



UNIVERSITE D'ANTANANARIVO

ECOLE SUPERIEURE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT TELECOMMUNICATION



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES
en vue de l'obtention
du **DIPLOME**
Titre : **INGENIEUR**
Grade : **Master**
Domaine : **Sciences de l'ingénieur**
Mention : **Télécommunication**
Parcours : **Télécommunication et Multimédia**

par : **RAZAKASATA Manassé**

***CONCEPTION ET DEVELOPPEMENT D'UN MODELE DE
VIDEO CONFERENCE MOBILE DANS LE RESEAU LTE***

Soutenu le jeudi 26 Mars 2015 devant la Commission d'Examen composée de :

Président :

M. RANDRIAMITANTSOA Andry Auguste

Examineurs :

M. RADONAMANDIMBY Edmond Jean Pierre

M. RASAMOELINA Jacques Nirina

M. RAJAONARISON Roméo

Directeur de mémoire :

M. RATSIHOARANA Constant

« L'Éternel est mon Berger : Je ne manquerai de rien »

Je dédie ce travail à mon fils : Allan.

REMERCIEMENTS

Gloire à Dieu pour la vie, la santé et le savoir, et sans qui, rien en ce monde n'aurait pu être et ne serait.

Le présent travail a pu bénéficier du concours d'un certain nombre de personnes à qui je tiens à adresser mes plus vifs remerciements :

- à **Monsieur ANDRIANARY Philippe**, Professeur Titulaire, Directeur de l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo pour m'avoir laissé finir mes études au sein de l'Ecole ;

- à **Monsieur RAKOTOMALALA Mamy Alain**, Maître de Conférences, Chef du département Télécommunication à l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo, pour les efforts dont il a aménagé pour rendre toujours plus meilleurs les formations durant les années d'études ;

- à **Monsieur RANDRIAMITANTSOA Andry Auguste**, Maître de Conférences, Enseignant Chercheur à l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo qui m'a fait l'honneur de présider le jury de ce mémoire.

- à **Monsieur RATSIHOARANA Constant**, Maître de Conférences, Enseignant Chercheur au sein du département Télécommunication, directeur de ce mémoire qui, malgré ses lourdes responsabilités, m'a accordé du temps pour la réalisation de ce mémoire. Je le remercie pour ses conseils, ses directives et ses sympathies ;

- aux examinateurs

M. RADONAMANDIMBY Edmond Jean Pierre, Assistant d'Enseignement et de recherche

M. RASAMOELINA Jacques Nirina, Assistant d'Enseignement et de recherche

M. RAJAONARISON Roméo, Maître de Conférences

qui, malgré leurs multiples obligations, ont accepté de siéger parmi les membres du jury ;

- à tous les enseignants du Département Télécommunication qui se sont investis pleinement pour partager leurs connaissances dans les domaines de la technologie de la télécommunication, de l'électronique, de l'informatique et de la gestion, ainsi que les convictions morales et éthiques sociales attendues de l'ingénieur ;

- à tous les enseignants et personnels administratifs de l'ESPA

- à mes parents, familles et amis qui ont continuellement apporté leur soutien et sont restés attentifs dans les moments difficiles.

A toutes ces personnes, de bonne volonté, je réitère mes sincères et profondes gratitude.

TABLE DE MATIERES

TABLE DE MATIERES.....	i
ABREVIATIONS.....	vi
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE 1 LES RESEAUX DE TELEPHONIE MOBILE.....	2
1.1 Introduction.....	2
1.2 Historique.....	2
1.3 Les générations de téléphonies mobiles.....	3
<i>1.3.1 Les réseaux mobiles de première génération : 1G.....</i>	<i>3</i>
<i>1.3.2 Les réseaux mobiles de deuxième génération : 2G.....</i>	<i>3</i>
1.3.2.1 Le GSM.....	4
1.3.2.2 Le GPRS 2.5G.....	9
<i>1.3.3 Les réseaux mobiles de troisième génération : 3G.....</i>	<i>13</i>
1.3.3.1 Architecture de l'UMTS.....	14
1.3.3.2 Le mode de transmission en UMTS.....	15
<i>1.3.4 Les réseaux mobiles de quatrième génération: 4G.....</i>	<i>16</i>
1.3.4.2 Définition.....	17
1.3.4.3 Historique.....	17
1.4 Conclusion.....	18
CHAPITRE 2 LES RESEAUX 4G : LTE.....	19
2.1 Introduction.....	19
2.2 LTE (4G).....	19
2.3 Objectif pour la 4G.....	20
2.4 Architecture du réseau 4G.....	21
<i>2.4.1 Evolved Packet Core : EPC.....</i>	<i>22</i>
2.4.1.1 La partie signalisation.....	23
<i>2.4.2 La partie radio eUTRAN.....</i>	<i>25</i>
<i>2.4.3 La partie IMS du réseau.....</i>	<i>26</i>

2.5 Comparaison entre 3G et 4G.....	27
2.6 Les fondamentaux de la quatrième génération.....	28
2.6.1 Le débit et les fréquences utilisés par la 4G.....	28
2.6.2 Latence du réseau.....	29
2.6.2.1 Latence du plan de contrôle.....	29
2.6.2.2 Latence du plan usager.....	29
2.6.2.3 Dépendance des latences.....	29
2.6.3 Gestion des fréquences.....	30
2.6.4 Codage et sécurité.....	30
2.6.5 Le multiplexage utilisé en LTE.....	31
2.6.5.1 Structure d'une trame LTE.....	31
2.6.6 La mobilité dans LTE.....	36
2.6.7 Modulation adaptative et codage.....	36
2.6.7.1 La modulation à 16 états.....	36
2.6.7.2 La modulation QPSK.....	37
2.6.8 Les types de transmissions mise œuvre dans LTE.....	38
2.6.8.1 L'OFDMA.....	38
2.6.8.2 Le codage dans le sens montant : SC-FDMA.....	41
2.6.8.3 Comparaison : OFDMA, SC-FDMA.....	42
2.7 L'ampleur mondiale de la 4G.....	44
2.7.1 Europe.....	45
2.7.1.1 Suisse.....	45
2.7.1.2 France.....	46
2.7.1.3 Belgique.....	47
2.7.1.4 Portugal.....	47
2.7.2 Asie.....	47
2.7.2.1 Thaïlande.....	47
2.7.2.2 Japon.....	47

2.7.2.3 Singapour	48
2.7.3 <i>Etats-Unis</i>	48
2.8 Conclusion.....	48
CHAPITRE 3 QUALITE DE SERVICE	49
3.1 Introduction	49
3.2 Définition.....	49
3.3 Objectif de la qualité de service.....	49
3.4 Paramètres de la qualité de service	50
3.4.1 <i>Le débit</i>	50
3.4.2 <i>La gigue</i>	50
3.4.3 <i>La latence</i>	51
3.4.4 <i>La bande passante</i>	52
3.4.5 <i>Perte de paquets</i>	53
3.4.6 <i>Priorité des paquets</i>	55
3.5 Garantie de la qualité de service.....	55
3.6 Gestion de la qualité de service.....	56
3.6.1 <i>Le modèle IntServ</i>	57
3.6.2 <i>Le modèle DiffServ</i>	57
3.7 LTE 4G et la qualité de service.....	57
3.7.1 <i>Les principales fonctions assurées par l'EPS</i>	61
3.7.1.1 La fonction de contrôle d'accès au réseau.....	61
3.7.1.2 La fonction de gestion de mobilité.....	61
3.7.1.3 La fonction de gestion de session	62
3.7.1.4 La fonction de routage de paquets et de transfert.....	62
3.7.1.5 La fonction de gestion de ressources radio.....	62
3.8 Performance des réseaux 4G	63
3.8.1 <i>Mobilité sans interruption</i>	63
3.8.2 <i>Un temps de réponse rapide</i>	64

3.8.3	<i>La voix sur IP</i>	64
3.8.4	<i>Le débit sur l'interface radio</i>	64
3.8.5	<i>Une connexion permanente</i>	65
3.8.6	<i>Interfonctionnement avec la 3G</i>	65
3.8.7	<i>Flexibilité dans l'usage de la bande</i>	66
3.9	Exemple de qualité de service	66
3.9.1	<i>Contraintes communes</i>	66
3.9.2	<i>La téléphonie sur IP</i>	66
3.9.3	<i>La vidéoconférence</i>	68
3.10	Conclusion	68
CHAPITRE 4 ANALYSE DES RESULTATS DE LA SIMULATION		69
4.1	Introduction	69
4.2	Les simulateurs	69
4.2.1	<i>OPNET</i>	70
4.2.2	<i>LTE – SIM</i>	70
4.2.3	<i>NS – 2</i>	71
4.2.4	<i>NS – 3</i>	71
4.3	Les outils du simulateur	72
4.3.1	<i>Les nœuds</i>	72
4.3.2	<i>Les applications</i>	72
4.3.3	<i>Le canal de communication</i>	72
4.3.4	<i>Les interfaces de communications</i>	73
4.4	Installer NS-3	74
4.4.1	<i>Les étapes à suivre pour l'installation de NS-3</i>	74
4.4.2	<i>Les autres outils utilisés</i>	75
4.5	Modelé développé pour la simulation	76
4.6	Les paramètres à évaluer	77
4.7	Les scenarios	78

<i>4.7.1 Les vidéos utilisées dans la simulation</i>	78
<i>4.7.2 Scénario</i>	78
4.8 Résultats de la simulation	79
4.9 Conclusion	84
CONCLUSION GENERALE	85
ANNEXE 1 EXEMPLES DE PROGRAMME POUR HANDOVER SOUS NS-3	86
ANNEXE 2 UN TELEPHONE COMPATIBLE AU PROJET	92
BIBLIOGRAPHIE	93
RESUME	95
ABSTRACT	95
FICHE DE RENSEIGNEMENTS	96

ABREVIATIONS

1G	Première Génération de téléphonie mobile
2G	Deuxième Génération de la téléphonie mobile
3G	Troisième génération de la téléphonie mobile
3GPP	Third Generation Partnership Project
4G	Quatrième Génération de téléphonie mobile
A-bis	Interface entre une station de base et un BSC
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
AMRF	Accès Multiple à Répartition de Fréquence
ARCEP	Autorité de Régulation des Communications Electroniques et des Postes
AuC	Authentication Center
BG	Border Gateway
BSC	Base Station Controller
BSS	Base Station Sub-system
BTS	Base Tranceiver Station
CBD	Central Business District
CDMA	Code division multiple access
CGF	Charging Gateway Function
DFT	Transformation de Fourier discrète
DL / UL	Downlink / Uplink

DSCP	DiffSer Control Protocol
EDGE	Enhanced Data Rate for GSM Evolution
EIR	Equipment Identity Register
EMT LTE	Une partie du groupe TeliaSonera l'équipe ayant lancé en premier le service 4G.
EPC	Evolved Packet Core
EPS	Evolved Packet System
E-UTRAN	Evolved UTRAN
EvoHTC	Smartphone développé par HTC
FDD	Frequency Division Demultiplexed
FDMA	Frequency Division Multiple Access
FDMA	Frequency Division Multiple Access
GGSN	Gateway GPRS Support Node
GMSC	Gateway Mobile Switching Center
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile communication
HLR	Home Location Register
HSDPA	High Speed Downlink Packet Access
HSS	Serving Gateway
HSUPA	High Speed Uplink Packet Access
HTC	High Tech Computer Corporation

IEEE	Institute of Electrical and Electronic Engineer
IETF	Internet Engineering Task Force
IMEI	International Mobile station Equipment Identity
IMS	IP Multimedia Sub-system
IMSI	International Mobile Subscriber Identity
IMT-Advanced	Vision stratégique pour la 4G aux alentours de 2002
Interface A	Interface de liaison entre le MSC et le BSS
IP	Internet Protocol
ISDN	Integrated Services Digital Network
ISO	International Standard Organization ou Organisation Internationale de Standardisation
Kbps	Kilobits par seconde
LAN	Local Area Network
LTE	Long Term Evolution ou Evolution à long terme de l'UMTS
Mbits/s	Mégabits par seconde
MHz	Mégahertz
MIMO	Multiple Input Multiple Output
MME	Mobility Management Entity
MMS	Multimedia Messaging System
MS	Mobile Station
MSC	Mobile Switching Center

MSISDN	Mobile Station ISDN Number
MVNO	Mobile Virtual Network Operator
NGN	Next Generation Network
NMC	Network and Management Center
NS-3	Network Simulator version 3
NSS	Network Switching Subsystem
NTT Docomo	Opérateur mobile numéro un du marché de la Télécommunication au Japon.
OFDM	Orthogonal frequency-division multiplexing
OFDMA	Orthogonal Frequency-Division Multiple Access
OMC	Operations and Maintenance Center
OMC-G	Operations And Maintenance Centre GPRS
OSI	Open System Interconnexion ou Interconnexion des Systèmes Ouverts
OSS	Operation Sub-System
PABX	Private Automatic Branch eXchange
PAPR	Peak -to-average power ratio
PCRF	Policy and Charging Rules Function
PCU	Packet Control Unit
PDN	Packet Data Network
PDN-GW	Packet Data Network GateWay
PDP	Packet Data Protocol

PDSN	Packet Data Serving Node
P-GW	Packet-Switch GetWay
PIN	Personal Identification Number
PLMN	Public Land Mobile Network
Protocole IP	Internet Protocol
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QDS	Qualité de service
QoS	Quality of Service
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
RNC	Radio Network Controller
RNIS	Réseau Numérique à Intégration de Services
RSVP	Ressource reservation Protocol
RTC	Réseau Téléphonique Commuté
RTCP	Real-time Transport Control Protocol
RTP	Real Time Protocol
SAE	System Architecture Evolution
SC-FDMA	Single – carrier FDMA
SDP	Session Description Protocol
SFR	Société française du radiotéléphone
SGSN	Serving GPRS Support Node

SGSN	Serving GPRS Support Nom
SGW	Serving Gateway
SIM	Subscriber Identity Module
SIP	Session Initiation Protocol
SMS	Short Message Service
SMSC	Short Message Service Center
SS7	Signaling System #7
TCP	Transmission Control Protocol
TDD	Time Division Demultiplexed
TDMA	Time Division Multiple Access
tout-IP	Technologie basé sur le protocole IP
UDP	User Datagram Protocol
UE	User Equipment
UIT	Union Internationale de la Télécommunication
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
UTRAN	Universal Terrestrial Radio Access Network
VLR	Visitor Location Register
VoIP	Voix sur IP
VSF-OFCDM	Variable Spreading Factor Orthogonal Frequency and Code Division Multiplexing
WAN	Wide area network

WAP	Wireless Application Protocol
WiBro	Wireless Broadcast
Wimax	Worldwide Interoperability for Microwave Access

INTRODUCTION

La communication a toujours été l'une des plus importantes priorités de tout genre humain. Suivant le temps et suivant sa valeur, la technique utilisée pour elle n'a jamais cessé d'évoluer. Communiquer avec une personne malgré les distances séparant les interlocuteurs était alors devenu possible. Mais avec la miniaturisation conçue en électronique, les développements de logiciels de plus en plus sophistiqués dans le domaine de l'informatique, les recherches menées sur la compression de données, la sécurité, mais surtout l'utilisation de différents types de média en télécommunications, la façon de communiquer a radicalement évolué.

Les chercheurs ont toujours souhaité améliorer la télécommunication en se penchant vers une conversation plus attrayante, en se contentant non seulement de la voie de son interlocuteur mais aussi de voir celui-ci en direct. La prise de décision pour les responsables politiques qui doivent faire entendre leur voix et leurs idées et de les partager directement avec les membres du conseil d'un gouvernement quelconque ont poussé la recherche vers la technologie de vidéo conférence.

Suite à l'avènement des smartphones, des techniques de communications utilisant plusieurs antennes, la migration vers la communication tout IP, ainsi que des nouvelles techniques de modulation et de compression de données dans le domaine de la télécommunication, la technologie visant à donner aux usagers mobiles une technologie de vidéo conférence plus évoluée et plus adaptée à l'attente des utilisateurs a fortement évolué avec les réseaux LTE.

Dans ce projet de mémoire de fin d'études, nous avons choisi de nous pencher sur la vidéo conférence dans le réseau hétérogène 4G afin d'évaluer la performance et la qualité de service de ce réseau pour sa mise en place et de cela découle l'intitulé de ce projet :

« Conception et développement d'un modèle de vidéo conférence mobile dans le réseau LTE »

Pour mieux organiser le travail, nous allons en premier lieu dans le premier chapitre, parler des différentes générations de téléphonies mobiles pour mieux se positionner dans la situation actuelle de la télécommunication.

Ensuite nous aborderons dans le second chapitre, les réseaux 4G : LTE dans le but de mieux maîtriser les informations que nous a données le chapitre précédent. Puis dans le troisième chapitre, on va parler de la qualité de service pour savoir ce que l'on attend d'un réseau 4G et de quel service ce réseau serait-il capable de nous offrir.

Enfin, au quatrième et dernier chapitre, nous allons parler de la simulation mais aussi d'interpréter les résultats et de ces interprétations dépendront les décisions et les mesures à prendre.

CHAPITRE 1

LES RESEAUX DE TELEPHONIE MOBILE

1.1 Introduction

Depuis leur avènement, les réseaux mobiles n'ont pas cessé d'évoluer et plusieurs générations se sont succédées les unes après les autres. En partant de la première génération (1G), nous en sommes maintenant à la quatrième génération (4G) de la téléphonie mobile et les évolutions qu'ont pu apporter chacune des générations sont remarquables. Les débits sont de plus en plus exceptionnels, et s'augmentent du jour au lendemain. On requiert à une bande passante de plus en plus large pour supporter toujours beaucoup plus d'utilisateurs.

Les réseaux mobiles de première génération, ont vu le jour vers les années 80 ; puis après quelques années, elle a laissé la place à la 2G pour seconde génération de téléphonie mobile, qui elle, a été lancée en 1991. La seconde génération est particulière car elle est encore active jusqu'à maintenant. Au sein de la 2G, on peut encore distinguer deux autres types de génération de réseau mobile la 2.5 G et la 2.75 G. Le principal standard utilisant la seconde génération est la norme GSM. Les divers services offerts par la seconde génération, la rendent différente de la 1G comme par exemple : l'utilisation du WAP pour avoir accès à Internet. Pour la troisième génération, que l'on nomme 3G, elle offre un haut débit, une latence moindre et beaucoup d'autres dont les détails seront prise en considération pour plus de clarté.

Dans ce premier chapitre, on va présenter les générations de réseaux de téléphonie mobiles qui se sont succéder jusqu'à nos jours et leur architectures seront exposées mais aussi les services dont chacun des réseaux cellulaires pouvait offrir pour leurs abonnés.

1.2 Historique [1] [3] [20]

Les services de communications mobiles ont connu un essor sans précédent ces dernières années. Le nombre d'abonnés augmente de jours en jours et cela à l'égard de la croissance du nombre de la population mondiale. On compte environ 6,4 milliards d'abonnés mobile dans le monde à la fin de l'année 2012. Il s'est créé un véritable nouveau secteur dans l'industrie mondiale regroupant notamment des constructeurs de circuits électroniques, de terminaux mobiles, d'infrastructure réseaux, des développeurs d'applications et services ainsi que des opérateurs de réseaux mobiles que l'on peut considérer comme chef d'orchestre réunissant les divers participants de l'industrie.

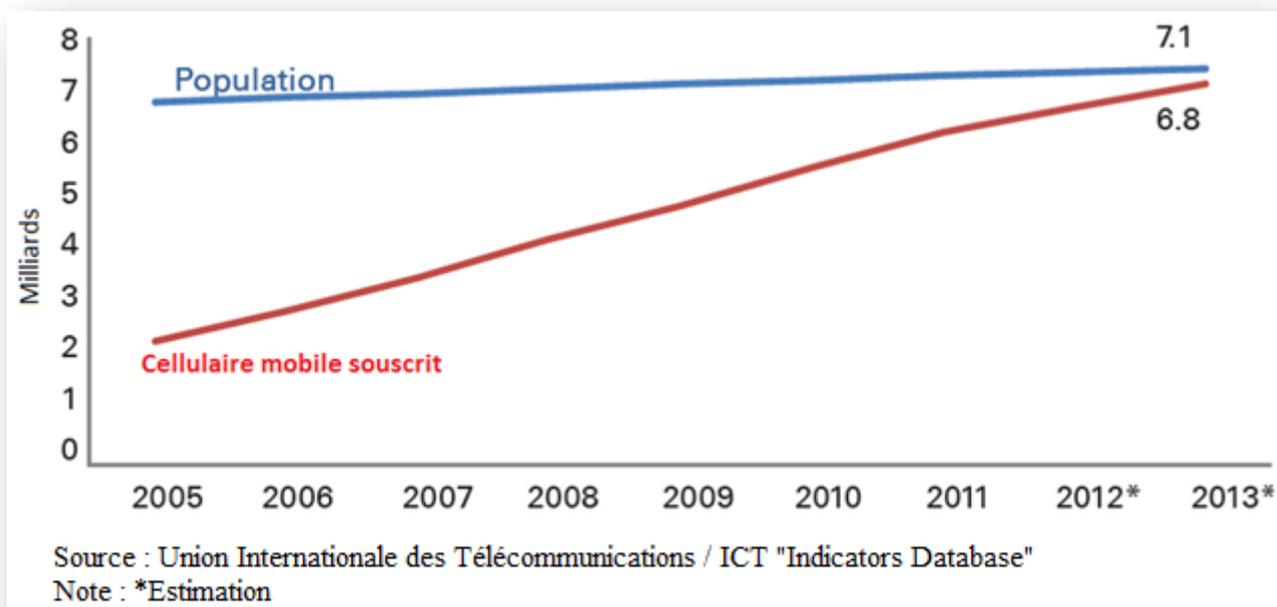


Figure 1.01 : Evolutions du nombre d'abonnés mobile dans le monde

1.3 Les générations de téléphonies mobiles [3]

Pour mieux appréhender les nouveautés que nous apportent les technologies d'aujourd'hui, nous allons parler une à une des générations de réseaux mobiles précédentes, nous en connaissons alors d'avantage de quoi nous sommes partie et ensuite cela nous permettra de mieux nous positionner à l'heure actuelle.

1.3.1 Les réseaux mobiles de première génération : 1G [2] [9]

Comme nous l'avons noté dans l'introduction, la première génération de la téléphonie mobile ou 1G est apparue dans les années 80. Ce réseau offrait un service médiocre et très onéreux pour les communications mobiles. Elle présentait beaucoup de défaut, si nous ne parlons seulement par exemple que l'incompatibilité des normes d'une région à une autre, la transmission analogique non sécurisé qui peut être d'une facilité sujet à des écoutes téléphoniques d'une personne malintentionnée.

Comme les normes dans la 1G sont incompatibles, le roaming vers l'international n'existait pas. Notons qu'un roaming est la possibilité de conserver son numéro sur un réseau d'un autre opérateur.

1.3.2 Les réseaux mobiles de deuxième génération : 2G [3] [10] [18]

La norme GSM s'est révélée dans les années 90. Il s'agit ici de la norme 2G (Deuxième génération). Elle est basée sur le fait de passer des appels téléphoniques s'appuyant sur les

transmissions numériques permettant de sécuriser les données en utilisant des processus de cryptages. Son succès est énorme et a permis de susciter le besoin de téléphoner en tout lieu avec la possibilité d'envoyer des minismessages ou SMS pour Short Message System à 80 caractères. Son principal avantage est d'avoir offert la possibilité de roaming même si auparavant c'était seulement aux pays qui exploitent les réseaux GSM.

Devant le succès de la norme 2G mais aussi des besoins de services exploitables sur le réseau, il a fallu proposer de nouvelles fréquences aux opérateurs afin que toutes les communications puissent être acheminées et donc de nombreux nouveaux services se sont aussi apparus comme par exemple le MMS ou Multimedia Messaging System.

Le débit du réseau était de 9,6 kbps et ceci est loin d'être suffisant et dans ce concept, donc l'idée de développer de nouvelles techniques de modulations et de codages ont été mises en considération et a permis d'augmenter le débit pour la nouvelle norme à déployer.

1.3.2.1 Le GSM [3] [18][11]

Le rôle principal que doit assurer le réseau GSM en premier c'est d'assurer les communications entre les abonnés mobiles GSM et abonnés du RTC - fixe (Réseau Téléphonique Commuté). Pour établir la communication, le réseau se distingue par un accès spécifique que l'on appelle : « liaison radio ».

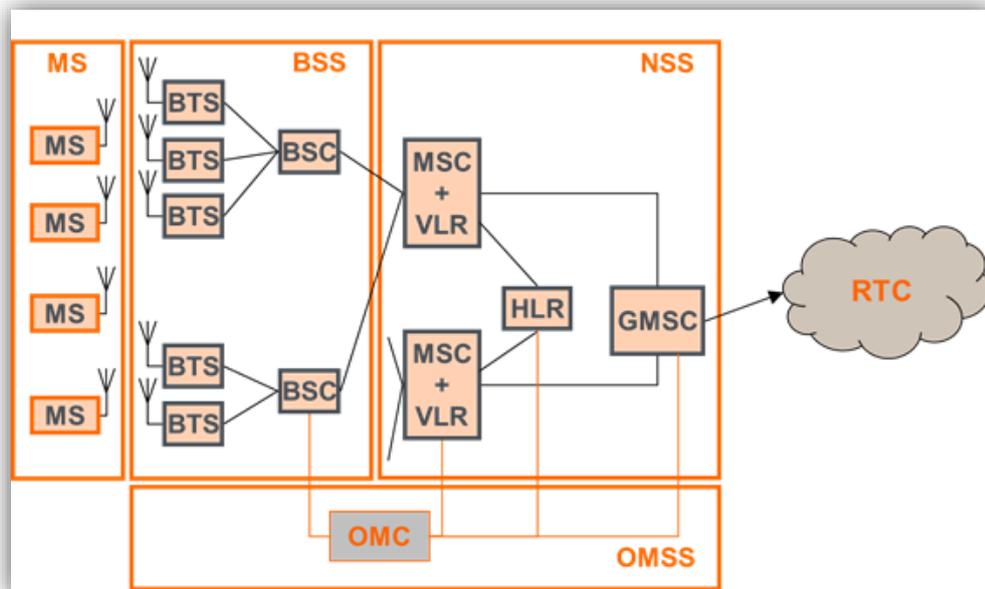


Figure 1.02 : Architecture d'un réseau GSM

L'architecture du réseau est composée de trois sous-ensembles principaux. Les parties formant ainsi le réseau GSM sont nécessaires pour assurer la communication et acheminer les données. Nous

allons donc étudier chacun de ces sous-ensembles pour mieux comprendre le fonctionnement au niveau du réseau.

a. *Le sous-système radio : BSS*

Le base station sub-system ou BSS dans l'architecture du réseau GSM, assure les transmissions radioélectriques et gère en même temps les ressources radio.

Cette partie du réseau est composée principalement du terminal mobile, la station de base (BTS : Base Transceiver Station) et le contrôleur de station de base (BSC : Base Station Controller).

- **Le terminal mobile**

Les éléments auxquels un abonné a un accès direct ce sont le téléphone et la carte SIM pour Subscriber Identity Module. Les deux suffisent pour la gestion de la commutation et à la gestion des déplacements d'un abonné du réseau.

Une carte SIM contient et gère des séries d'informations ce qui fait qu'elle a donc en son sein une mini-base de données. C'est la carte d'identité d'un mobile. Elle contient le code PIN ou Personal Identification Number et bien d'autres caractéristiques de l'abonné, les environnements radio et même les environnements de l'utilisateur mobile. Dans un réseau GSM, un abonné est identifié par un numéro unique (IMSI : International Mobile Subscriber Identity) qui est différent du numéro de téléphone à la connaissance de l'abonné (MSISDN : Mobile Station ISDN Number), tous deux sont assemblés dans la base de données de la carte SIM.

- **La station de base**

Le BTS ou station de base est un émetteur-récepteur gérant une ou plusieurs cellules. Dans la norme GSM, chacune des principales cellules ayant à leur centre une station de base peut être divisée via des antennes directionnelles pour avoir des cellules plus petites faisant l'objet des portions de celle du départ utilisant des fréquences porteuses différentes.

La station de base assure la connexion entre le terminal mobile et le sous-système réseau. Le multiplexage temporel étant limité à 8 intervalles de temps, ceci implique qu'au plus un BTS peut gérer d'une façon simultanée 8 connexions par cellule. En faisant référence au modèle OSI (Open System Interconnection ou Interconnexion des Systèmes Ouverts) de l'ISO (International Standard Organization ou Organisation Internationale de Standardisation), elle assure la fonction de la couche physique et la couche liaison de données.

- **Le contrôleur de station de base**

Le BSC ou Base Station Controller est le premier point de concentration d'une ou plusieurs stations de base et communique avec elles via l'interface A-bis. Comme il relie les BTS avec le sous-système réseau, il remplit plusieurs fonctions de communication et d'exploitation.

Pour la gestion de la communication, il transmet les communications provenant des différentes stations de base vers une sortie unique ce qui fait de lui donc un concentrateur. Dans le sens inverse, il commute les données et les aiguille vers la bonne station de base.

Un BSC joue aussi le rôle de relais pour les différents signaux d'alarmes destinés au centre d'exploitation et de maintenance. L'alimentation de la base de données des stations de base est aussi assurée par le BSC.

Un des rôles le plus important à remplir pour un BSC est la gestion des ressources radio pour la zone de couverture des différentes stations de base qui lui sont connectées. En effet, le contrôleur assure le bon fonctionnement du handover c'est-à-dire le transfert intercellulaire des abonnés dans la zone de couverture ceci se passe donc lors du passage d'un terminal mobile d'une cellule à une autre. Le BSC communique avec le BTS qui va prendre en charge l'abonné en lui transmettant toutes les informations nécessaires et en même temps, il avertit la base de données locale VLR (Visitor Location Register) de la nouvelle position de l'abonné dans le réseau.

b. *Le sous-système réseau ou d'acheminement : NSS*

Le Network Switching Center a pour rôle d'assurer les fonctions de commutations et de routage. NSS assure l'accès au réseau public RTCP (Real-time Transport Control Protocol) ou RNIS (Réseau Numérique à Intégration de Services). Les fonctions de commutation sont importantes pour pouvoir établir la communication, mais cette partie s'occupe à part la commutation, la gestion de la mobilité, la sécurité de la transmission et de ce fait donc, la confidentialité n'est pas prise à la légère et la norme GSM comprend cette fonctionnalité sur son réseau.

La norme GSM, qui a fait tant parlé d'elle dans le monde est composée de plusieurs équipements afin de fournir les divers services dont nous allons citer quelques-uns par ce qui suit :

- **Le centre de commutation mobile**

Le MSC ou Mobile Switching Center est relié au sous-système radio par l'interface A. La commutation entre les abonnés du réseau mobile et ceux du réseau commuté public (RTC) ou de son équivalent numérique RNIS se situe au niveau du MSC. En plus, il prend part d'offrir les différents services aux abonnés comme la téléphonie, les services supplémentaires ainsi que les

services de messagerie. Il assure également la mise à jour des bases de données du réseau (HLR et VLR) contenant les informations correspondant aux abonnés ainsi que leur position.

Les commutateurs MSC sont reliés entre eux et échangent des informations pour la commutation interne. Au périphérique du réseau sont placés des MSC particuliers servant de passerelle pour assurer l'interopérabilité des opérateurs ; c'est le GMSC ou Gateway Mobile Switching Center.

L'enregistreur de localisation nominale

Un réseau mobile PLMN (Public Land Mobile Network) comprend au moins un HLR pour Home Location Register en son sein. C'est une base de données contenant les informations indispensables pour les services de téléphonie mobile dont l'accès doit être aussi court que possible pour garantir un temps de connexion dans un bref délai.

Il contient toutes les informations relatives aux abonnés (type d'abonnement, clé d'authentification « *Ki* » connue d'un seul HLR et d'une seule carte SIM, les services souscrits, le numéro de l'abonné c'est-à-dire l'IMSI, ...)

A part les informations relatives aux abonnés, il contient également des données dynamiques comme la position de l'abonné dans le réseau, le VLR qui lui correspond, ainsi que l'état de son terminal (allumé, éteint, en communication, libre, ...).

Les données dynamiques du HLR sont à jour via le MSC. Le plus souvent dans un réseau GSM, c'est une base de données unique et seules les personnes autorisées y ont accès.

Le centre d'authentification

Quand un abonné veut passer une communication, il faut que l'opérateur puisse savoir si oui ou non cet abonné est une personne authentifiée à être servie par le réseau. L'AuC ou Authentication Center (Centre d'Authentification) assure ce rôle de protection des communications. Pour rendre possible le processus d'authentification, les normes 2G prévoient deux mécanismes :

- ❖ Le cryptage des transmissions radio. Il s'agit ici d'un chiffrement faible qui ne résisterait pas longtemps en cas d'attaque du réseau.
- ❖ L'authentification des abonnés au moyen de la clé « *Ki* » présente à la fois dans le terminal mobile et au centre d'authentification. L'identification se base sur la résolution d'un défi sur base d'un nombre M généré d'une façon aléatoire, et que l'on envoie au terminal mobile. En partant du nombre M , un algorithme A_3 identique se trouvant dans la carte SIM de l'abonné mais à la fois dans le centre d'authentification produit un résultat sur la base de la clé « *Ki* » et du nombre M . De

cette manière, quand un VLR a eu un identifiant correspondant à un abonné, il interroge le HLR de l'abonné le nombre M servant au défi ainsi que le résultat du calcul pour faire la comparaison avec celui de la part du mobile et dont ce dernier va envoyer. Si des deux côtés on a le même résultat, l'authentification a donc été réussie et l'abonné est reconnu et accepté par le réseau.

L'enregistreur de localisation des visiteurs

Le VLR ou Visitor Location Register est aussi une base de données dont le contenu est dynamique et est lié à un MSC. Il y en a plusieurs dans un réseau GSM, les données qui y sont contenues viennent du HLR avec lequel elle communique lors de l'entrée d'un abonné dans une zone de couverture du centre de commutation mobile auquel elle est rattachée. Une fois que l'abonné sort de la zone de couverture qui correspond à un VLR, les informations qui lui concernent sont transmises à un autre VLR de la nouvelle zone où elle se trouve afin que sa position soit à jour.

L'enregistreur des identités des équipements

L'EIR ou Equipment Identity Register est une base de donnée qui contient l'IMEI ou International Mobile Station Equipment Identity se présentant comme étant un identifiant unique dont chaque terminal reçoit et dont la caractéristique est que l'on ne peut le modifier sans altération du terminal. Suivant les données au sujet d'une station mobile, un opérateur peut décider d'empêcher son accès au réseau.

En dépit des mécanismes de sécurité au sein du réseau, une station mobile devra accueillir n'importe quelle carte SIM de n'importe quel réseau. On peut donc penser qu'une station mobile puisse être utilisée par un voleur sans que l'on puisse repérer ce dernier et c'est pour cette raison que l'on a mis en place l'IMEI au sein du terminal mobile.

c. Le centre d'exploitation et de maintenance (sous-système opérationnel) : OSS.

OSS (Operation Sub-System) permet à l'opérateur d'exploiter son réseau. La mise en place d'un réseau GSM (en mode circuit) va permettre à un opérateur de proposer des services de type « Voix » à ses clients en assurant l'accès à la mobilité tout en conservant un interfaçage avec le réseau fixe RTC existant.

Présentation de l'OMC et du NMC

Deux niveaux de hiérarchie sont définis dans la norme GSM. Les OMC (Operations and Maintenance Center) et les NMC (Network and Management Center).

Cette organisation a été définie afin de permettre aux opérateurs de gérer la multiplicité des équipements (émetteurs, récepteurs, bases de données, commutateurs ...) et des fournisseurs. Le NMC permet l'administration générale de l'ensemble du réseau par un contrôle centralisé. Ainsi que les OMC permettent une supervision locale des équipements (BSC/MSC / VLR) et transmettent au NMC les incidents majeurs survenus sur le réseau. Les différents OMC assurent une fonction de médiation.

La figure ci-dessous nous montre l'architecture d'un réseau GSM.

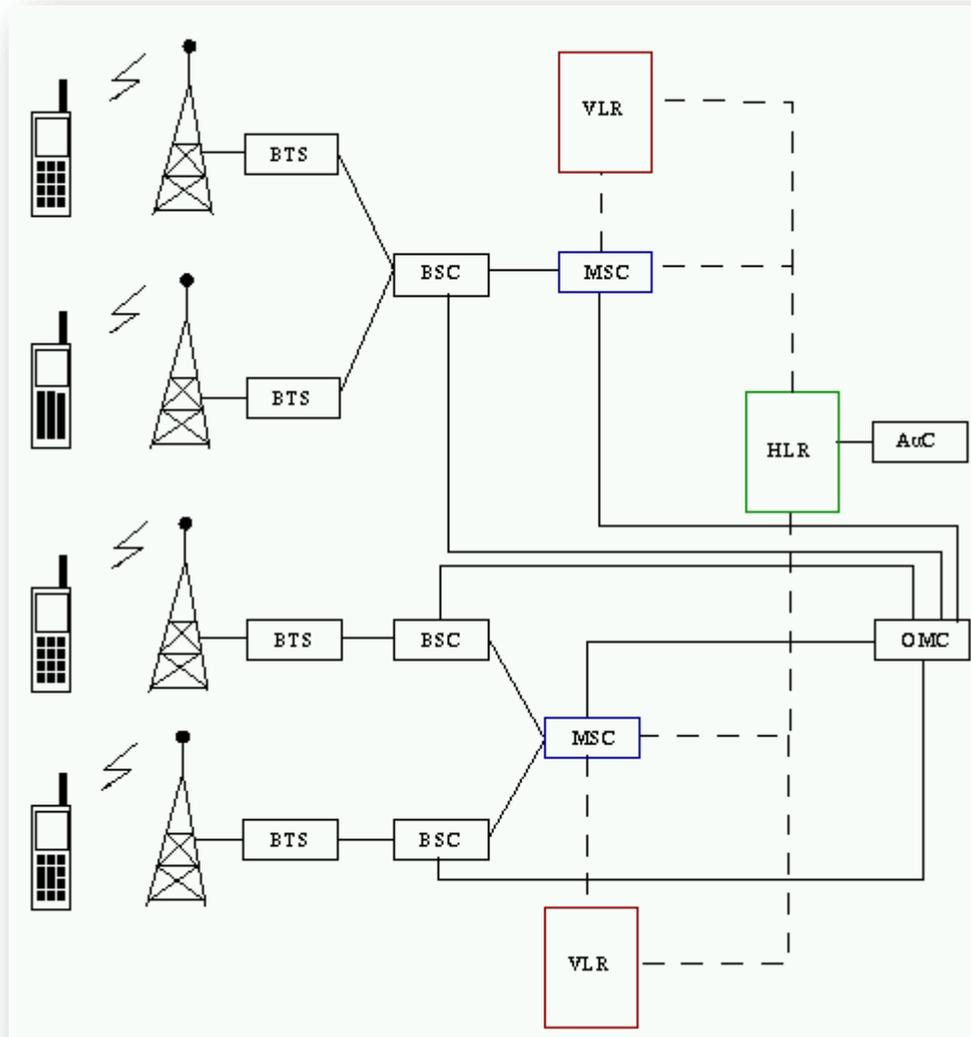


Figure 1.03 : Architecture d'un réseau GSM

1.3.2.2 Le GPRS : 2.5G [3] [18] [11] [23]

Pour former le réseau GPRS (General Packet Radio Service) on a simplement ajouté des « modules » au réseau GSM ce qui fait de ce dernier la base du réseau GPRS. Ainsi donc, le but est

de garder tous les modules du réseau GSM mais de fournir un débit plus grand et d'autres nouveaux services.

Le déploiement d'un réseau GPRS, permettra donc à un opérateur de réseau télécom d'offrir des nouveaux services de type « Data » à ses abonnés. Le GPRS fonctionne en mode paquet.

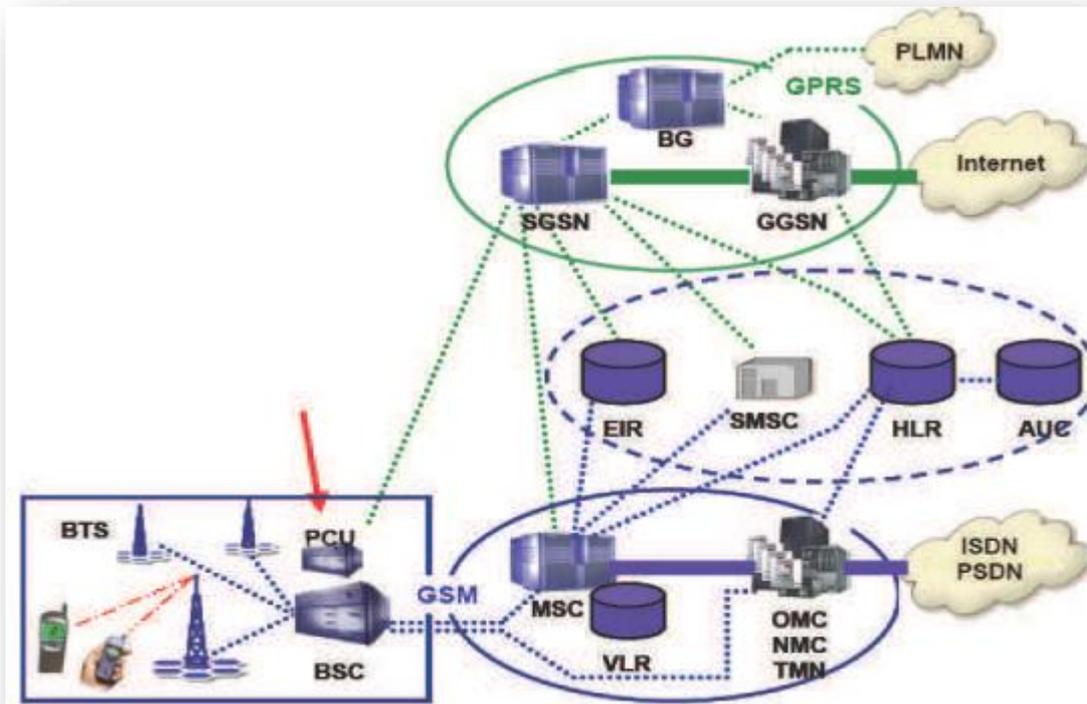


Figure 1.04 : Architecture du réseau GPRS

L'amélioration du réseau s'est focalisée sur la l'introduction du service de type « Data », le réseau doit donc prendre en charge le protocole IP. De ce fait, il est donc constitué de plusieurs routeurs IP. Pour le réseau GPRS, la mobilité requiert par ailleurs la précision de deux nouvelles entités : le nœud de services, le nœud de passerelle.

a. *Le nœud de services : SGSN*

Le SGSN ou Serving GPRS Support Node connue sous le nom de nœud de service dans le réseau est relié au BSS de son réseau prédécesseur c'est-à-dire le GSM. Son principale caractéristique est d'être en connexion avec l'ensemble des équipements de gestion des transmissions radio comme par exemple les BTS, les BSC, les HLR,

Le SGSN joue un rôle de routeur, il gère les terminaux GPRS présents dans une zone donnée. C'est le contrôleur des terminaux GPRS présente dans une zone de surveillance donnée.

b. Le nœud de passerelle : GGSN

Le GGSN ou Gateway GPRS Support Node synonyme de nœud de passerelle dans le réseau GPRS est relié à un ou plusieurs réseaux de données et ces réseaux peuvent être par exemple le réseau internet ou même d'autre réseau GPRS. Il se charge de router les données dont les transmissions sont par paquet :

- Paquets venant d'un réseau externe, aigüillés vers le SGSN du destinataire.
- Paquets sortants à acheminer vers un réseau externe, émanant d'un destinataire interne au réseau.

c. La sécurité assurée par le module BG.

Les recommandations incitent à la mise en place d'un module de sécurité : le module BG pour Border Gateway. Ces modules permettent la connexion de réseaux GPRS par un réseau fédérateur et qui assurent les fonctions de sécurité pour la connexion de ces réseaux.

Néanmoins, les recommandations ne spécifient pas les « Border Gateway » mais ils jouent le rôle d'interface pour l'interconnexion des différents PLMN et ainsi les questions de sécurité sont incrustées dans les interfaces qui sont les BG. On peut prendre comme exemple l'interconnexion entre deux réseaux de deux opérateurs concurrents.

d. Les équipements GSM implémentés dans le réseau GPRS

Comme nous l'avons souligné un peu plus haut, le GPRS s'appuie sur le réseau GSM et donc plusieurs équipements de son réseau de base lui sont implémentés :

- Les BTS et BSC permettent une zone de couverture allant jusqu'à l'échelle nationale pour la localisation des terminaux.
- Le MSC, le VLR permettent la gestion d'itinérance des abonnés des réseaux GPRS et GSM.
- Le SMSC et le GMSC assure la communication interne au réseau par l'envoi de messages courts à destination des terminal GPRS.
- Le HLR permet de résoudre les problématiques concernant la localisation des utilisateurs du réseau. Et en mode GPRS qui effectue une transmission par paquet, cette tâche consiste à fournir une carte de la ville où l'abonné se trouve.
- L'EIR résout les problèmes correspondant à un terminal visé.

Equipement GSM / GPRS	Logiciel gérant l'équipement	Matériel
BTS	Mise à jour requise	Aucun changement
BSC	Mise à jour requise	Interface PCU
MSC / VLR	Mise à jour requise	Aucun changement
HLR	Mise à jour requise	Aucun changement
Nouvelles entités	Signification pour le réseau	
MS	Mobile Station	
SGSN	Serving GPRS Support Node	
GGSN	Gateway GPRS Support Node	
CGF	Charging Gateway Function	
OMC-G	Operations And Maintenance Centre GPRS	

Tableau 1.01: *Le changement d'un réseau GSM en GPRS*

Le tableau ci-dessus nous montre deux entités, la première exprime les équipements GSM requis pour former un réseau GPRS, la seconde à son tour, nous cite les nouveautés du réseau GPRS par rapport à son réseau de base GSM.

Des deux côtés, tous les éléments que ce soit pour le GSM, pour celui du GPRS, sont indispensables afin de fournir un service de type GPRS. L'ensemble introduit deux protocoles pour que les services soit accessibles pour les utilisateurs du réseau :

- Le protocole IP (Internet Protocol) assurant l'ouverture aux terminaux fixes extérieurs au réseau.
- Le protocole de signalisation SS7 (Signal Sémaphore 7) qui est un protocole interne au réseau GPRS.

Le type de transmission dans GPRS

La transmission est en mode paquet. Lors d'une transmission de données entre un terminal mobile et un terminal fixe : les données sont transmises par le BSS (Association de BTS et de BSC) vers le SGSN envoyant ensuite les données vers le GGSN et ce dernier les achemine vers le destinataire final.

L'acheminement de données d'un périphérique vers un autre est basé sur le principe de l'encapsulation mais aussi des protocoles tunnels. Les données revues par le GGSN sont transmises au SGSN dont dépend le périphérique destinataire. Les transmissions d'un périphérique vers un autre peut être : du terminal mobile vers un autre ou d'un terminal fixe vers un terminal mobile.

Gestion d'itinérance

La gestion d'itinérance est la même que celle utilisée pour le réseau GSM mais avec des regroupements de cellules en zones. La station mobile peut être dans trois états différents :

- Au repos, le mobile est « éteint ».
- En surveillance, le mobile se trouve dans la zone de localisation d'une zone de routage. Il se peut qu'il soit appelé par le SGSN.
- Prêt, la station mobile est localisée au niveau d'une cellule. Il se peut qu'elle reçoive des informations et pour un mobile dont l'état est prêt, la localisation peut se faire à la cellule près.

On note qu'une zone de routage est un regroupement ou un ensemble de cellule c'est-à-dire pour le réseau GPRS, un ensemble de cellule GSM.

En passant d'un état de « surveillance » vers l'état prêt, la station mobile ne monopolise en aucun cas le canal radio sauf en cas d'une transmission et/ou de réception de données.

1.3.3 Les réseaux mobiles de troisième génération : 3G [3] [8] [18]

La troisième génération de la téléphonie mobile (3G) connue sous le nom d'UMTS a été créée pour que des applications vidéo puissent être accessibles et utilisables sur le terminal mobile ; pour que la qualité de service (QoS : Quality of Service) du multimédia dont offre le réseau soient améliorée. Les applications vidéo dont on parle ici sont par exemple la vidéo à la demande (cas de YouTube), la visiophonie (cas des communications que l'on a l'habitude de faire sur Skype), ... Et comme pour le cas de chaque génération de téléphonie la question d'augmentation de débit a été prise en compte surtout pour le but qui a été fixé c'est-à-dire la manipulation de données vidéo sur le réseau qui requiert beaucoup de ressources.

Le défi était de passer d'un service de téléphonie à commutation de circuit vers un service à commutation de paquets c'est-à-dire un service de type « Data ». La solution qui a été proposée est d'installer des amplificateurs avant chaque antenne, le principe est donc d'amplifier le signal pour que celui-ci puisse être capté par une autre antenne, et cela en mettant en œuvre d'autre type de modulation par rapport à ceux dont on a utilisé pour le temps de la deuxième génération. Les terminaux mobiles de leurs côtés devaient être améliorés pour des raisons que ceux d'avant ne supportaient pas le haut débit et il y a donc eu l'avènement des smartphones, les tablettes, ...

1.3.3.1 Architecture de l'UMTS [3] [10] [18]

Pour l'Universal Mobile Telecommunication System ou UMTS, le réseau cœur est basé sur les éléments de base des réseaux GSM et GPRS. La communication ainsi que les routages de cette dernière sont la principale préoccupation du réseau cœur de l'interne vers les réseaux extérieurs. Dans l'inverse, il se charge d'acheminer les données vers le destinataire désiré et en ce qui concerne la communication, le réseau cœur assure la commutation et le routage de la voix vers le terminal mobile voulu.

Le réseau GSM et le réseau GPRS assurent respectivement dans leur ensemble, les services de type voix et données, le système de communications mobiles de troisième génération quant à lui assure les fonctionnalités multimédia.

Le réseau cœur fonctionne en même temps en mode circuit et en mode paquet.

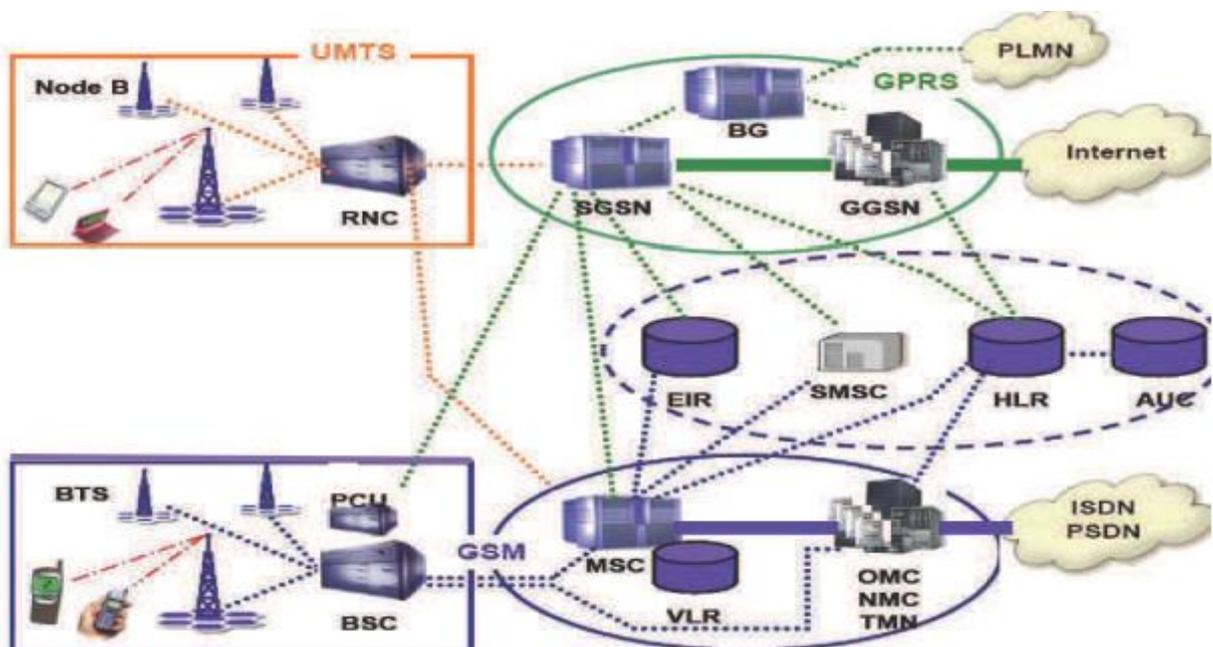


Figure 1.05 : Architecture du réseau UMTS

a. Les fréquences utilisées en UMTS

Les fréquences suivantes ont été allouées pour l'UMTS : 1885-2025 MHz et 2110-2200 MHz. L'Union Internationale des Télécommunications (UIT) a fixé les bandes de fréquences pour les différents systèmes de la 3G :

- Pour le Duplex Temporel TDD (Time Division Demultiplexed) : 1885 à 1920 MHz (bande de fréquence pour la voie montante qui est de 35 MHz) et 2010 à 2025 MHz pour la voie descendante (bande de fréquence de 15 MHz).

- Pour le Duplex fréquentiel FDD (Frequency Division Demultiplexed) 1920 à 1980 MHz correspondant à la voie montante a une largeur de 60 MHz et 2110 à 2170 MHz correspondant à la downlink qui est de largeur 60 MHz aussi.
- On a affecté les 1980 à 2010 MHz et 2170 à 2200 MHz respectivement pour la voie montante et descendant des transmissions satellitaires et toutes les deux ont une largeur de bande de 30 MHz

Un canal a une bande passante de 5 MHz avec une largeur spectrale réelle de 4,685 MHz.

b. *Le débit offert en UMTS*

Théoriquement, l'UMTS doit offrir un débit de transfert allant de 1,920 Mbits/s mais en faisant l'évaluation à la fin de l'année 2004, le débit offert par les opérateurs ne dépasse pas généralement 384 Kbit/s. Mais quand même, cette vitesse est bien plus supérieure à celle que le GSM a eu comme débit de base qui était de 9,6 Kbit/s.

Le débit varie en fonction des lieux et de la vitesse de déplacement des utilisateurs du réseau dans leur cellule :

- En zone rurale : 144 Kbit/s dans le cas d'un utilisateur mobile (train, voiture, etc.) ;
- En zone urbaine : 384 Kbit/s pour une utilisation piétonne.
- Dans des immeubles : 2000 Kbit/s depuis un point fixe.

Suite au débit nettement plus grand, l'UMTS a ouvert la porte à de nouvelles applications et des nouveaux services. Il a permis un transfert de contenu multimédia dans un temps assez court comme par exemple des contenus vidéo, des sons ou des images. Les nouveaux services offerts se sont surtout consacrés sur la vidéo : la visiophonie, MMS Vidéo, la vidéo à la demande, la télévision.

1.3.3.2 Le mode de transmission en UMTS [3]

Comme la 3G inclut les équipements GSM dans son architecture, et que celui-ci a favorisé l'amélioration de manipulation des multimédias mettant en œuvre des équipements GPRS, le réseau a donc deux modes de fonctionnement : le mode circuit et le mode paquet.

a. *Le mode circuit*

Le mode circuit est destiné à gérer les services fonctionnant en temps réel dédiés aux conversations téléphoniques (vidéo-téléphonie, jeux, vidéo et d'autres applications multimédias). Ces applications requièrent un temps de transfert rapide pour bien fonctionner. Lors de la mise en place du réseau UMTS au début, le mode circuit fonctionne à un débit de 384 Kbit/s.

L'infrastructure s'appuie sur ce point sur les principaux éléments du réseau GSM comme le MSC/VLR jouant toujours le rôle des bases de données mais aussi le GMSC afin d'avoir une connexion avec les réseaux externes. Dans ce sens, le GMSC comme toujours, joue le rôle d'interface avec les réseaux externes.

b. Le mode paquet

Par opposition aux services qui nécessitent de fonctionner en temps réel gérés par le mode circuit, le mode de fonctionnement par paquet est spécialement conçu pour assurer les services non temps réel. Il s'agit ici de la navigation sur Internet, la gestion des jeux en réseaux mais aussi l'accès à l'utilisation des mails. Ces applications et services sont moins sensibles au temps de transfert et donc les données qui leur correspondent transiteront en mode paquet. Le débit que le domaine paquet offre est sept fois plus rapide que celui du mode circuit c'est-à-dire qu'il est de l'ordre de : 2 Mbits/s.

Et de ce côté, l'infrastructure du réseau s'appuie sur les principaux éléments du réseau GPRS dont SGSN qui est une base de données déjà existante dans le réseau GPRS et fonctionnant en mode paquet prenant la place et le rôle des MSC / VLR dans le réseau GSM. L'UMTS utilise également le GGSN comme élément du réseau GPRS (équivalent du GMSC dans le réseau GSM) permettant la commutation vers le réseau Internet ainsi que les autres réseaux publics ou privés de transmission de données.

1.3.4 Les réseaux mobiles de quatrième génération: 4G (LTE) [3] [19] [21]

Le LTE-Advanced est une norme exigeant sur certains points du réseau 4G : le débit, la latence. Le tableau ci-dessous nous illustre ces dites exigences.

		LTE	LTE-Advanced
<i>Débits crêtes</i>	DownLink	300 Mb/s	1 Gb/s
	UpLink	75 Mb/s	500 Mb/s
<i>Bande de fréquence</i>		14 à 20 MHz	100 MHz
<i>Latence</i>	Données	10 ms	10 ms (RTT)
	Session	100 ms	50 ms
<i>Efficacité spectrale DL/UL</i>	Maximum	5.0/2.5 b/s/Hz	30/15 b/s/Hz
	Moyenne	1.8/0.8 b/s/Hz	2.6/0.2 b/s/Hz
	En limite	0.04/0.02 b/s/Hz	0.009/0.07

Tableau 1.02: *Les différents paramètres du LTE-Advanced*

La 4G est le système de communications mobiles de quatrième génération. C'est une norme qui succède la 3G. Nous consacrerons un chapitre tout entier pour étudier cette nouvelle norme d'une façon plus explicite et plus détaillée.

La 4G est la norme standard de téléphonie mobile de quatrième génération ; qui elle devra offrir un débit 50 fois plus important par rapport à la première norme.

1.3.4.2 Définition

Les services de communications mobiles et celles des services fixes sont tous les deux en perpétuelle vers l'accès à haut débit. Par les réseaux 4G, les opérateurs télécoms s'assurent de répondre aux demandes incessantes des usages mobiles, tant en termes de qualités de services que de la capacité d'écoulement de trafic dans les réseaux.

Les fréquences dont on dispose pour la mise en place de ce réseau sont celles destinées à permettre le déploiement de réseaux mobiles à très haut débit, ceci est dans le but de donner aux consommateurs la satisfaction en capacité mais aussi une qualité de services bien plus avancée par rapport aux offres actuelles d'internet mobile. La technologie LTE pour « Long Term Evolution » donne aux utilisateurs des débits allant jusqu'à plusieurs dizaines de Mbit/s, largement supérieurs aux performances des technologies 3G et 3G+ actuellement en activité, les latences qui sont associées aux réseaux est bien plus faibles et cela implique une meilleure interactivité vis-à-vis des services disponibles que nous donnent le réseau.

En mettant en place le réseau 4G, nous sommes en train de migrer vers la transmission tout-IP que ce soit pour la voix ou les données ; nous entendons ici par IP, le protocole que l'on utilise sur internet. Pour les fournisseurs, c'est plus facile et moins cher à gérer. Cette voie ouvre la porte à l'augmentation du développement des applications multimédia. Le réseau offre en conséquence par rapport à son débit, un téléchargement beaucoup plus rapide et des latences plus courtes.

Selon l'UIT, les critères en termes de débit pour le LTE est que, le vrai réseau cellulaire 4G doit offrir des vitesses de téléchargement de 100 Mbit/s pour un utilisateur en mouvement et de 1 Gbit/s pour un utilisateur stationnaire.

1.3.4.3 Historique

Aux alentours de l'année 2002, la vision stratégique pour la 4G dont l'UIT a désigné comme IMT-Advanced a été aménagée.

En 2005, la technologie de transmission OFDMA pour Orthogonal frequency-division multiple access a été le candidat pour la liaison descendante HSUPA, rebaptisée plus tard 3GPP Long Term

Evolution (LTE) de l'air l'interface E-UTRA. Toujours en 2005, au mois de novembre KT démontre le service mobile WiMAX à Busan, Corée du Sud.

De leur côté, les Japonais ne s'écartent pas sur l'avancée technologique sur les réseaux mobiles. En 2007, le mois de février, la société japonaise NTT DoCoMo (Nippon Telegraph & Telephone) a testé un prototype du réseau 4G mettant en œuvre le système MIMO 4x4 dont ils appellent VSF-OFCDM à 100 Mbit/s tout en se déplaçant et à 1 Gbit/s en arrêt. Un an plus tard, le commissaire européen Viviane Reding a proposé de la réaffectation des fréquences 500-800 MHz pour les communications sans fil.

En 2008, le mois d'avril après la sortie du note circulaire, le 3GPP organisait un atelier sur les IMT-Advanced où il a été décidé que LTE-Advanced, une évolution de la norme LTE en cours saura répondre et même de dépasser les exigences IMT-Advanced qui suit l'ordre du jour de l'UIT-R.

En décembre 2009, Sprint a commencé à annoncer « 4G » de services sur certaines villes des Etats-Unis. A cette époque, la vitesse de téléchargement était seulement de 3 à 6 Mbit/s et la vitesse de pointe était de 10 Mbit/s.

Le 25 Février 2010, l'Estonie a ouvert EMT LTE « 4G » travail en réseau dans le régime d'essai. Le 5 Juin 2010, Sprint Nextel a publié le premier Smartphone 4G, l'Evo HTC 4G. En Juillet 2010, MTS Ouzbékistan à Tachkent déploie LTE. Le 25 août 2010, la Lettonie a ouvert LMT LTE « 4G » travail en réseau dans le régime d'essai de 50% de son territoire.

1.4 Conclusion

Plusieurs générations de réseaux cellulaires de communications mobiles se sont succédé.

La mise en œuvre du réseau GPRS a impliqué une évolution logicielle et matérielle au réseau GSM déjà existant. Le passage du GSM au GPRS a préparé la venue du réseau de troisième génération UMTS. Plusieurs équipements et amélioration logicielle ont été nécessaires pour la mise en place du mode de transmission par paquet dans le réseau.

Le réseau GPRS contribue à l'évolution vers l'UMTS. Il a été conçu pour la transmission de données en mode paquet afin de faciliter l'accès au réseau internet.

Le débit et la performance du réseau ont toujours été les principales préoccupations pour les différentes générations qui se sont succédé. Le réseau 4G vient pour apporter la technologie tout-IP pour les communications et les transmissions de données.

CHAPITRE 2

LES RESEAUX 4G : LTE

2.1 Introduction [3] [20] [21] [22]

Le dimensionnement, la planification d'un réseau mobile visent à déterminer l'ensemble des composants matériels et logiciels des systèmes. Pendant cette phase on se concentre au positionnement que doit prendre le réseau à mettre en place, les interconnexions qu'il faudra réaliser afin que les matériels et les logiciels puissent être en harmonie et communiquent tous entre eux. De ce point de vue, une phase de planification est importante afin d'utiliser les ressources de façon optimale tout en respectant une série de contrainte de qualité de service. Toutes ces procédures qui peuvent prendre un temps considérables et de ce fait onéreux ; elles se passent avant que le réseau soit fonctionnel. Ceci est surtout le cas des trois premières générations de réseau mobile.

Les réseaux de prochaine génération, y compris la quatrième prend une toute nouvelle forme pour les planifications des réseaux cellulaires en allant vers de nouvelles avenues de recherche. Les tendances vont maintenant de plus en plus vers une intégration transparente des technologies sans fil existantes tel que les systèmes GSM, le LAN (Local Area Network), l'AdHoc ou réseau point à point. Toutes ces technologies de réseau sans fil vont maintenant s'intégrer d'une façon transparente en un environnement totalement hétérogène. Cette nouvelle vague de pensée différencie la 4G (quatrième génération) des générations qui lui précèdent, où seul le besoin de développement de nouvelles normes et de nouveaux standards étaient importants. Les systèmes de quatrième génération sont totalement orientés vers l'utilisateur final, dans le but d'offrir à ce dernier des services variés à très haut débits et sans coupure à travers les réseaux. Néanmoins, la migration des systèmes actuellement utilisés vers la quatrième génération relève un énorme défi. Plusieurs travaux de recherche sont maintenant en cours afin de pallier ce problème.

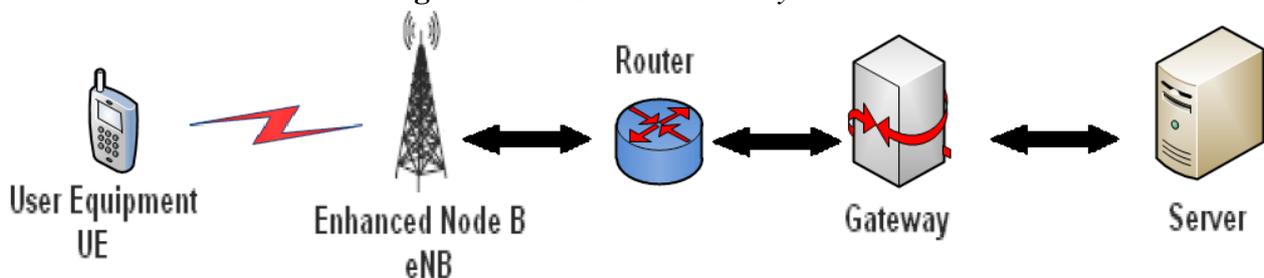
2.2 LTE (4G) [3] [20] [21] [23]

La technologie LTE ou Long Term Evolution encore appelée 4G est un réseau à commutation de paquet. Distinctement au 3G qui prend en son sein une partie de son réseau une commutation de circuit pour transporter la voix, LTE n'a pas prévu d'autre mode d'acheminement de la voix autre que la VoIP.

Pour LTE, les bandes de fréquences pour les ondes hertziennes varient d'une largeur de 1,4 MHz à 20 MHz, et ainsi obtenir pour une bande de 20 MHz, un débit binaire théorique pouvant atteindre 300 Mbit/s dans le sens descendante « downlink », mais la vrai « 4G » peut offrir un débit descendant de 1Gbit/s.

Etant donné de mettre en harmonie des réseaux hétérogènes, la technologie LTE est un ensemble de technologie sophistiqué d'une performance considérable (très haut débit et latence moindre) par rapport au réseau 3G existant qui lui précède. La technique de multiplexage OFDMA ou Orthogonal Frequency Division Multiple Access optimise l'utilisation des fréquences de façon à minimiser les interférences. En même temps, pour cette technologie, on a opté l'utilisation des antennes multiples (qui est déjà utilisée pour le WiFi ou le WiMax) ; par conséquent, les canaux de communications parallèles sont multipliés et donc le débit augmente mais en même temps la portée.

Figure 2.01 : Généralités du systèmes LTE



2.3 Objectif pour la 4G [22]

Le principal objectif pour la LTE étant d'améliorer l'efficacité spectrale et la capacité de gestion du nombre d'utilisateurs mobiles dans une cellule en vue d'une augmentation. On tient aussi à ce que le débit soit élevé en situation de mobilités et aussi à ce que la mobilité soit totale pour l'abonné en établissant une interopérabilité entre les technologies existantes formant ainsi un réseau hétérogène en harmonie et en communication. Le passage entre les réseaux doit être transparent pour l'utilisateur, aucune interruption ne doit se produire durant les transferts intercellulaires et en même temps, l'utilisation tend à basculer vers le tout-IP.

Les buts de la quatrième génération de la téléphonie sont donc les suivants :

- ✚ Assurer la continuité d'une session en cours.
- ✚ Réduire les délais et le trafic de signalisation.
- ✚ Fournir une qualité de service meilleure
- ✚ Optimiser l'utilisation des ressources.
- ✚ Réduire les latences, le délai de bout en bout, la gigue et la perte de paquets.
- ✚ Minimiser le coût de signalisation.

2.4 Architecture du réseau 4G [11] [21] [22] [23]

Les réseaux cellulaires LTE utilisent des milliers de cellules mettant en œuvre la réutilisation de fréquences, même dans les cellules mitoyennes grâce aux codages radio OFDMA et SC-FDMA.

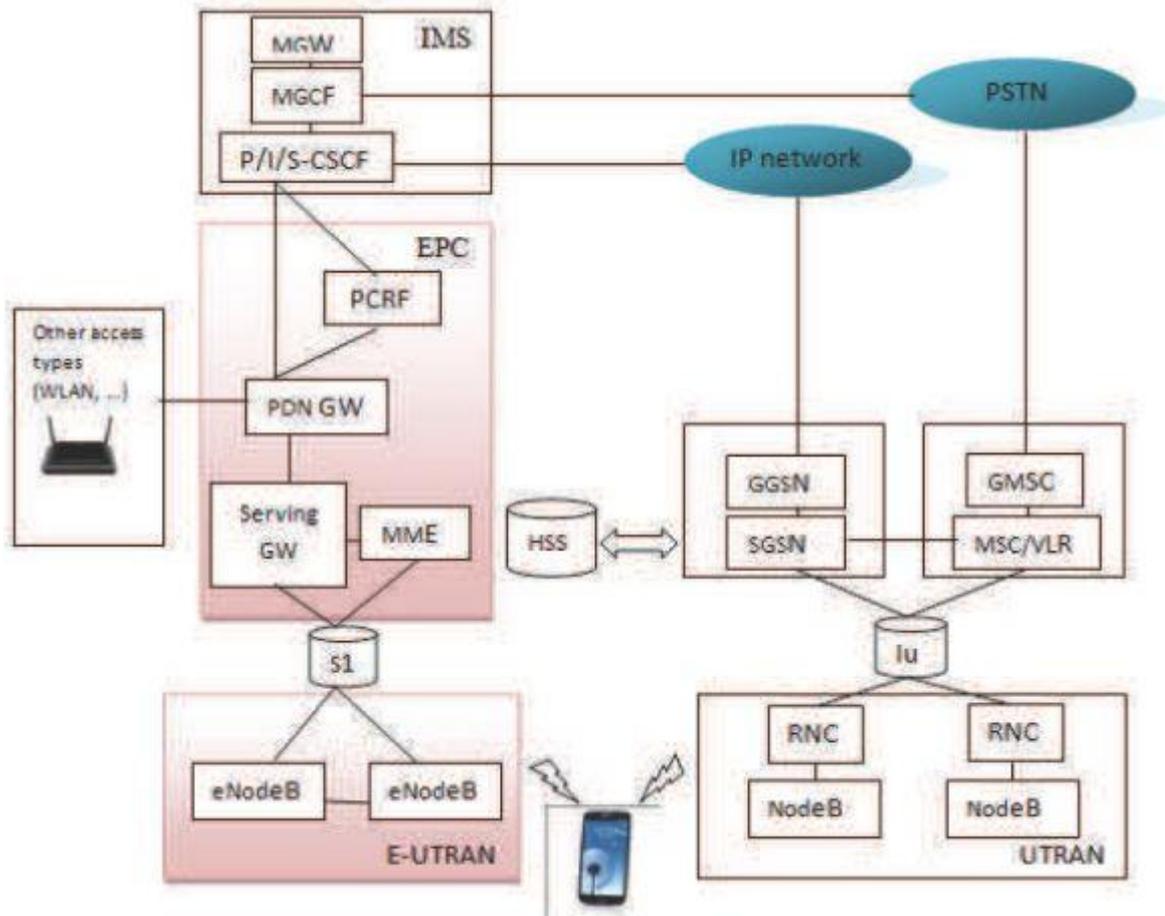


Figure 2.02 : Architecture général du réseau 4G : LTE

Les nouveaux blocs mis en place dans l'architecture, aussi connu sous le nom d'EPS pour Evolved Packet System, sont l'EPC (Evolved Packet Core) et l'E-UTRAN (Evolved UTRAN).

Nous allons mettre en évidence dans une figure simplifiée cette nouvelle partie du système c'est-à-dire l'EPS.

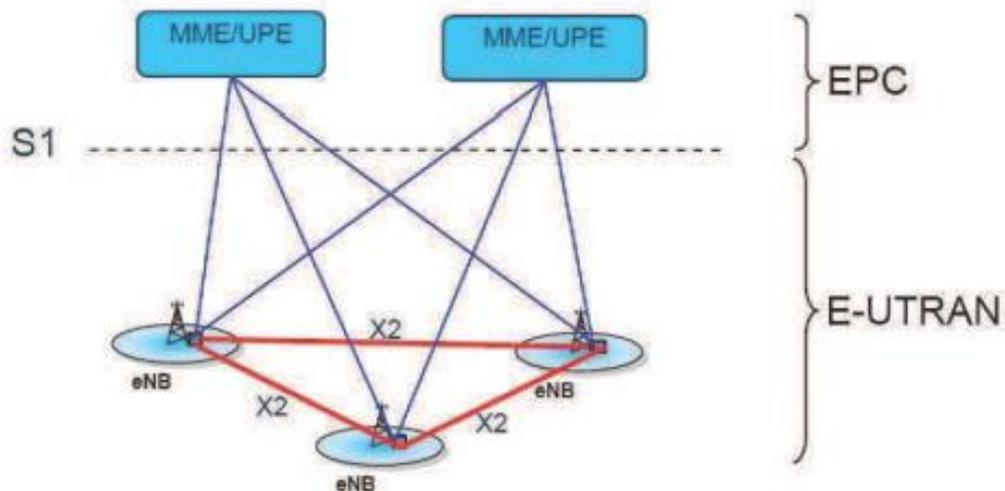


Figure 2.03 : Architecture simplifiée d'EPS

2.4.1 Evolved Packet Core : EPC

Le cœur du réseau est appelé « EPC » et il utilise des technologies « full IP » ou « tout-IP », cela veut dire qu'il est basé sur des protocoles Internet pour la signalisation qui permet des temps de latence réduits, ainsi que le transport de la voix et des données. Le cœur du réseau est bourré de routeurs permettant l'interconnexion avec le monde extérieur comme les eNodeB distants, les réseaux des autres opérateurs mobiles, les réseaux de téléphone fixe ainsi que le réseau Internet.

L'Evolved Packet Core qui est le cœur du réseau simplifie le réseau d'architecture à tout-IP, cela favorise l'interopérabilité entre les réseaux déjà existants. On peut prendre comme exemple l'interconnexion entre les systèmes basés sur 3GPP et ceux qui ne le sont pas tel que le WiMax et le CDMA2000 dont l'interconnexion est totalement transparente vis-à-vis des abonnés.

A part les routeurs, le réseau cœur est constitué de plusieurs autres équipements qui assurent l'interconnexion et le bon fonctionnement du réseau.

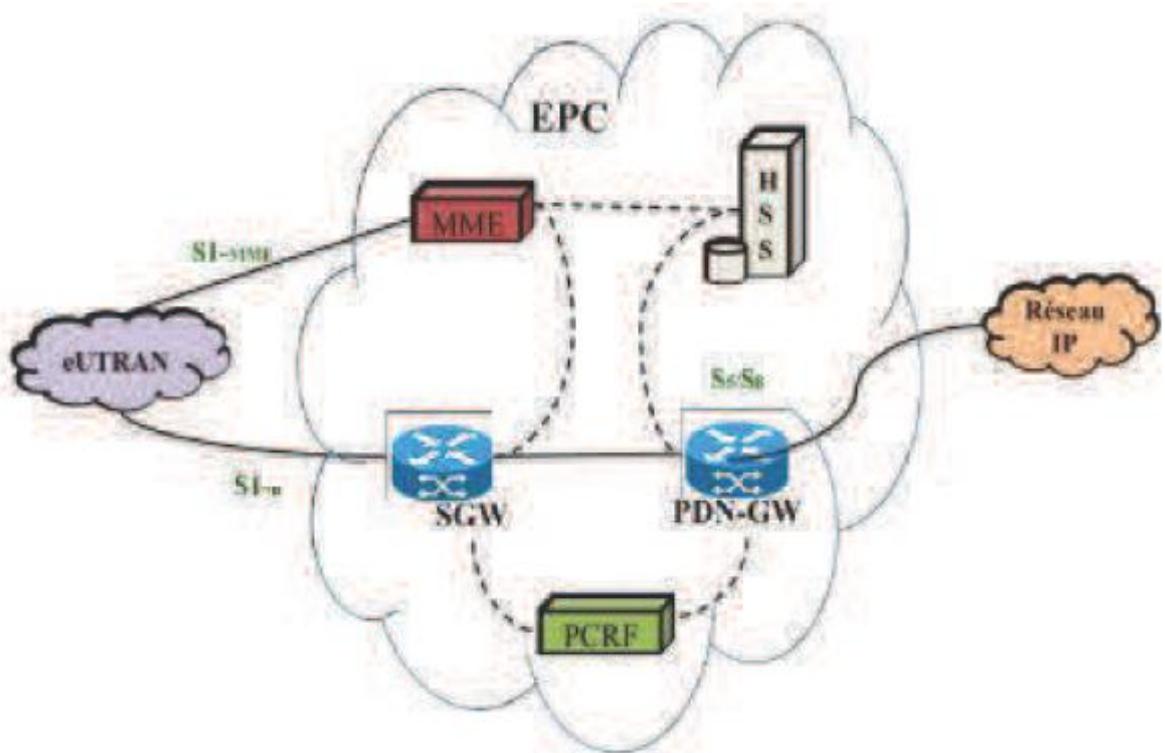


Figure 2.04 : *Architecture du réseau cœur EPC*

L'EPC est le pilier de l'architecture du réseau SAE. Il joue le même rôle que le NSS au temps du réseau GPRS. Le cœur est dans son ensemble composé de deux (2) parties principales que nous allons décortiquer afin de mieux savoir le fonctionnement de cette partie du réseau.

2.4.1.1 La partie signalisation

La gestion de la mobilité, le rattachement de l'abonné sur le réseau s'opère dans cette branche du réseau, le principal équipement gérant ceci est le MME. Le HSS compose aussi la partie signalisation, c'est une base de données permettant entre autre des authentifications de l'abonné, les consultations des abonnements correspondant à chacun des clients ainsi que le chiffrement des communications.

Il y a aussi une fonction intéressante qui tourne toujours autour de la partie signalisation car elle met en place une politique de tarification permettant d'attribuer le droit d'accès au réseau de données (PDN) en fonction du forfait de l'abonné mobile, il s'agit ici du PCRF.

- **MME : Mobility Management Entity**

Comme son nom l'indique, cette entité est responsable de ce qui concerne le mouvement de l'abonné. Pendant le temps séparant les appels et la sélection d'une bonne S-GW ou Serving-GateWay à travers une connexion, le MME assure la localisation du client mobile et de ce fait, il poursuit donc le terminal mobile pendant le processus que nous avons souligné.

C'est le dernier point de la protection par codage, et donc c'est par là que l'on valide l'interception de la signalisation. Elle contrôle le signal entre l'UE ou Equipement Utilisateur (User Equipment en anglais) et le réseau cœur.

En tenant compte de ce rôle, elle assure l'établissement, la maintenance et l'élargissement de la porteuse radio service.

- **HSS : Home Subscriber Service**

Par analogie, le HSS est l'équivalent de HLR en GSM ou WCDMA. C'est une base de données et elle fait partie du réseau cœur. Elle contient des informations du subscriber-related c'est-à-dire les abonnés voisins, et porte l'appel de control et la session management. Suivant l'information dont elle détient, cette base de données est sollicitée pour des raisons d'authentification, d'autorisation, de la sécurité. Elle gère également le débit suivant le profil d'un abonné, et fournit en même temps une localisation détaillée à l'utilisateur.

- **PDN-GW : Packet Data Network GateWay**

Elle fait partie de la 3GPP Release8, c'est une porteuse du chemin de données entre un terminal mobile et le PDN à trois segments :

- ✓ La porteuse radio entre un UE et eNodeB distant.
- ✓ La porteuse des données entre eNodeB et SGW.
- ✓ La porteuse des données entre SGW et PDW.

- **PCRF : Policy and Charging Rules Function (3GPP Release 7)**

Il se charge de la décision principale du contrôle. Il donne une qualité de service d'autorisation afin de décider sur les traitements des données pour un utilisateur suivant son abonnement et tous les droits dont il dispose.

- **SGW : Serving Gateway (3GPP Release 8)**

Le Serving Gateway joue le rôle de jonction principale afin que le réseau d'accès radio puisse communiquer. Le réseau cœur SGW transporte les paquets de données IP, assure la connexion pendant le handover inter-eNodeB mais aussi le handover inter-système entre la technologie LTE et ses prédécesseurs tel que le GSM ou l'UMTS. En même temps avec les rôles dont il assure

l'accomplissement sans encombre, le Serving Gateway réserve le contexte de l'équipement utilisateur comme par exemple les paramètres de la porteuse service et le routage des informations.

- **P-GW : Packet-Switch GetWay**

Le Packet-Switch GetWay est le pont assurant la connectivité au terminal mobile vers le paquet externe du réseau de l'information et attribue les adresses IP d'un équipement utilisateur mais aussi d'assurer une qualité de service acceptable.

En même temps ce pont fait en sorte que quel que soit la technologie utilisé par l'utilisateur mobile : LTE ou UMTS ou encore GSM qui sont des systèmes 3GPP et même ceux qui ne font pas partie des systèmes 3GPP puissent communiquer, échanger de données, ...

- **SGSN : Serving GPRS Support Nom**

Il assure l'interconnexion des technologies LTE, UMTS ainsi que le réseau GSM afin que la mobilité soit totale et transparente pour l'utilisateur.

2.4.2 La partie radio eUTRAN

L'eUTRAN est la partie radio du réseau, elle a la particularité d'être plus simple par rapport à la partie radio des deux (2) normes qui lui précèdent c'est dire le BSS qui représente l'accès radio de la norme 2G ainsi que l'UTRAN de la 3G. Cet état simplifié est en partie grâce à l'intégration dans les stations de base appelée : « eNodeB ». Les eNodeB ainsi intégrés ont des liaisons en fibres optiques et sont reliés entre eux par des liens IP (liens X2).

On a aussi apporté des changements au niveau des intégrations ou des implantations des programmes. Si auparavant les fonctions de contrôles ont été intégrées dans les RNC (Radio Network Controller) pour les réseaux 3G UMTS, dans le réseau de quatrième génération on a opté de les intégrer dans la partie radio.

Etant donné que c'est la partie radio, elle assure dans l'évidence le management des ressources radio, la porteuse, la compression, la sécurité de la transmission ainsi que la connectivité vers le réseau cœur évolué.

- **L'eNodeB**

L'eNodeB est un élément indispensable pour la communication et l'interconnexion des abonnés avec leur monde extérieur. Tout comme dans le réseau GSM qui utilisait des stations de base ou BTS mais aussi l'UMTS qui utilisait les NodeB, le réseau LTE met en œuvre l'eNodeB pour la connexion des abonnés aux réseaux cœur. Pour faire simple l'eNodeB joue les mêmes rôles qu'avaient eu les BTS ou les NodeB mais avec une fonctionnalité et une robustesse plus avancées

et d'une intelligence bien plus supérieure si on ne prend seulement comme exemple que le nombre d'abonnés dont il peut gérer simultanément dans chaque cellule.

Ce qui différencie surtout l'eNodeB dans la technologie LTE c'est à sa capacité de gérer un handover d'une façon bien plus robuste que les systèmes auparavant ne pouvaient offrir.

Physiquement, ce sont des antennes émetteur-récepteur suivant laquelle via les RF air interface relie chaque client mobile avec le réseau cœur.

Ainsi les fonctionnalités de contrôleur radio résident dans eNodeB et pour les fonctionnalités en question, les résultats sont plus efficaces. En plus de cela, le réseau est beaucoup moins latent. La mobilité est prise en charge ou déterminée par eNodeB alors que c'était à la place des BSC ou des RNC qu'elle se procède auparavant.

2.4.3 La partie IMS du réseau

L'IMS ou IP Multimedia Sub-system dans le réseau de quatrième génération est une architecture standardisée faisant partie du NGN (Next Generation Network) pour les opérateurs téléphoniques permettant de fournir des services multimédia fixes et mobiles. Dans l'évidence, l'IMS utilise de la technologie VoIP mais à part d'être basé sur le protocole IP, des implémentations 3GPP standardisées y sont intégrées.

La compatibilité ascendant est prise en charge par l'IP Multimedia Sub-system c'est-à-dire que les technologies utilisant la commutation de paquet et celles qui utilisent les commutations de circuits ne sont pas privé des acheminements des données multimédia. Par conséquent, les systèmes ayant les technologies de commutations de circuits et commutations de paquets ensemble en son sein peuvent sans problèmes transmettre et recevoir des données multimédia avec toutes les normes existantes via le réseau LTE.

Le principal objectif qui a été fixé par la mise en place de l'IMS n'est pas seulement de permettre de nouveaux services, existants ou futurs, proposés sur Internet, les utilisateurs doivent aussi de leur côté être capables d'utiliser ces services aussi bien en déplacement (par exemple en situation de roaming) que depuis chez eux. Pour cela l'IMS se base sur le protocole standard IP.

En conséquence, pour une session multimédia quelconque entre deux utilisateur IMS ou entre un utilisateur IMS et un internaute ou bien encore entre deux internautes est établie par l'intermédiaire du même protocole c'est-à-dire IP. C'est la raison pour laquelle l'IMS fait véritablement la convergence entre le monde de la téléphonie cellulaire et l'internet.

L'IMS met en œuvre les technologies cellulaires pour l'accès en tout lieu et les technologies Internet pour fournir les services aux clients consommateur.

Maintenant pour mieux explorer les contenus des services de l'IMS, voyons quelque exemples afin d'y voir plus claire à quoi il est capable pour attirer toujours plus d'abonné :

- Echange de fichier durant un appel en cours.
- Un abonné peut créer une règle le montrant connecté après une certaine heure et rejette tout appel en provenance d'un appelant de son groupe professionnel.
- Un utilisateur du réseau peut couper la communication au moment où ses collègues de bureau l'appellent et cet utilisateur appelé pourrait ensuite les rediriger vers une page web spécifique présentant par exemple l'endroit où il passe ses vacances.
- Un abonné peut sans problème paramétrer certaines fonctionnalités de ses appareils en fonction d'une personne appelante comme l'activation de la sonnerie de tous ses appareils.
- Messagerie instantanée et vidéo conférence.

2.5 Comparaison entre 3G et 4G [13] [19] [22]

Dans cette partie, on va procéder à la comparaison des deux générations les plus proches dans l'évolution et le fonctionnement des réseaux de téléphonie mobile.

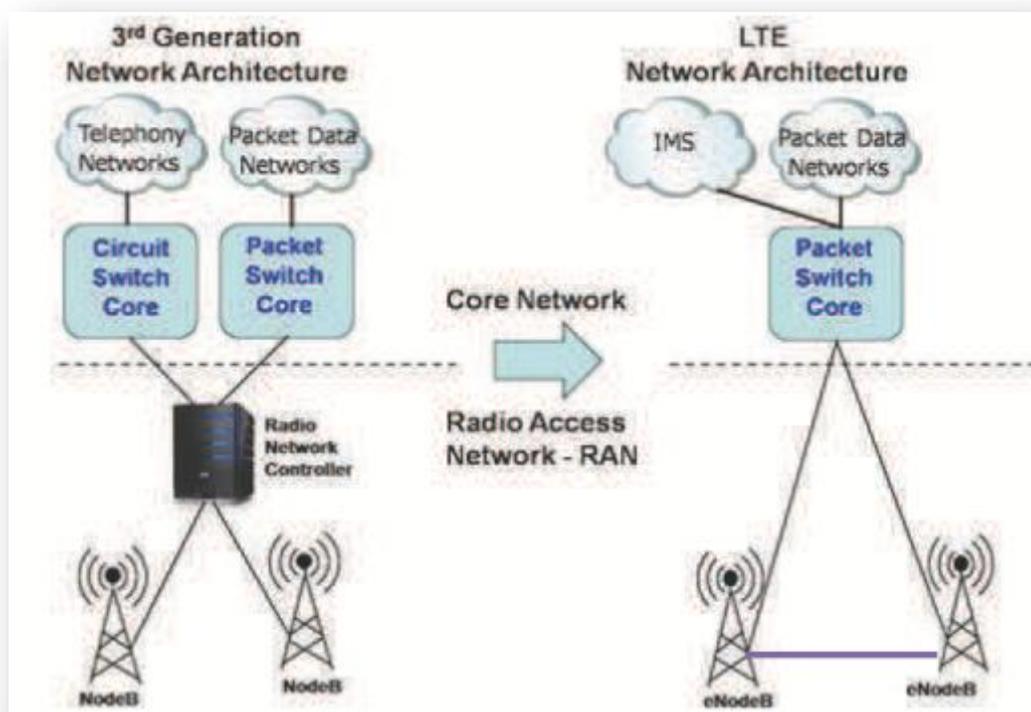


Figure 2.05 : La 3G face à la 4G

Comme la figure de comparaison ci-dessus nous le montre :

- les MME pour Mobility Management Entity remplacent les dispositifs PDSN / SGSN et BCS/RNC.
- les eNodeBs remplacent les BTS/NodeB Serving
- Les PDN (Packet Data Network) remplacent les GGSN.

2.6 Les fondamentaux de la quatrième génération [10] [11] [21]

La quatrième génération nous donne l'accès à une qualité de service fiable, citons quelques paramètres :

2.6.1 Le débit et les fréquences utilisés par la 4G

Le débit est en perpétuelle évolution en termes d'augmentation comme celle de la capacité de calcul. A chaque moment que l'on a passé d'une génération à une autre, toutes les nouvelles technologies de réseaux mobiles augmente le débit et suscite une attente de débits supérieurs. Il était donc clair depuis 2004 que LTE devrait apporter de très hauts débits. Au-delà des limitations capacitaires d'une cellule, le débit fourni à un utilisateur dépend de ses conditions radio, en particulier par rapport à sa position dans la cellule c'est-à-dire la localisation exacte de l'utilisateur, il est par exemple proches de l'antenne ou au bord de la cellule. A part la limitation capacitaire, la position dans la cellule, le débit varie également pour un utilisateur par rapport aux techniques de transmission mise en œuvre ainsi que de la ressource spectrale disponible.

Les standards de performances communément admis pour les réseaux 4G : 100 Mbit/s sur la voie descendante (de l'eNodeB vers le terminal mobile) et 50 Mbit/s maximum pour la voie montante (du terminal mobile vers l'antenne relais). Suivant la zone géographique à couvrir par les réseaux LTE, les fréquences varient : 700 MHz aux Etats-Unis pour le réseau de Verizon Wireless, 2,6 GHz et 800 MHz en Europe et 2,1 GHz pour le réseau japonais de NTTDocomo qui est l'un des opérateurs le plus connu au Japon.

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

- 100 Mbit/s pour le lien radio descendant correspondant à une largeur de bande de 20 MHz donnant une efficacité spectrale crête équivalent à 5 bit/s/Hz.
- 50 Mbit/s pour le lien radio montant correspondant à une largeur de bande de 20 MHz, soit donc une efficacité spectrale crête de 2,5 bit/s/Hz.

Ces chiffres énumérés par les deux points successifs ci-dessus correspondent à un équipement utilisateur dont les références sont les suivantes :

- ❖ Deux antennes en réception
- ❖ Une antenne en émission

Pour le LTE donc, il y aura deux antennes d'émission à la station de base et deux antennes en réception au niveau de l'équipement utilisateur.

Suite à l'utilisation des techniques de mise en services de plusieurs antennes pour la communication, l'utilisateur peut sans problème accéder à ses services favoris chez lui ou bien hors de son domicile, vu qu'il est sous la couverture de réseau mobile. En complément, le débit est devenu un facteur de comparaison entre opérateurs et dans certains pays, la course au haut débit est cruciale. Pour en finir, des débits toujours élevés ouvrent la voie à l'introduction de nouveaux services, augmente les sources de revenus et/ou en même temps permet de différencier les différents opérateurs existants dans chaque pays.

2.6.2 Latence du réseau

2.6.2.1 Latence du plan de contrôle

L'objectif que l'on a fixé dès le départ pour le LTE était de surpasser la latence du système proposée par l'UMTS, cela se concrétise par le fait d'un temps transition inférieur à 100 ms entre un état de veille de l'équipement utilisateur et un état actif autorisant l'établissement du plan usager.

2.6.2.2 Latence du plan usager

Par définition, la latence du plan usager est définie comme étant le temps de transmission d'un paquet entre la couche IP de l'UE ou User Equipment et la couche IP d'un nœud du réseau d'accès ou inversement. En d'autres termes, la latence du plan usager correspond à la durée de transmission d'un paquet IP dans un réseau d'accès. La quatrième génération de téléphonie mobile vise une latence de plan usager inférieur à 5 ms se référant au réseau où la charge est faible mais aussi pour des paquets IP de petites tailles.

2.6.2.3 Dépendance des latences

Une latence, qu'elle soit du plan usager ou du plan de contrôle dépend du type de domaine duplex que l'on met en œuvre dont le FDD pour Frequency Division Duplexing ou TDD pour Time Division Duplexing. Ainsi les deux types de latences que l'on a citées ci-dessus sont distingués par le type de domaine duplex qui l'accompagne.

Latence du plan usager [ms]		Latence du plan de contrôle pour la transition d'un état de veille à un état actif [ms]	
FDD	TDD	FDD	TDD
< 5	<= 6,2 en DL <= 9,5 en UL	80	85

Tableau 2.01: Latence pour chaque type de multiplexage

2.6.3 Gestion des fréquences [9] [11]

Les services, les qualités que doit offrir un réseau LTE est vaste et pour cette raison il doit pouvoir opérer sur des porteuses de différentes largeurs afin de s'adapter aux allocations spectrales variées qui lui sont associées. On a apporté des modifications aux niveaux des bandes initialement requises et cela nous a donc conduit actuellement aux suivantes bandes de fréquences : 1,4 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz et 20 MHz dans les voies montantes et descendantes. Il est à noter que le débit maximal est proportionnel à la largeur de bande allouée à un service.

Parmi les largeurs de bandes que l'on a précisé, les deux modes de duplexage en temps et en fréquences c'est-à-dire le TDD ou le FDD doivent être pris en charge dans le but d'exploiter un canal d'une façon maximale. Le but est de supporter le plus d'abonnés possible et de faire transiter un maximum de données sans que le réseau se plante et le référencement s'appuie sur un réseau non saturé afin d'en dégager une qualité de service meilleur.

2.6.4 Codage et sécurité

Le codage, la sécurité est importante pour l'acheminement des données dans les réseaux mobiles. D'un côté, le codage permet d'optimiser les ressources, de les exploiter au maximum. Nous entendons par exploiter au maximum le partage de ressources entre plusieurs utilisateurs avec une interférence négligeable mais aussi l'envoi des données d'une quantité importante que possible d'une façon simultanée sans encombrement. D'un autre côté, la sécurité vise à l'authentification de toute personne ou programme voulant accéder au réseau et à ses services pour que la communication, les transferts de données se passe à l'abri de toute tentative d'écoute du réseau que ce soit pour l'appel ou le vol d'informations.

La technologie LTE utilise comme genre de codage l'OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) ; c'est une technique de codage radio de type « Accès multiple à répartition de

fréquence : AMRF » ou en anglais FDMA (Frequency Division Multiple Access) pour la liaison descendante c'est-à-dire des antennes vers les terminales mobiles. En revanche, elle utilise le SC-FDMA pour Single – carrier FDMA, c'est une technique de codage radio de type accès multiple par répartition en fréquence pour la liaison montante c'est-à-dire de la terminale mobile vers les antennes de communications des opérateurs téléphoniques. A noter qu'au lieu de cette technologie radio, on a utilisé en UMTS le W-CDMA.

L'OFDMA et sa variante SC-FDMA sont dérivés tous les deux du codage OFDM (technologie utilisée par exemple sur les liens ADSL et dans les réseaux WiFi) ; mais par opposition à l'OFDM, les techniques de codage OFDMA est optimisée pour les accès multiples visant le partage simultané de la ressource spectrale dont les bandes de fréquences utilisées entre les abonnés sont distants les uns des autres. Mais surtout, étant donné que l'OFDMA est optimisée pour l'accès multiple, elle est alors bien adaptée et peut fonctionner en harmonie avec les technologies d'utilisations de plusieurs antennes pour les émissions et les réceptions : MIMO.

2.6.5 Le multiplexage utilisé en LTE

On a mis au point deux modes de multiplexage de fréquence qui peuvent être complémentaire en ce qui concerne les résultats dont ils font preuve pour le bon fonctionnement du réseau :

Les spécifications prévoient le fonctionnement en mode dual dont principalement, le multiplexage en fréquence (FDD) et le multiplexage temporel (TDD). Pour le mode de fonctionnement FDD ou Frequency Division Duplexing, l'émission et la réception s'opère dans des fréquences différentes. Contrairement au mode de fonctionnement FDD, le TDD ou Time-Division Duplex l'émission et la réception transitent dans la même fréquence mais à des instants différents.

C'est le premier mode (FDD) qui fait encore encours de recherche de perfectionnement. Actuellement, les équipements télécoms sont équipés de mode FDD et ce mode est déployé dans la plupart des premiers réseaux 4G LTE mis en place. Le mode de fonctionnement TDD fonctionne sur des bandes de fréquences distinctes qui feront l'objet d'attributions ultérieures.

2.6.5.1 Structure d'une trame LTE [3] [5]

Une trame LTE dure 10 ms. Une trame est divisée en 10 sous-trames d'une durée de 1 ms. Chaque sous-trame est divisée en deux slots de 0,5 ms. Une bande OFDM est composée de 7 symboles et ces 7 symboles sont transmis pendant la durée d'un slot qui est donc de 0,5 ms. Or, on a déjà vu qu'il y avait 12 bandes OFDM.

Ce qui implique donc que les 7 symboles multipliés aux 12 bandes nous donnent 84 symboles qui seront transmis en une durée de 0,5 ms.

$$7 \text{ symboles} \times 12 \text{ bandes} = 84 \text{ symboles}$$

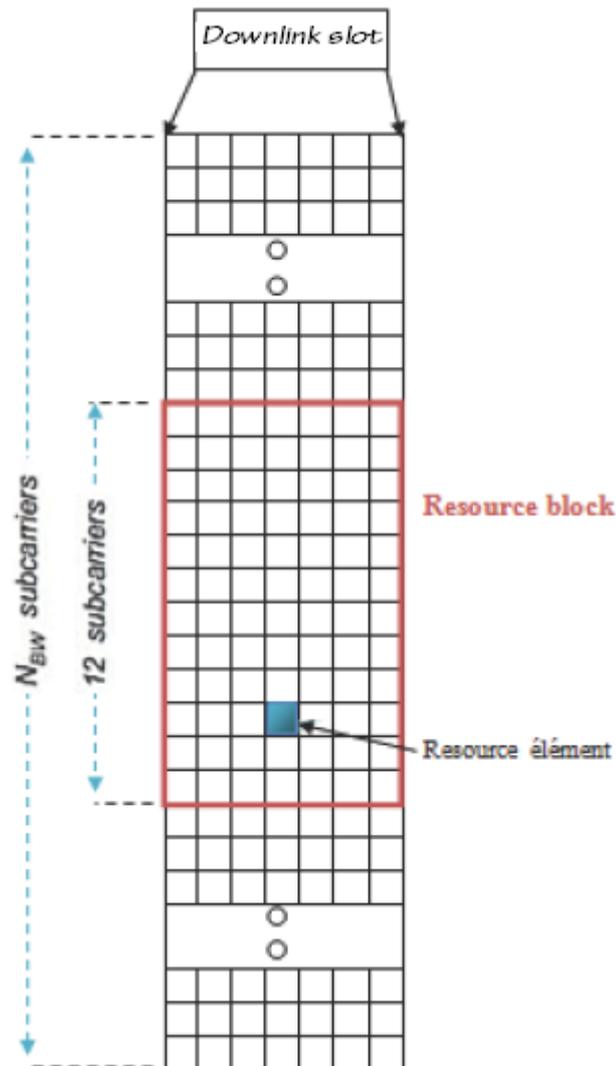


Figure 2.06 : *Le fonctionnement d'une trame radio*

Le nombre de bits que peut transporter un symbole est en fonction du type de modulation choisie, 1 symbole peut alors transmettre 1 à 6 bits suivant que l'on utilise la modulation QPSK jusqu'au 128 QAM. Par analogie, 1 symbole correspond à un carton et dans un carton nous pouvons mettre une jusqu'à 6 boîtes. Pour transporter le plus de boîte possible, il est dans notre intérêt de mettre 6 boîtes par carton, mais en la conséquence de mettre 6 boîtes dans un carton est que cela fragilise le transport ; c'est comme si nous avons donc choisi la modulation 128 QAM qui nous permet de

transmettre 6 bit par symbole. Ce type de transmission est favorable si le mobile et la station de base sont proches.

Les transmissions que ce soit pour le downlink ou l'uplink se font suivant deux structures qui sont :

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

a. *La structure de type 1 : FDD*

Le Frequency Division Duplexing est une méthode de duplexage dans le domaine des télécommunications sans fil. Dans cette technique, on sépare sur des fréquences différentes l'émission et la réception de données. En d'autres termes, la fréquence porteuse du signal est différente suivant que l'on opère sur l'émission et la réception et on en définit donc des fréquences bien distinctes pour la liaison montante et celui de la descendante.

L'avantage de ce mode de fonctionnement est la possibilité d'émettre et de recevoir simultanément des données.

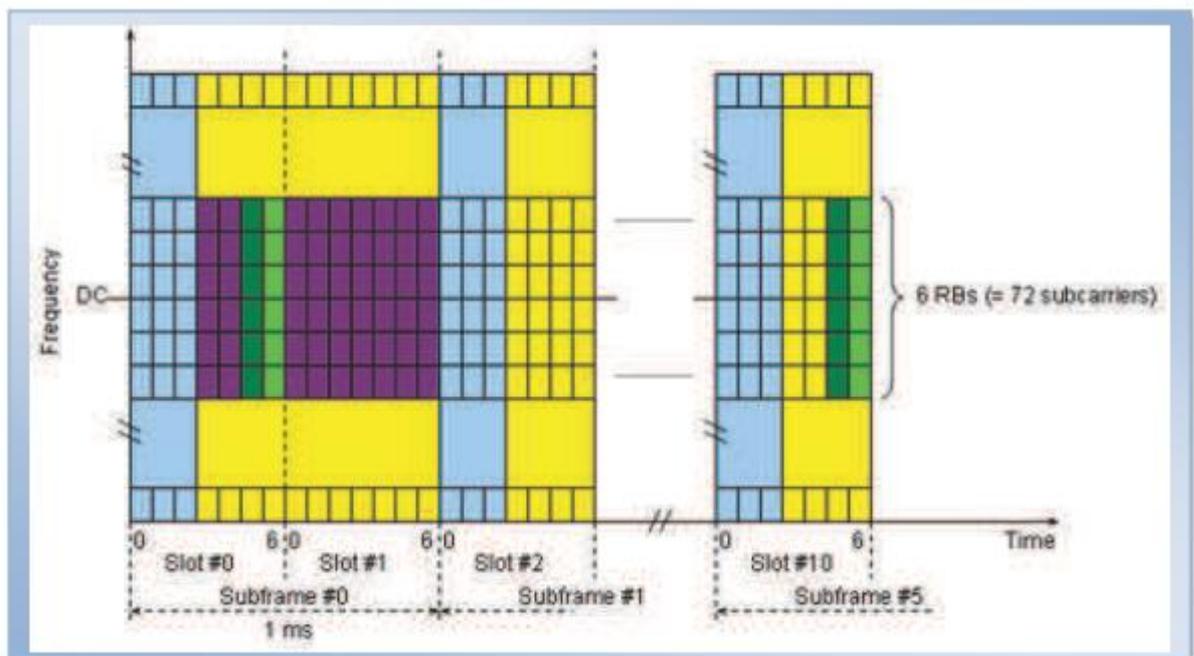


Figure 2.07 : Structure de la trame radio FDD

Sur la figure ci-dessus, nous avons représenté le signal LTE dans un repère à deux dimensions. L'axe horizontal représente le domaine de temps et l'axe vertical celui du domaine fréquentiel. Pour le domaine fréquentiel, l'unité minimale est un transporteur sous et pour celui du domaine

temporel, l'unité minimale représente un symbole. Suivant le domaine temporel ou fréquentiel, il y a des multiplicités d'unités et la multiplicité de plus petites unités conduites à des unités plus grandes.

b. Structure de types 2 : TDD

Le Time-Division Duplex est une technique rendant un canal de communication telle qu'une bande de fréquence à être partager dans le temps. Pour l'émission mais aussi la réception donc, le transport se fait dans une même ressource mais que toutes les deux sont séparées dans le temps afin d'éviter le conflit pendant la transmission.

Cette technique a fait ses preuves dans le cas où les débits en émission ou en réception sont variables et asymétriques. Elle est surtout donc avantageuse lorsque le débit d'émission augmente ou diminue ou encore quand il y a davantage ou moins de bande passante allouée à la communication. Le TDD est aussi avantageux pour le cas des terminaux mobiles se déplaçant à très faible vitesse ou en poste fixe. Dans ce cas particulier, la technique de « beamforming » est très efficace avec un système utilisant la technique TDD.

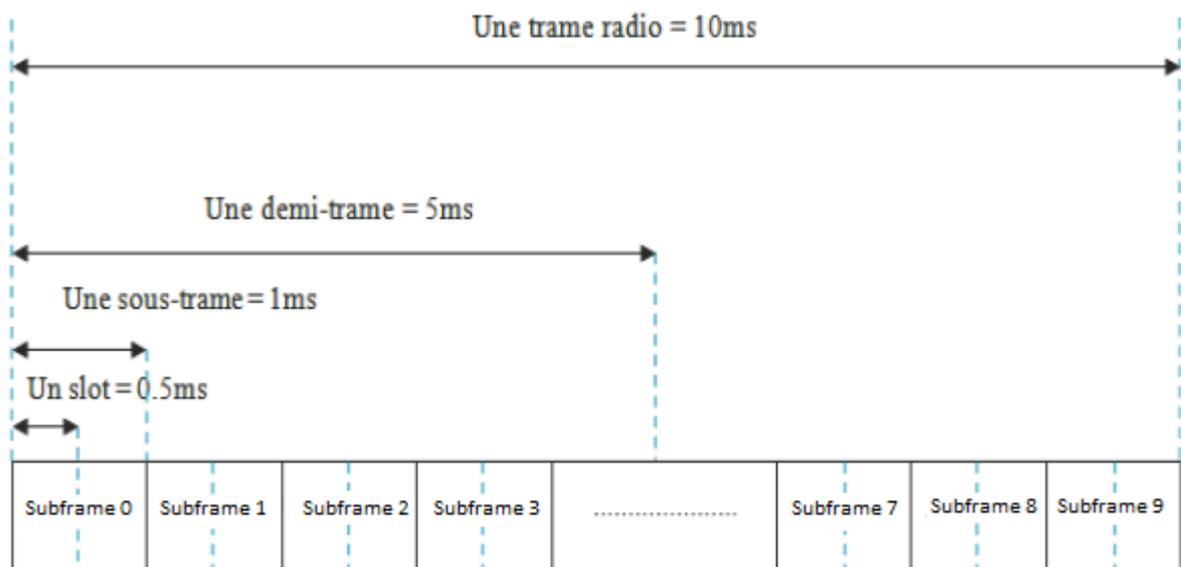


Figure 2.08 : Slots d'une trame radio

La technologie de téléphonie de quatrième génération LTE prend en charge la compatibilité ascendante en lui donnant la possibilité de s'adapter et de communiquer avec les technologies qui l'ont précédée. La transition peut donc se faire entre l'UMTS FDD utilisant la technique de codage W-CDMA, l'UMTS TDD ainsi que le GSM ou l'EDGE.

Voyons maintenant les bandes de fréquence utilisées en FDD puis celles en TDD.

Bandes	Uplink ou Downlink	Fréquences [MHz]
1	Uplink	1920 - 1980
	Downlink	2110 - 2170
2	Uplink	1850 - 1910
	Downlink	1930-1990
3	Uplink	1710 - 1785
	Downlink	1805 - 1880
4	Uplink	1710 - 1755
	Downlink	2110 - 2155
5	Uplink	824 - 849
	Downlink	869 - 894
6	Uplink	830 - 840
	Downlink	875 - 885
7	Uplink	2500 - 2570
	Downlink	2620 - 2690
8	Uplink	880 - 915
	Downlink	925 - 960
9	Uplink	1750 - 1785
	Downlink	1845 - 1880
10	Uplink	1710 - 1770
	Downlink	2110 - 2170
11	Uplink	1428 - 1453
	Downlink	1476 - 1501
12	Uplink	698 - 716
	Downlink	728 - 746
13	Uplink	777 - 787
	Downlink	746 - 756
14	Uplink	788 - 798
	Downlink	758 - 768
16	Uplink	704 - 716
	Downlink	734 - 746

Tableau 2.02: *Les bandes de fréquences FDD*

Bande	Uplink ou Downlink	Fréquences [MHz]
33.34	Uplink	1900 - 1920
	Downlink	2010 - 2025
35.36	Uplink	1850 - 1910
	Downlink	1930 - 1990
37	Uplink et Downlink	1910 - 1930
38	Uplink et Downlink	2570 - 2620
39	Uplink et Downlink	1880 - 1920
40	Uplink et Downlink	2300 - 2400

Tableau 2.03: *Bandes de fréquences utilisées en TDD*

2.6.6 La mobilité dans LTE [2] [14]

Par sa définition elle-même les réseaux mobiles sont basés sur la mobilité, c'est donc une fonction clé assurant l'existence du réseau. La technologie LTE a été créée pour assurer que le réseau soit fonctionnel pour des abonnés dont la vitesse de déplacement est élevée (une vitesse pouvant atteindre 350 km/h et même jusqu'à 500 km/h suivant la bande de fréquences utilisée) tout en restant optimisé pour des abonnés se déplaçant à de faibles vitesses (de 0 à 15 km/h). L'effet de l'handover intra-système c'est-à-dire le passage d'une cellule à une autre sur la qualité vocale pendant une communication a été minimisé par rapport à celui du GSM ou équivalent. Dans son avantage, LTE intègre également dans son système des mécanismes pour optimiser les délais ainsi que la perte de paquets pendant l'handover intra-system.

2.6.7 Modulation adaptive et codage

A l'époque de l'UMTS, le système de modulation utilisé était le QPSK ou Quadrature Phase Shift Keying. Cette technique de modulation est basée sur deux porteuses de même fréquence déphasées de 90 degrés, soit donc 2 puissance 2 donnant ainsi 4 états d'informations.

Maintenant pour la mise en œuvre de la quatrième génération, on met en œuvre la modulation 16 QAM pour 16 Quadrature Amplitude Modulation à 16 états. Cette technique de modulation fait en sorte de doubler la capacité de transfert par rapport à celle utilisée en UMTS c'est-à-dire le QPSK. Afin que la capacité de transmission s'accroît, la modulation 16 QAM combine deux niveaux d'amplitude avec deux porteuses en quadrature, soit donc 2 puissance 4 et cela donne en totalité 16 états d'information.

Chacune de ces deux modulations dont on a fait la remarque est utilisée pour un lien précis :

- Modulation pour les liens descendants (Downlink) : QPSK, 16 QAM et 64 QAM.
- Modulation pour les liens montants (Uplink) : QPSK et 16 QAM.

2.6.7.1 La modulation à 16 états (16 QAM)

La modulation d'amplitude en quadrature c'est-à-dire le QAM est une forme de modulation d'une porteuse en modifiant l'amplitude de la porteuse elle-même et d'une onde en quadrature c'est-à-dire une onde déphasée de 90° avec la porteuse et cela suivant l'information transportée par deux signaux d'entrée.

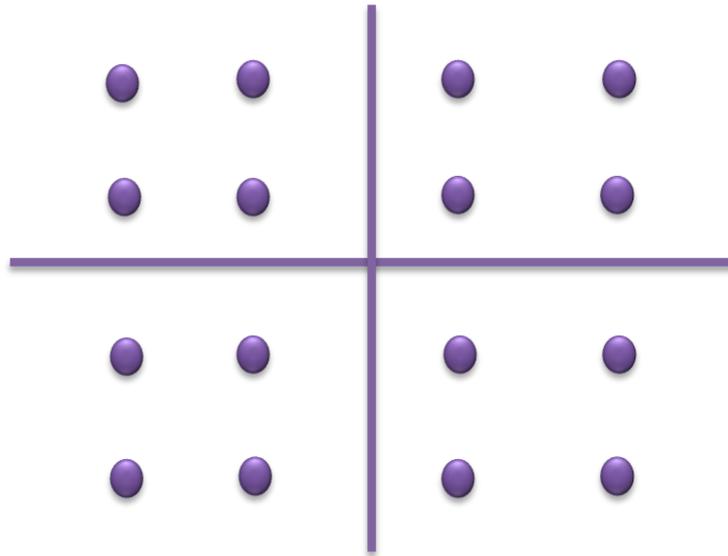


Figure 2.09 : Constellation du QAM à 16 états

L'amplitude et la phase de la porteuse sont simultanément modifiées suivant l'information à transmettre.

La figure ci-dessus montre la constellation, qu'elle a alors en conséquence du nombre de bit pouvant être transmis simultanément, le nombre peut augmenter pour optimiser le débit binaire ou à être diminué pour améliorer la fiabilité de la transmission en générant alors moins d'erreurs binaires ainsi que les interférences entre symboles. Avant de procéder à la modulation à QAM, on tient d'abord à préciser le nombre de points de la constellation.

Le domaine qui étudie explicitement le format de modulation QAM dans la télécommunication est celui qui se focalise dans la fibre optique dans le but toujours à l'augmentation du débit.

2.6.7.2 La modulation QPSK

Mettons quelques points avant de donner le fonctionnement de la QPSK :

- Soit FI la référence pour un signal généré par un oscillateur local.
- Soient I et Q deux « sous trains » binaire.

La modulation QPSK se fonctionne comme suit, les deux signaux FI générés à partir d'un oscillateur local sont à une fréquence quadruple. Le train de données binaire est séparé en deux « sous trains » appelés I et Q. La paire de valeur constitue ce que l'on appelle un symbole.

D'un point de vue électronique, I et Q sont centrés sur 0V. On peut alors considérer qu'ils prennent symboliquement les niveaux +1 et -1 correspondants aux états binaires.

Chacun des trains binaires entre dans un multiplexeur. Le résultat de la multiplication est sommé en sortie de façon à obtenir un signal modulé ayant la forme suivante :

$$V_s(t) = I \cos(\omega t) + Q \sin(\omega t) \quad 2.01$$

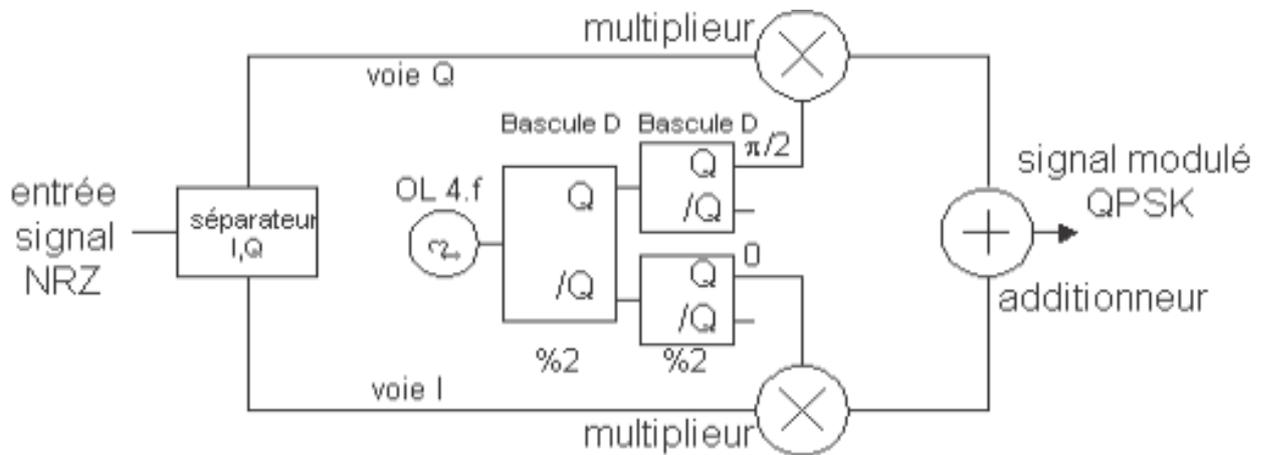


Figure 2.10 : *Le modulateur QPSK*

Les états de phases du signal modulé se représentent en coordonnées polaires dans le plan I et Q. Les diverses combinaisons entre I et Q nous donnent le diagramme de constellation.

2.6.8 Les types de transmissions mise œuvre dans LTE

Les types de transmissions sont les clés les plus importantes définissant la fiabilité et les différents services d'un réseau. Suivant les types de transmissions utilisés, le temps d'existence d'une technologie de télécommunication est marqué. Pour la technologie de téléphonie mobile de la quatrième génération, les deux types de transmissions qu'elle utilise la distinguent en son temps c'est-à-dire la technique OFDMA et celle du SC-FDMA. Voyons maintenant ces deux techniques l'une après l'autre afin de pouvoir en dégager leurs caractéristiques.

2.6.8.1 L'OFDMA [1] [4] [5] [8]

L'Orthogonal Frequency Division Multiple Access est technologie de codage radio à accès multiple par répartition de fréquence ; notamment, elle est utilisée dans la norme 4G LTE. L'OFDMA est surtout utilisé dans des technologies assez récentes car appartient la quatrième génération de téléphonie mobile, les systèmes de radiocommunication qui l'implémentent en font la preuve. Les versions évoluées des normes de réseaux locaux sans fil WiFi tels que le 802.11 dans

sa version n, le 802.22 et WiBro ou Wireless Broadcast faisant partie de la 802.11n utilise la technologie OFDMA. Aussi, il y a certaines normes de télévisions numériques qui l'utilisent.

Tout comme pour les autres techniques de codage permettant l'accès multiple comme par exemple TDMA, CDMA, FDMA, l'objectif reste le même : « partager une ressource commune », dans notre cas une bande de fréquence afin d'en attribuer d'une façon dynamique des parties de cette ressource à plusieurs utilisateurs dont les abonnés mobiles.

a. *Origine et avantages*

L'OFDMA ainsi que sa variante SC-FDMA sont dérivées toutes les deux du codage OFDM (codage utilisé dans la majeure partie sur les liens ADSL et dans les réseaux Wi-Fi), mais ce qui distingue ces deux techniques de codages de leur origine c'est-à-dire l'OFDM c'est que les techniques qui y sont dérivées (OFDMA et SC-FDMA) sont surtout destinées à l'accès multiple donc elles sont beaucoup plus adaptées à la technologie des antennes MIMO.

Si on a utilisé dans la troisième génération des réseaux téléphoniques mobiles les techniques de codage CDMA, le choix s'est orienté vers l'OFDMA dans la 4G et plus particulièrement son utilisation est dans le sens descendant (de l'eNodeB vers les terminaux mobiles) du réseau pour la communication. La raison de la préférence de l'OFDMA par rapport à la CDMA si l'on fait la comparaison c'est que pour une même largeur spectrale, elle permet d'avoir un débit binaire plus élevé à cause de sa grande efficacité spectrale (nombre de bits transmis par Hertz) ainsi que sa capacité à conserver un débit élevé même dans des environnements défavorables avec échos et des trajets multiples des ondes radio. La similarité de ce codage avec le CDMA de la 3G est qu'elle permet un facteur réutilisation des fréquences égal à « 1 », c'est-à-dire que des cellules radio adjacentes peuvent réutiliser les mêmes fréquences hertziennes. Il est à noter que la réutilisation des fréquences est l'un des fondamentaux dans l'existence d'un réseau cellulaire.

b. *Principes de l'OFDMA*

Le fonctionnement du codage OFDMA est en principe le composé de codage et de modulation numérique d'un ou plusieurs signaux binaires afin de le transformer en échantillons numériques adaptés à la transmission via une ou plusieurs antennes radio ; et à la réception, les signaux reçus subiront l'inverse du traitement dont ils ont subi à l'émission.

Il consiste dans ce codage de répartir sur un grand nombre de sous-porteuses le signal numérique dont on veut transmettre, ce qui permettra pour un même débit global, d'avoir sur chaque un débit

plus faible et ceci implique un temps plus long pour l'émission de chaque symbole ; pour LTE ce temps est de $66,7 \mu\text{s}$. En contrepartie, ceci implique un avantage vis-à-vis des interférences inter-symboles mais aussi, cela diminue d'une façon considérable les fadings dus aux « chemin multiple de propagation » existant dans les liaisons radio de moyenne et longue portées (lors d'un débit binaire élevé, l'écho d'un symbole arrivant en retard à cause d'une propagation multi-trajets perturbe le ou les symboles suivants).

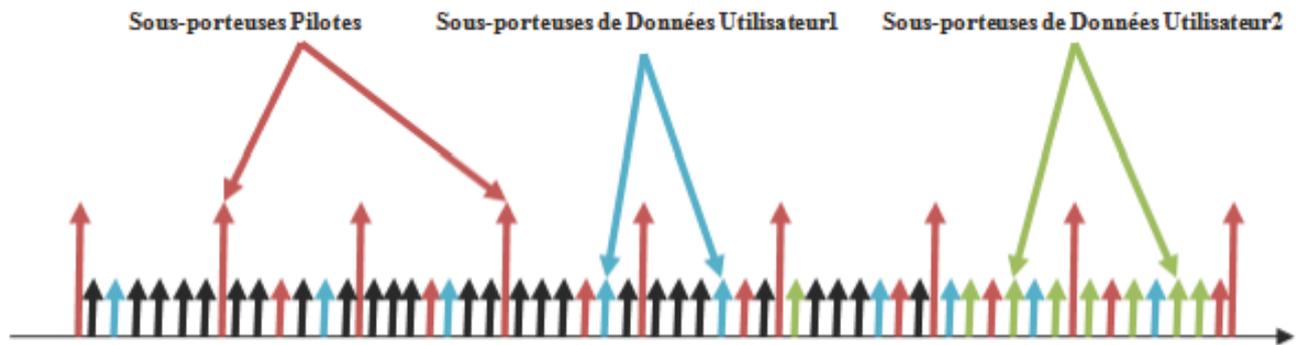


Figure 2.11 : Les porteuses de l'OFDMA

Le décodage dans le terminal récepteur ne nécessite que d'une « Transformée de Fourier » FFT pour extraire l'information d'un utilisateur par rapport à un autre (la porteuse d'information d'un abonné par rapport à celle d'un autre). Pour la technologie LTE, on peut compter jusqu'à 1200 porteuses indépendantes.

Nous allons maintenant souligner la signification du « O » dans l'OFDMA. La lettre « O » dans cette abréviation, nous souligne la présence de l'orthogonalité dans le codage. On peut éviter les interférences mutuelles pour des signaux porteuses contiguës en faisant en sortes que ces porteuses soient orthogonales les uns par rapport aux autres. La solution consiste dans ce fait à insérer un écart de fréquence entre les sous-porteuses qui est égal à la fréquence des symboles sur chaque sous-porteuse. Cela signifie qu'une fois que les signaux sont démodulés, ils ont un nombre entier de cycles dans la durée du symbole et leur contribution aux interférences est égale à zéro ; en d'autres mots, le produit scalaire entre chacune des sous-porteuses est nul pendant la durée de transmission d'un symbole. Pour LTE c'est de l'ordre de $66,7 \mu\text{s}$ équivalent à une fréquence de 15 KHz, ce qui correspond à l'écart de fréquence entre deux sous-porteuses.

Pour pouvoir conserver les propriétés sinusoidales du signal, son orthogonalité, on utilise un préfixe cyclique (CP) dans les transmissions à trajets multiples OFDMA. Le préfixe est inséré au début des symboles émis. En LTE, on a prévu deux longueurs de préfixe cyclique afin de s'adapter à des temps différents de propagation du canal de transmission qui dépendent de la taille de la cellule assurant

la couverture radio et de l'environnement de propagation. Les deux préfixes prévus sont les suivantes :

- Un préfixe normal de $4,7 \mu\text{s}$
- Un préfixe étendu de $16,6 \mu\text{s}$ (utilisé dans les très grandes cellules radio représentant 7 à 25 % de la durée d'un symbole).

Dans les réseaux LTE, le codage OFDMA est combiné à des modulations de type QPSK ou QAM utilisés sur chacun des canaux, dans le but de s'adapter aux conditions radio locales et à la distance séparant l'antenne de chaque terminal.

2.6.8.2 Le codage dans le sens montant : SC-FDMA

Tout comme l'OFDMA, le single-carrier FDMA est une technologie de codage radio de type accès multiple par répartition en fréquence et on l'utilise dans les réseaux de téléphonie mobile 4G. Toujours comme pour tous les autres techniques de codage d'accès multiple, le but reste le même : « partager une ressource radio commune c'est-à-dire une bande de fréquence entre les abonnés du réseau ». Ce codage a une similarité avec l'OFDMA et l'OFDM car le SC-FDMA consiste aussi à répartir sur un grand nombre de sous-porteuses du signal numérique l'information à transmettre mais comme complément, il utilise une DFT ou Transformation de Fourier discrète du signal pour pré-coder l'OFDMA conventionnel.

Le codage SC-FDMA est d'une alternative convaincante à l'OFDMA. Il est surtout utilisé dans les communications par satellite plus précisément dans la voie montante terre-satellite mais aussi pour les transmissions montant des réseaux 4G LTE où son PAPR (peak-to-average power ratio) plus faible que celui de l'OFDMA. Cela donne la possibilité au terminal mobile de bénéficier d'efficacité énergétique par la diminution de la puissance crête d'émission et cela aura aussi bien sûr un effet sur le poids et le coût du terminal comme les nouveaux smartphone ou les tablettes tactiles.

Le SC-FDMA a été particulièrement choisi pour les liaisons uplink (voie montante) pour certaines normes 3GPP, et plus particulièrement on l'utilise dans la partie radio (eUTRAN) des réseaux LTE parce que ce codage a permis la diminution de la consommation électrique du terminal mobile et donc d'augmenter l'autonomie de sa batterie. L'OFDMA à son tour a été opté pour la partie downlink, là où il y a moins de contrainte énergétique pour une raison où celui-ci permet d'avoir un débit binaire plus élevé pour une même largeur spectrale.

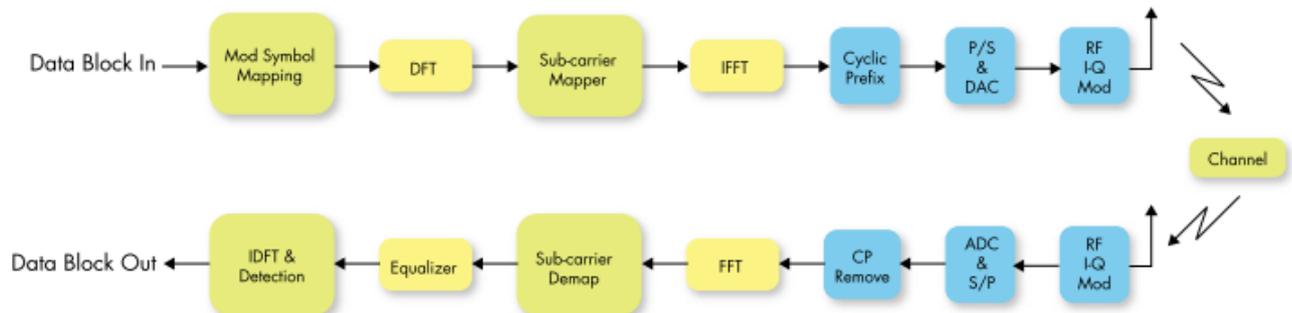


Figure 2.12 : *Chaîne de transmission et de réception correspondant au SC-FDMA*

2.6.8.3 Comparaison : OFDMA, SC-FDMA [11] [17] [20] [21]

Ces deux techniques de codage ont des points communs même s'ils sont utilisés d'une façon différente dans le réseau du point de vue du sens de communication c'est-à-dire la voie montante et descendante. Voici quelques-uns de ces points communs :

- Transmission de données en blocs.
- Multiplexage de données en fréquences en faisant repartir les données sur plusieurs sous-porteuses orthogonales.
- Egalisation de canal réalisée dans le domaine fréquentiel.
- Complexité assez équivalent

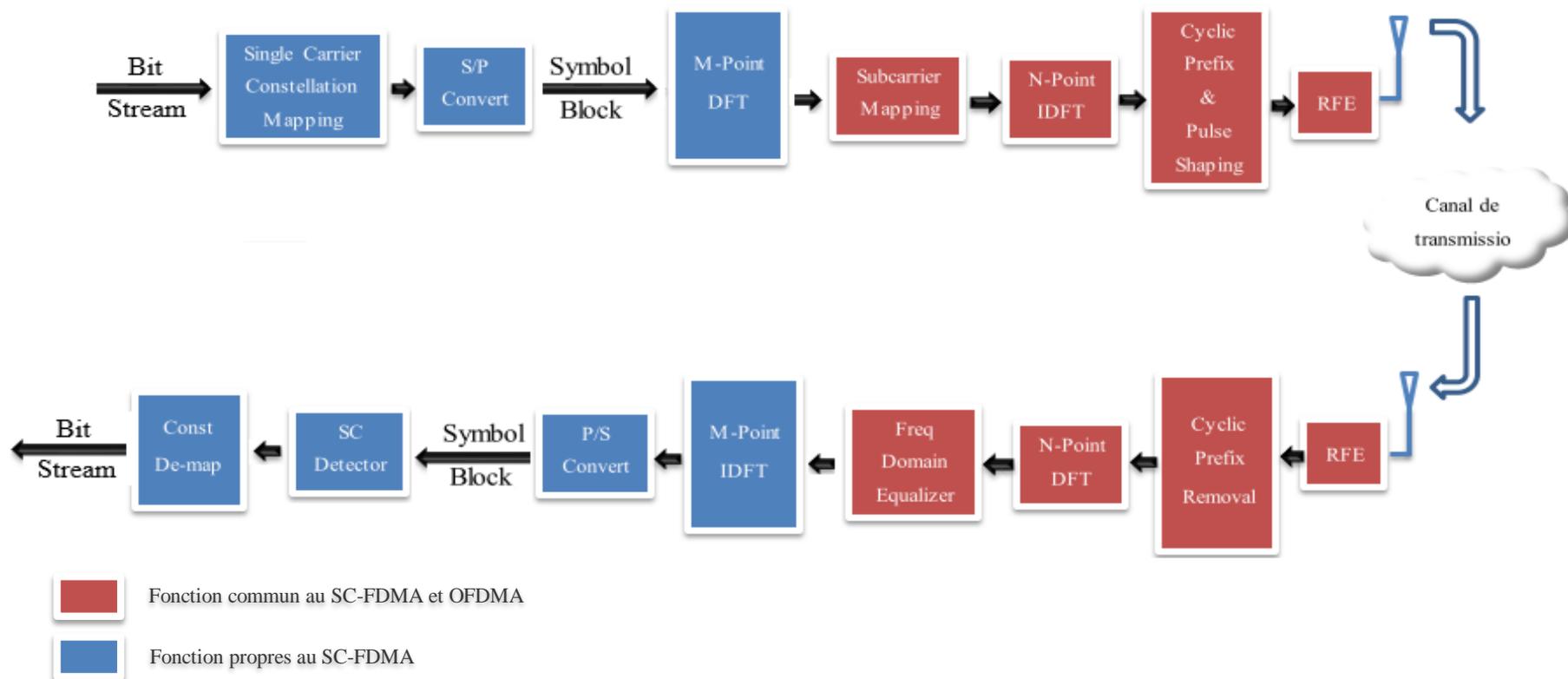


Figure 2.13 : *Chaine SC-FDMA et OFDMA*

Malgré l'apparence similaire de ces deux techniques, il y a une différence majeure que l'on doit toujours tenir compte c'est-à-dire que l'OFDMA est une technique de transmission multi-porteuse tandis que le SC-FDMA est mono-porteuse. Sur la figure ci-dessous, à une couleur correspond un utilisateur du réseau.

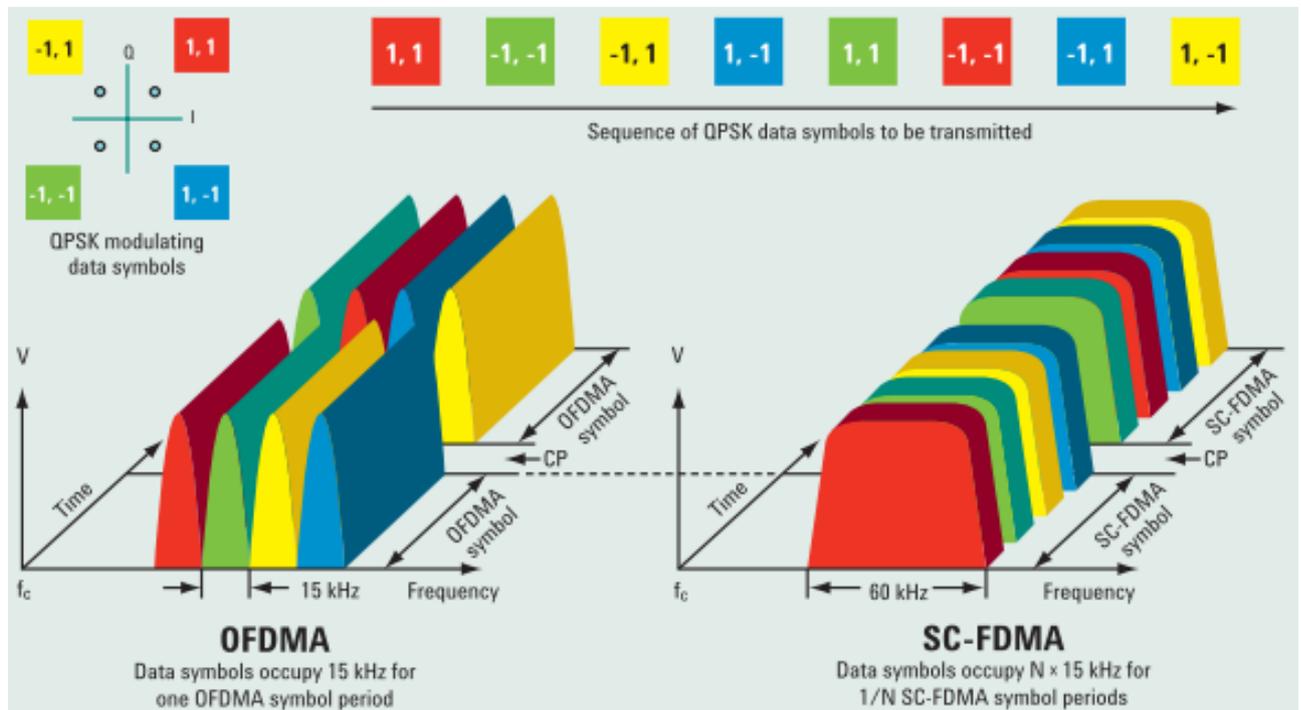


Figure 2.14 : *SC-FDMA comparé à l'OFDMA*

2.7 L'ampleur mondiale de la 4G [22]

Avec les nombreux abonnés d'environ 4,8 milliards pour le GSM, UMTS-HSPA dans le monde mais aussi les systèmes basés sur des normes 3GPP, la 4G LTE est bien placée pour faire face à d'autres normes de réseau de télécommunication mobile, comme le CDMA2000/EV-DO ou l'IEEE/WiMax. La mise en place de la 4G progresse de plus en plus dans le monde car la course effrénée au haut débit et nouveaux services ainsi qu'à une bonne performance du réseau sont inévitables.

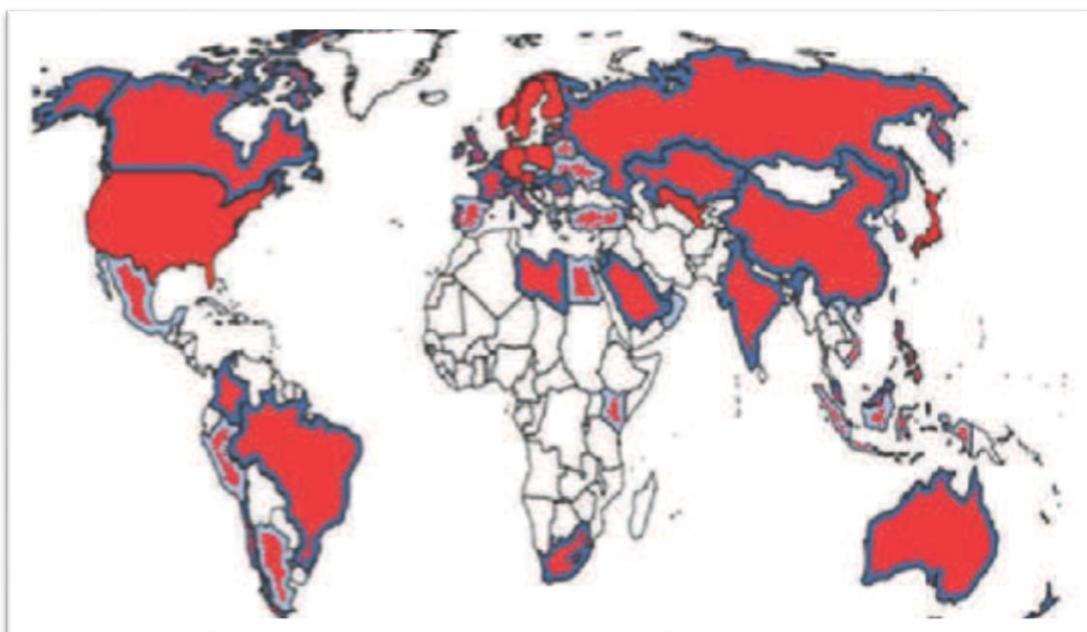


Figure 2.15 : *La couverture 4G dans le monde*

2.7.1 Europe

En Europe, on a choisi de réserver les bandes de fréquences des 800 MHz et des 2 600 MHz pour les réseaux 4G, mais pour beaucoup d'opérateurs dans les pays européens, ils ont choisi de réutiliser la bande de fréquence des 1800 MHz initialement attribuée au GSM ; jusqu'à la fin de l'année 2012, cette bande de fréquence a été la plus utilisée pour les réseaux 4G européens.

Historiquement, la première commercialisation d'une offre mobile en 4G utilisant la norme LTE a été lancée dans les villes de Stockholm en Suède et Oslo en Norvège le 15 décembre 2009 par l'opérateur téléphonique TeliaSonera.

Samsung a sorti le premier téléphone compatible 4G LTE sous la référence SCH-R900, en 2010. La connexion n'est pas limitée au terminal mobile mais peut se faire également depuis un ordinateur et une clé 4G LTE fabriquée par Samsung Electronics.

2.7.1.1 Suisse

En 2012, le 29^{ème} jour du mois de novembre, l'opérateur Swisscom lance de façon officielle la 4G/LTE dans 29 grandes villes et stations de sports d'hiver de Suisse dont principalement : Arosa, Bâle, Berne, Bienne, Crans Montana, Davos, Fribourg, Genève, Grindelwald, Gstaad, Interlaken, Lausanne, Loèche-les-Bains, Locarno, Lugano, Lucerne, Pontresina, SaasFee, Silvaplana, Sion, Saint-Gall, Saint-Moritz, Thoune, Verbier, Wengen, Winterthour, Zermatt, Zoug, Zurich.

2.7.1.2 France [5] [8] [9]

Pour la France, l'attribution de licence 4G LTE aux opérateurs s'est effectuée en 2011 par l'ARCEP et suivant cette attribution, l'Etat a pu rapporter environ plus de 3,5 milliards d'euros aux enchères. Et en termes de capitaux, les résultats du premier appel d'offre pour la fréquence 2600 MHz sont comme suit :

- Bouygues Telecom obtient 15 MHz duplex pour 228 011 012 €.
- Free Mobile obtient 20 MHz duplex pour 271 000 000 €.
- Orange obtient 20 MHz duplex pour 287 118 501 €.
- SFR obtient 15 MHz duplex pour 150 000 000 €.

A l'exception, Vivendi est le seul opérateur à ne pas avoir souscrit d'engagement à intégrer des opérateurs virtuels (MVNO) sur son réseau.

Au total, cela donne une somme de 936 129 513 €.

Suivant l'arrêt de la télévision hertzienne analogique, la bande de fréquence de 800 MHz a été libérée et elle est alors le sujet du second appel d'offres pour le 4G LTE, le résultat de l'appel est comme suit :

- Orange obtient 10 MHz duplex pour 891 000 005 €.
- SFR obtient 10 MHz duplex (2 blocs de 5 MHz) pour 1 065 000 000 €.
- Bouygues Telecom obtient 10 MHz duplex pour 683 087 000 €.
- Free Mobile a eu une certaine exception sur l'utilisation de la bande de 800 MHz car il n'a pas obtenu de fréquences sur cette bande mais plutôt un droit d'accès de roaming sur le réseau correspondant de SFR c'est-à-dire 800 MHz.

Au totale donc, cela nous donne une somme de 2 639 087 005 €.

La répartition des fréquences affectées à la 4 G est répartie comme suit en France du point de vue générale : 30% pour Orange, 25% pour SFR, 25% pour Bouygues et enfin 20% pour Free Mobile. Beaucoup de villes ont commencé à être couvertes par le réseau 4G LTE depuis le mois de juin en 2012 dont Marseille Lyon, Nantes et Lille en novembre 2012, Bordeaux, La Rochelle, Chartres, Orléans, Dunkerque, Nancy, Metz, Clermont-Ferrand, Grenoble. Cette liste est une liste non exhaustive à cause de la progression du déploiement de la nouvelle norme.

2.7.1.3 Belgique

En 2012, le cinquième jour du mois de novembre, l'opérateur Proximus (Belgacom) lance officiellement la 4G pour les cinq grandes villes en Belgique : Namur, Liège, Anvers, Gand et Louvain. La couverture est également disponible en Mons, Wavre, Hasselt et Oude-Hervelee pour ce même opérateur mais dans une moindre mesure c'est à dire que dans ces villes les services sont encore moins performants mais ils sont en cours d'amélioration.

2.7.1.4 Portugal

En mars 2012, les opérateurs de télécommunications portugais TMN, Optimus et Vodafone France, commercialise les offres LTE. L'annonce était que 80% de la population sera couverte et peuvent profiter des divers services du réseau à la fin de la même année.

2.7.2 *Asie*

2.7.2.1 Thaïlande

Elle a fixé les bandes de fréquences 1800 MHz et 2300 MHz pour la norme 4G.

2.7.2.2 Japon

L'invention japonaise a toujours marqué sa trace dans l'évolution de la technologie. Si dans d'autre pays les réseaux mobiles LTE commencent à peine à être lancés en tant que réseaux commerciaux ; NTT DoCoMo, un des opérateurs téléphonique au Japon se prépare déjà à l'expérience de la génération suivante c'est-à-dire le LTE-Advanced, hors de leurs laboratoires.

L'opérateur DoCoMo a obtenu une autorisation émanant du bureau des télécommunications rattaché au Ministère de l'intérieur japonais pour faire de l'expérimentation LTE-Advanced sur le terrain par une pré-licence lui permettant d'exploiter des fréquences sur les villes de Yokosuka et Sagami-hara. Ce pilote permettra à DoCoMo de tester les équipements LTE-Advanced en intérieur comme à l'extérieur. Cet opérateur a déjà réalisé une série d'expérimentations en simulant un environnement radio perturbé par des obstacles, modélisant des configurations telles que l'on peut trouver dans le monde réel comme dans les villes par exemples. Dans ses centres R&D, il a déjà réussi à obtenir des débits descendant de 1 Gb/s et montant de 200 Mb/s.

2.7.2.3 Singapour

Singapour suit de près la 4G. Le deuxième opérateur de télécommunications très connu dans le pays, StarHub, a lancé en juillet 2012 son réseau 4G dans le Central Business District (CBD) et à l'aéroport. Devant ce déploiement, les autres opérateurs SingTel et M1 prévoient de se lancer à la mise en place de la quatrième génération prochainement.

2.7.3 *Etats-Unis*

Les fréquences pour les Etats-Unis sont les bandes duplex (FDD) 700 MHz et 1700 - 2100 Mhz (« AWS (en) »).

Aux États-Unis, la société Verizon Wireless a lancé une offre commerciale 4G LTE fin 2010 ; elle a déjà, en fin 2012, plus de 16 millions d'abonnés LTE version 8 ce qui en fait le leader mondial (par le nombre d'abonnés) devant le japonais NTT DoCoMo et les opérateurs coréens KT et SK Telecom. Le 2^e opérateur américain AT&T a lui aussi lancé une offre LTE mi 2011.

2.8 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons décortiqué les entrailles de la norme téléphonique 4G LTE dont les différents composants du réseau, les caractéristiques qui différencient LTE mais aussi son déploiement à travers le monde.

Dans le chapitre qui suit, nous allons étudier les performances de la qualité de services de la technologie LTE. Cela nous permettra de vérifier les relations dont il partage avec les mondes extérieurs.

CHAPITRE 3

QUALITE DE SERVICE

3.1 Introduction [5]

Lors de la mise en place d'un réseau, qu'il soit un réseau de télécommunication, d'informatique, électrique ou autre, l'objectif principal est d'assurer la meilleure performance. Cela implique que la Qualité de Service devra donc se mettre au minimum au niveau des attentes et exigences des utilisateurs afin d'assurer l'entière satisfaction des utilisateurs du réseau.

Un réseau mal exploité engendre une perte irréfutable au niveau d'un opérateur de réseau de télécommunication. Les buts pour un opérateur de télécommunication seraient donc d'avoir le maximum d'abonnés possible dans le but de faire monter le chiffre d'affaires de l'entreprise. Face à ces buts, il faut donc se focaliser sur les demandes des clients et pour cela, il faut s'attendre à l'amélioration du réseau comme par exemple l'extension de zone de couverture. En outre, il faut aussi tenir compte de la Qualité de Service à savoir la latence, le débit, ...

Nous allons nous concentrer dans ce chapitre sur les différents paramètres de la QoS (Quality of Service) ou Qualité de Service mais aussi les performances des réseaux 4G.

3.2 Définition [5] [18]

La qualité de service (QDS) ou Quality of service (QoS) est définie comme étant la transmission dans de bonnes conditions d'un certain nombre de paquets entre un émetteur et un récepteur et dans cette transmission les points suivants doivent être mis en valeur pour le réseau : la disponibilité, le débit, le délais de transmission, le gigue, le taux de pertes de paquets, ...

La qualité de service met en œuvre plusieurs technologies pour assurer un débit suffisant et constant pour l'acheminement des paquets sur tous les types de réseaux.

3.3 Objectif de la qualité de service [18]

La qualité de service a pour but d'assurer une performance optimisée des applications et d'augmenter la robustesse des ressources du réseau. Dans un réseau, un QoS permet de balancement des débits, des temps de réponses différentes suivant les applications tout en se dépendant des protocoles responsables de l'actuelle communication au niveau de la couche réseau.

Tenir compte de la qualité de services permet donc aux fournisseurs de services de s'engager d'une façon formelle à leurs clients en ce qui concerne les caractéristiques de transport des données applicatives sur leurs infrastructures IP.

Au dépend des types de service à évaluer, la qualité de services peut se focaliser sur les points suivants :

- Le débit (Download ou Upload)
- Le délai (Pour la téléphonie ou les applications)
- La disponibilité (L'accès à un service partagé)
- Le taux de pertes de paquets

3.4 Paramètres de la qualité de service [5] [20] [22]

L'évaluation de la qualité de service dépend des différents équipements formant le réseau, mais aussi des trafics qui circulent dans ce dernier.

Comme les abonnés du réseau sont de plus en plus intéressés aux applications multimédia, tel que les services utilisant les voix-IP ou la vidéo à la demande, le réseau se doit être capable de les leur offrir. A part les applications multimédia, il y a les applications classiques à assurer. Les applications multimédia nécessitent un niveau minimal de qualité de service qui pousse les opérateurs de réseau à assurer une bonne partie de son réseau sur les paramètres suivantes : bande passante, délai, gigue ou le taux de pertes de paquets.

Etudions donc de plus près ces différents paramètres afin de mieux comprendre à quel point ils sont importants pour des applications multimédia répondant à la demande et à l'attente des abonnés.

3.4.1 Le débit

Le débit se définit comme étant la quantité maximale d'information empruntant un canal de communication pendant un intervalle de temps donné. La considération du volume transmit en bit et on en mesure par unité de temps c'est-à-dire en seconde (s). Ce qui nous donne des unités de mesure qui peuvent être : bit/s, Mbit/s ou Mbps, Mo/s, ...

3.4.2 La gigue

La définition simple de la gigue (en anglais « jitter ») est que c'est la variation de la latence au fil du temps. De façon plus explicite, elle est définit comme étant la différence de délai de transmission de bout en bout entre des paquets choisis parmi un même flux de paquets et cela sans considérer les éventuelles paquets perdus selon la RFC 3393.

On mesure le délai de transmission à partir du départ du paquet à transmettre du côté émetteur et à l'arrivée de la fin des paquets transmis du côté destinataire. Une composante de délai qui restant constante d'un paquet à un autre peut être ignorée et cela implique que pour des tailles de paquet qui ne varie pas, mais aussi que les paquets prennent toujours le mêmes temps de traitements à l'arrivée, on peut prendre le temps de mesure du côté destinataire au moment où l'on a commencé à recevoir les paquets au lieu de celui où on l'a reçu dans son intégralité.

Souvent dans le cas de la mesure de la gigue, on se réfère à la variation instantanée du délai de transmission des paquets successifs. Par exemples si l'on suppose que les paquets sont émis toutes les 25 ms, et que le second paquet est reçu 30 ms après le premier paquet, la gigue instantané vaut -5 ms : c'est la dispersion, mais si le second paquet est reçu 10 ms après le premier, la gigue instantané vaut +15 ms et on parle par-là d'agglutination.

Pour les applications multimédia utilisant la voix sur IP, l'influence de la gigue sur les transmissions peut être supprimée en mettant en place une mémoire tampon du côté du récepteur dont le rôle serait de détecter au début de la restitution des flux de données. Dans le cas général, la mise en œuvre de cette solution s'applique pour la conversation téléphonique ou vidéophonique.

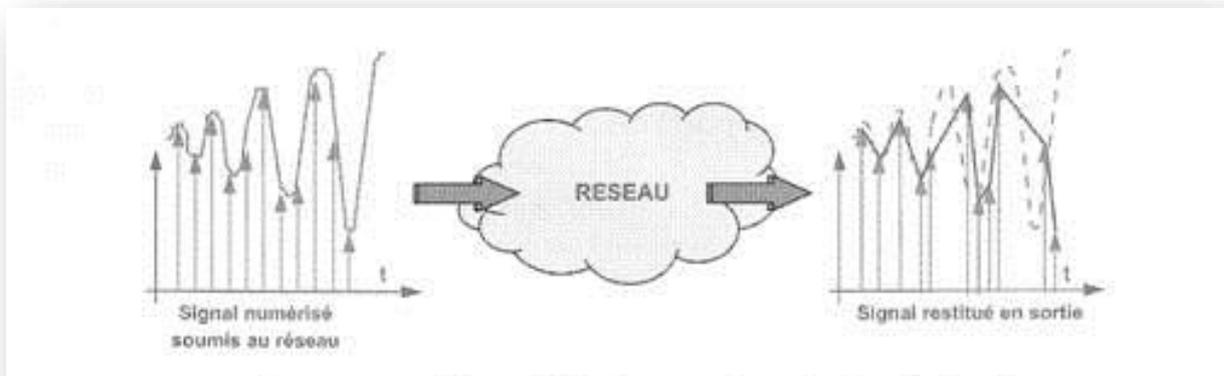


Figure 3.01 : *Influence de la gigue sur la restitution du signal*

3.4.3 La latence

La latence connue aussi sous le nom de « délai de transit » est le délai de traversé du réseau, d'un bout à l'autre par un paquet. Suivant la nature des applications qui transitent dans le réseau, le degré d'exigences sont différentes pour les latences : La latence est faible pour les messageries électroniques, ou pour les fichiers échangés. Elle est forte quand il s'agit de faire transiter de données « voix » sur le réseau. A part cela elle est fonction :

- du temps de propagation qui dépend des supports physiques ou média utilisés pour la transmission,
- du temps de traitements qui lui, dépend du nombre d'équipements traversés pendant l'acheminement des paquets,
- de la taille des paquets dépendant des temps de sérialisation.

3.4.4 La bande passante

Les systèmes de transmissions tels que les lignes ou amplificateurs, ... ne transmettent pas tous les harmoniques du signal de façon identique. Les signaux sont transmis avec une distorsion faible limitée à une fréquence appelée : « fréquence de coupure ». Au-delà de la fréquence de coupure, toutes les harmoniques sont fortement atténuées qu'ils seraient même plus possibles de restituer ou récupérer l'information dont elles comportent.

On entend par bande passante, l'espace de fréquences tel que tout signal appartenant à cet intervalle, ne subisse, au plus, qu'un affaiblissement déterminé par rapport à un niveau de référence. L'affaiblissement exprimé en décibel (dB) est donné par la relation :

$$A = 10 \log_{10} \left[\frac{P_l}{P_o} \right] \quad 3.01$$

P_l : puissance du signal en sortie

P_o : puissance du signal de référence

Généralement, la définition de la bande passante se fait pour une atténuation en puissance de moitié, ce qui correspond à -3 dB

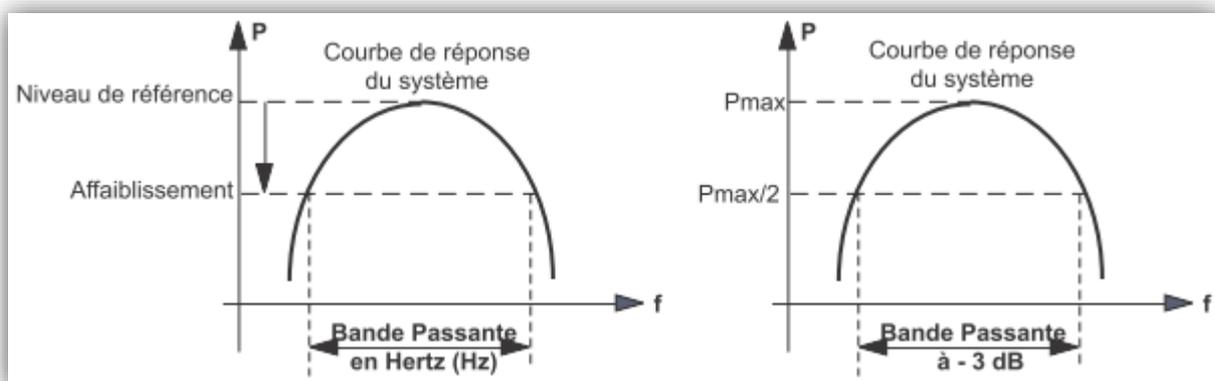


Figure 3.02 : Bande passante à -3 dB

Il ne faut pas la confondre avec la largeur de bande qui, elle, correspond à la bande passante minimale que doit posséder le système pour restituer correctement l'information. Ainsi donc, la bande passante qualifie le système, alors que la largeur de bande qualifie plutôt le signal. Notons que le terme de bande passante est utilisé non seulement pour désigner un espace fréquentiel (bande passante ou BP en [Hz]), mais aussi pour qualifier le débit binaire d'un système (bande passante exprimée en [bit/s]).

On compte deux modes de disponibilité de la bande passante, en fonction des attentes de l'application vis-à-vis du système :

- Le mode « burst » est un mode immédiat, monopolisant toute la bande passante disponible lors d'un transfert de fichier par exemple.
- Le mode « stream » qui est un mode constant bien plus adapté aux fonctions audio/vidéo ou aux applications interactives.

3.4.5 Perte de paquets

La perte de paquets correspond à la taille de données perdues lors de la transmission. On l'exprime en taux de perte. Plutôt rare, elle correspond au nombre de paquets de données qui n'ont pas été reçus par le destinataire lors d'une transmission. La cause de cette perte peut être de différentes natures comme l'encombrement du réseau ou la perte de synchronisation de l'horloge. Prenons maintenant ce cas particulier pour montrer la cause de pertes de paquets.

La synchronisation des différentes horloges mises en œuvre dans les systèmes de transmission est l'une des préoccupations principales des concepteurs de systèmes de transmission. Les dérives d'horloge et, par conséquent, les pertes de synchronisation sont, aujourd'hui, les principales causes des pertes de données et des erreurs de transmission dans les réseaux. Les bits sont émis au rythme de l'horloge locale de l'émetteur que nous supposons stable. L'horloge du récepteur est supposée fonctionner à la même cadence ou fréquence. Cependant, rien ne permet de garantir sa stabilité. La fréquence varie, on dit que l'horloge dérive. En admettant que lors de la réception du premier bit, l'horloge du récepteur soit parfaitement calée sur l'horloge d'émission, la dérive de l'oscillateur local du récepteur fait que quelques bits plus tard, l'instant significatif de lecture est sur le bit suivant ou précédent selon le sens de la dérive.

La figure ci-dessous nous montre une perte de paquets causée par une dérive d'horloge positive en admettant, que l'instant d'interprétation du signal reçu correspond au front descendant de l'horloge de réception.

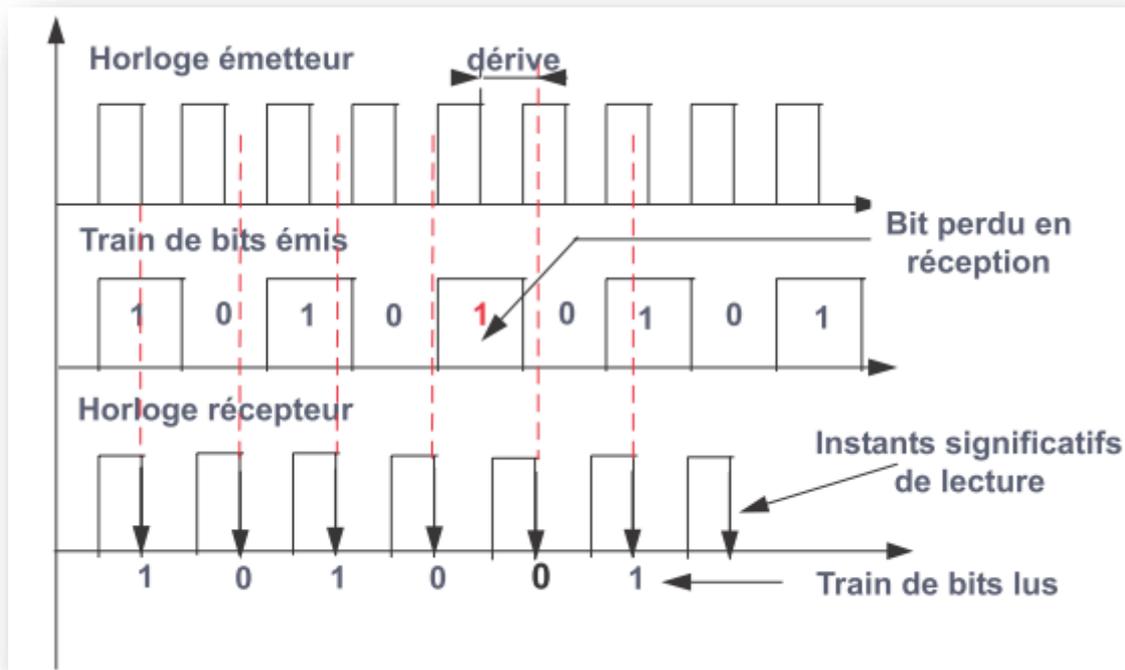


Figure 3.03 : *La dérive de l'horloge à la réception implique une perte de paquets*

La manière de surmonter le problème de synchronisation peut être :

- la transmission du signal de synchronisation sur un lien spécifique,
- extraction d'un train binaire de synchronisation.

Bien que la première méthode soit plus complexe et onéreuse, les opérateurs de télécommunications préfèrent l'utiliser pour synchroniser les différents éléments du réseau.

Mais dans le cas général, les équipements terminaux utilisent la seconde, c'est-à-dire que le signal d'horloge est extrait du train binaire transmis.

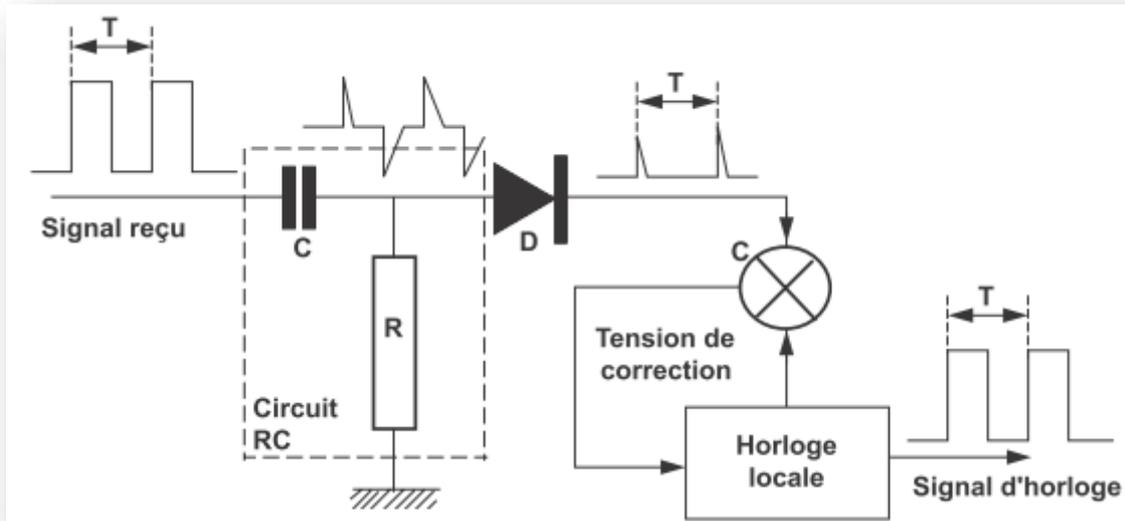


Figure 3.04 : Asservissement de l'horloge du récepteur

3.4.6 Priorité des paquets [6] [7] [8]

La priorité des paquets est en harmonie avec le mode de disponibilité de la bande passante. Pour arbitrer entre les deux modes « burst » et « streaming », une gestion de trafic peut être installée à l'intérieur ou aux extrémités du réseau. Dans le cas où il s'agit de l'intérieur du réseau alors les nœuds de ce dernier jouent le rôle d'éléments de classification et de priorisation des paquets qui y circulent. La deuxième possibilité, c'est l'emplacement de la gestion de trafic à l'extrémité du réseau. Comme conséquence, les équipements constitutifs du réseau sont déchargés de toute qualité de service pour la seconde possibilité.

On a alors deux mécanismes en fonction : la gestion des files d'attente personnalisées affectant les flux entrants aux files d'attente qui leur correspondent et le contrôle de débit TCP, qui modifie le débit des applications TCP suivant la charge du réseau et du niveau de priorité des applications.

3.5 Garantie de la qualité de service [1] [11]

La qualité de service ou QoS est un pilier de développement du réseau de l'opérateur de télécommunication car elle reflète aux abonnés la fiabilité, la performance et le bon fonctionnement du réseau. Par la QoS, l'opérateur vise à assurer l'entière satisfaction de ses abonnés que ce soit du point de vue de la qualité de chacune des services offerts mais aussi des applications qui font l'objet de leur fonctionnement.

Pour la mise en place de la QoS, il nous est nécessaire de prendre en compte différents services dont voici la liste non exhaustive :

- La source et la destination du paquet.
- Le protocole utilisé, par exemple : TCP ou UDP
- Les ports utilisés pour la transmission pour le cas des protocoles TCP ou UDP.
- Durée de vie des paquets en termes de routages lors d'une transmission en utilisant un routage multiple par exemple.
- La bande passante à allouer pour l'acheminement du paquet.
- Le temps de latence.

3.6 Gestion de la qualité de service [5]

Quand on parle de réseau de communication de nos jours, la tendance à la migration vers le tout-IP est partout. On peut prendre comme exemple le cas des réseaux locaux dans les entreprises, les réseaux des opérateurs télécoms, les réseaux cœurs des fournisseurs d'accès sans parler de l'internet qui était le réseau de communication et de partage ayant vue la première application du protocole IP et maintenant presque tous les réseaux l'envie comme nous l'avons souligné.

L'autre facteur favorisant la mise en place du protocole IP est l'arrivée en masse des applications multimédia partout où l'on va et qu'elles en sont devenu l'une des premières nécessité des abonnés. Dans les entreprises, comme dans les foyers, les utilisateurs ont besoins de communiquer sans interruption avec leur correspondant même pendant le trajet entre sa demeure et son milieu de travail si l'on ne prend seulement que le cas de Facebook qui est un des réseaux sociaux le plus reconnu dans le monde. Les applications multimédia sont diverses comme la visioconférence, VoIP, audio-visuelle, audio, vidéo, jeux en réseaux, ...

Mais pour fonctionnement normal et visant à satisfaire les abonnés du réseau, ces applications et différents services ont besoin de se reposer sur un réseau fiable et performant. C'est justement le cas pour les applications audio qui nécessitent le respect des délais de transmission strictes.

Actuellement, le protocole IP traite de la même manière tous les paquets dont qui transitent sur le réseau Internet sans se soucier des applications émettrices, ni de leur contraintes (par exemple en terme de bande passante ou de delai, ...), il s'agit ici du fameux Best Effort.

Vers la fin des années 1980, l'IETF ou Internet Engineering Task Force (c'est une organisation travaillant spécialement sur tout ce qui concerne le domaine du réseau et assurant tout particulièrement les standards d'Internet) a lancé un projet pour pallier cette faiblesse de priorité de

paquet du protocole IP. Dans le projet en question, il y a eu deux groupes de travail qui ont mis au point deux modèles de gestion de la qualité de service dont :

- Le modèle INTSERV,
- Le modèle DIFFSERV.

3.6.1 Le modèle IntServ

Cette méthode consiste à réserver toutes les ressources nécessaires au niveau de tous les nœuds du réseau avant de faire transiter les flux. Cette approche requiert l'utilisation du protocole RSVP (ressource reservation Protocol), cela induit la nécessité d'une couche de contrôle d'admission supplémentaire afin d'assurer que la bande passante requise soit bien disponible à l'instant T où l'on souhaiterait faire transiter les flux d'information jugé pertinent.

Pour le modèle IntServ, les routeurs ont un rôle particulier et bien important pour que l'acheminement des informations se passe bien. Ce rôle particulier est que chaque routeur doit maintenir des tables de routage dans le but de mémoriser l'état de chaque flux et des allocations de ressources.

3.6.2 Le modèle DiffServ

Ce modèle se diffère vis-à-vis du premier c'est-à-dire l'IntServ par le fait que celui-ci opère au niveau du paquet à transmettre alors que le premier agit au niveau des ressources du réseau. Le DiffServ est donc un modèle actionnant sur l'information à transmettre. Il consiste pour cela à affecter des priorités au niveau d'un champ de l'entête IP appelé DSCP pour DiffServ Control Protocol.

L'identification et le marquage du paquet se fait en entrée du réseau. Ensuite, quand le paquet ayant reçu les commandes de priorité en son sein traverse le réseau, les nœuds et le cœur même du réseau se contentent d'appliquer et suivre les instructions ou politiques de gestion de flux contenus dans le paquet en fonction des priorités.

Cette approche offre un déploiement et une exploitation simplifiée du réseau. Le Differentiated Services est un processus permettant la gestion de la qualité de services sur un réseau IP.

3.7 LTE 4G et la qualité de service [2] [9] [10]

La mise en place d'un réseau tout IP, la croissance toujours exceptionnel du réseau Internet mais surtout le nombre croissant d'utilisateurs de réseau que ce soit un réseau télécom ou le réseau Internet, requièrent un niveau important en terme de QoS. Le fait que le réseau 4G est un réseau

tout IP, impose le bien fonctionnement du réseau, la maîtrise du protocole IP mais surtout, il faut assurer que le réseau de l'opérateur de services de télécommunications puissent s'interagir, communiquer sans problème avec les autres réseaux fonctionnant sur ce protocole si l'on ne prend seulement que le réseau Internet qui était comme nous l'avons souligné à l'origine du protocole en question.

Bien que le réseau LTE est un réseau tout IP, il faut aussi assurer qu'il soit bien compatible avec les réseaux qui était avant lui comme le réseau 3G par exemple. Il faut rappeler que le réseau 3G a deux modes de fonctionnement : mode paquets et modes circuits.

D'une façon générale, il faut donc à tout prix que les abonnés puissent communiquer avec n'importe quelle entité même si celui-ci se trouve dans un autre type de réseau, on peut prendre comme exemple tous les réseaux basés sur la GSM.

Dans ce contexte, plusieurs organismes de travail ont vu le jour pour les réseaux 4G. Les nouvelles attentes en termes de mobilité des utilisateurs et la croissance des réseaux permettant le nomadisme des abonnés ont fait migrer le problème vers des réseaux sans fil.

- **Le bearer EPS**

Avant de parler de bearer EPS, rappelons d'abord son équivalent utilisé dans les réseaux 2G/3G. Dans les réseaux 2G ou 3G, pour se procurer de connexion internet, on utilise le protocole PDP (Packet Data Protocol), ce protocole effectue la liaison entre un utilisateur du réseau avec internet ou un réseau privé d'entreprise. On opère pour cela en faisant la liaison entre un abonné et un PDN représenté par un APN (Access Point Name). Dans le cas général, on parle pour ce cas de connexion de contexte PDP. Nous allons faire une illustration dans une figure afin de mieux cerner le contexte en question.

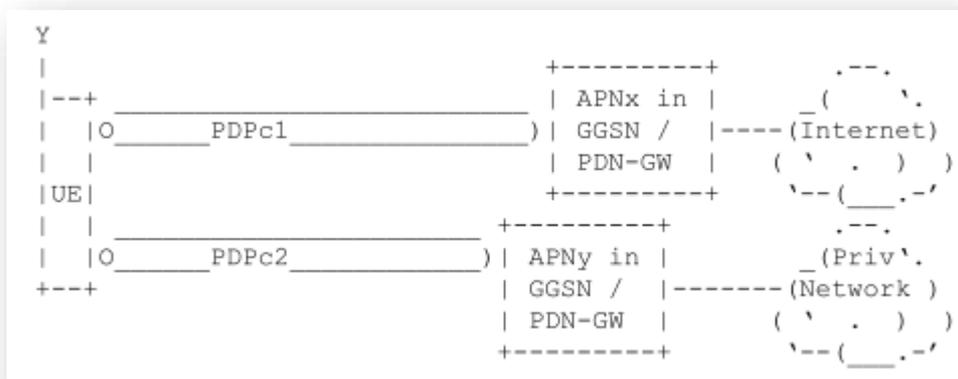


Figure 3.05 : Contexte PDP entre un abonné(UE) et une passerelle d'accès

Dans la figure ci-dessus, nous avons deux contexte PDP devant l'abonné (UE : User Equipement) : pour le cas du contexte PDP « PDPc1 » lequel est connecté à l'APNx, l'utilisateur a une connexion à internet et pour celui du « PDPc2 » la connexion donne l'accès vers un réseau privé par l'APNy (l'exemple concret d'une telle connexion serait le service MMS : Multimédia Messaging Service qui est un message pouvant être accompagné par une image, un son ou une vidéo).

Pendant le transfert de données, le GGSN cache la mobilité de la station connectée au reste du réseau. Généralement, pour le cas d'une connexion d'abonné, on assigne une adresse PDP statique dans le GGSN afin de mieux diriger le transfert de données. Réciproquement, l'affectation d'adresses PDP peut se faire dynamiquement par exemple sur un réseau dont l'utilisateur visite.

Quand la station mobile est déjà en liaison avec un SGSN et qu'il est question de transfert de données, cela nécessite l'activation d'adresses PDP. Cette activation d'adresse PDP établira une liaison entre le SGSN du mobile et le GGSN qui assigne l'adresse PDP. C'est cette association entre le SGSN et le GGSN que l'on appelle souvent : contexte PDP.

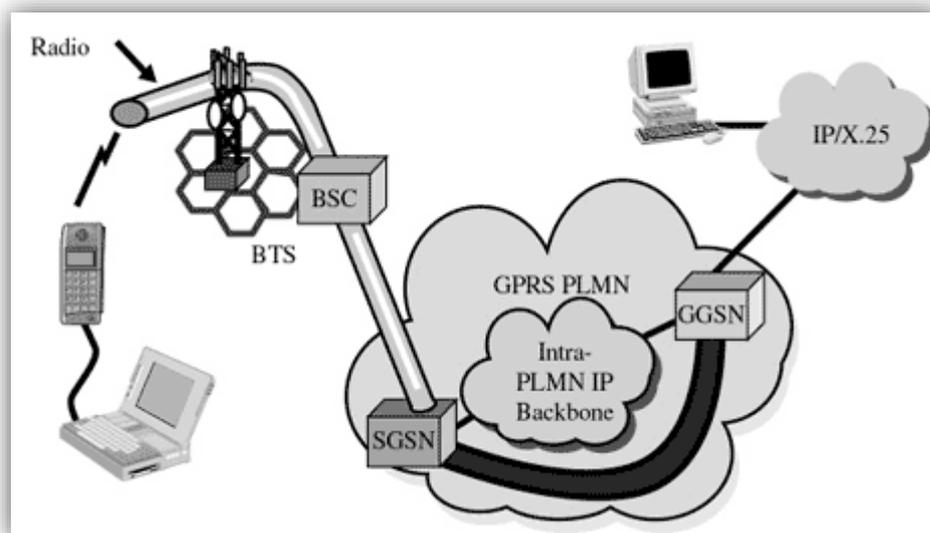


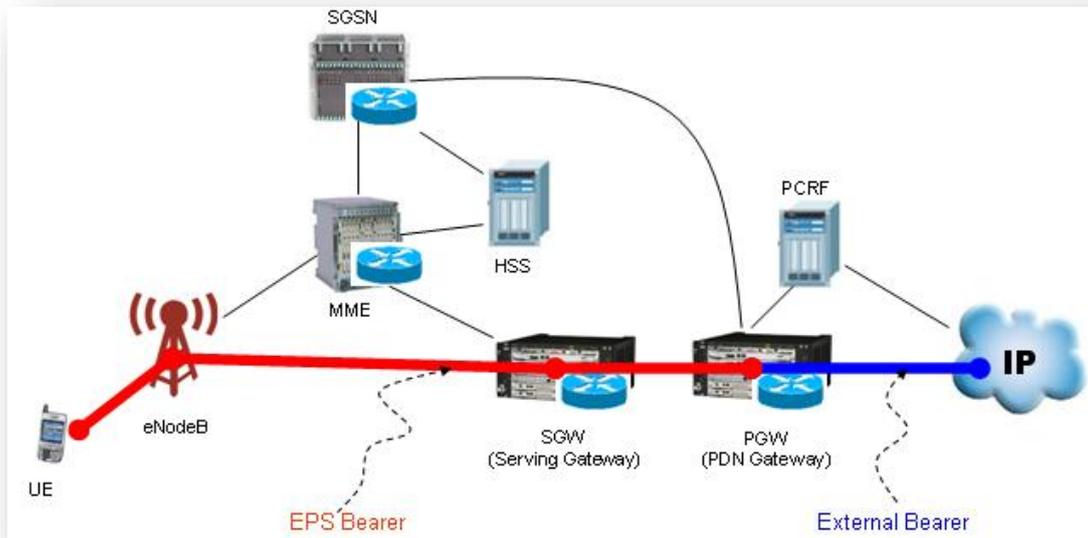
Figure 3.06 : *Le contexte PDP effectué lors d'un transfert de données par le mobile.*

Maintenant que l'on a pu apporter des explications sur le protocole PDP en 2G ou 3G, nous allons voir son équivalent pour les réseaux 4G. Tout comme le contexte PDP, le bearer EPS représente un concept logique établi entre le terminal et le PDN GW (Packet Data Network Gateway), son rôle est d'agréger plusieurs flux data transportés entre les deux communicants.

Dans un sens global du terme, un bearer signifie « porteur », lequel porte un paquet d'un point à un autre. Dans le domaine de la télécommunication mobile, on peut définir un "Bearer" comme étant un pipeline connectant au moins deux points de communication dans lequel circuleraient les

données à transmettre. Suivant cette définition, le bearer EPS peut se définir comme étant un pipeline dans lequel se passe le trafic de transport de données avec la technologie EPS (Evolved Packet switched System) ; dans la figure ci-dessous, il est illustré par la ligne rouge.

Figure 3.07 : *Le bearer EPS dans un transfert de données*



L'interface radio du bearer transporte les paquets d'un bearer EPS entre une station mobile et un eNodeB. Quand il existe de données à transmettre sur l'interface radio, il y a une table de routage pour l'acheminement des données. Le S1 bearer du diagramme ci-dessous transporte le paquet du E-RAB entre un eNodeB et le Serving GW ou Serving Gateway (passerelle). Pour le cas du bearer S5/S8, il transporte le paquet entre un Serving GW et un PDN GW.

On compte deux types de bearer EPS qui sont :

- Le bearer EPS par défaut :
 - Il est établi lors de la connexion d'un terminal
 - Il alloue une adresse IP sur le terminal qui se connecte
- Les bearer EPS dédiés :
 - Ils sont établis pendant la communication mais ils peuvent aussi l'être dès le début de la communication.
 - Ils n'allouent aucune adresse IP sur la station mobile.
 - Ils sont en liaison avec un bearer EPS par défaut spécifié.
 - Ils ont une QoS spécifique, dans la plupart des cas cette qualité de service est garantie

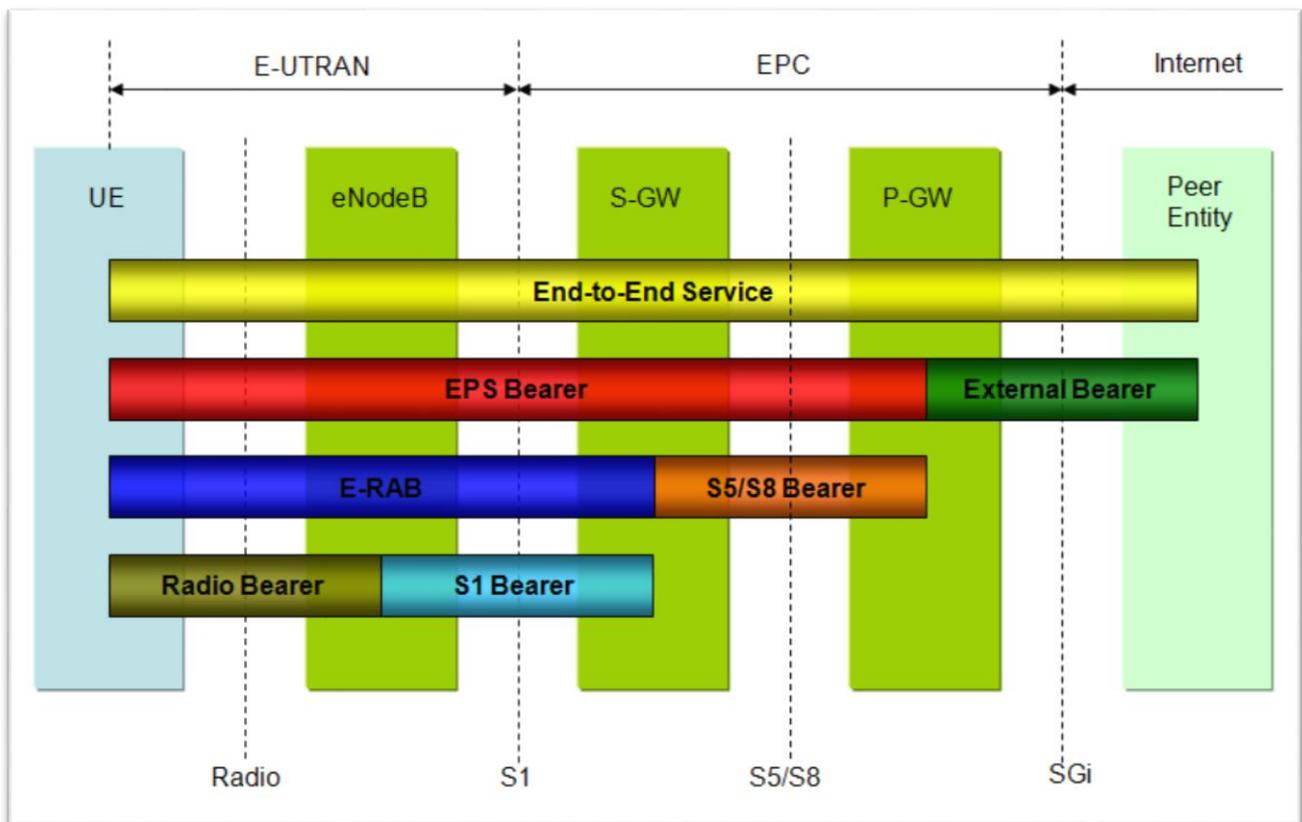


Figure 3.08 : *Diagramme de l'envergure du bearer EPS*

3.7.1 Les principales fonctions assurées par l'EPS [18] [19]

Le réseau EPS assure plusieurs fonctionnalités pour le bon fonctionnement du réseau dont :

3.7.1.1 La fonction de contrôle d'accès au réseau

Elle se penche à l'identification de l'utilisateur quand ce dernier veut se connecter au réseau, elle met à jour la zone de localisation (tracking area), et elle demande ensuite des ressources pour assurer les communications. Elle assure en même temps la sécurité des flux de signalisation entre la station mobile et l'eNodeB en effectuant des cryptages.

3.7.1.2 La fonction de gestion de mobilité

Avec cette fonctionnalité, le réseau donne à l'utilisateur la possibilité de s'attacher, de quitter, ainsi que celle de la mise à jour de la localisation.

3.7.1.3 La fonction de gestion de session

Elle permet d'établir soit des « defaults bearers » et des « dedicated bearers » pour que l'utilisateur puisse disposer d'une connectivité IP pour ses communications.

3.7.1.4 La fonction de routage de paquets et de transfert

Elle assure l'acheminement des paquets de la station mobile au PDN-GW, ainsi que du PDN-GW vers le terminal.

3.7.1.5 La fonction de gestion de ressources radio

Elle assure l'établissement et la libération de RAB (Radio Access Bearer) entre le terminal de l'utilisateur et le « Serving Gateway » à chaque fois que la station mobile souhaiterait devenir active pour communiquer.

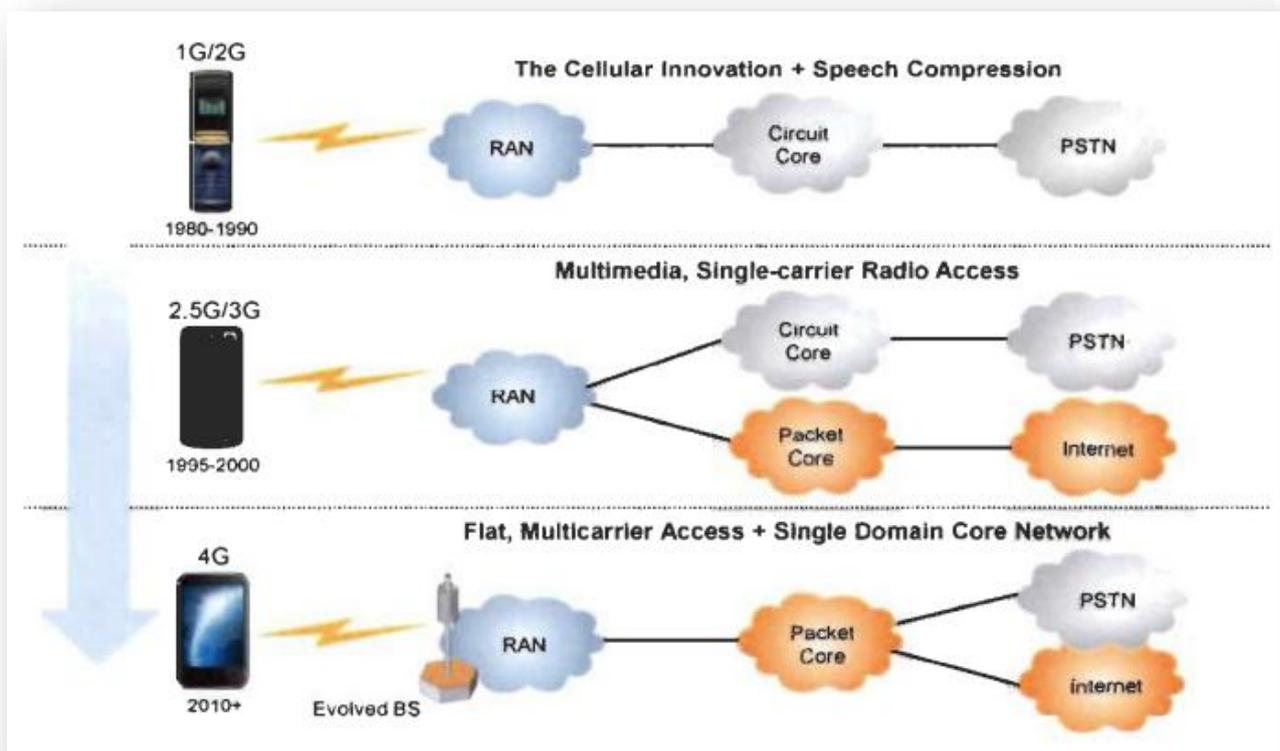


Figure 3.09 : *Evolutions des réseaux mobiles*

3.8 Performance des réseaux 4G [9]

Avec la 4G, les industriels, les opérateurs de télécommunications proposent en 2013, des débits moyens descendants aux alentours de 30 Mbit/s et des débits montants moyens entre 6 et 8 Mbit/s. Pour des futures générations de terminaux, pour l'année 2014, les opérateurs ont visés un débit crête allant jusqu'à 150 Mbit/s et 300 Mbit/s et plus encore avec l'agrégation de porteuses du LTE Advanced. Jusqu'à maintenant, le débit théorique maximal de la technologie LTE Advanced est à 1Gbit/s. Nous allons maintenant mettre en valeur les points marquant du réseau 4G.

3.8.1 Mobilité sans interruption

Le challenge des réseaux mobiles est d'être n'importe où et n'importe quand c'est-à-dire que le réseau soit omniprésent pour les usagers du réseau. Et pour cette raison, les ingénieurs ont prévu que le réseau 4G fonctionne aussi bien dans les zones denses que dans les zones rurales. Pour les zones fortement peuplées, le diamètre d'une cellule peut être de 5km et ce diamètre peut s'étendre jusqu'à 100 km dans les zones les plus reculées.

En tenant compte de la vitesse de déplacement dans la mobilité, la technologie assure le bon fonctionnement pour des vitesses comprises entre 120 et 350 km/h, le « handover » ou le changement de cellule pourra s'effectuer sans problème.

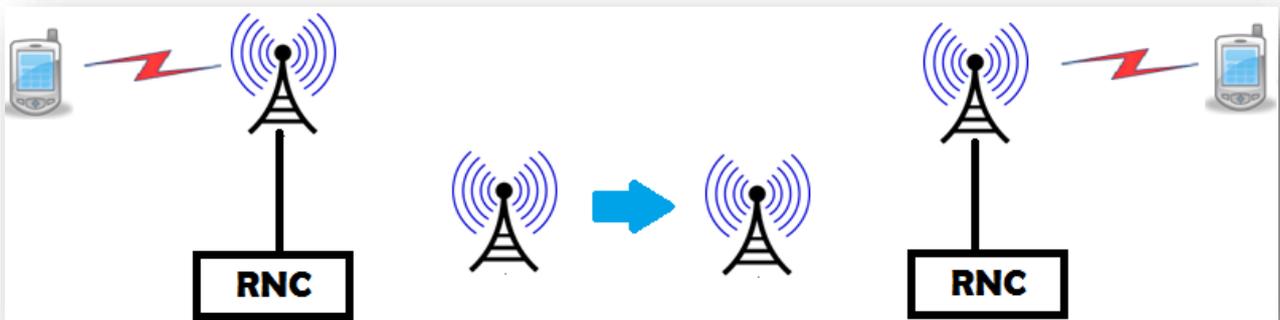


Figure 3.10 : *Hard handover*

Par contre la technologie LTE ne permet que le « hard handover » et non pas le « soft handover » dans le cas d'un déplacement à grande vitesse de l'utilisateur.

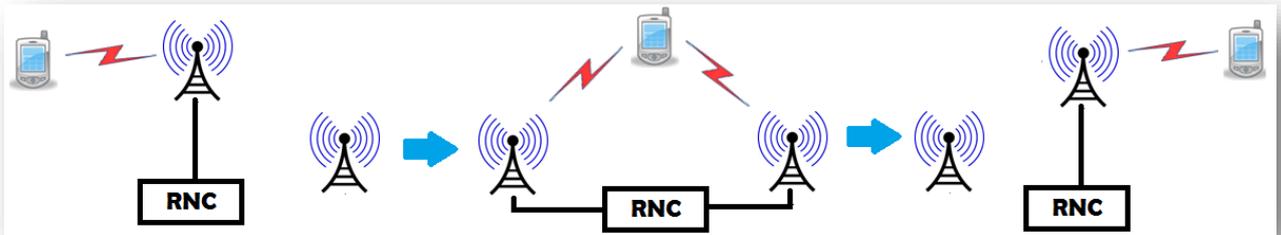


Figure 3.11 : *Soft handover*

3.8.2 *Un temps de réponse rapide*

Une communication fonctionnant à des débits toujours plus élevés n'est optimale que si le transfert de données ne s'effectue pas dans un délai aussi court que possible. La quatrième génération propose donc pour cela un délai moins de 5ms pour la transmission de données entre la station mobile et « l'Access Gateway » ou passerelle d'accès dans une situation où la charge du réseau n'est pas considérable voire même où il n'y a qu'un seul terminal mobile actif vis-à-vis de l'interface radio. En situation de charge moyenne du réseau, la valeur moyenne du délai devrait avoisiner les 25 ms. Ainsi, il permet de supporter les services en temps réel IP nativement, comme par exemple la voix et le « streaming » sur IP.

3.8.3 *La voix sur IP*

Étant donné que le 4G est un réseau à transmission par paquet, les services de voix sur IP sont donc natifs pour ce réseau. Par conséquent, on n'a prévu que la VoIP même pour le mode d'acheminement de la voix. La gestion de la priorité de chacune des applications lancées sur la station mobile est devenue une priorité pour le bon fonctionnement du réseau.

3.8.4 *Le débit sur l'interface radio*

Comme nous l'avons souligné à plusieurs reprises, le débit devait être de 100 Mbit/s sur la voie descendante et 50 Mbit/s pour la voie montante. L'interface radio E-UTRAN du réseau doit être capable de supporter un débit maximum descendant instantané (du réseau au terminal) de 100 Mbit/s en tenant compte de l'allocation de bande de fréquence de 20 MHz pour le sens descendant. D'autre part, l'interface doit aussi assurer la même chose pour le sens montant du réseau (du terminal mobile vers le réseau de l'opérateur) c'est-à-dire l'allocation d'une bande de fréquence de 20 MHz mais cette fois pour un débit maximum de 50 Mbit/s. Le réseau utilise la technologie OFDMA pour le

sens descendant et SC-FDMA pour le sens montant. L'efficacité spectrale correspondant est de 5bit/s/Hz pour la voie descendante et 2,5 bit/s/Hz pour la voie montante.

En remontant à la HSDPA qui offrait un débit de 14,4 Mbit/s pour une allocation d'une bande de 5Mhz, cela nous conduirait à une efficacité spectrale de 2,9 bit/s/Hz dans le sens descendant. Avec la 3G, il faudra allouer une bande de fréquence de 5 MHz. Or pour le cas du LTE, il est possible d'opérer avec des bandes de taille variable et différente qui sont les suivantes : 1.4, 3, 5, 10, 15 et 20Mhz, pour les deux voies de communication (montante et descendante). Ceci est dans le but de permettre un déploiement de réseau flexible en fonction des besoins des opérateurs mais surtout aussi des services qu'ils souhaiteraient proposer à leurs abonnés.

3.8.5 Une connexion permanente

Les accès à haut débit veulent surtout offrir dans un premier temps, une connexion permanente pour l'accès à internet. L'omniprésence de la connexion ne dépend pas seulement du côté réseau car même si elle est permanente du côté réseau, le terminal mobile doit passer de l'état IDLE à l'état ACTIF pour l'envoi et la réception du trafic. Le temps pour le changement d'état est dans moins de 100 ms. Chaque terminal rattaché au réseau possède sa propre adresse IP, le réseau peut donc recevoir tout trafic de chacun des terminaux qui lui sont rattachés d'une façon bien distinct en raison de leur adresse qui permet de les identifier un par un. Ensuite, une fois que les données du trafic sont reçu par le réseau, ils les mettent en mémoire ; après, il réalise l'opération de paging pour la localisation du terminal et ainsi lui avertir de la nécessité de réserver des ressources afin de pouvoir relayer le trafic au mobile.

3.8.6 Interfonctionnement avec la 3G

La coexistence se base surtout sur la technique du « handover », quand un usager passe d'une cellule 3G vers une cellule 4G et/ou inversement. Le déploiement du LTE est d'une façon progressive pour les pays du monde entier, il est clair donc que la coexistence de cette nouvelle génération avec la 2G et 3G est inévitable. La technique du « handover » entre E-UTRAN (evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network) et celle de l'UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network) devra se faire dans un délai de moins de 300ms pour les services temps réels et 500ms pour les services non-temps réel.

Pour l'opérateur, il est ici question d'assurer que le handover entre LTE et ses réseaux prédécesseurs comme le 2G ou 3G soit encore possible. A part cela, le handover doit aussi s'effectuer entre LTE et les réseaux CDMA2000. En dépit de la différence technologique, les opérateurs téléphoniques

qui utilisent le CDMA (Code Division Multiple Access) évolueront aussi vers la LTE vue que c'est la prochaine standard de communication mobile de 4^{ème} génération.

3.8.7 Flexibilité dans l'usage de la bande

L'un des avantages de la technologie LTE est sa possibilité et sa flexibilité à opérer dans des allocations de bande de fréquences avec différentes tailles comme : 1.25, 2.5, 5, 10, 15, et 20 MHz.

3.9 Exemple de qualité de service

Nous pouvons constater à travers ces quelques exemples que les besoins en QoS peuvent être différents et cela, suivant la nature des applications. Comme exemple concret, lors de la diffusion d'une vidéo à la demande, le réseau doit assurer un transfert quasi temps-réel avec une latence très faible et une gigue faible ; par contre, le fait de perdre une image de temps à autre ou pour une qualité d'image un peu dégradée ne représentera pas un grand problème pour la transmission.

Selon l'application lancée par les usagers mobiles, le système s'efforcera de faire le bon compromis pour garantir la meilleur QoS possible afin de satisfaire les abonnés.

Suivant l'évolution de la technologie réseau surtout en termes de débit, plusieurs applications bien évoluées ont pu voir le jour : les applications multimédia. Parmi ces applications, on peut compter : la téléphonie sur IP, la diffusion de music, la vidéoconférence, la vidéo à la demande. Les nouvelles applications multimédia sont gourmandes en ressources, ce qui obligera les réseaux traditionnels à mettre des mécanismes de qualité de service pour ces flux dits continus. Voyons maintenant les contraintes qui se posent en raison de ces applications.

3.9.1 Contraintes communes

Le problème majeur des applications multimédia c'est au niveau du temps c'est-à-dire qu'elles sont toutes sous la contrainte temporelle quasi temps réels. Utiliser un protocole de transport tel que TCP (Transmission Control Protocol) pour la transmission serait donc pénalisant et inutile car il se peut que des paquets soient détruits dans le cas d'une congestion dans le réseau, ce qui implique que leur réémission serait inutile. Il faut dans ce cas utiliser un protocole de transport non fiable comme UDP (User Datagram Protocol).

3.9.2 La téléphonie sur IP [1]

La téléphonie sur IP utilise le mode de communication par paquet, la principale contrainte pour elle, c'est le délai. En effet, pour qu'une conversation puisse avoir lieu convenablement, il est nécessaire que la latence soit inférieure à 35 ms. Mais pour assurer ce délai de latence, les routeurs chargés de

la communication ne doivent pas avoir des files d'attente trop longues. De longues files d'attente permettent d'obtenir un débit plus élevé puisqu'ils y auraient moins de paquets perdu mais la conséquence, c'est que la latence ne sera pas convenable à la communication. On devra dans ce cas configurer les routeurs à avoir une priorité de file à faible latence pour les flux de voix sur IP.

La téléphonie sur IP a l'avantage d'offrir des services multimédia divers qui mettent en œuvre plusieurs protocoles comme le H323 ou le protocole SIP (Session Initiation Protocol).

Le H323 est lui-même un ensemble de protocoles destinés à la communication multimédia sur les réseaux à commutations de paquets. Le H323 englobe des normes pour les conférences audio, vidéo ou données.

Vis-à-vis du protocole H323, on a le protocole SIP qui lui, est un protocole visant les communications "Full IP" ou "ToIP". SIP assure les contrôles de sessions. Son rôle est de créer, réguler et terminer une session vidéo ou audio entre un ou plusieurs participants sur un réseau à commutation de paquets. Les protocoles communément utilisés pour une conversation SIP sont SDP (Session Description Protocol) et RTP (Real Time Protocol).

Etant donné que la 4G est un réseau à commutation de paquet et cela même pour la voix, il serait préférable d'avoir un aperçu de l'architecture de la téléphonie "Full IP".

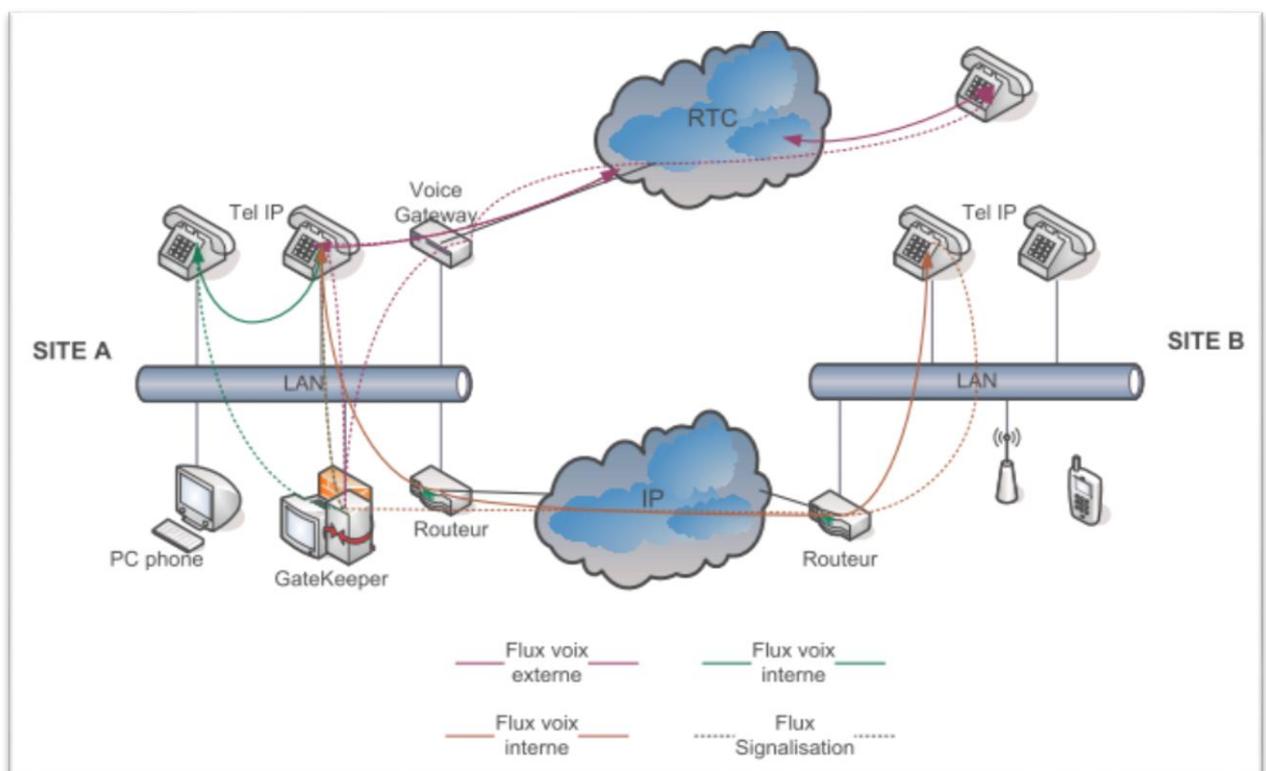


Figure 3.12 : Architecture de la téléphonie "Full IP"

L'architecture dont représente la figure ci-dessus, nous montre qu'il existe deux alternatives à la technologie de téléphonie "ToIP" :

- Une architecture hybride où le réseau interne supporte le transport de la voix sur IP pour les communications inter-sites et où les PABX servent toujours de relais pour les communications externes via RTC (Réseau Téléphonique Commuté). Le mécanisme de basculement des communications voixIP vers la voix classique se fait en ajoutant une carte SIP au PABX pour la connexion à un Gateway ou passerelle permettant la communication entre des réseaux différents.
- Une architecture "Full IP" où toute la téléphonie interne d'un site passe par le LAN de l'entreprise. La communication inter-site se fait au travers d'un WAN IP doté des interconnectant les LAN des différents sites. Une passerelle est conservée vers le réseau RTC pour joindre les hôtes du réseau téléphonique classique.

3.9.3 La vidéoconférence [6]

Ce qui est essentiel pour la vidéoconférence, c'est le débit. Pour assurer que la qualité de la vidéo soit suffisamment acceptable, le débit joue un rôle primordial. En termes de délais, la contrainte est identique à celles de la voix sur IP. Il serait dans l'évidence très décevant que l'image soit décalée du son ou que le média soit saccadé.

3.10 Conclusion

A travers la qualité de service, on a pu définir et voir tous ce qui concerne les attentes des usagers du réseau. Nous avons mis en évidence pour la QoS, les différents paramètres, les différents critères, mais aussi, on a pu présenter et décrire les performances des réseaux cellulaire de nouvelles génération dont la 4G.

Ce qui nous intéresse le plus ce sont les services temps réels des réseaux 4G (LTE), c'est pour cette raison que l'on a consacré le suivant chapitre pour la simulation des différents paramètres de la QoS existant dans la 4G sur ces services.

CHAPITRE 4

ANALYSE DES RESULTATS DE LA SIMULATION

4.1 Introduction [2] [6] [7]

Le domaine de traitement de l'information, du point de vue informatique, électronique, télécommunication s'est avéré indispensables parmi les avancées technologiques. De ce fait, les recherches que l'on déploie dans ces domaines ne sont pas prises à la légère.

Cependant, avant de déployer une quelconque architecture réseau sur le terrain même si c'est seulement à titre d'essai, il est nécessaire de passer à la simulation. Pour des raisons d'infrastructure onéreuse, on ne peut pas déployer des équipements tels que des ordinateurs ou des routeurs par exemple juste pour vérifier une fonctionnalité pour un type de réseau. Il nous est donc très utile dans ce cas-là de nous servir des simulateurs réseau.

Avec la simulation, on peut donc procéder autrement car on a la possibilité de tester et de bien analyser les trafics comme si la situation était réellement en train de se passer. A part cela, on voit bien que cela économise d'une façon exponentielle le temps car on peut trouver les failles, les performances, les erreurs probable avant le réel déploiement. Les concepteurs peuvent tester au peigne fin tous les protocoles qu'ils veulent étudier, tels est donc en quelque mot ce que nous offre les simulateurs de réseau.

Dans ce travail de mémoire, notre projet consiste à simuler une vidéo conférence dans le réseau 4G LTE, plus particulièrement les paramètres de la qualité de service. Par la suite donc, nous allons présenter le déroulement des étapes de simulation que l'on a mené qui dans l'objectif mettra en évidence quelque paramètre de la qualité de service pour le cas d'une vidéo conférence dans le réseau. Notre but serait d'évaluer les paramètres influençant les performances du réseau.

4.2 Les simulateurs [14] [19] [12]

Etudier la performance des systèmes de communications au niveau des réseaux est une tâche complexe demandant une connaissance du réseau à étudier comme près-requit mais en même temps un outil spécialisés offrant en son sein chacune des entités que l'architecture que l'on veut étudier. Dans notre cas, les scénarios que l'on veut étudier mettent en œuvre des entités des systèmes de communications cellulaires d'aujourd'hui et de la future dans le réseau hétérogène LTE, alors les

simulateurs entre lesquels on doit choisir devront donc implémenter une bibliothèque contenant les entités LTE nécessaires.

Généralement, un simulateur réseau permet d'étudier divers technologies de protocoles réseaux et aides à sa manière les utilisateurs à la mise en place de chacune des entités d'une architecture quelconque à étudier. Pour le domaine du réseau, il existe plusieurs simulateurs qui ont tous fait parler d'eux dans le monde. Voyons donc quelque un de ces dits simulateur pour fixer l'outil de travail avec lequel on pourra concevoir et développer notre simulation.

4.2.1 OPNET [19]

Opnet est un logiciel très connu dans le monde du réseau que ce soit pour les industries ou les particuliers, il est bien avancé et facilite dans la mesure du possible le travail des utilisateurs pour la simulation. En d'autres termes, il a l'avantage de permettre la conception, l'étude des réseaux de communications, des nouvelles technologies, des protocoles et des applications de manière facile et évolutive. Les grandes entreprises de nouvelles technologies l'utilisent pour simuler certaines situations de communication mais aussi pour rechercher les erreurs avec une mise en place réelle d'une nouvelle technologie de réseau.

Mais Opnet est une handicap pour les étudiants car il exige une licence d'exploitation pour les versions compatible avec le réseau LTE, une licence qui est bien plus onéreux pour les simples étudiants concepteurs n'ayant pas l'appui d'une grande entreprise.

4.2.2 LTE – SIM [2] [19]

Suite à l'avènement du réseau LTE, certains fournisseurs d'équipement de communications mobiles ont voulu eux-mêmes mettre en place leur propres simulateurs pour cette nouvelle génération de réseau. LTE – SIM est un logiciel basé sur Matlab, il propose par exemple la mise en œuvre d'une liaison descendante conforme à la couche physique de la norme LTE, la modulation adaptative, le nombre d'utilisateurs considérablement croissant, les technologies MIMO. Mais les pertinences du réseau LTE est un peu mise à l'écart pour ce simulateur.

Néanmoins les fonctionnalités qu'ils offrent sont nombreuse dont voici les principaux grandes possibilités : prise en charge des environnements mono, multicellulaires à savoir les cellules macro, micro ou femto. La gestion de la QoS, l'environnement multiutilisateurs, la mobilité dans le réseau. Il a prend aussi en considération plusieurs protocoles dont par exemples UDP, les divers modes de fonctionnement comme le TDD ou le FDD.

4.2.3 NS – 2 [12]

Ce simulateur réseau bénéficie l'utilisation répandue dans les recherches, le code de simulation est assuré par une centaine de personnes et organisation mais aussi, NS-2 est utilisé dans plusieurs projet de recherche.

Il présente malheureusement un défaut considérable qui touche son évolutivité pour l'utilisation des ressources pendant la simulation. Nous entendons ici par ressources mal gérée, les mémoires de l'ordinateur et cela aura une conséquence sur le temps d'exécution du travail de simulation. Ce défaut que représente ce simulateur sera d'autant plus conséquente pour les nouveaux domaines de recherches en informatique ou en télécommunications, qui de nos jours nécessitent une vaste simulation d'un réseau.

4.2.4 NS – 3 [12]

Dans cette simulation, nous avons choisi de travailler sous NS-3 dans sa version 3.19. On a choisi ce simulateur parmi ceux qui sous lesquels on peut réaliser ce projet pour les raisons suivantes :

- NS-3 est un logiciel libre, à code ouvert sous la licence GPL (General Public License), que l'on peut télécharger donc librement alors que ceux comme l'OPNET nécessite une licence d'exploitation à acheter.
- NS-3 est dédié pour fonctionner sous les systèmes d'exploitations Linux (on peut prendre comme exemple Debian, Ubuntu) qui eux aussi sont à code ouvert et sous licence GPL et que l'on peut télécharger librement mais il existe aussi des émulateurs pour qu'ils puissent fonctionner sous les systèmes d'exploitation Windows.
- Les nombres de personnes sur les forums qui s'entraident en cas de problème sont bien plus nombreux par rapport aux cas des logiciels propriétaires.
- Il offre plusieurs équipements réseaux afin de bien développer la simulation, en plus, il prend bien à jour par rapport aux développements technologique des réseaux c'est-à-dire qu'aussitôt qu'il y a un nouveau matériel, de même NS-3 est mis à jour pour ce matériels à cause du nombre de personnes qui contribuent à son développement.
- La documentation pour les classes à implémenter dans la simulation est bien plus compréhensive et complète.
- Associé à Gnuplot (logiciel libre permettant l'affichage des résultats), il offre des outils intuitifs pour afficher et analyser les résultats, on peut en même temps avoir accès à la probabilité, à des histogrammes, ...



Figure 4.01 : *Logo de NS-3*

4.3 Les outils du simulateur [12]

Pour mieux expliciter le fonctionnement de la simulation, il serait dans notre intérêt de définir les termes employés au sein du simulateur avec les abstractions correspondantes. Notre simulateur utilise des termes courant employés dans le domaine du réseau mais ils peuvent avoir une signification particulière au sein du simulateur.

4.3.1 Les nœuds

Les nœuds sont appelés « Node » sous NS-3. Un Node représente tout élément de réseau. Par analogie, un node peut être considéré comme un carton vide et c'est la chose que l'on met dedans qui va définir son type. On peut donc gérer son contenu, comme l'ajout des composants (type de node), d'applications et des protocoles suivants l'architecture à simuler.

4.3.2 Les applications

Pour qu'un node puisse communiquer avec un autre pendant une transmission par exemple, on doit définir une ou plusieurs applications (appelé : Application sous NS-3). Une Application est donc un code que l'on exécute suivant la nature de la simulation.

4.3.3 Le canal de communication

On définit un canal de communication sous le terme « Channel ». Il a pour rôle de relier les NetDevices qui sont installés dans les nœuds. Selon la nature et le déroulement attendu, il est possible de spécifier le type de classe « Channel » à utiliser. Dans notre cas, on devait définir le LTEChannel pour la modélisation de réseau LTE.

4.3.4 Les interfaces de communications

Ils sont appelés : "NetDevice", il représente un équipement et en même temps ses pilotes de communications. On peut prendre comme exemple le LTENetDevice peut être relié à un LTEChannel.

Les "TopologyHelpers" accélèrent les développements d'un réseau ayant un grand nombre de nœuds dans son système.

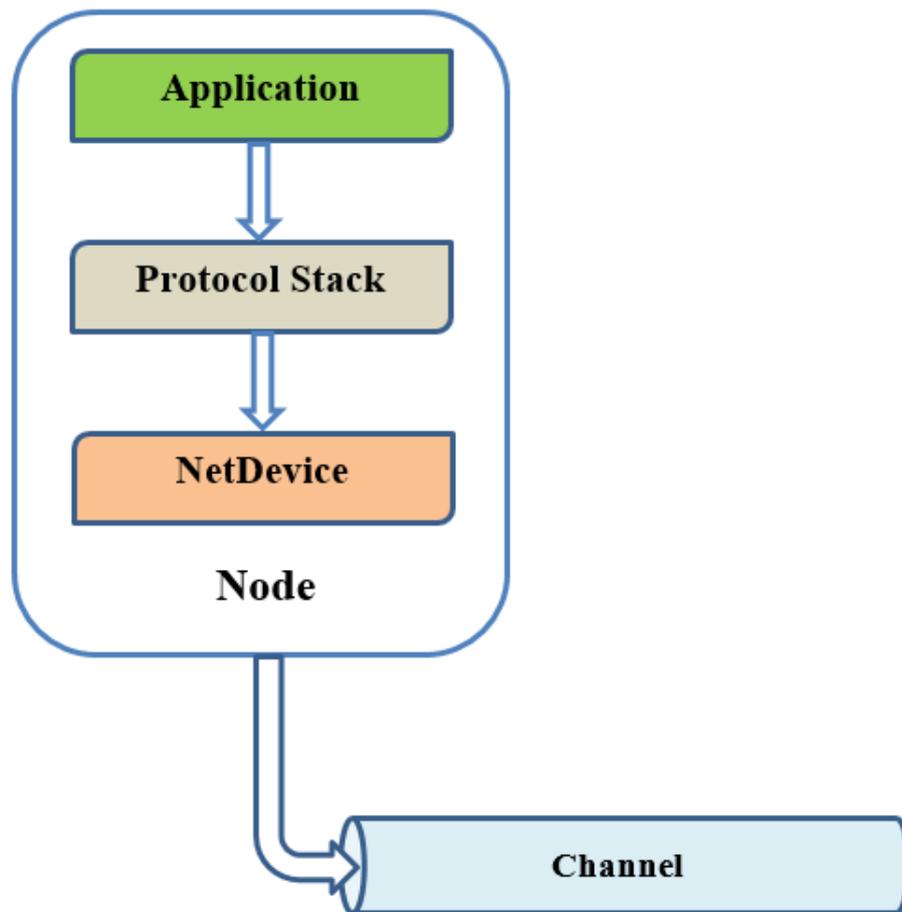


Figure 4.02 : Les composants d'un nœud et sa communication via le Channel

4.4 Installer NS-3 [12]

Il est préférable de travailler sous Linux pour manipuler NS-3. Dans notre cas, nous avons utilisé la distribution Ubuntu LTS 14.04. Afin que notre simulateur puisse exploiter toutes la puissance de la machine et ainsi avoir les ressources nécessaires en termes de configuration, il est conseillé d'installer directement la distribution Linux sur lequel le logiciel NS-3 est installé. Ceci est surtout valable pour les machines qui ont des capacités un peu moins performantes de nos jours comme le cas d'un pentium 4 par exemple. Mais pour des machines ayant des performances plus élevées, on peut l'installer sur des machines virtuelles comme VirtualBox ou VMware.

Travaillant sur un processeur Core2Duo avec une mémoire vive de 4GHz, nous avons choisi dans ce projet de suivre la première option c'est-à-dire que l'on a utilisé une machine physique mais pas un environnement virtuels pour que NS-3 puisse avoir toutes les puissances qu'il lui faudra.

4.4.1 Les étapes à suivre pour l'installation de NS-3

Il faut noter que NS-3 est basé sur le langage C++ mais aussi des scripts sur le langage Python. Il faut donc en premier lieux que le package pour C++ soit installé pour le besoin de l'installation.

- `sudo apt-get install gcc g++ python` // **Installation du gcc**
- `sudo apt-get install mericural` // **Installation du mericural**
- `cd` // **Changer de repertoire vers /home/user**
- `mkdir repos` // **Création du répertoire nommé repos dans /home/user/**
- `cd repos` // **Changement de repertoire vers /home/user/repos**
- `hg clone http : // code.nsnam.org/ns-3-allinone` // **Téléchargement de NS-3**
- `cd ns-3-allinone` // **Changement de repertoire**
- `./download.py`
- `./build.py -- enables-examples -- enable -- tests` // **Compilation des codes source téléchargé**
- `cd ns - 3 - dev` // **Changement de repertoire**
- `./test.py -c core` // **permet de tester si NS3 fonctionne à merveille**
- `./waf - - run hello - simulator` // **Lancement du premier code pour tester le simulateur**

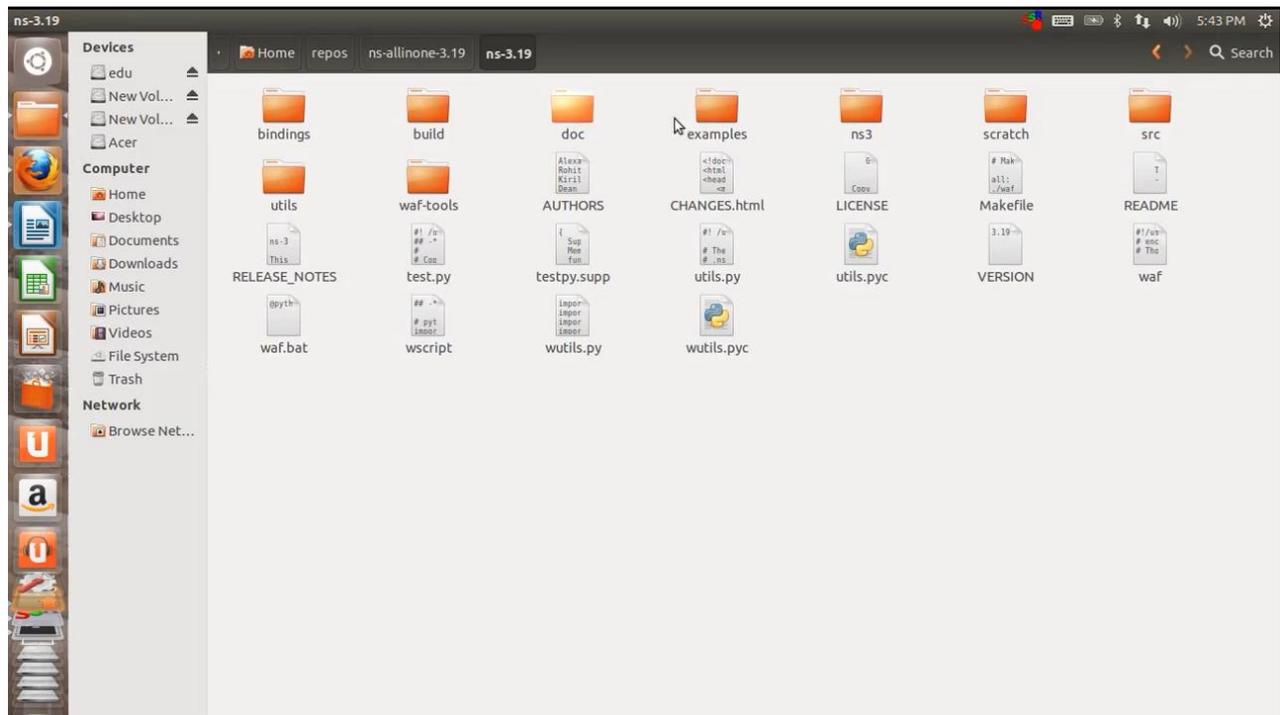


Figure 4.03 : *Les contenus du dossier d'installations de NS-3 version 3.19*

4.4.2 *Les autres outils utilisés* [12] [15] [16]

Le cœur de NS-3 s'occupe de la simulation proprement dite, nous pouvons par exemple citer la compilation étant donné que ce logiciel est basé sur le langage C++ comme nous l'avons souligné un peu plus haut ; après la compilation, on a les résultats de la simulation.

La manipulation des résultats nécessite d'autres outils d'affichage et on peut citer pour cela les deux logiciels suivants :

- Gnuplot, le grand-père des utilitaires de tracé.
- Excel / LibreOffice

Dans notre cas, on effectue l'affichage des résultats sous Gnuplot 4.6. Tout comme NS-3, on peut librement le télécharger sous licence GPL. C'est un des plus anciens logiciels permettant le tracé de fonctions et de graphismes de données et en disant ancien, on tient à préciser que Gnuplot est née vers les années 80 et a surtout permis au début de travail avec le langage de programmation Fortran. Même s'il date depuis longtemps, plusieurs personnes dans le monde contribuent à sa mise à jour et le logiciel le plus proche de Gnuplot serait Matlab car tous les deux peuvent donner des graphiques en deux dimensions (2D) ou même en 3D (trois dimensions).

```
hotsnow@joshua: ~  
hotsnow@joshua:~$ gnuplot  
  
G N U P L O T  
Version 4.6 patchlevel 4    last modified 2013-10-02  
Build System: Linux x86_64  
  
Copyright (C) 1986-1993, 1998, 2004, 2007-2013  
Thomas Williams, Colin Kelley and many others  
  
gnuplot home:      http://www.gnuplot.info  
faq, bugs, etc:   type "help FAQ"  
immediate help:   type "help" (plot window: hit 'h')  
  
Terminal type set to 'wxt'  
gnuplot> █
```

Figure 4.04 : *La version de Gnuplot utilisée dans le projet*

4.5 Modélé développé pour la simulation

Dans les scripts de notre projet, nous avons mis en œuvre plusieurs éléments. Ainsi, on a implémenté plusieurs bibliothèques de chacune des classes utilisées dans la simulation. Les entités participantes sont donc les suivantes :

- Un smartphone 4G supportant la technologie MIMO pour que la vidéo conférence fonctionne à merveille en termes de download et d'upload.
- L'espace libre comme premier média de transmission
- Un eNodeB jouant le rôle de premier point d'accès du smartphone au réseau LTE
- Le corps du réseau mettant en évidence les entités SGW et le PGW ouvrant la voie de communication vers internet.
- Le réseau Internet reliant la communication vers un périphérique supportant la VoIP
- . Un téléphone VoIP comme communiquant à l'autre bout du réseau.

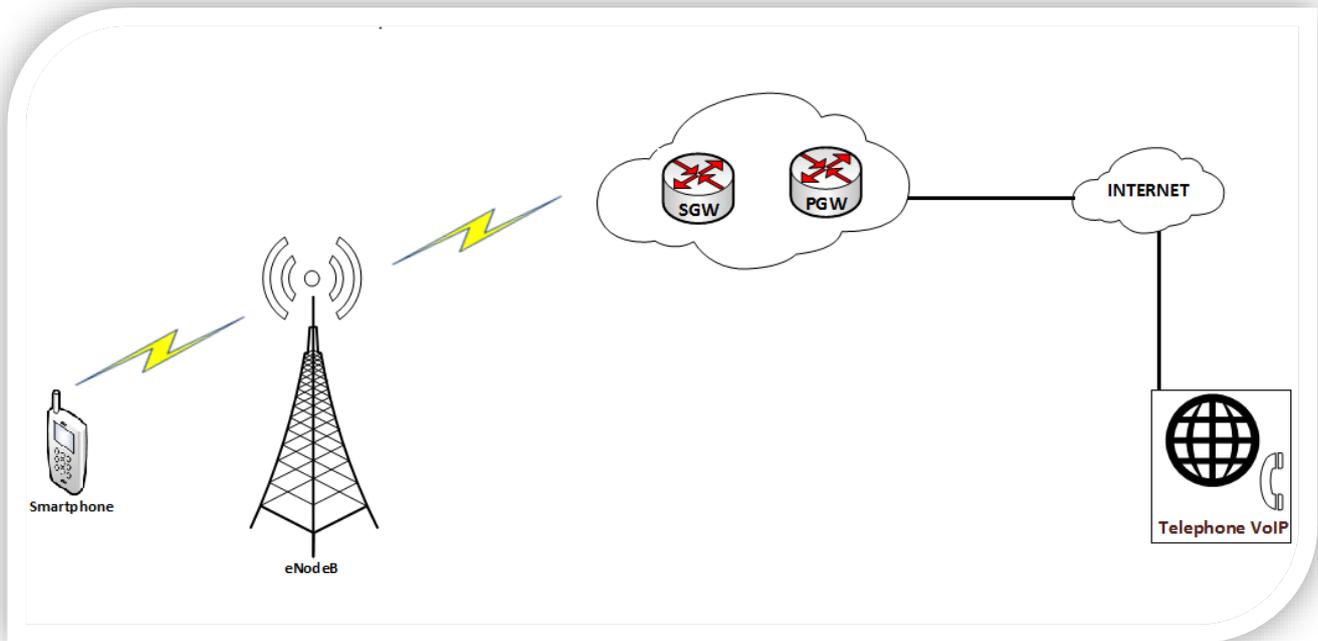


Figure 4.05 : *Le modèle choisi pour la simulation de vidéo conférence*

4.6 Les paramètres à évaluer

Nous allons évaluer la performance de la qualité de service d'une vidéo conférence dans le réseau LTE comme nous l'avons souligné. Il y a plusieurs paramètres qui peuvent affecter la performance du réseau pendant une communication. Les paramètres en question peuvent être les paquets perdus, le délai, la gigue, le débit et ce sont ces quatre paramètres que nous considérerons dans ce projet.

Les principaux types de codec vidéo sur IP supporté par les smartphone sont plusieurs, on peut prendre comme exemple MPEG4, H.264, DivX et FLV. Ils peuvent être différents par les nombres d'images par seconde selon le type de codec utilisé. Dans le cas général, on utilise le standard H.264 pour la vidéo conférence.

Habituellement, une vidéo conférence se lance dans une situation où les utilisateurs sont immobiles. Pour que la simulation se déroule dans une performance où l'image serait l'équivalente de celle que l'on voit devant son poste téléviseur, nous allons prendre un cas d'une vidéo de haute résolution et cela va nous permettre de voir la performance et la robustesse du réseau de quatrième génération.

- Le délai définit le temps que mettront les paquets pour arriver à destination.
- Le débit est le nombre de paquets transmis par unité de temps.
- Le nombre de paquets perdu mesure les paquets non transmis parmi les données à transmettre et évalue l'effet sur l'image de la vidéo pendant la communication. Le codec H.264 peut tolérer 1 à 3% de paquet perdu sans avoir altéré la qualité de la vidéo vis – vis de l'utilisateur.

- La gigue, elle mesure la variation des paquets reçus. Une bonne vidéo conférence requiert une gigue inférieure à 10 ms.

4.7 Les scenarios

Nous fixons deux scénarios différents dans notre projet suivant le modèle que l'on a précisé la figure 4.04. Les paramètres de la performance de qualité de service pourraient varier selon la distance entre l'utilisateur mobile par rapport à l'eNodeB ; en même temps cette qualité en question peut aussi varier suivant la qualité de l'image vidéo que l'on transmet sur le réseau. Une vidéo de basse résolution demande moins de temps de traitement par rapport à celle dont la résolution est un peu plus haute.

Suivant sa définition, la vidéo conférence permet à l'utilisateur de voir et dialoguer avec son interlocuteur. Elle utilise des codecs audio pour coder les paroles, des codecs vidéo pour coder les images. La continuité des images constitue ainsi une vidéo. Nous avons choisi pour les deux scénarios une vitesse de défilement de 10 et de 20 images par seconde dans les deux sens (vidéo sortante et entrante). Chacune des images possède une résolution de 128x120 pixels, 128x240 pixels qui correspondent respectivement à une taille d'image de 17280 octets et de 34560 octets.

4.7.1 Les vidéos utilisées dans la simulation

Qualité de la video	Vitesse de defilements d'image	Qualité d'image
Vidéo basse résolution	10 images/s	128x120 pixels
Vidéo haute résolution	15 images/s	128x240 pixels

Tableau 4.01: *Qualité de la vidéo définie pour le modèle*

4.7.2 Scénario

Vidéo basse résolution	
Résolution de l'image	128x120 pixels
Nombre d'image par seconde	10
Paquet à envoyer	1728
Position de l'eNodeB	(0, 0, 2000)
Position de l'utilisateur mobile	(10000, 0, 0)
Vidéo haute résolution	
Résolution de l'image	128x240 pixels
Nombre d'image par seconde	15
Paquet à envoyer	5184
Position de l'eNodeB	(0, 0, 2000)
Position de l'utilisateur mobile	(10000, 0, 0)

Tableau 4.02: *Paramètres correspondant au scénario*

4.8 Résultats de la simulation

Après l'exécution de la simulation, on a obtenu les données attendu, en insérant les données dans Gnuplot, on a pu recueillir les tracés afin de pouvoir analyser le fonctionnement du réseau pendant le trafic.

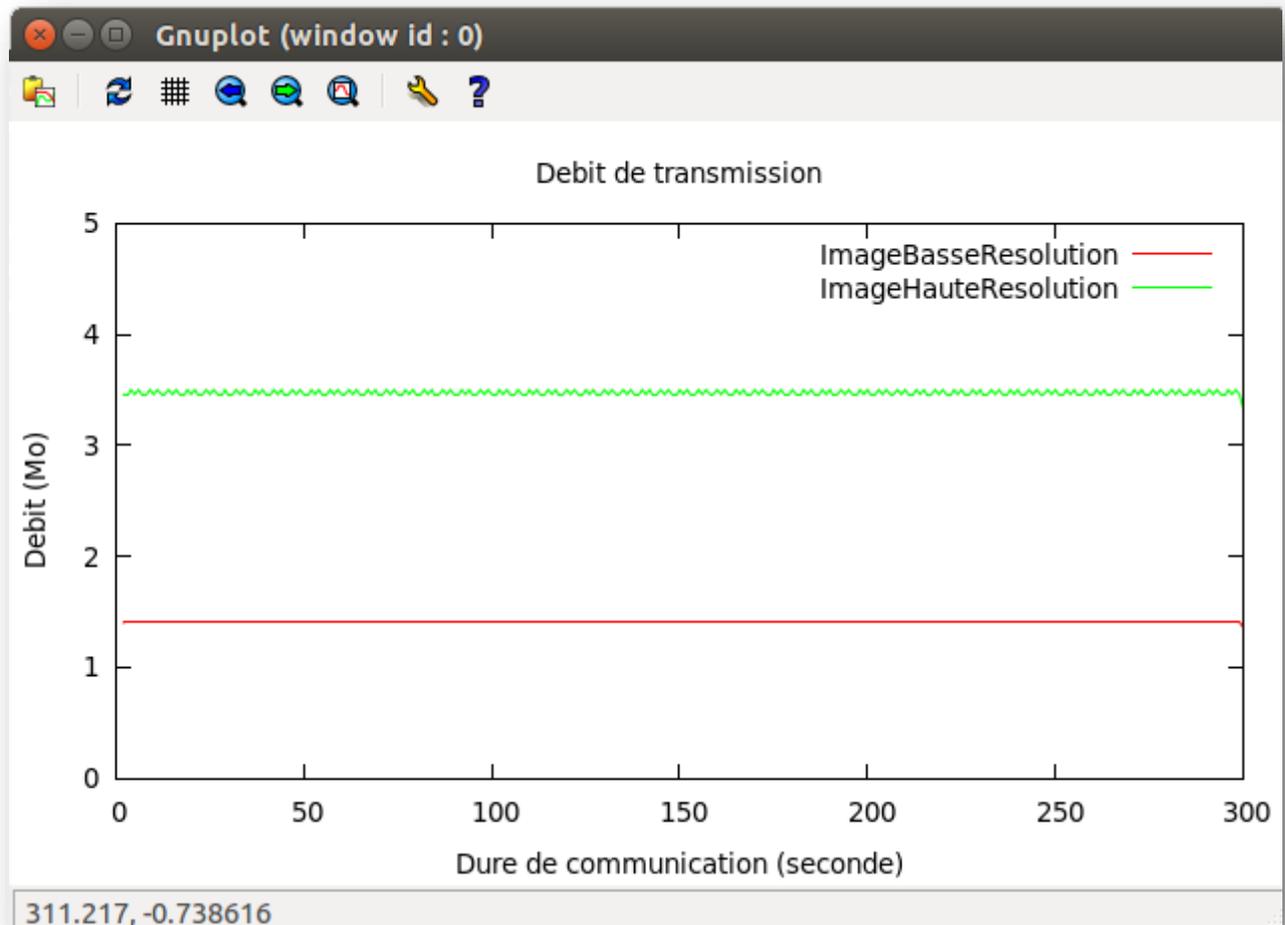


Figure 4.06 : *La différence du débit nécessaire pour deux charges différentes du réseau*

La figure 4.05 nous montre la différence entre les débits nécessaires pour les transmissions vidéo de basse puis de haute résolution. Pour celle dont les images ont une basse résolution, le débit est environ 1,5 Mo/s alors que pour celle dont les images sont de haute résolution, le débit en question est d'environ 3,5 Mo/s.

Celle de la basse résolution est représentée par la courbe en rouge sur la figure 4.05 et comme nous le voyons, la courbe est constante car la charge du réseau est d'autant moins considérable. Le routage est donc plus rapide puisque les données à transmettre ne requièrent pas trop de temps pour qu'elles puissent traverser les routeurs.

En outre, la courbe en rouge représentant la vidéo de haute résolution a un débit supérieur à celle de la basse résolution puisque les données à transmettre sont d'autant plus considérable. Les traitements et les passages dans les routeurs prennent alors beaucoup plus de temps. On peut par exemple prendre seulement l'exemple de problème d'MTU ou Maximum Transmission Unit qui représente la taille maximal d'un frame physique sur le réseau, définissant ainsi la taille maximale que pourrait faire passer un routeur lors d'une transmissions de données.

Et en voyant de plus près, il y a une variation de débit pour les traitements de la vidéo de grande taille c'est-à-dire dont les résolutions des images qui la formé sont hautes. Et cette variation est due à cause du temps dont les matériels du réseau mettent pour traiter les données à transmettre.

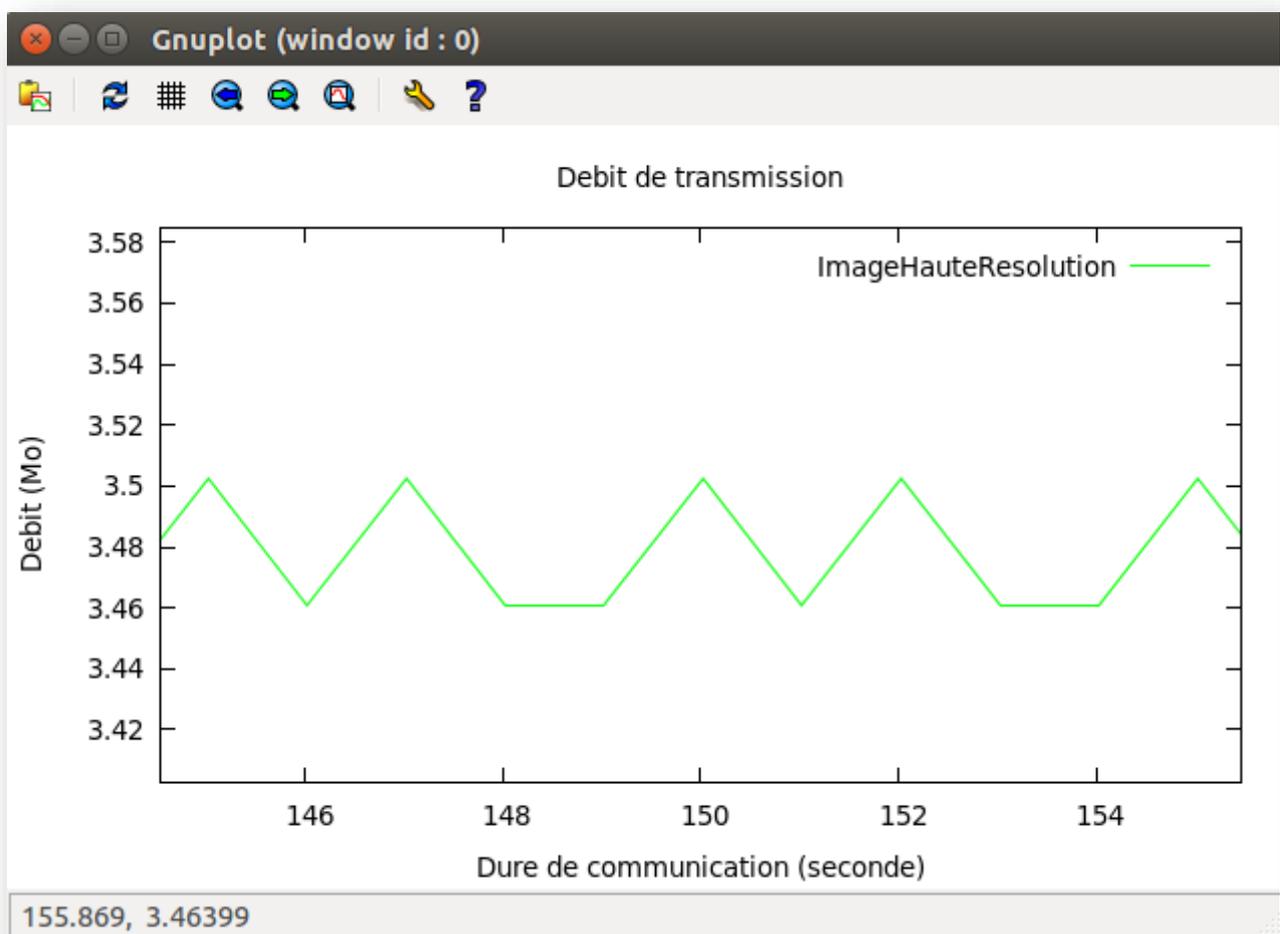


Figure 4.07 : *Variation du débit pour une vidéo ayant des images de haute résolution*

Toujours pour cause de taille différente, les délais sont différents pour les deux cas de résolution des images formant la vidéo. La vidéo ayant des images plus claires prene beaucoup plus de temps en termes de délai pour cause de traitement dont elle demande pour pouvoir se télécharger. Dans la figure 4.07 ci-dessous, comme il y est précisé, la vidéo de basse résolution est représentée par la courbe en rouge et celle de haute résolution est représenté par la courbe en verte.

Que ce soit pour la basse ou la haute résolution, le délai de transmission est constant. Et la valeur est aux alentours de 15 sec pour la vidéo de basse résolution et est de 19 sec pour celle de haute résolution.

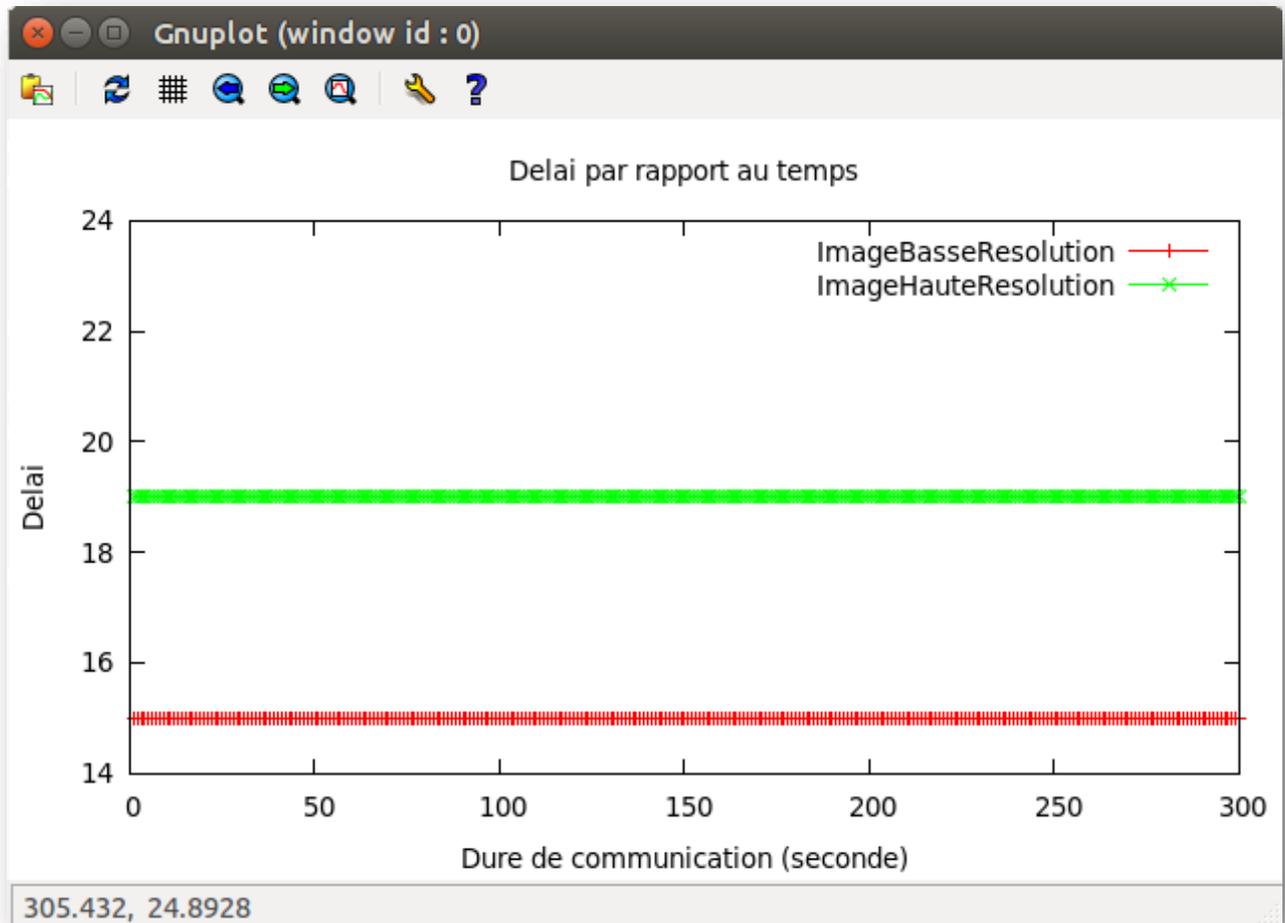


Figure 4.08 : *Délai de transmission pour les deux sortes de vidéo*

Etant donné que l'utilisateur dont on a fixé dans cette simulation est le seul à utiliser les ressources du réseau les valeurs des deux premiers paramètres de QoS est stable. Ceci est aussi dû au type de média que son interlocuteur a utilisé car celui-ci utilise un câble Ethernet pour se connecter au réseau.

On peut donc tirer de la figure ci-dessus que plus la taille de la vidéo est grande, plus le délai augmente.

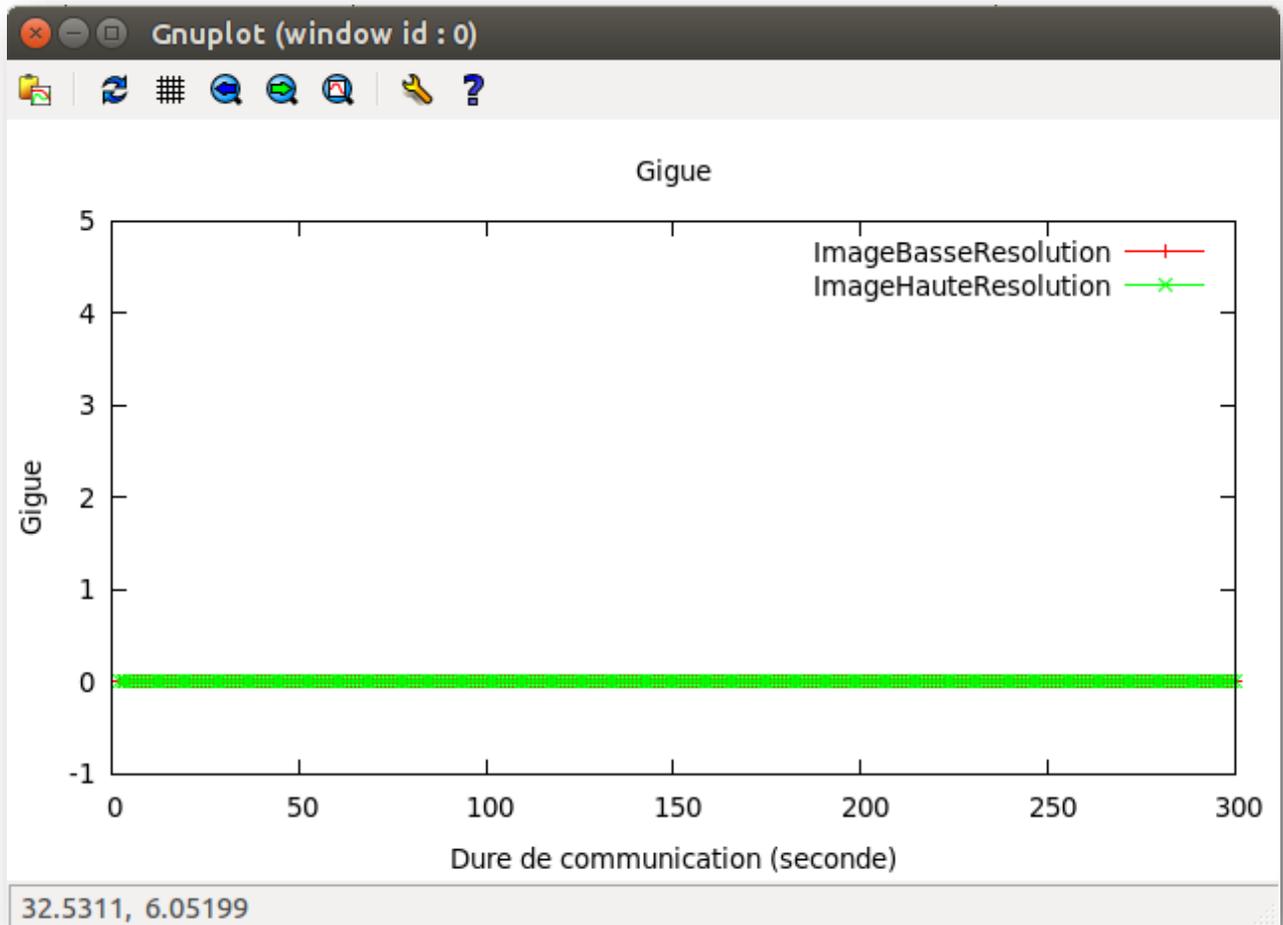


Figure 4.09 : *La gigue pendant le trafic de vidéo conférence*

Comme nous voyons sur la figure 4.08, la gigue est au niveau 0 car les délais sont constants. Ceci montre la performance d'un réseau LTE et la fiabilité dont il dispose visant à satisfaire les utilisateurs sur les services offerts.

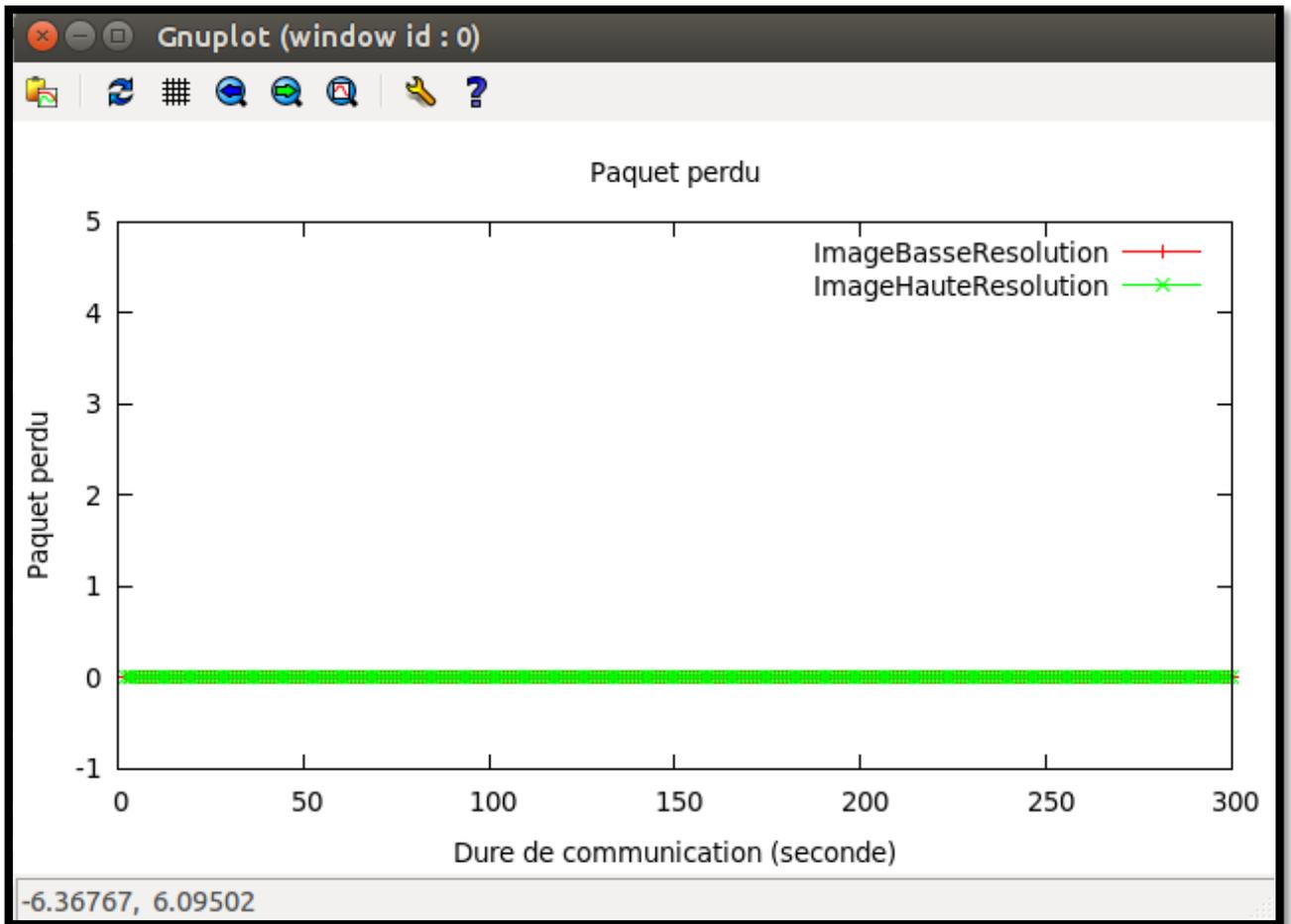


Figure 4.10 : *Les paquets perdu pendant la communication*

La figure 4.09 nous démontre la fiabilité et la bonne performance du réseau LTE car pendant la communication, il n'y en a pas de paquets perdu pour les deux types de vidéo.

4.9 Conclusion

Comme le réseau LTE est un réseau à haut débit, il est bien possible de mettre ce type de service multimédia c'est-à-dire la vidéo conférence. Sa mise en place nécessite un appareil (smartphone par exemple) adapté, c'est-à-dire un appareil qui implémenté la technologie MIMO mettant en œuvre plusieurs antennes pendant une communication. C'est-à-dire au moins une antenne pour la voie descendante et une autre pour la voie ascendante. Dans le cas contraire, c'est-à-dire où le mobile n'a qu'une seule antenne pour se communiquer, il y aura des retards entre les images de la vidéo ou que la qualité de la vidéo sera moindre car il faudra une compression beaucoup plus élevée mais cela fera dégradé l'image de la vidéo. Même si l'on a changé la position de l'utilisateur mobile, on ne voit pas vraiment l'influence sur les résultats car il est le seul à l'utiliser.

CONCLUSION GENERALE

Le monde de la télécommunication est un domaine dont se base le cœur de la nouvelle technologie, ayant parti d'un réseau de téléphonie médiocre, des nouvelles versions du réseau se sont succédé. Chacune des nouvelles générations ont apporté leurs apports. Le débit, les nouveaux services sont les principales évolutions avec un but de garantir une qualité de service meilleur pour servir les utilisateurs mobiles.

L'avènement de la quatrième génération de téléphonie a fait évoluer la manière dont le réseau fonctionne. On fait maintenant passer tous les services voix, vidéo, données multimédia dans la technologie tout-IP. Ceci augmente la possibilité de la maîtrise dont le réseau fonctionne. Basé sur la technologie tout-IP, le réseau 4G assure l'interopérabilité avec ses réseaux prédécesseurs, ceci témoigne l'avancé technique qui l'accompagne.

Etant hétérogène et c'est dont la principale avantage que le LTE emporte avec lui, le réseau 4G a pour but de pouvoir travailler avec tous les autres types de réseau comme le Wifi ou le Wimax. Les qualités qui sont importantes pour le bon fonctionnement du réseau ne sont pas prises à la légère pour le LTE, il offre ainsi des QoS remarquable.

Les avancées technologiques apporté par la 4G a permis d'ouvrir la voie du multimédia vers un nouvel horizon offrant des services bien plus meilleurs que ceux offerts par les réseaux de télécommunications d'avant. La vidéo conférence est un service rentable pour cause du nombre d'utilisateur qui s'y intéressent.

Le développement et la mise en place de ce réseau est une bonne base pour des nouvelles technologies étant donné que presque tous les périphériques communiquent avec le réseau avec le protocole IP. Et pour sa mise en place réelle sur terrain, on doit encore se soucier des prix onéreux des matériels à installer d'un côté, mais de l'autre côté, on doit penser au grand nombre d'utilisateurs dont le LTE peut supporter pour pallier les investissements que l'on a mis. Gourmand en termes de ressource, la vidéo conférence est un parcours de combattant, mais il faut savoir maîtriser le trafic car beaucoup de monde s'intéresse à ce service, donc il serait rentable de le lancer. L'avantage est le fait de pouvoir réserver des ressources pour des services tels que la vidéo conférence. L'exploitation de la maîtrise du trafic, augmente la capacité du réseau à supporter d'une fluidité considérable à servir ses usagers aux prix d'une complexité relative

ANNEXE 1

EXEMPLES DE PROGRAMME POUR HANDOVER SOUS NS-3

```
#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"

using namespace ns3;

NS_LOG_COMPONENT_DEFINE ("ExampleHandover");

void
NotifyConnectionEstablishedUe (std::string context,
                               uint64_t imsi,
                               uint16_t cellid,
                               uint16_t rnti)
{
    std::cout << Simulator::Now ().GetSeconds () << " " << 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 << Simulator::Now ().GetSeconds () << " " << 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 << Simulator::Now ().GetSeconds () << " " << 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 << Simulator::Now ().GetSeconds () << " " << 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 << Simulator::Now ().GetSeconds () << " " << 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 << Simulator::Now ().GetSeconds () << " " << context
        << " eNB CellId " << cellid
        << ": completed handover of UE with IMSI " << imsi
        << " RNTI " << rnti
        << std::endl;
}
int
main (int argc, char *argv[])

```

```

{

uint16_t numberOfUes = 1;
uint16_t numberOfEnbs = 2;
uint16_t numBearersPerUe = 2;
double simTime = 0.300;
double distance = 100.0;

Config::SetDefault ("ns3::UdpClient::Interval", TimeValue (Milliseconds (10)));
Config::SetDefault ("ns3::UdpClient::MaxPackets", UIntegerValue (1000000));
Config::SetDefault ("ns3::LteHelper::UseIdealRrc", BooleanValue (false));

CommandLine cmd;
cmd.AddValue ("numberOfUes", "Number of UEs", numberOfUes);
cmd.AddValue ("numberOfEnbs", "Number of eNodeBs", numberOfEnbs);
cmd.AddValue ("simTime", "Total duration of the simulation (in seconds)", simTime);
cmd.Parse (argc, argv);

Ptr<LteHelper> lteHelper = CreateObject<LteHelper> ();
Ptr<PointToPointEpcHelper> epcHelper = CreateObject<PointToPointEpcHelper> ();
lteHelper->SetEpcHelper (epcHelper);
lteHelper->SetSchedulerType ("ns3::RrFfMacScheduler");
lteHelper->SetHandoverAlgorithmType ("ns3::NoOpHandoverAlgorithm"); // disable automatic
handover

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
Ptr<ListPositionAllocator> positionAlloc = CreateObject<ListPositionAllocator> ();
for (uint16_t i = 0; i < numberOfEnbs; i++)
{
    positionAlloc->Add (Vector (distance * 2 * i - distance, 0, 0));
}
for (uint16_t i = 0; i < numberOfUes; i++)
{
    positionAlloc->Add (Vector (0, 0, 0));
}
MobilityHelper mobility;
mobility.SetMobilityModel ("ns3::ConstantPositionMobilityModel");
mobility.SetPositionAllocator (positionAlloc);
mobility.Install (enbNodes);
mobility.Install (ueNodes);

// Install LTE Devices in eNB and UEs
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));
// Assign IP address to UEs, and install applications
for (uint32_t u = 0; u < ueNodes.GetN (); ++u)
{
    Ptr<Node> ueNode = ueNodes.Get (u);
    // Set the default gateway for the UE
    Ptr<Ipv4StaticRouting> ueStaticRouting = ipv4RoutingHelper.GetStaticRouting (ueNode-
>GetObject<Ipv4> ());
    ueStaticRouting->SetDefaultRoute (epcHelper->GetUeDefaultGatewayAddress (), 1);
}
// 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 ("Mise en marche de l'application");
// Install and start applications on UEs and remote host
uint16_t dlPort = 10000;
uint16_t ulPort = 20000;

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 interface
lteHelper->AddX2Interface (enbNodes);

// X2-based Handover
lteHelper->HandoverRequest (Seconds (0.100), ueLteDevs.Get (0), enbLteDevs.Get (0),
enbLteDevs.Get (1));

// Uncomment to enable PCAP tracing
//p2ph.EnablePcapAll("lena-x2-handover");

lteHelper->EnablePhyTraces ();
lteHelper->EnableMacTraces ();
lteHelper->EnableRlcTraces ();
lteHelper->EnablePdcPTraces ();
Ptr<RadioBearerStatsCalculator> rlcStats = lteHelper->GetRlcStats ();
rlcStats->SetAttribute ("EpochDuration", TimeValue (Seconds (0.05)));
Ptr<RadioBearerStatsCalculator> pdcpStats = lteHelper->GetPdcPStats ();
pdcpStats->SetAttribute ("EpochDuration", TimeValue (Seconds (0.05)));

// 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));
Simulator::Stop (Seconds (simTime));
Simulator::Run ();
Simulator::Destroy ();
return 0;
}

```

ANNEXE 2

UN TELEPHONE COMPATIBLE AU PROJET

Un des téléphones compatible à notre projet de fin d'études serait le Samsung Galaxy S5 dont voici la fiche technique qui lui correspond se trouve à l'adresse suivantes : « <http://www.01net.com/fiche-produit/fiche-technique-16608/smartphones-samsung-galaxy-s5/> ». Mais la partie qui nous intéresse est représentée par la figure A ci-dessous, plus précisément celle encadré en rouge.

COMMUNICATION	
GSM	Oui
Bandes GSM	850/900/1800/1900/2100/2600 MHz
Compatible réseau EDGE	Oui
Compatible réseau GPRS	Oui
Compatible réseau 3G (UMTS)	Oui
Débit max en réception (HSDPA)	42 Mbit/s
Débit max en émission (HSUPA)	11 Mbit/s
Compatible réseau 4G (LTE)	Oui
Stockage en ligne	Oui
Taille de l'espace de stockage mis à dispo (Go)	15
Client e-mail pop/imap	Oui
Client e-mail Exchange	Oui
Sauvegarde en ligne	Oui

Figure A.1 : Exemple de téléphone support une vidéo conférence LTE

BIBLIOGRAPHIE

- [1] G. Wei, « *Optimisation du handover dans le protocole ipv6 mobile avec la méthode E-HCF* » Thèse de doctorat, Université Paris XII, 2007.
- [2] S. Choi – kfc3 et R. Zhang, « *Performance of video conferencing over dual band Wi-Fi networks* », Final Project, ENSC 835 Communication Networks.
- [3] M. A. Rakotomalala, « *Réseaux 2G, 3G, 4G* » Cours Master II, Département Télécommunications, E.S.P.A, A.U : 2013-2014.
- [4] R. Rajaonarison , « *Technologie MIMO, Télécommunication spatiale* », Cours Master II, Département Télécommunications, E.S.P.A, A.U : 2013-2014.
- [5] A. A. Randriamitantoa, « *QoS et Ingénierie des réseaux* », Cours Master II, Départements Télécommunications, E.S.P.A, A.U : 2014-2015.
- [6] R. Rajaonarison , « *Traitement et compression vidéo* », Cours Master II, Département Télécommunications, E.S.P.A, A.U : 2014-2015.
- [7] M. Ravonimanantsoa, « *Traitement d'images* », Cours 4ème année, Département Télécommunications E.S.P.A, A.U : 2014-2015.
- [8] Dana Ravonimanantsoa , « *Simulation des systèmes de Télécommunication et Multimédia* », Cours 4ème année, Département Télécommunications E.S.P.A, A.U : 2014-2015.
- [9] G. Mauricio, I. Ruiz, « *Performances des Réseaux LTE* », Institut National Polytechnique de Toulouse (INP Toulouse), Doctorat, année : 2012.
- [10] A. Abdelghani, « *Impact des interférences de la couche physique sur la couche mac dans la technologie LTE* », Université du Québec à Trois-Rivières, Maîtrise, Juin 2012.
- [11] Yannick Bouguen, Éric Hardouin, François-Xavier Wolff, « *LTE et les réseaux 4G : La mobilité en mode connecté* », année 2013.
- [12] Site officiel du simulateur NS-3, « <http://www.nsnam.org/> », année 2014.

- [13] <http://cpp.developerz.com>.
- [14] <http://blogs.technet.com/b/dcaro/default.aspx>.
- [15] <http://www.univ-pau.fr/~artouste/fr/composants/gnuplot/ManuelutilisateurGnuplot.htm>.
- [16] Page web officielle de Gnuplot, « <http://www.gnuplot.info/> ».
- [17] S. Srikanth, V. Kumaran, Manikandan C., « *Orthogonal Frequency Division Multiple Access* », Research Center, Anna University, Chennai, India, mail : srikanth@au-kbc.org.
- [18] C. Servin, Chargé de cours au CNAM de Paris et en écoles d'ingénieur Ancien responsable télécom au ministère de la Défense, « *Réseaux et télécommunications : Cours et exercices corrigés* », année : 2010.
- [19] <http://www.dunod.com>.
- [20] <http://www.teletopix.org/category/4g-lte/>
- [21] <http://www.bouyguestelecom-entreprises.fr/>
- [22] J. Surati PIT, Vadodara, « *Evaluate the Performance of Video Transmission Using H.264 (SVC) Over Long Term Evolution (LTE)* », Janvier 2014.
- [23] <http://www.ijritcc.org>.
- [24] <http://www.01net.com/fiche-produit/fiche-technique-16608/smartphones-samsung-galaxy-s5/>

RESUME

La demande d'utilisation de données mobiles (comme la vidéoconférence ou les jeux en ligne) est de plus en plus développée. Par conséquent, le LTE 4G s'est révélé adapté à la demande et ainsi devenu populaire depuis quelques années. Notre objectif dans ce projet de mémoire est d'analyser la qualité de service en évaluant les paramètres (débit, délai, gigue, paquet perdu) pour des vidéos de nature différents en taille et en qualité.

Utilisant Network Simulator 3 (NS-3), la mesure peut s'effectuer suivant les deux liaisons c'est-à-dire la liaison descendante et ascendante y compris les trafics internet permettant de connecter l'un des interlocuteurs à l'autre bout du réseau.

Mots clés : LTE, Vidéo, QoS, Debit, delai, Gigue, Paquet perdu

ABSTRACT

The demand for mobile data usage (such as videoconferencing or online gaming) is becoming more developed. Therefore, the 4G LTE proved suitable for the demand and thus become popular in recent years. Our objective in this thesis project is to analyze the quality of service by evaluating the parameters (throughput, delay , jitter , packet loss) for the different nature of video size and quality.

Using Network Simulator 3 (NS -3), the measurement can be made according to two links that is to say, the downlink and uplink including internet traffic to connect one of the speakers at the other end network.

Key words: LTE, Video, QoS, Throughput, Delay, Jitter, lost Packet

FICHE DE RENSEIGNEMENTS

Nom : RAZAKASATA

Prénom : Manassé

Adresse : Lot VT GII 7 Q Ter Ampatsy Soamanandrany

- 101- Antananarivo Madagascar

Contact : +261 33 14 797 77 ou +261 34 14 797 77

E - mail : razakasata@gmail.com

Titre du mémoire :

« CONCEPTION ET DEVELOPPEMENT D'UN MODELE DE VIDEO
CONFERENCE MOBILE DANS LE RESEAU LTE »

Nombre de pages : 97

Nombre de tableaux : 7

Nombre de figures : 40

Directeur de mémoire :

Nom : RATSIHOARANA

Prénom : Constant

Grade : Maitre de Conférence et Enseignant Chercheur à l'E.S.P.A

E-mail : ratsihoarana.constant@yahoo.fr

Téléphone : +26133 16 023 76

