1700 m), il est constant « CQI=15 »lorsque il était dans la zone la plus proche du deuxième eNodeB .

Après cette valeur on observe encore une dégradation, cette dégradation et due aux mêmes raisons de premier dégradation.

On remarque lorsque nous avons un handover le CQI ne diminue moins de 12 qui garde toujours une bonne qualité de canal, contrairement dans le cas qu'il n'y a pas de handover le CQI diminue jusqu'à la valeur 6.

6. Comparaison entre des scenarios avec et sans handover

Nous avons créé le même système LTE mais sans l'utilisation de handover la figure IV.13 montre une comparaison de la variation de SINR avec et sans handover.

Le graphe qui est en noire représente la variation de SINR dans le cas sans handover, et le graphe qui est en rouge représente la variation de SINR dans le cas avec handover

Le point de déférence entre les deux cas est a partir d=1500 m, c'est que dans le scenario sans handover le SINR est continue leur dégradation contrairement à l'autre scenario qu'on a une ré-augmentation due au handover. Donc le mécanisme de handover nous assure une connexion fiable continue (sans interruptions des services) et une qualité de connexion plus forte que le cas sans handover.

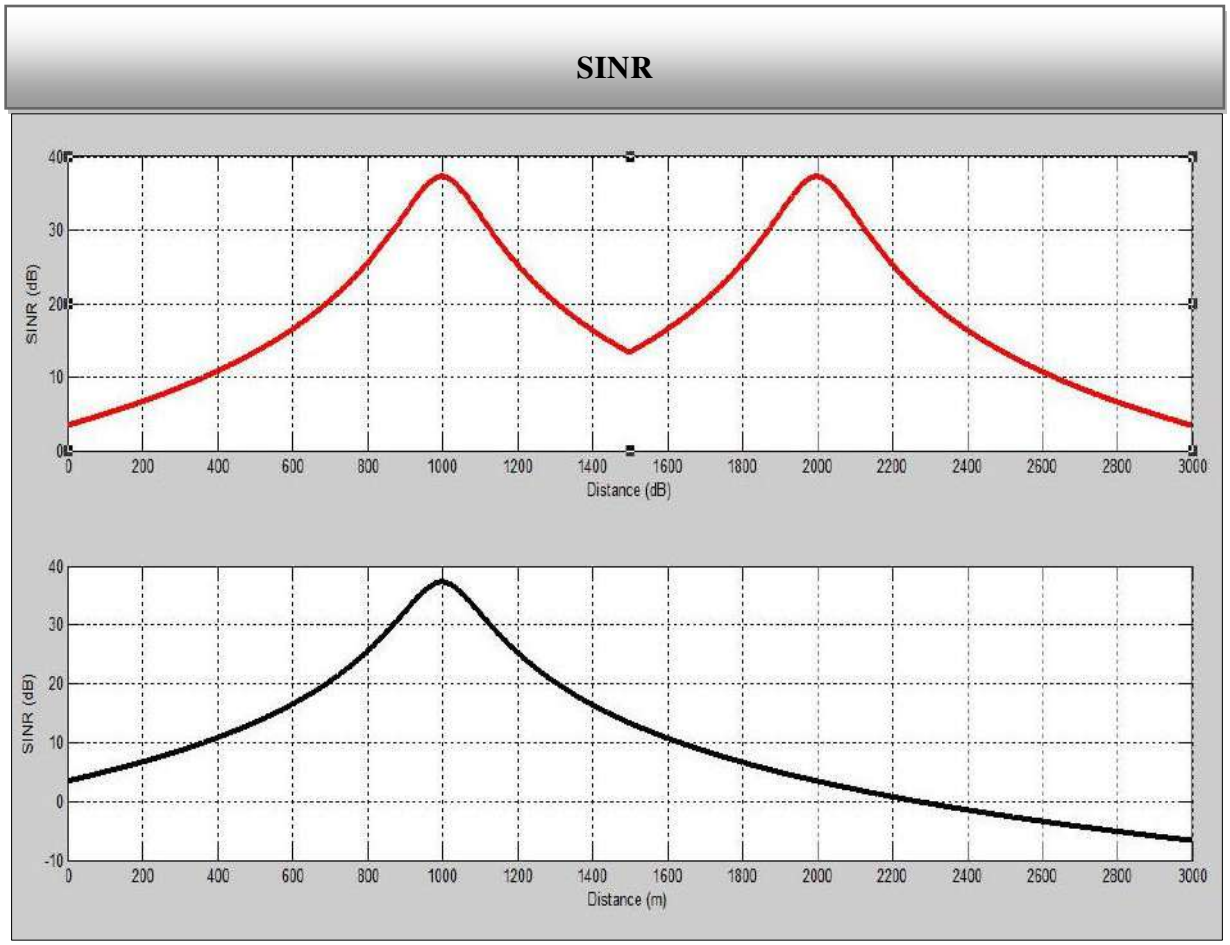


Figure IV.13 : *SINR en fonction de la distance*

7. Conclusion

Dans ce chapitre, on a pu présenter le simulateur ns-3, en raison de la complexité de la technologie LTE, le module ns-3 est limité dans ces fonctionnalités.

Dans cette étude, on a concentré nos discussions, nos simulations et nos interprétations dans la partie E-UTRAN

On déduire que la qualité de service indique la fiabilité du réseau, les paramètres CQI, SINR et le RSRP permettent de mesurer les performances de la transmission .la fiabilité de réseau est assurée mieux dans le cas de handover.

CONCLUSION GENERALE

Dans ce mémoire on a pu constater que les générations de réseau téléphonique cellulaire a été développé pour augmenter les déférents paramètres de la QoS (débit, délai,....), ces paramètres influence directement sur notre réseau qui a été conçu pour nous offre des applications et des services extra ordinaire surtout après l'intégration du protocole de l'internet.

Maintenant la 4G connais un succès car sa nouvelle architecture qui nous donne un débit très haut que les anciens générations (2G et 3G) et ouvert les portes pour des nouvelles technologies malgré elle n'a pas mis en œuvre dans les pays entier.

Les principaux paramètres du réseau 4G qui ont faits que ce réseau soit le meilleur sont son très haut débit utilisé, une latence très petite, une large bande passante et multiple, une bande de fréquence flexible, et une interopérabilité avec les autres réseaux ainsi ce paramètre donne le choix à l'utilisateur pour leur utilisation au sein de la 4G. Nous avons constaté que le handover et un processus dans la technologie 4 G qui permet de garder la qualité de service d'un réseau stable durant la phase de transition d'une cellule a l'autre et cela réduire d'une manière efficace le problème de l'interruption des appel téléphonique (call drop) et des services.

BIBLIOGRAPHIE

[1] Al Agha.K,. Pujolle.G,. Vivier.G, (2001) , Réseaux de mobiles et réseaux sans fils, Eyrolles .

[2] Introduction aux réseaux cellulaires [en ligne] (page consultée le 27/01/2016).

http://formation.cnam.fr/par-ecole/ecole-siti/informatique/reseaux-mobiles-et-reseaux-sans-fil-208781.kjsp

[3] évolution de la 1G vers la 4G [en ligne] (page consultée le 27/01/2016).

http://4glte.over-blog.com/article-evolution-de-la-1g-vers-la-4g-82164235.html

[4] Les réseaux mobile de la deuxième génération [en ligne] (page consultée le 27/01/2016).

http://www.commentcamarche.net/contents/1123-telephonie-mobile-3g-et-4g-expliquees .

[5] Les réseau GSM [en ligne] (page consultée le 28/01/2016).

http://www.technologuepro.com/gsm/chapitre_2_GSM.htm .

[6] la norme de IMSI [en ligne] (page consultée le 29/04/2016).

http://www.whytelecom.com/content/global-title-translation-or-how-get-hlr-imsi-number

[7] Frequency Hopping [en ligne] (page consultée le 29/04/2016).
http://easytp.cnam.fr/terre/images/WiFi.pdf

[8] GSM : Global System for Mobile Communications Architecture, Interfaces et Identités [en ligne] (page consultée le 29/04/2016).
http://www.efort.com

[9] la norme de MSISDN [en ligne] (page consultée le 30/04/2016).

https://clients.txtnation.com/entries/61521-MSISDN-Number-in-international-format-number-Internationally-formatted-number-

[10] Les réseaux mobiles de troisième génération [en ligne] (page consultée le 28/01/2016).

http://www.efort.com

[11] L'UMTS et le haut-débit mobile [en ligne] (page consultée le 28/01/2016).
http://www-igm.univ-mlv.fr/~dr/XPOSE2006/eric_meurisse/umts.php .

[12] Bouchentouf.H et Boudghene Stambouli.R (2013) ,«Etude des performances des réseaux 4G (LTE) », mémoire Master en Télécommunication, Université de Tlemcen ,76p .

[13] HSPA et l'évolution de l' UMTS [en ligne] (page consultée le 28/01/2016). http://www.zdnet.fr/actualites/norme-hspa-la-cle-du-haut-debit-mobile-integral-39367157.htm

[14] Coupechoux.M ,. Martins.P (2013), Vers les systèmes radio mobiles de 4egéneration , Paris ,Springer-Verlag.

[15] Coupechoux.M ,. Martins.P (2013), Vers les systèmes radio mobiles de 4ème géneration , Paris ,Springer-Verlag

[16] LADJADJAT.M (2015),«Conception et développement des nouveaux services dans le réseau 4G d'AlgérieTélécom», mémoire Master en Télécommunication, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene,55p.

[17] SEIDE, Germine (2011), «Planification d'un réseau de quatrième génération à partir d'un réseau de troisieme génération»,mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de maitrisées sciences appliquées ,Ecole polytechnique de Montréal ,132p.

[18] le MME LTE [en ligne] (page consultée le 08/04/2016).

http://www.rcrwireless.com/20140509/wireless/lte-mme-epc .

[19] Les couches dans le LTE [en ligne] (page consultée le 13-04-2016). https://wapiti.telecom-lille.fr/

[20] L'antenne MIMO [en ligne] (page consultée le 08/04/2016). http://www.tomshardware.fr

[21] Les parametres de QoS [en ligne] (page consultée le 08/04/2016). http://www.journaldugeek.com/2013/10/03/dossier-4g-lte/

[22] Les parametres de QoS [en ligne] (page consultée le 08/04/2016). http://www.culture-informatique.net

[23] Les parametres de QoS [en ligne] (page consultée le 08/04/2016) http://www.journaldunet.com/solutions/0402/040211_qualite_de_service.shtml

[24] BOUGUEN, Yannick, HARDOUIN, Eric, et WOLFF, François-Xavier. LTE et les réseaux 4G. Editions Eyrolles, 2012.

[25] Les modèles de propagation [en ligne] (page consultée le 08/04/2016).

http://www.emetteurs.ch/wiki/index.php/Mod%C3%A8les_de_propagation_des_ondes

[26] Noman S, Muhammad T, Hasnain K and Rizwan U, « COMPARISON OF RADIO PROPAGATION MODELS FOR LONG TERM EVOLUTION (LTE) NETWORK», International Journal of Next-Generation Networks (IJNGN), Vol.3, No.3, September 2011.

[27] The shadowing [en ligne] (page consultée le 25/05/2016).

http://www.wirelesscommunication.nl

[28] l'instalation de ns-3 [en ligne] (page consultée le 08/02/2016). http://www.nsnam.org

[29] Ying Wang, Ahmed Abdelhadi, « Optimal Power Allocation for LTE Users with Different Modulations » EECS, University of Michigan, jul 2015.

[30]RSRP [en ligne] (page consultée le 13/05/2016).

http://blogs.univ-poitiers.fr/f-launay/2013/08/27/rsrp-et-rsrq-2eme-definition

```
#include "ns3/core-module.h"
#include "ns3/network-module.h"
#include "ns3/internet-module.h"
#include "ns3/mobility-module.h"
#include "ns3/lte-module.h"
#include "ns3/applications-module.h"
#include "ns3/point-to-point-module.h"
#include "ns3/config-store-module.h"
#include "ns3/netanim-module.h"
  using namespace ns3;

    NS_LOG_COMPONENT_DEFINE ("LenaX2HandoverMeasures");

void NotifyConnectionEstablishedUe (std::string context, uint64_t imsi, uint16_t
cellid, uint16_t rnti){
std::cout << context<< " UE IMSI " << imsi<< ": connected to CellId " << cellid<<
" with RNTI " << rnti<< std::endl;
  }
 void NotifyHandoverStartUe (std::string context, uint64_t imsi, uint16_t
cellid, uint16_t rnti, uint16_t targetCellId){
std::cout << context << " UE IMSI " << imsi << ": previously connected to CellId "
<< cellid << " with RNTI " << rnti  << ", doing handover to CellId " <<
targetCellId << std::endl;
 }
 void NotifyHandoverEndOkUe (std::string context, uint64_t imsi, uint16_t
cellid, uint16_t rnti){
   std::cout << context
             << " UE IMSI " << imsi
             << ": successful handover to CellId " << cellid
             << " with RNTI " << rnti
             << std::endl;
 }
 void NotifyConnectionEstablishedEnb (std::string context, uint64_t imsi,
uint16_t cellid, uint16_t rnti){
   std::cout << context
              << " eNB CellId " << cellid
```

```
              << ": successful connection of UE with IMSI " << imsi
              << " RNTI " << rnti
               << std::endl;
    }
    void NotifyHandoverStartEnb (std::string context,uint64_t imsi, uint16_t
cellid, uint16_t rnti, uint16_t targetCellId){
      std::cout << context
               << " eNB CellId " << cellid
               << ": start handover of UE with IMSI " << imsi
               << " RNTI " << rnti
               << " to CellId " << targetCellId
              << std::endl;
   }
void NotifyHandoverEndOkEnb (std::string context, uint64_t imsi, uint16_t cellid,
uint16_t rnti) {
     std::cout << context
              << " eNB CellId " << cellid
              << ": completed handover of UE with IMSI " << imsi
              << " RNTI " << rnti
              << std::endl;
   }
int main (int argc, char *argv[]){
    //LogLevel logLevel = (LogLevel)(LOG_PREFIX_ALL | LOG_LEVEL_ALL);
    //LogComponentEnable ("LteHelper", LOG_LEVEL_ALL);
    //LogComponentEnable ("EpcHelper", LOG_LEVEL_ALL);
    //LogComponentEnable ("EpcEnbApplication", LOG_LEVEL_ALL);
    //LogComponentEnable ("EpcX2", LOG_LEVEL_ALL);
    //LogComponentEnable ("EpcSgwPgwApplication", LOG_LEVEL_ALL);
    //LogComponentEnable ("LteEnbRrc", LOG_LEVEL_ALL);
    //LogComponentEnable ("LteEnbNetDevice", LOG_LEVEL_ALL);
    //LogComponentEnable ("LteUeRrc", LOG_LEVEL_ALL);
    //LogComponentEnable ("LteUeNetDevice", LOG_LEVEL_ALL);
    // LogComponentEnable ("A2A4RsrqHandoverAlgorithm", LOG_LEVEL_ALL);
    // LogComponentEnable ("A3RsrpHandoverAlgorithm", LOG_LEVEL_ALL);
```

```
     uint16_t numberOfUes = 1;
     uint16_t numberOfEnbs = 2;
     uint16_t numBearersPerUe = 0;
     double distance = 1000.0; // m
     double yForUe = 400.0;   // m
     double speed = 20.0  ;      // m/s
     double simTime = (double)(numberOfEnbs + 1) * distance / speed;
// 3000 m / 20 m/s = 150 secs
double TimeHandover = (double)(numberOfEnbs + 1) * distance / (2*speed);
 // 3000 m / 40 m/s = 75 secs
     double enbTxPowerDbm = 46.0;
     // change some default attributes so that they are reasonable for
     // this scenario, but do this before processing command line
    // arguments, so that the user is allowed to override these settings
     Config::SetDefault ("ns3::UdpClient::Interval", TimeValue (MilliSeconds
(10)));
     Config::SetDefault ("ns3::UdpClient::MaxPackets", UintegerValue (1000000));
     Config::SetDefault ("ns3::LteHelper::UseIdealRrc", BooleanValue (true));
     Config::SetDefault ("ns3::LteAmc::AmcModel", EnumValue (LteAmc::PiroEW2010));
    Ptr<LteHelper> lteHelper = CreateObject<LteHelper> ();
    Ptr<PointToPointEpcHelper> epcHelper = CreateObject<PointToPointEpcHelper> ();
     lteHelper->SetEpcHelper (epcHelper);
     lteHelper->SetSchedulerType ("ns3::RrFfMacScheduler");
     lteHelper->SetAttribute ("PathlossModel", StringValue
("ns3::Cost231PropagationLossModel"));
 lteHelper->SetHandoverAlgorithmType ("ns3::A2A4RsrqHandoverAlgorithm");
     lteHelper->SetHandoverAlgorithmAttribute ("ServingCellThreshold",
UintegerValue (30));
     lteHelper->SetHandoverAlgorithmAttribute ("NeighbourCellOffset",
UintegerValue (1));
Ptr<Node> pgw = epcHelper->GetPgwNode ();
// Create a single RemoteHost
```

```
     NodeContainer remoteHostContainer;
    remoteHostContainer.Create (1);
     Ptr<Node> remoteHost = remoteHostContainer.Get (0);
     InternetStackHelper internet;
     internet.Install (remoteHostContainer);

// Create the Internet
    PointToPointHelper p2ph;
     p2ph.SetDeviceAttribute ("DataRate", DataRateValue (DataRate ("100Gb/s")));
     p2ph.SetDeviceAttribute ("Mtu", UintegerValue (1500));
     p2ph.SetChannelAttribute ("Delay", TimeValue (Seconds (0.010)));
     NetDeviceContainer internetDevices = p2ph.Install (pgw, remoteHost);
     Ipv4AddressHelper ipv4h;
     ipv4h.SetBase ("1.0.0.0", "255.0.0.0");
     Ipv4InterfaceContainer internetIpIfaces = ipv4h.Assign (internetDevices);
     Ipv4Address remoteHostAddr = internetIpIfaces.GetAddress (1);

// Routing of the Internet Host (towards the LTE network)
     Ipv4StaticRoutingHelper ipv4RoutingHelper;
     Ptr<Ipv4StaticRouting> remoteHostStaticRouting =
ipv4RoutingHelper.GetStaticRouting (remoteHost->GetObject<Ipv4> ());

// interface 0 is localhost, 1 is the p2p device
     remoteHostStaticRouting->AddNetworkRouteTo (Ipv4Address ("7.0.0.0"), Ipv4Mask
("255.0.0.0"), 1);

  NodeContainer ueNodes;
  NodeContainer enbNodes;
  enbNodes.Create (numberOfEnbs);
  ueNodes.Create (numberOfUes);
// Install Mobility Model in eNB
   Ptr<ListPositionAllocator> enbPositionAlloc =
CreateObject<ListPositionAllocator> ();   for (uint16_t i = 0; i < numberOfEnbs;
i++){
         Vector enbPosition (distance * (i + 1), distance, 0);
```

```
          enbPositionAlloc->Add (enbPosition);
        }
      MobilityHelper enbMobility;
      enbMobility.SetMobilityModel ("ns3::ConstantPositionMobilityModel");
      enbMobility.SetPositionAllocator (enbPositionAlloc);
      enbMobility.Install (enbNodes);

         // Install Mobility Model in UE
      MobilityHelper ueMobility;
      ueMobility.SetMobilityModel ("ns3::ConstantVelocityMobilityModel");
      ueMobility.Install (ueNodes);
      ueNodes.Get (0)->GetObject<MobilityModel> ()->SetPosition (Vector (0, yForUe,
0));
      ueNodes.Get (0)->GetObject<ConstantVelocityMobilityModel> ()->SetVelocity
(Vector (speed, 0, 0));

// Install LTE Devices in eNB and UEs
      Config::SetDefault ("ns3::LteEnbPhy::TxPower", DoubleValue (enbTxPowerDbm));
      NetDeviceContainer enbLteDevs = lteHelper->InstallEnbDevice (enbNodes);
      NetDeviceContainer ueLteDevs = lteHelper->InstallUeDevice (ueNodes);

// Install the IP stack on the UEs
      internet.Install (ueNodes);
      Ipv4InterfaceContainer ueIpIfaces;
      ueIpIfaces = epcHelper->AssignUeIpv4Address (NetDeviceContainer (ueLteDevs));
// Attach all UEs to the first eNodeB
      for (uint16_t i = 0; i < numberOfUes; i++){
          lteHelper->Attach (ueLteDevs.Get (i), enbLteDevs.Get (0));
        }
          NS_LOG_LOGIC ("setting up applications");

       // Install and start applications on UEs and remote host
     uint16_t dlPort = 10000;
      uint16_t ulPort = 20000;
```

```
      // randomize a bit start times to avoid simulation artifacts
      // (e.g., buffer overflows due to packet transmissions happening
      // exactly at the same time)

      Ptr<UniformRandomVariable> startTimeSeconds =
CreateObject<UniformRandomVariable> ();
      startTimeSeconds->SetAttribute ("Min", DoubleValue (0));
      startTimeSeconds->SetAttribute ("Max", DoubleValue (0.010));
      for (uint32_t u = 0; u < numberOfUes; ++u){
          Ptr<Node> ue = ueNodes.Get (u);
  // Set the default gateway for the UE
          Ptr<Ipv4StaticRouting> ueStaticRouting =
ipv4RoutingHelper.GetStaticRouting (ue->GetObject<Ipv4> ());

   ueStaticRouting->SetDefaultRoute (epcHelper->GetUeDefaultGatewayAddress (), 1);

            for (uint32_t b = 0; b < numBearersPerUe; ++b){
              ++dlPort;
              ++ulPort;
              ApplicationContainer clientApps;
              ApplicationContainer serverApps;

              NS_LOG_LOGIC ("installing UDP DL app for UE " << u);
              UdpClientHelper dlClientHelper (ueIpIfaces.GetAddress(u), dlPort);
              clientApps.Add (dlClientHelper.Install (remoteHost));
              PacketSinkHelper dlPacketSinkHelper ("ns3::UdpSocketFactory",
InetSocketAddress (Ipv4Address::GetAny (), dlPort));

             serverApps.Add (dlPacketSinkHelper.Install (ue));
             NS_LOG_LOGIC ("installing UDP UL app for UE " << u);
             UdpClientHelper ulClientHelper (remoteHostAddr, ulPort);
             clientApps.Add (ulClientHelper.Install (ue));
             PacketSinkHelper ulPacketSinkHelper ("ns3::UdpSocketFactory",
InetSocketAddress (Ipv4Address::GetAny (), ulPort));
              serverApps.Add (ulPacketSinkHelper.Install (remoteHost));
```

```
            Ptr<EpcTft> tft = Create<EpcTft> ();
            EpcTft::PacketFilter dlpf;
            dlpf.localPortStart = dlPort;
            dlpf.localPortEnd = dlPort;
            tft->Add (dlpf);
           EpcTft::PacketFilter ulpf;
            ulpf.remotePortStart = ulPort;
           ulpf.remotePortEnd = ulPort;
           tft->Add (ulpf);
           EpsBearer bearer (EpsBearer::NGBR_VIDEO_TCP_DEFAULT);
          lteHelper->ActivateDedicatedEpsBearer (ueLteDevs.Get (u), bearer, tft);
           Time startTime = Seconds (startTimeSeconds->GetValue ());
           serverApps.Start (startTime);
           clientApps.Start (startTime);
         } // end for b
      }

// Add X2 inteface
     lteHelper->AddX2Interface (enbNodes);
// X2-based Handover
lteHelper->HandoverRequest (Seconds (TimeHandover), ueLteDevs.Get (0),
enbLteDevs.Get (0), enbLteDevs.Get (1));

// Uncomment to enable PCAP tracing
    p2ph.EnablePcapAll("lena-x2-handover-measures");
  lteHelper->EnablePhyTraces ();
    lteHelper->EnableMacTraces ();
    lteHelper->EnableRlcTraces ();
    lteHelper->EnablePdcpTraces ();
    Ptr<RadioBearerStatsCalculator> rlcStats = lteHelper->GetRlcStats ();
    rlcStats->SetAttribute ("EpochDuration", TimeValue (Seconds (1.0)));
    Ptr<RadioBearerStatsCalculator> pdcpStats = lteHelper->GetPdcpStats ();
    pdcpStats->SetAttribute ("EpochDuration", TimeValue (Seconds (1.0)));
```

```
   /* connect custom trace sinks for RRC connection establishment and handover
notification*/

    Config::Connect ("/NodeList/*/DeviceList/*/LteEnbRrc/ConnectionEstablished",
MakeCallback (&NotifyConnectionEstablishedEnb));
    Config::Connect ("/NodeList/*/DeviceList/*/LteUeRrc/ConnectionEstablished",
                     MakeCallback (&NotifyConnectionEstablishedUe));
    Config::Connect ("/NodeList/*/DeviceList/*/LteEnbRrc/HandoverStart",
                     MakeCallback (&NotifyHandoverStartEnb));
    Config::Connect ("/NodeList/*/DeviceList/*/LteUeRrc/HandoverStart",
                    MakeCallback (&NotifyHandoverStartUe));
   Config::Connect ("/NodeList/*/DeviceList/*/LteEnbRrc/HandoverEndOk",
                    MakeCallback (&NotifyHandoverEndOkEnb));
   Config::Connect ("/NodeList/*/DeviceList/*/LteUeRrc/HandoverEndOk",
                    MakeCallback (&NotifyHandoverEndOkUe));

 //EDIT THE ANIMATION
AnimationInterface anim ("memoire.xml");
anim.SetMobilityPollInterval (Seconds (1));
anim.SetConstantPosition(enbNodes.Get(0),1000.0,300.0);
anim.SetConstantPosition(enbNodes.Get(1),2000.0,300.0);

   Simulator::Stop (Seconds (simTime));
   Simulator::Run ();

   // GtkConfigStore config;
   // config.ConfigureAttributes ();
     Simulator::Destroy ();
    return 0;
   }
```