

République Algérienne Démocratique Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

**Université d'Ibn Khaldoun – Tiaret**

Faculté des Mathématiques et Informatique

**Département Informatique**

Thème

**Qualité de service (QoS) dans les réseaux mobiles 4G**

Pour L'obtention du diplôme de Master

Spécialité : Réseaux et télécommunications

**Rédigé par : M<sup>elle</sup> BENELHADJDJELLOUL Assia**

M<sup>elle</sup> Larbi zohra

**Dirigé par : Mr. Mostefaoui Kadda**

**Année universitaire 2015-2016**



## Résumé

La Qualité de Service (QoS) est un facteur déterminant dans la mesure des performances des services réseaux. Avec l'émergence des services multimédias dans les réseaux mobiles, des travaux pour l'introduction de la qualité de service dans les réseaux mobiles ont été proposés.

Dans notre étude nous nous intéressons à la qualité de service (QoS) dans les réseaux mobiles 4G. La qualité de service (QoS) au niveau d'un réseau se décline en certain nombre de paramètres : le délai, la gigue, le débit (la bande passante) et la perte de paquet et sécurité. Ces paramètres permettent de spécifier la qualité de service (QoS) de différentes manières selon les exigences des usagers et des applications.

Dans ce travail, nous avons accentué notre étude sur la description, l'étude et l'analyse de certains paramètres de la qualité de service (QoS) réellement. Le simulateur utilisé pour simuler le réseau 4G est l'OMNeT++, afin de pouvoir analyser la qualité des transmissions de paquets telle que délai, gigue et bande passante dans nos simulations.

**Mot clé :** 2G, 3G, 4G, 5G, QoS, OMNeT++.

## Sommaire

Introduction Générale.....	2
Chapitre1 : Différentes Générations de Téléphonie Mobile	
Introduction.....	4
I.Réseau de téléphonie mobile.....	4
II.La téléphonie mobile, ou téléphonie cellulaire.....	5
III.Les différentes normes téléphoniques.....	5
1. La première génération des téléphones mobiles (1G) .....	5
2. La deuxième génération des téléphones mobiles (2G).....	6
2.1 Les technologies 2G .....	6
2.2 Le réseau GSM.....	7
2.2.1 L'architecture du réseau GSM.....	7
2.3 Le réseau GPRS (2.5G) .....	11
2.3.1 Le type de transmission dans le réseau GPRS.....	13
2.4 EDGE Enhanced Data rate for GSM Evolution .....	13
3. La troisième génération des téléphones mobiles 3G.....	14
3.1 Architecture du réseau UMTS .....	14
3.1.1 Le débit de l'UMTS.....	15
3.1.2 Le mode de transmission dans le réseau UMTS.....	15
3.2 HSDPA (High Speed Downlink Packet Access).....	16
4. La quatrième génération des téléphones mobiles (4G).....	17
4.1 Définition des réseaux LTE .....	17
Conclusion.....	18
Chapitre 2 : Etude détaillée de réseaux 4G	
Introduction.....	18
1. Définition de la 4G.....	18
2. Les objectifs du LTE (4G): .....	18
3. Architecture du réseau LTE .....	19
3.1 L'équipement utilisateur (UE) .....	21
3.2 Le E -UTRAN (réseau d'accès).....	21
3.3 EPC (Evolved Packet Core).....	22
3.3.1 Signalisation.....	23
4. Les caractéristiques fondamentales de la 4G (LTE).....	24

4.1	Débits et fréquences du réseau 4G (LTE) .....	24
4.2	Latence .....	25
4.3	L'agilité en fréquence .....	25
4.4	Codage et sécurité.....	25
4.5	Multiplexage.....	26
4.5.1	Structure d'une trame LTE .....	26
4.6	Mobilité .....	28
4.7	Les types de transmission utilisée dans la 4G .....	29
4.7.1	OFDMA .....	29
4.7.2	SC-FDMA.....	30
4.8	Les avantages et les inconvénients de réseaux mobiles 4G (LTE).....	30
4.9	La 4G dans le Monde .....	32
4.9.1	Europe .....	31
4.9.2	Asie .....	32
4.9.3	états-Unis .....	32
4.9.4	La 4G LTE en Algérie .....	32
5.	Comparaison entre les réseaux 3G et 4G.....	33
Conclusion .....		35

### Chapitre 3 : Généralité sur la Qualité de Service

Introduction.....		35
I.Qualité de Service (QoS).....		35
1.	Définition (QoS).....	35
2.	Services de la QoS :.....	36
3	But de la QoS .....	36
4.	Critères de la QoS.....	37
4.1	Le débit .....	37
4.2	La perte de paquets.....	37
4.3	Le délai de transit (latence).....	37
4.4	La gigue.....	37
II.La gestion de la qualité de service .....		38
1.	Le modèle Diffserv.....	38
2.	Le modèle Intserv/RSVP .....	39
III.Qualité de service dans le réseau 4G.....		40
1.	Le bearer EPS.....	40

2.	Les Performance des réseaux 4G .....	40
2.1	Une mobilité à toute épreuve.....	40
2.2	Des temps de réponse rapides.....	41
2.3	La voix sur IP .....	41
2.4	Débit sur l'interface radio.....	41
2.5	Connexion permanente.....	41
2.6	Délai pour la transmission de données .....	42
2.7	Co-existence et Interfonctionnement avec la 4G.....	42
2.8	Flexibilité dans l'usage de la bande.....	42
	Conclusion.....	43

#### CHAPITRE 4 : Résultats et interprétations

	Introduction.....	43
	I.La simulation.....	43
	II.Choix du simulateur.....	43
1.	LTE-SIM.....	44
2.	Le simulateur OPNET Modele.....	44
3.	Le simulateur NS2.....	45
4.	Le simulateur NS 3.....	46
5.	Le simulateur OMNET.....	46
5.1	Présentation .....	47
5.2	La structure d'OMNET .....	48
5.3	Installation du simulateur OMNET++ .....	48
5.4	Les principaux fichiers d'OMNET++ .....	49
5.4.1	Fichier (.Ned) : .....	49
5.4.2	Fichier (.ini) : .....	51
5.4.3	Fichier (.msg) : .....	51
5.5	Ses avantages .....	52
5.6	Les plates formes d'OMNeT++ .....	52
5.6.1	INET Framework .....	52
5.6.1.1	Installation d'INET .....	53
5.6.2	SimuLTE .....	54
5.6.2.1	Installation de SimuLTE .....	54
	III.Résultats détaillés.....	54
1.	Modèle d'étude.....	54

2. Le rapport signal sur bruit(SINR) .....	55
3. Le débit.....	56
4. Le délai (latence teste) .....	57
Conclusion.....	59
Conclusion Générale.....	60
Bibliographie.....	61
Liste des Figure.....	64
Liste des Tableau.....	66
Liste des abréviations.....	67





---

# **Introduction Générale**

## Introduction Générale

Les télécommunications jouent un rôle très important dans la vie des hommes. Ils ont de plus en plus besoin de communiquer, d'échanger des informations, de n'importe quel lieu, à n'importe quel moment, avec des exigences accrues sur la rapidité et la qualité des transmissions. Avec les multimédias et l'événement de l'Internet le besoin de transmettre des flux de voix, de vidéo, d'images fixes ou autres types d'informations, en plus des données qui montent en flèche. Il s'agit d'une part du déploiement de plusieurs générations successives de réseaux de télécommunications essentiellement dédiés à la téléphonie (2G, GSM) puis plus orientés vers le multimédia (3G, UMTS).

Cette dernière a ouvert la porte à un nouveau système progressé par les chercheurs afin d'améliorer la qualité de service dans les réseaux mobiles qui se nomment la (4G, LTE).

Dans le cadre de notre travail, nous nous sommes intéressés à l'étude de la qualité de service (QoS) dans les réseaux mobiles 4G, nous allons étudier ce réseau en détail, présenter et étudier ces performances, présenter les différents paramètres de la Qualité de Service et enfin faire une simulation démontrant les performances des réseaux de 4ème génération cellulaire.

Pour effectuer ce travail nous avons choisi de travailler avec le simulateur OMNeT++ afin de pouvoir faire une bonne simulation et obtenir des bons résultats.

Ce mémoire est divisé en quatre chapitres:

Le premier chapitre présente les différentes normes (générations) de téléphonie mobile, on commencera tout d'abord par l'ancienne génération très connue et très répandue dans le monde la 2G (GSM), c'est la norme la plus utilisée dans le monde de nos jours et est toujours utilisée, ensuite on passera à la 2.5G (GPRS) le réseau issu du réseau GSM, ce réseau et une extension du réseau GSM, après on présentera les réseaux 3G (UMTS).

Le deuxième chapitre donne une étude détaillée sur réseau 4 G (la quatrième génération de réseau mobile).

Le 3ème chapitre est consacré essentiellement à la qualité de service dans les réseaux mobiles. Nous présenterons les fondements de base et les différents modèles de la qualité de service.

Le 4ème chapitre présente l'outil de simulation OMNeT++, ainsi l'analyse des résultats de simulation.

Finalement ce mémoire est clôturé par une conclusion générale résumant les idées fondamentales que nous a apportées ce travail.



# **Chapitre 1**

## **Différentes Générations de Téléphonie Mobile**

## Chapitre1 : Différentes Générations de Téléphonie Mobile

### Introduction

Depuis plusieurs années le développement des réseaux mobiles n'a pas cessé d'accroître, plusieurs générations ont vues le jour (**1G**, **2G**, **3G**, **4G** et prochainement la **5G** pas encore mise en œuvre) et connues une évolution remarquable, en apportant un débit exceptionnel et qui ne cesse d'augmenter, une bande passante de plus en plus large et un des avantages d'une telle bande passante est le nombre d'utilisateurs pouvant être supportés.

Les réseaux de la 1ère génération (appelée aussi 1G) ont été intégrés au réseau de télécommunication dans les années 80. Ces systèmes ont cependant été abandonnés il y a quelques années laissant la place à la seconde génération, appelée 2G lancée en 1991. Elle est encore active de nos jours. Nous pouvons distinguer deux autres types de générations au sein même de la seconde : la 2.5 et la 2.75. Le principal standard utilisant la 2G est GSM.

A la différence de la 1G, la seconde génération de normes permet d'accéder à divers services, comme l'utilisation du WAP permettant d'accéder à Internet, tant dit que pour la 3ème génération connue sous le nom de 3G permet un haut débit pour l'accès à l'internet et le transfert de données.

En ce qui concerne la nouvelle génération 4G(LTE), déployée à ce jour par quelque pays permet le très haut débit, une moindre latence et beaucoup d'autres services qu'on verra par la suite dans le prochain chapitre.

Dans ce chapitre, on présentera dans un premier lieu le concept cellulaire, Dans la deuxième partie, on présentera les différentes générations de téléphones mobiles, leurs architectures ainsi que d'autres services pouvant être utilisés par chacune de génération cellulaire.

### I. Réseau de téléphonie mobile

Un réseau de téléphonie mobile a une structure « cellulaire » qui permet de réutiliser de nombreuses fois les mêmes fréquences ; il permet aussi à ses utilisateurs en mouvement de changer de cellule (handover) sans coupure des communications en cours. Dans un même

pays, aux heures d'affluence, plusieurs centaines de milliers, voire plusieurs millions d'appareils sont en service par exemple avec dans le cas du GSM seulement 500 canaux disponibles. [1]

## II. La téléphonie mobile, ou téléphonie cellulaire

Un système radiotéléphonie a pour but de permettre à un terminal d'accéder au réseau téléphonique sur un territoire d'une assez grande étendue (par exemple, un pays, voire un continent). Ce service utilise une liaison radiotéléphonie entre le terminal et le réseau.

La téléphonie cellulaire est un cas particulier de la radiotéléphonie. Un réseau est dit cellulaire s'il comprend un ensemble de cellules dont la taille dépend de la puissance d'émission des émetteurs et surtout de la nature de l'environnement (Urbain, Suburbain, Rural). [2]

## III. Les différentes normes téléphoniques

Avant d'expliquer l'état actuel des technologies utilisées aujourd'hui, il nous semble intéressant de rappeler l'évolution de ces techniques, cela a pour avantage de savoir de quoi nous sommes partis pour mieux se positionner à l'heure actuelle.

### 1. La première génération des téléphones mobiles (1G) :

La première génération de systèmes cellulaires (1G) reposait sur un système de communications mobiles analogiques.

La première génération des téléphones mobiles est apparue dans le début des années 80 en offrant un service médiocre et très coûteux de communication mobile. La première génération (1G) avait beaucoup de défauts, comme les normes incompatibles d'une région à une autre, une transmission analogique non sécurisée (Ecouter les appels), pas de roaming vers l'international (roaming est la possibilité de conserver son numéro sur un réseau d'un autre opérateur). [3]

Il s'agissait principalement des standards suivants :

- **AMPS** (Advanced Mobile Phone System) : Norme analogique de première génération déployée aux États-Unis à partir de 1976. ce réseau analogique de première génération possédait de faibles mécanismes de sécurité rendant possible le piratage de lignes téléphoniques.
- **NMT** (Nordica Mobile Phone): a été essentiellement conçu dans les pays nordiques et utilisés dans d'autres parties de la planète.
- **TACS** (Total Access Communications System), qui repose sur la technologie AMPS, a été fortement utilisé en Grande Bretagne.

Cette première génération de réseaux cellulaires utilisant une technologie analogique a été remplacée dès l'apparition d'une seconde génération plus performante utilisant une technologie numérique. [4]

## 2. La deuxième génération des téléphones mobiles (2G)

La deuxième génération (2G) a marqué le passage de l'analogique (premiers téléphones portables) vers le numérique. Cette seconde génération de réseaux mobiles a permis les premiers envois de MMS (photos, sons), comme la génération 1G qui avait permis l'envoi des tous premiers SMS. Lorsque l'on parle de 2G, **il s'agit d'une sorte de « réseau internet »**. Le téléphone portable doit juste être compatible pour permettre l'accès Internet. Cependant aujourd'hui, **la plupart des Smartphones sont au minimum compatibles au réseau 2.5G**. [4]

### 2.1 Les technologies 2G

En quelques années, la deuxième génération (2G) a vu se succéder différentes technologies permettant d'atteindre un débit moyen et maximal à chaque fois plus élevé. [4]



<b>Comparatif 2G</b>			
<b>GÉNÉRATION</b>	<b>TECHNOLOGIE</b>	<b>DÉBIT MINIMUM ET DÉBIT MAXIMUM</b>	<b>DÉBIT MOYEN</b>
<b>2G</b>	<b>GSM</b>	<b>9.6 kbit/s</b>	<b>9.6 kbit/s</b>
<b>2.5G</b>	<b>GPRS</b>	<b>Entre 20 et 175 kbit/s</b>	<b>48 kbit/s</b>
<b>2.75G</b>	<b>EDGE</b>	<b>Entre 40 et 350 kbit/s</b>	<b>171 kbit/s</b>

Tableau 1: différents débits 2G

## 2.2 Le réseau GSM

Le réseau GSM constitue au début du 21<sup>ème</sup> siècle le standard de téléphonie mobile le plus utilisé en Europe. Il s'agit d'un standard de téléphonie dit « de seconde génération » (2G) car, contrairement à la première génération de téléphones portables, les communications fonctionnent selon un mode entièrement numérique. La norme GSM autorise un débit maximal de 9,6 kbps, ce qui permet de transmettre la voix ainsi que des données numériques de faible volume, par exemple des messages textes (SMS) ou des messages multimédias (MMS). [12]

### 2.2.1 L'architecture du Réseau GSM

Le réseau GSM est composé de trois sous-systèmes:

#### ❖ Le sous-système radio (BSS)

Ce sous-système est constitué de stations de base BTS (Base Transceiver Station), qui assure le lien radioélectrique avec les stations mobiles MS. Les BTS sont gérées par un

contrôleur de stations de base BSC (Base Station Controller), qui assure également la fonction de concentration du trafic. [3]

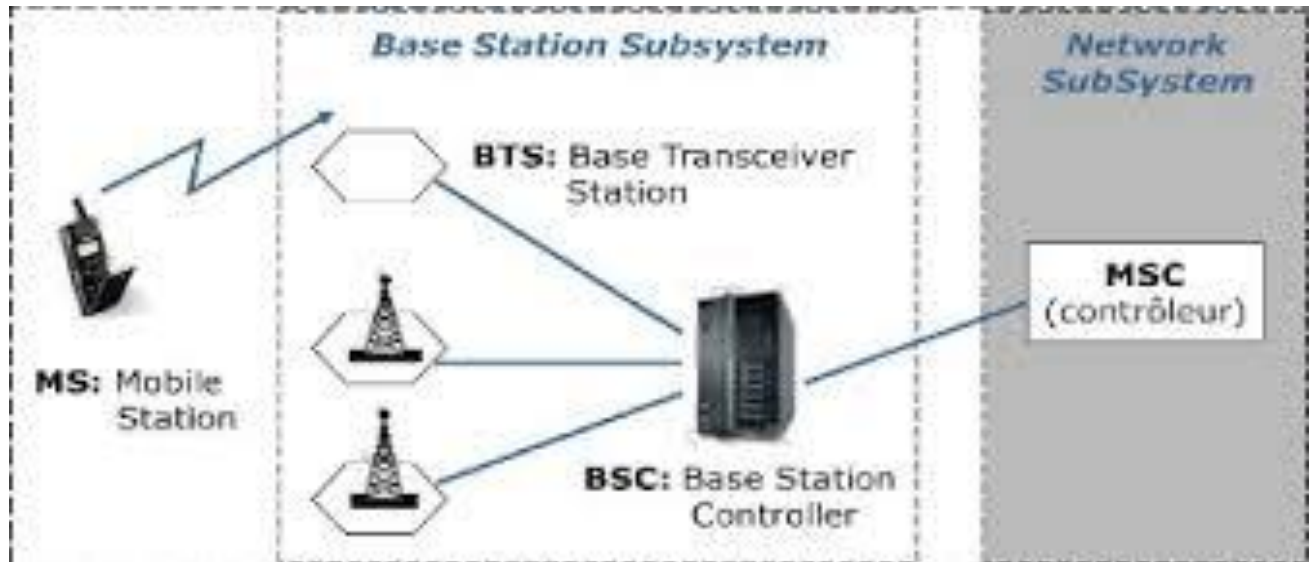


Figure 1 : l'architecture de BTS, BSC

#### ❖ Le sous-système réseau NSS

Son rôle est d'assurer les fonctions de commutations et de routage. C'est donc lui qui permet l'accès au réseau public RTCP ou RNIS. En plus des fonctions indispensables de commutation, on y retrouve les fonctions de gestion de la mobilité, de la sécurité et de la confidentialité qui sont implantées dans la norme GSM. Il se compose de plusieurs Equipements, en citant quelques-uns :

- **HLR (Home Location Register)**

Le HLR est une base de données de localisation et de caractéristiques des abonnés. Un réseau peut posséder plusieurs HLR selon des critères de capacité de machines, de fiabilité et d'exploitation.

Le HLR est l'enregistreur de localisation nominale par opposition au VLR qui est l'enregistreur de localisation des visiteurs.

Le HLR est une base de données qui conserve des données statiques sur l'abonné et qui administre des données dynamiques sur le comportement de l'abonné. [3]

- **VLR (Visitor Location Register)**

L'enregistreur de localisation des visiteurs est une base de données associée à un commutateur MSC.

Le VLR a pour mission d'enregistrer des informations dynamiques relatives aux abonnés de passage dans le réseau, ainsi l'opérateur peut savoir à tout instant dans quelle cellule se trouve chacun de ses abonnés.

Les données mémorisés par le VLR sont similaires aux données du HLR mais concernent les abonnés présents dans la zone concernée.

A chaque déplacement d'un abonné le réseau doit mettre à jour le VLR du réseau visité et le HLR de l'abonné afin de mesurer d'acheminer un appel vers l'abonné concerné ou d'établir une communication demandée par un abonné visiteur. [3]

- **MSC (Mobile Switching Centre)**

Les MSC sont des commutateurs de mobiles généralement associés aux bases de données VLR. Le MSC assure une interconnexion entre le réseau mobile et le réseau fixe public. Le MSC gère l'établissement des communications entre un mobile et un autre MSC, la transmission des messages courts et l'exécution du handover si le MSC concerné est impliqué. Le commutateur est un nœud important du réseau, il donne un accès vers les bases de données du réseau et vers le centre d'authentification qui vérifie les droits des abonnés. En connexion avec le VLR le MSC contribue à la gestion de la mobilité des abonnés (à la localisation des abonnés sur le réseau) mais aussi à la fourniture de toutes les télé services offerts par le réseau : voix, données, messageries... Le MSC peut également posséder une fonction de passerelle, GMSC (Gateway MSC) qui est activée au début de chaque appel d'un abonné fixe vers un abonné mobile. [3]

- **l'AUC (Authentication Center)**

Le centre d'authentification AUC (Authentication Center) mémorise pour chaque abonné une clé secrète utilisée pour authentifier les demandes de services et pour chiffrer (crypter) les communications. L'AUC de chaque abonné est associé au HLR. Pour autant le HLR fait partie du « sous-système fixe » alors que l'AUC est attaché au « sous-système d'exploitation et de maintenance ». [3]

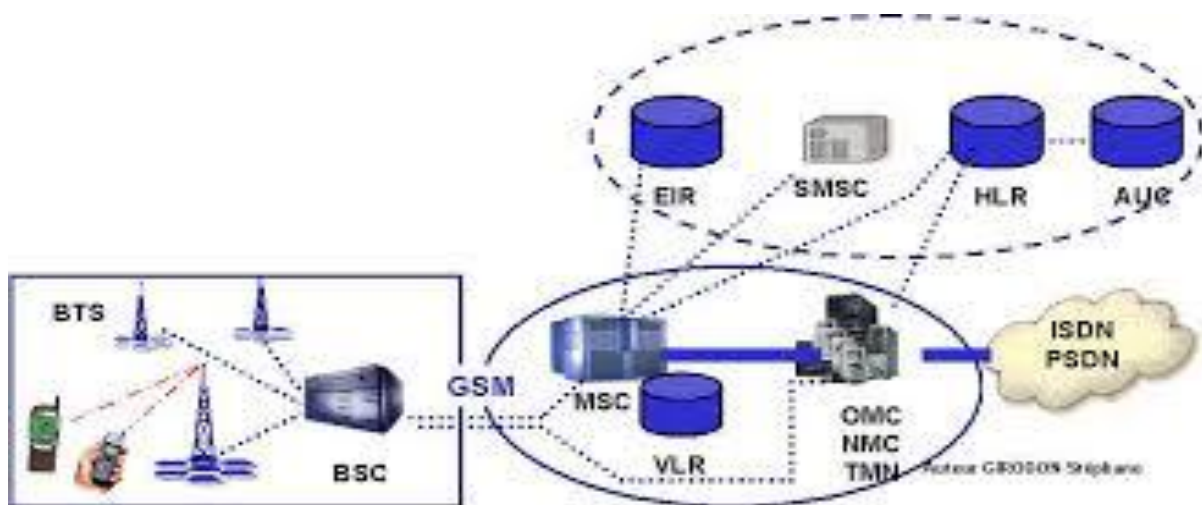


Figure 2 : sous-système réseau NSS (GSM)

- ❖ **Le sous-système d'exploitation et de maintenance OMC**

Il est utilisé par l'opérateur pour administrer son réseau, de manière locale par des OMC (Opération and Maintenance Centre), et de manière générale par les NMC (Network Management Centre). Les fonctions de sécurité et de contrôle d'accès au réseau sont assurées par le centre d'authentification AUC (AUthentication Centre) et l'enregistreur des identités des équipements EIR (Equipment Identity Register). [9]

- **La station mobile (MS)**

La station mobile MS (Mobile Station) désigne un équipement terminal muni d'une carte SIM (Subscriber Identity Module) qui permet d'accéder aux services de télécommunications d'un réseau mobile GSM. La carte SIM d'un abonné est généralement du

format d'une carte de crédit. Elle contient toutes les informations nécessaires au bon fonctionnement du mobile:

- Ses identités:
  - ✓ IMSI (international Mobile Subscriber Identity).
  - ✓ TMSI (Temporary Mobile Subscriber Identity) : Temporaire et valable seulement au sein d'un VLR
- Eventuellement un code PIN (bloquant la carte après trois essais).
- Sa clé de chiffrement.
- Sa clé d'authentification.

Le terminal est muni d'une identité particulière, l'IMEI (International Mobile Equipment Identity). Cette identité permet en particulier de déterminer le constructeur de l'équipement. [9]

### **2.3 Le réseau GPRS (2.5G)**

Le réseau GPRS vient d'ajouter un certain nombre de « modules » sur le réseau GSM sans changer le réseau existant. Ainsi son but est de conserver l'ensemble des modules de l'architecture GSM, nous verrons par ailleurs que certains modules GSM seront utilisés pour le fonctionnement du réseau GPRS.

La mise en place d'un réseau GPRS va permettre à un opérateur de proposer de nouveaux services de type « Data » à ses clients. Le GPRS est en mode paquets. La figure 3 présente l'architecture du réseau GPRS. [3]

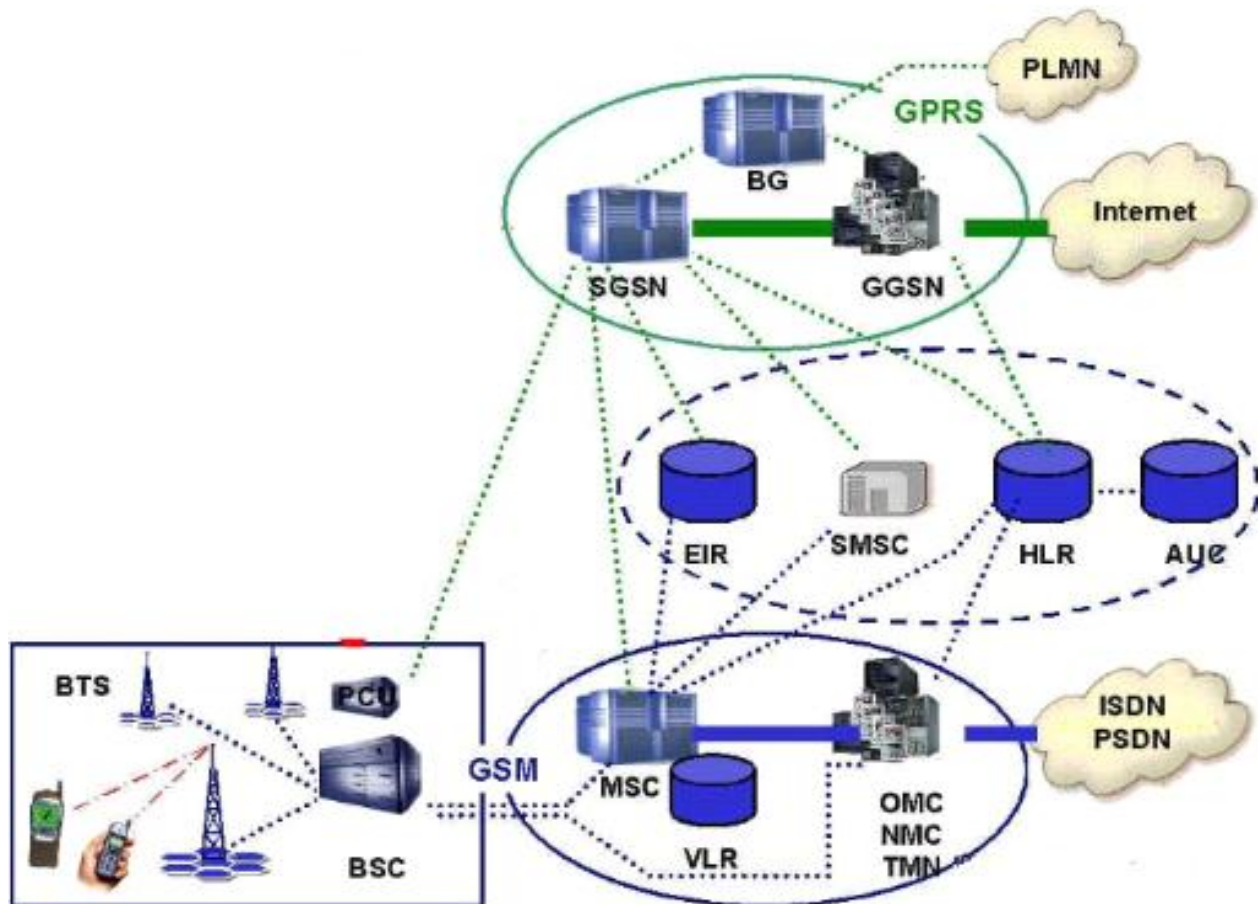


Figure 3 : l'architecture du réseau GPRS.

Un réseau GPRS est un réseau IP. Qui est donc constitué de routeurs IP. L'introduction de la mobilité nécessite par ailleurs la présence de deux nouveaux équipements supplémentaires équipent la partie NSS de l'opérateur.

- **Le nœud de service SGSN (Serving GPRS Support Node)**

Le commutateur SGSN est l'élément le plus important dans le réseau GPRS. C'est le point du service d'accès à la station mobile. Ses principales fonctions incluent la gestion de mobilité, l'enregistrement et l'authenticité (légalisation). Il trouve son utilité beaucoup plus avec les mobiles à flux de données en paquet, qui peuvent être compressés et segmentés par des protocoles comme le SNDCP (Sub-Network Dependent Convergence Protocol) et le LLC (Logical Link Control). Le SGSN est aussi responsable de l'accordement du protocole GTP (Gate Tunneling Protocol) aux autres commutateurs. [9]

- **Le nœud de passerelle GGSN (Gateway GPRS Support Node)**

Le GGSN est connecté au SGSN sur le bord du réseau et aux autres réseaux extérieurs comme l'Internet et le X.25. Comme il est la porte vers les réseaux extérieurs, sa principale fonction est de protéger le réseau GPRS de tout événement extérieur. Quand les données sont issues d'un réseau externe, après vérification d'adresse, les données sont envoyées vers le SGSN. Si l'adresse est invalide, les données sont rejetées. D'autre part, le SGSN achemine les paquets reçus du mobile vers le réseau correct. Pour les réseaux externes, le rôle de SGSN est l'acheminement d'information. [9]

- **Le module BG (Border Gateway) pour la sécurité**

Les recommandations introduisent le concept de BG (Border Gateway) qui permettent de connecter les réseaux GPRS via un réseau fédérateur et qui assurent les fonctions de sécurité pour la connexion entre ces réseaux. Ces BG jouent le rôle d'interface avec les autres PLMN (Public Land Mobile Network) permettant ainsi de gérer les niveaux de sécurité entre les réseaux (par exemple entre deux réseaux de deux opérateurs concurrents). [3]

### **2.3.1 Le type de transmission dans le réseau GPRS**

Ce standard utilise un mode de transmission par paquet. Lorsque le mobile transmet des données vers un terminal fixe, les données sont transmises via le BSS (BTS + BSC) au SGSN qui envoie ensuite les données vers le GGSN qui les route vers le destinataire.

Le routage vers des terminaux (terminal mobile vers terminal mobile ou terminal fixe vers terminal mobile) utilise le principe de l'encapsulation et des protocoles tunnels. Les données revues par le GGSN sont transmises au SGSN dont dépend le mobile destinataire. [3]

## **2.4 EDGE Enhanced Data rate for GSM Evolution**

Le service GPRS permet de considérer le réseau GSM comme un réseau à transmission de données par paquets, compatible avec les réseaux IP et X.25. Les débits instantanés maximaux peuvent théoriquement atteindre 171.2kbits/s au niveau radio. Pour augmenter encore les débits offerts, une nouvelle modulation est spécifiée au sein du projet Enhanced Data for GSM Evolution, EDGE. En utilisant une modulation 8PSK, il est donc possible de

multiplier les débits par trois par rapport au GPRS (qui utilise la même modulation GMSK à deux états que le GSM).

La combinaison de l'EDGE et du GPRS, appelée GERAN (GSM/EDGE Radio Access Network), est une proposition "d'accès" au réseau UMTS (Universal Mobile Terrestrial System). La combinaison d'EDGE avec les services circuits classiques du GSM, permet de définir des circuits de données à des débits allant jusqu'à 43.2kbits/s, tout en utilisant un seul canal physique. Combiné au GPRS c'est-à-dire à la fourniture de services de données en mode paquet. EDGE permet là encore d'augmenter sensiblement les débits offerts. [9]

### **3. La troisième génération des téléphones mobiles 3G**

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

#### **3.1 Architecture du réseau UMTS**

Le réseau cœur de l'UMTS s'appuie sur les Eléments de base du réseau GSM et GPRS. Il est en charge de la commutation et du routage des communications (voix et données) vers les réseaux externes. Dans un premier temps le réseau UMTS devrait s'appuyer sur le réseau GPRS.

Le réseau UMTS vient se combiner aux réseaux déjà existants GSM et GPRS, qui apportent les fonctionnalités Multimédia.

Le réseau cœur se décompose en deux parties : le domaine circuit dans un premier temps et le domaine paquet. La figure 4 présente l'architecture du réseau UMTS. [3]



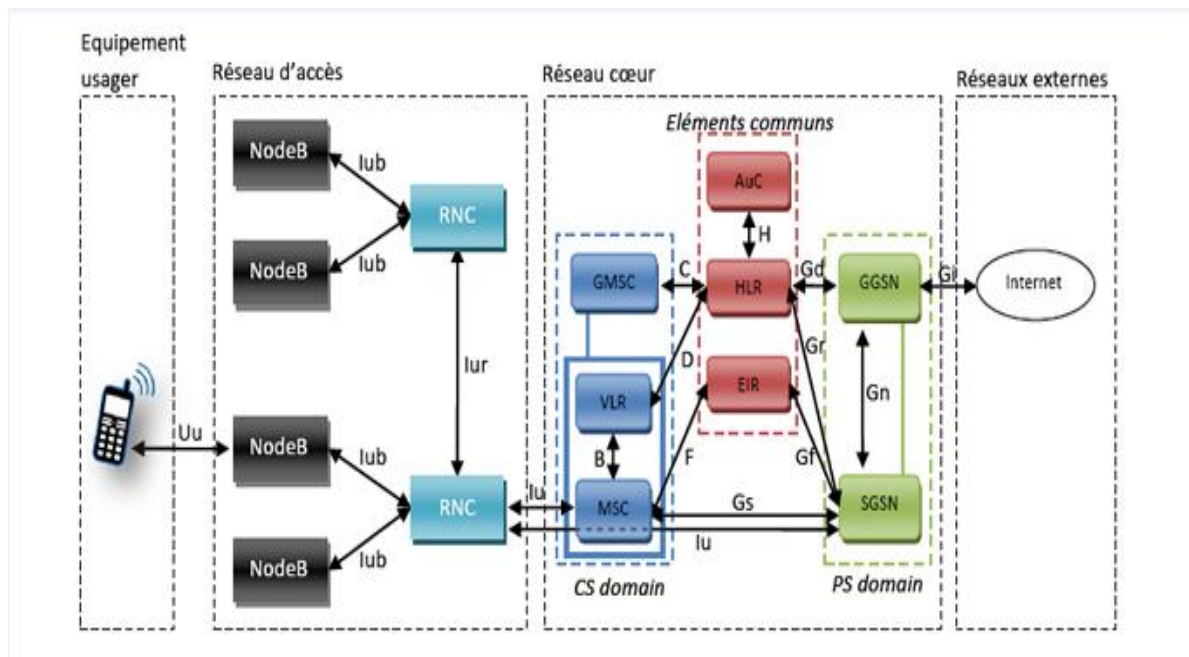


Figure 4 : Architecture du réseau UMTS

### 3.1.1 Le débit de l'UMTS

L'UMTS permet théoriquement des débits de transfert de 1,920 Mbit/s, mais à la fin 2004 les débits offerts par les opérateurs dépassent rarement 384 Kbit/s. Néanmoins, cette vitesse est nettement supérieure au débit de base GSM qui est de 9,6 kbit/seconde. Le débit est différent suivant le lieu d'utilisation et la vitesse de déplacement de L'utilisateur :

- En zone rurale : 144 kbit/s pour une utilisation mobile (voiture, train, etc.) ;
- En zone urbaine : 384 kbit/s pour une utilisation piétonne.
- En zone bâtiment : 2000 kbit/s depuis un point fixe.

Grâce à son débit, l'UMTS ouvre la porte à des applications et services nouveaux.

L'UMTS permet en particulier de transférer dans des temps relativement courts des contenus multimédia tels que les images, les sons et la vidéo.

Les nouveaux services concernent surtout l'aspect vidéo : Visiophonie, MMS Vidéo, Vidéo à la demande, Télévision. [3]

### 3.1.2 Le mode de transmission dans le réseau UMTS

Ce réseau repose sur deux modes :

- **Le mode circuit**

Le domaine circuit permettra de gérer les services temps réels dédiés aux conversations téléphoniques (vidéo-téléphonie, jeux vidéo, applications multimédia). Ces applications nécessitent un temps de transfert rapide. Lors de l'introduction de l'UMTS le débit du mode circuit sera de 384 Kbits/s. L'infrastructure s'appuie alors sur les principaux éléments du réseau GSM : MSC/VLR (Bases données existantes) et le GMSC afin d'avoir une connexion directe vers le réseau externe. [3]

- **Le mode paquet**

Le domaine paquet permettra de gérer les services non temps réels. Il s'agit principalement de la navigation sur Internet, de la gestion de jeux en réseaux ainsi que l'accès et l'utilisation des e-mails. Ces applications sont moins sensibles au temps de transfert, c'est la raison pour laquelle les données transiteront en mode paquet. Le débit du domaine paquet sera sept fois plus rapide que le mode circuit, environ 2Mbits/s. L'infrastructure s'appuie alors sur les principaux éléments du réseau GPRS : SGSN (bases de données existantes en mode paquet GPRS, équivalent des MSC / VLR en réseau GSM) et le GGSN (équivalent du GMSC en réseau GSM) qui jouera le rôle de commutateur vers le réseau Internet et les autres réseaux publics ou privés de transmission de données. [3]

### **3.2 HSDPA (High Speed Downlink Packet Access)**

De la même façon que les réseaux de la deuxième génération (2G) ont connu une évolution en débits entre le mode GPRS et l'amélioration EDGE, les réseaux de la troisième génération (3G) UMTS ont un mode amélioré qualifié de **3,5G** (ou 3G+ chez certains opérateurs) sous la forme de la technologie HSDPA (High Speed Downlink Packet Access).

Le High Speed Downlink Packet Access (abrégé en HSDPA) est un protocole pour la téléphonie mobile parfois appelé 3,5G, 3G+, ou encore turbo 3G dans sa dénomination commerciale. Il offre des performances dix fois supérieures à la 3G (UMTS R9) dont il est une évolution logicielle. Cette évolution permet d'approcher les performances des réseaux DSL (Digital Subscriber Line). Il permet théoriquement de télécharger (débit descendant) 1,8 Mbit/s, 3,6 Mbit/s, 7,2 Mbit/s et 14,4 Mbit/s. Il est basé sur la technologie de communication

WCDMA (Wideband-Code Division Multiple Access) définie par la norme WCDMA 3GPP. Il est le lien descendant du réseau vers le terminal à haut débit en mode paquets. [4]

#### 4. La quatrième génération des téléphones mobiles (4G)

La norme LTE-advanced impose des critères de base sur le débit et sur la latence, comme le résume le tableau suivant :

		LTE	LTE-advanced
<b>Débits crêtes maximums</b>	<b>Descendant</b>	<b>300 Mb/s</b>	<b>1 Gb/s</b>
	<b>Montant</b>	<b>75 Mb/s</b>	<b>500 Mb/s</b>
<b>Bandes de fréquence</b>		<b>1.4 à 20 MHz</b>	<b>100 MHz</b>
<b>latence</b>	<b>Données</b>	<b>10 ms</b>	<b>10 ms</b>
	<b>Session</b>	<b>100 ms</b>	<b>50 ms</b>
<b>Efficacité spectral DL/UL</b>	<b>Max</b>	<b>5.0/2.5 b/s/Hz</b>	<b>30/15 b//Hz</b>
	<b>Moyen</b>	<b>1.8/0.8 b/s/Hz</b>	<b>2.6/0.2 b/s/Hz</b>
	<b>En limite</b>	<b>0.04/0.02 b/s/Hz</b>	<b>0.009/0.07 b/s/Hz</b>

Tableau 2: Différents Paramètres du LTE.

La 4G est la quatrième génération de réseau mobile, elle est la norme succédant à la 3G, on Etudiera cette génération plus en détail dans le prochain chapitre.

Pour résumer, la 4G c'est la norme des standards de téléphonie mobile permettant des débits jusqu'à 50 fois plus important que la première norme. [3]

##### 4.1 Définition des réseaux LTE

Les services de communications mobiles sont entrain de suivre la même évolution que celle des services fixes, c'est-à-dire une transition accélérée vers l'accès à très haut débit. Ce sont les réseaux 4G qui permettent de répondre aux demandes croissantes des usages mobiles, tant en termes de qualité des services offerts que de capacité d'écoulement du trafic par les réseaux.

La technologie LTE « Long Terme Evolution » offre aux utilisateurs des débits de plusieurs dizaines de Mbit/s, largement supérieurs aux performances des technologies 3G et 3G+ actuellement déployées, ainsi que des latences plus faibles favorisant une meilleure interactivité.

Avec la 4G, on se dirige vers la transmission de toutes les informations voix et données par IP, le même protocole qu'ont utilisé sur Internet. Pour les fournisseurs, c'est plus facile et moins cher à gérer. Sa facilite aussi le développement d'applications multimédias.

Cette génération permet des vitesses de téléchargement plus rapides et des temps de latence plus courts. Selon les critères de l'Union internationale des télécommunications (UIT), qui établit les normes pour les réseaux cellulaires, la vraie 4G devrait offrir des vitesses de téléchargement de 100 Mbit/s pour un utilisateur en mouvement et de 1 Gbit/s en mode stationnaire. [4]

## **Conclusion**

Dans ce chapitre introductif, nous avons présenté d'une façon générale les différentes générations de téléphone mobiles et les principales caractéristiques d'un réseau cellulaire.

La mise en œuvre du service GPRS implique une évolution matérielle et logiciel s'ajoutant au réseau GSM déjà existants. L'évolution du GSM vers GPRS prépare à l'introduction des réseaux de troisième génération l'UMTS. En ce qui concerne l'infrastructure, des modifications doivent être effectuées pour l'intégration du GPRS ou l'UMTS par l'ajout d'autres équipements, et le chargement de logiciels.

Le GPRS constitue une évolution majeure vers la troisième génération (UMTS). Il est conçu pour la transmission de données en mode paquet pour assurer l'accès simple au réseau Internet.

Dans le chapitre suivant nous allons détailler la quatrième génération «4G» (LTE).

# **Chapitre 2**

## **Etude détaillé de réseaux 4G**

## Chapitre 2 : Etude détaillée de réseaux 4G

### Introduction

L'idée et le projet pour développer la technologie LTE sont menés par l'organisme de standardisation 3GPP visant à rédiger les normes techniques de la future quatrième génération en téléphonie mobile.

Cette technologie a comme but de permettre le transfert de données à très haut débit, avec une portée plus importante, un nombre d'appels par cellule supérieur (zone dans laquelle un émetteur mobile peut entrer en relation avec des terminaux) et un temps de latence plus faible.

En théorie, elle permet d'atteindre des débits de l'ordre de 50 Mb/s en lien ascendant et de 100 Mb/s en lien descendant, de partager entre les utilisateurs mobiles à l'intérieure d'une même cellule. Pour les opérateurs (qui ont la partie la plus importante pour supporter cette technologie), LTE implique de modifier le cœur du réseau et les émetteurs radio. Il faut également développer des terminaux mobiles adaptés.

En termes de vocabulaire informatique, le futur réseau s'appelle EPS (Evolved Packet System). Il est combiné du nouveau réseau appelé LTE (Long Term Evolution) et du nouveau réseau central appelé SAE (System Architecture Evolution).

### I. Réseaux 4G(LTE)

#### 1. Définition de la 4G (LTE)

La 4ème génération vise à améliorer l'efficacité spectrale et à augmenter la capacité de gestion du nombre de mobiles dans une même cellule. Elle tente aussi d'offrir des débits élevés en situation de mobilité et à offrir une mobilité totale à l'utilisateur en établissant l'interopérabilité entre différentes technologies existantes. Elle vise à rendre le passage entre les réseaux transparent pour l'utilisateur, à éviter l'interruption des services durant le transfert intercellulaire, et à basculer l'utilisation vers le tout-IP. [7]

#### 2. Les objectifs du LTE (4G):

Les principaux objectifs visés par les réseaux de 4<sup>ème</sup> génération sont les suivants :

- Assurer la continuité de la session en cours.
- Réduire les délais et le trafic de signalisation.
- Fournir une meilleure qualité de service.
- Optimiser l'utilisation des ressources.
- Réduire le délai de relève, le délai de bout-en-bout, la gigue et la perte de paquets.
- Minimiser le cout de signalisation.
- Prise en charge multimédia interactives, voix, vidéo, Internet sans fil et autres services large bande. [3]

### **3. Architecture du réseau LTE**

Les réseaux LTE sont des réseaux cellulaires constitués de milliers de cellules radio qui utilisent les mêmes fréquences hertziennes, y compris dans les cellules radio mitoyennes, grâce aux codages radio OFDMA et SC-FDMA. La figure 5 présente l'architecture du réseau LTE.

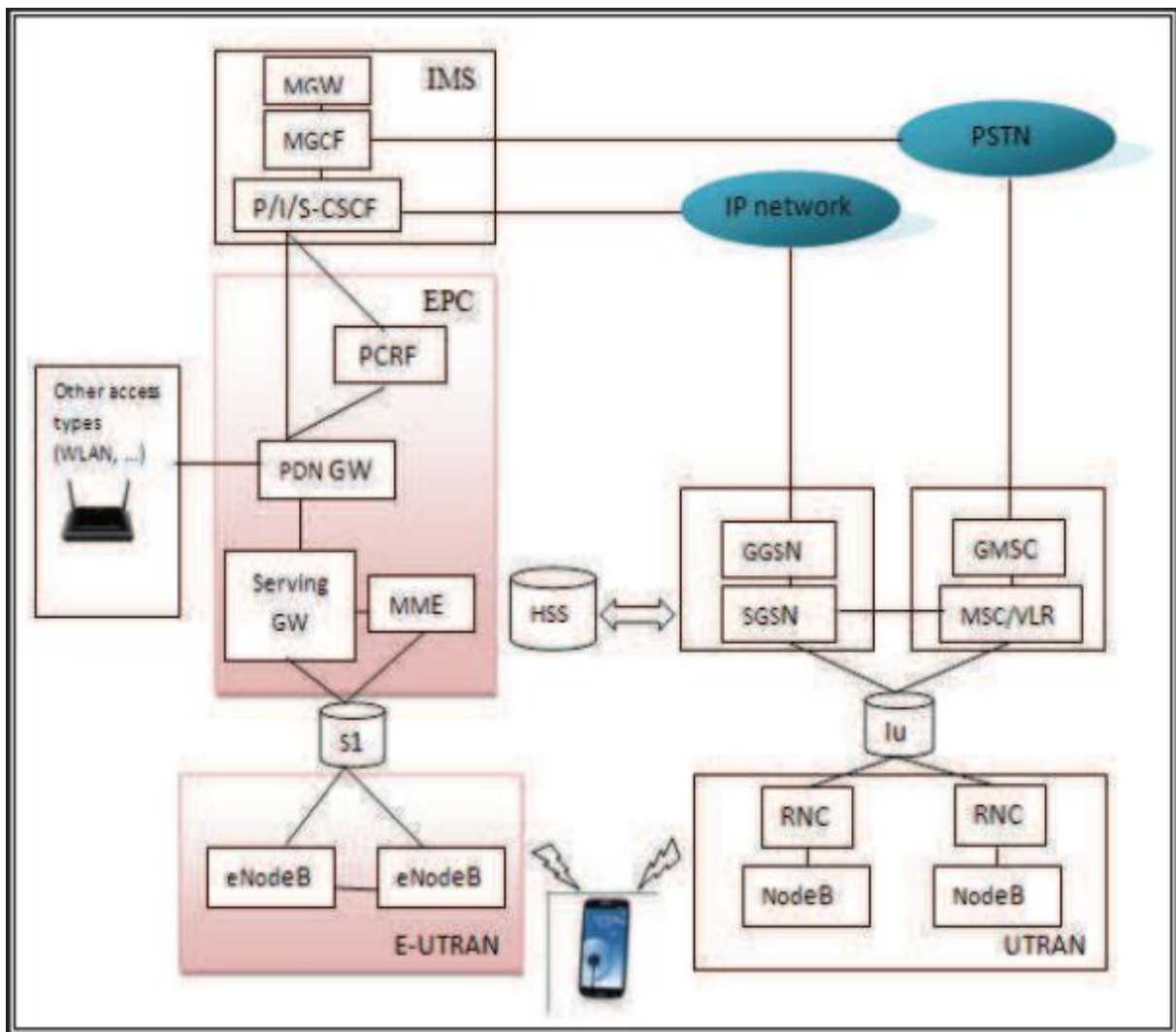


Figure 5 : Architecture générale du LTE.

L'architecture du réseau LTE de haut niveau est composée de trois éléments principaux suivants :

- L'équipement utilisateur (UE).
- L'UMTS Terrestrial Radio Access Network Evolved (E-UTRAN).
- Evolved Packet Core (EPC).



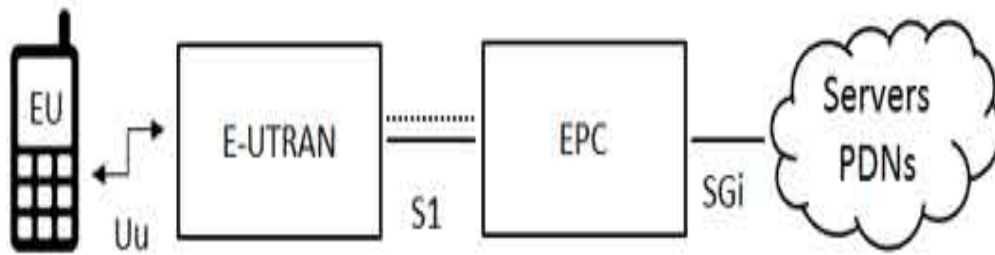


Figure 6 : Architecture Simple de l'EPS

### 3.1 L'équipement utilisateur (UE)

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

- Terminaison mobile : elle assure toutes les fonctions de communication.
- Equipment Terminal : il assure le flux de données
- Universal Integrated Circuit Card (UICC) : également connu comme la carte SIM pour les équipements LTE. Il exécute une application connue sous le nom Universal SubscriberIdentity Module (USIM). Un USIM stocke les données spécifiques à l'utilisateur, il permet l'identification et la sécurité de ce dernier dans le réseau. [6]

### 3.2 Le E -UTRAN (réseau d'accès)

L'architecture de la partie accès radio, Evolved Umts Terrestrial Radio Access Network (EUTRAN) est illustrée sur la figure suivante :

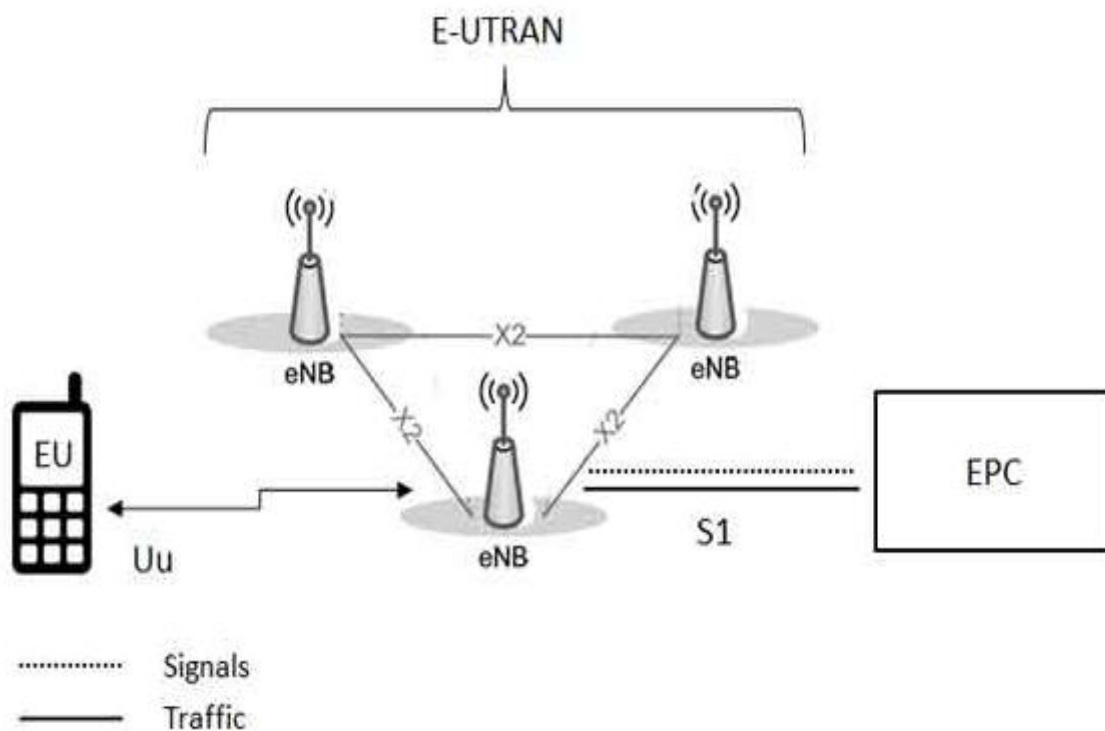


Figure 7 : L'architecture de évolué UMTS Terrestrial Radio Access Network (E -UTRAN)

#### ❖ eNodeB

L'E-UTRAN gère les communications radio entre l'UE et le réseau cœur EPC. Il n'a qu'un seul composant, les stations de base évolués appelés eNodeB ou eNB.

Chaque eNodeB est une station de base qui commande les mobiles dans une ou plusieurs cellules, elle envoie et reçoit des transmissions radio à tous les mobiles à l'aide de fonctions de traitement numérique du signal de l'interface radio LTE.

Chaque eNodeB se connecte avec l'EPC par l'intermédiaire de l'interface S1 et il peut également être connecté à des stations de base voisines par l'interface X2, qui est principalement utilisé pour la signalisation et le transfert de paquets pendant le Handover. [6]

### 3.3 EPC (Evolved Packet Core)

Le cœur de réseau appelé «EPC» (Evolved Packet Core) utilise des technologies « full IP», c'est-à-dire basées sur les protocoles Internet pour la signalisation qui permet des temps de latence réduits, le transport de la voix et des données. Ce cœur de réseau permet l'interconnexion via des routeurs avec les autres eNodeB distants, les réseaux des autres

opérateurs mobiles, les réseaux de téléphonie fixe et le réseau Internet. EPC Simplifie le réseau d'architecture à tout IP, comme il assure la mobilité entre 3GPP based système, et aussi non 3GPP based système par exemple WIMAX et CDMA2000. Le réseau cœur EPC est constitué de plusieurs Eléments comme la montre la figure suivante : [3]

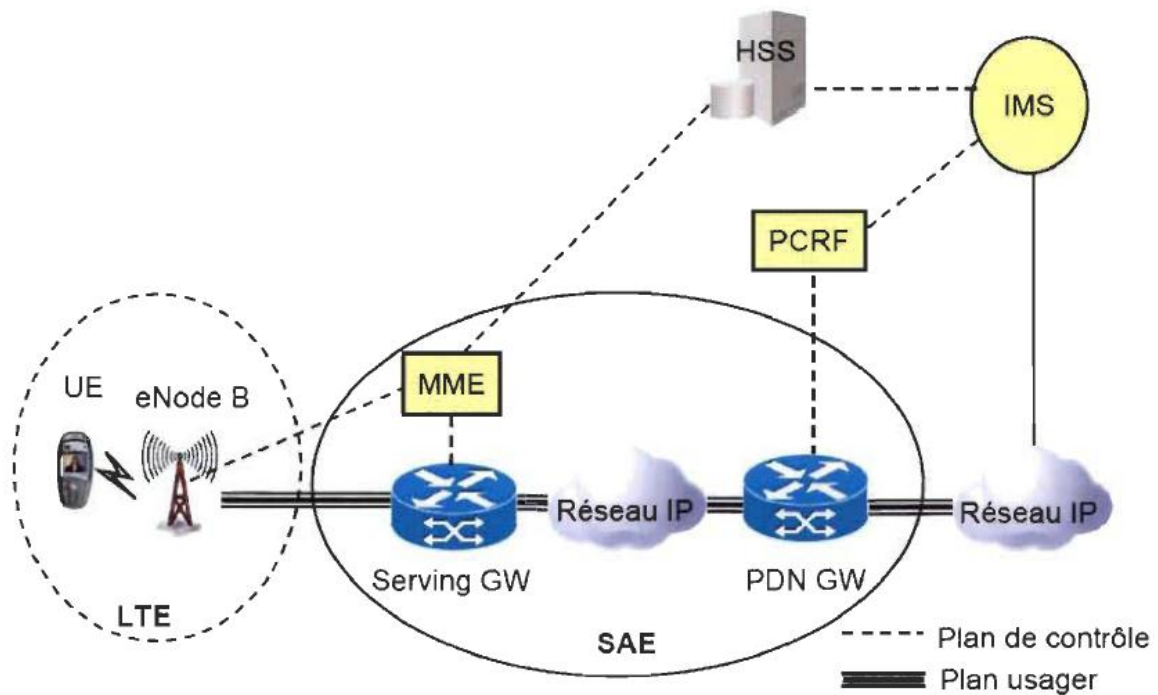


Figure 8 : Architecture du réseau cœur EPC.

EPC est l'élément principal de l'architecture SAE. Il a un rôle équivalent du NSS dans le réseau GPRS.

### 3.3.1 Signalisation

Gère la mobilité et le rattachement des abonnés sur le réseau, il s'agit du MME. Une base de données permettant entre autre d'authentifier l'abonné, de consulter leurs abonnements et de chiffrer les communications, il s'agit du HSS.

Une politique de tarification, qui permet de gérer l'accès au réseau de données (PDN) en fonction du forfait de l'abonnée, il s'agit du PCRF. [3]

#### ❖ MME : Mobility Management Entity

Cette partie est responsable de la localisation et la poursuite du terminal mobile (UE) entre les appels et la sélection d'une bonne S-GW (Serving-GetWay) à travers une connexion. Comme elle réalise le dernier point de la protection par codage, donc par conséquent c'est le point qui valide l'interception de signalisation. Ainsi, qu'elle contrôle le signal entre le UE (Utilisateur Equipment) et le réseau cœur, et assure l'établissement, la maintenance, et l'élargissement de la porteuse radio services. [3]

❖ **HSS : Home Subscriber Server**

Base de données, évolution du HLR de la 3G. Elle contient les informations de souscriptions pour les réseaux GSM, GPRS, 3G et LTE. [7]

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

Le PGW (PDN GW, passerelle PDN) fournit la connectivité vers les réseaux externes tels qu'internet et Intranets. Il réalise les procédures d'allocation de l'adresse IP au mobile, d'interception légale et de taxation des flux de service montants et descendants. [3]

❖ **SGW: Serving Gateway**

Joue le rôle d'une passerelle lors du Handover inter-domaines et inter-réseaux. Responsable du routage des paquets. [7]

❖ **PCRF: Policy and Charging Rules Function**

Responsable sur la décision principale du contrôle. Il fournit une QoS d'autorisation pour décider le traitement des données en respectant l'abonnement des utilisateurs. [3]

❖ **SGSN : Serving GRPS Support Nom**

Interconnecte le LTE, UMTS, et le réseau GSM pour augmenter la mobilité. [3]

#### **4. Les caractéristiques fondamentales de la 4G (LTE)**

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

##### **4.1 Débits et fréquences du réseau 4G (LTE)**

La technologie LTE offre un débit de 100 Mbit/s pour le flux descendant et de 50 Mbit/s pour le flux ascendant. Pour ce qui est de l'interface radio E-UTRAN, elle doit avoir la possibilité de supporter un débit maximum. L'allocation d'une bande passante 20 MHz supporte un débit de 100 Mbit/s pour le sens descendant et de 50 Mbit/s pour le sens ascendant. Les technologies utilisées pour atteindre ces objectifs sont OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) pour le sens descendant et SC-FDMA (Single Carrier - Frequency Division Multiple Access) pour le sens ascendant. [11]

## **4.2 Latence**

C'est la capacité à réagir rapidement à des demandes d'utilisateurs ou de services.

On a 2 plans : latence du plan de contrôle et latence du plan usager. [8]

### **❖ Latence du plan de contrôle**

L'objectif c'est d'améliorer la latence du plan de contrôle, par rapport à l'UMTS, d'un temps de transition inférieur à 100 ms. [8]

### **❖ Latence du plan usager**

La latence du plan usager correspond au délai de transmission d'un paquet IP au sein du réseau d'accès. Le LTE vise une latence du plan usager inférieure à 5 ms. [8]

## **4.3 L'agilité en fréquence**

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

## **4.4 Codage et sécurité**

L'utilisation du codage OFDMA ((Orthogonal Frequency Division Multiple Access)) est une technologie de codage radio de type « Accès multiple par répartition en fréquence »

(AMRF ou en anglais FDMA) pour la liaison descendante et du SC-FDMA (Le single-carrier FDMA est une technologie de codage radio de type accès multiple par répartition en fréquence pour la liaison montante au lieu du W-CDMA en UMTS).

L'OFDMA et sa variante SC-FDMA sont dérivés du codage OFDM (utilisé par exemple sur les liens ADSL et dans les réseaux Wifi), mais contrairement à l'OFDM, l'OFDMA est optimisé pour l'accès multiple, c'est-à-dire le partage simultané de la ressource spectrale (bande de fréquence) entre plusieurs utilisateurs distants les uns des autres. L'OFDMA est compatible avec la technique des antennes MIMO. [3]

## **4.5 Multiplexage**

Il existe deux modes de multiplexage de fréquences :

Les spécifications LTE prévoient le fonctionnement en mode dual : multiplexage de fréquences (FDD) et multiplexage temporel (TDD). En mode FDD (Frequency Division Duplexing), l'émission et la réception se font à des fréquences différentes. En mode TDD, l'émission et la réception transitent à une même fréquence, mais à des instants différents. C'est le premier mode (FDD) qui fait l'objet de l'appel à candidatures en France. C'est aussi celui qui est actuellement mis en œuvre dans les Equipements télécoms et déployé dans la plupart des premiers réseaux 4G LTE autorisés. Le deuxième mode (TDD) fonctionne sur des bandes de fréquences distinctes qui feront l'objet d'attributions ultérieures. [3]

### **4.5.1 Structure d'une trame LTE**

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

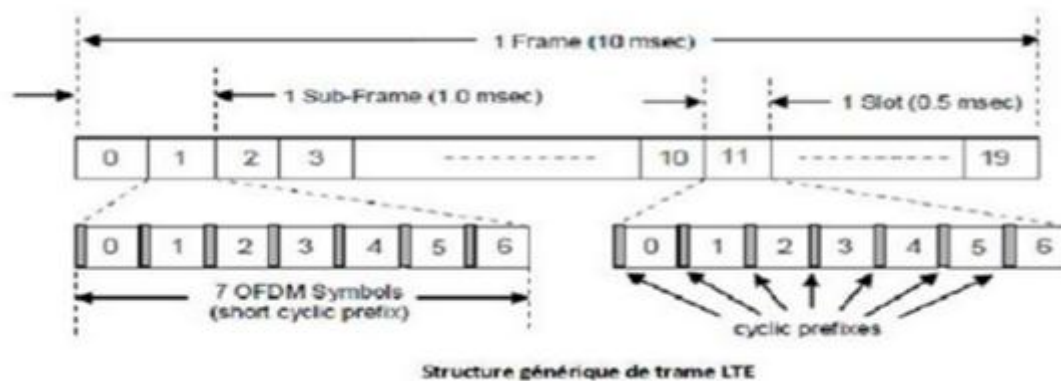


Figure 9 : Structure générique de trame LTE

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

#### ❖ Structure de type 1 : duplex de fréquence division FDD.

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

Cette technique permet d'émettre et de recevoir simultanément, c'est son principal avantage face à l'autre technique majeure de duplexage, le Time Division Duplexing (TDD). [3]

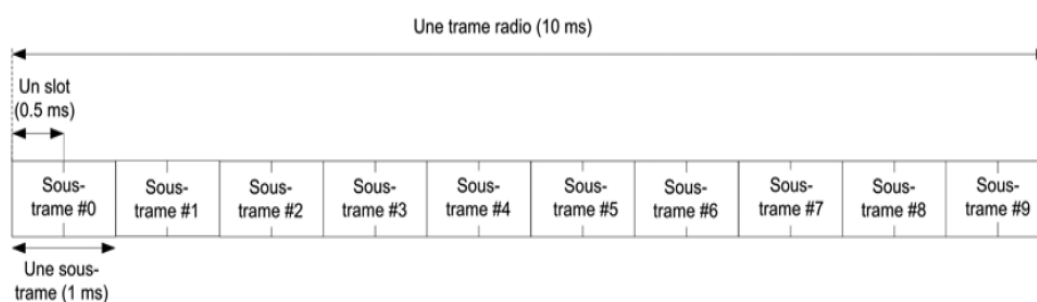
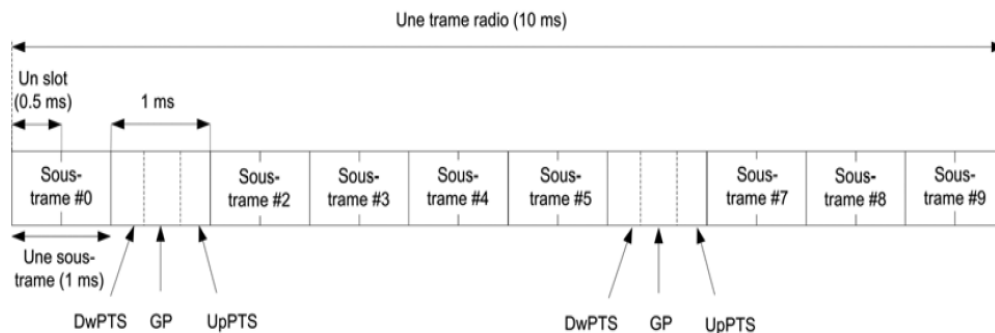


Figure 10 : Structure de trame en FDD

### ❖ Structure de type 2 : duplex par séparation temporelle TDD.

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

Cette technique présente un avantage certain dans le cas où les débits d'émission et de réception sont variables et asymétriques. Lorsque le débit d'émission augmente ou diminue, davantage ou moins de bande passante peut être allouée. Un autre avantage de cette technique concerne les terminaux mobiles se déplaçant à très faible vitesse ou en position fixe. Dans ce cas, la technique de "beamforming" est très efficace avec un système TDD. [3]



**Figure 11:** Structure de trame en TDD

## 4.6 Mobilité

La mobilité est une fonction clé pour un réseau mobile. Le LTE vise à rester fonctionnel pour des UE se déplaçant à des vitesses élevées (jusqu'à 350 km/h, et même 500 km/h en fonction de la bande de fréquences), tout en étant optimisé pour des vitesses de l'UE faibles (entre 0 et 15 km/h). Les services temps-réel comme le service voix doivent être proposés avec le même niveau de qualité qu'en UMTS Release 6. L'effet des handovers intra-système (procédure de mobilité entre deux cellules LTE) sur la qualité vocale doit être moindre qu'en GSM, ou équivalent. Le système doit également intégrer des mécanismes optimisant les délais et la perte de paquets lors d'un handover intra-système. [15]



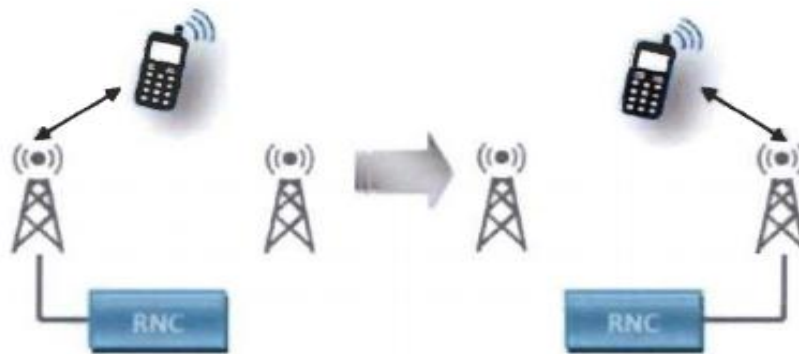


Figure 12: Le handover

## 4.7 Les types de transmission utilisée dans la 4G

Un des éléments clés de la LTE est l'utilisation de ces deux techniques OFDMA et SC-FDMA, qu'on présentera par la suite, en tant que porteur du signal et des régimes d'accès.

### 4.7.1 OFDMA

Le codage OFDMA consiste en un codage et une modulation numérique d'un ou plusieurs signaux binaires pour les transformer en échantillons numériques destinés à être émis sur une (ou plusieurs) antennes radio ; réciproquement le signal radio reçoit le traitement inverse en réception.

Le principe de l'OFDMA est de répartir sur un grand nombre de sous-porteuses le signal numérique que l'on veut transmettre ce qui permet, pour un même débit global, d'avoir sur chaque canal un débit plus faible et donc un temps d'émission de chaque symbole plus long (66.7  $\mu$ s pour le LTE) ; cela limite les problèmes d'interférences.

L'OFDMA a attiré l'attention comme une alternative séduisante au codage CDMA qui est utilisé dans les réseaux 3G UMTS, particulièrement dans le sens de transmission descendante des réseaux mobiles, car il permet pour une même largeur spectrale, un débit binaire plus élevé grâce à sa grande efficacité spectrale (nombre de bits transmis par Hertz) et à sa capacité à conserver un débit Elevé même dans des environnements défavorables avec échos et trajets multiples des ondes radio. Ce codage (tout comme le CDMA utilisé dans les

réseaux mobiles 3G) permet un facteur de réutilisation des fréquences égal à «1», c'est-à-dire que des cellules radio adjacentes peuvent réutiliser les mêmes fréquences hertziennes. [3]

#### **4.7.2 SC-FDMA**

Le single-carrier FDMA est une technologie de codage radio de type accès multiple par répartition en fréquence utilisée notamment dans les réseaux de téléphonie mobile de 4<sup>ème</sup> génération LTE.

Comme pour d'autres techniques à schéma d'accès multiples (TDMA, FDMA, CDMA, OFDMA), le but est l'attribution et le partage d'une ressource radio commune (bande de fréquence) entre plusieurs utilisateurs. Le SC-FDMA peut être considéré comme une variante linéaire des codages OFDM et OFDMA, dans le sens où il consiste aussi à répartir sur un grand nombre de sous-porteuses du signal numérique, mais il utilise en complément, une «DFT» (Transformation de Fourier discrète du signal) supplémentaire pour pré-coder l'OFDMA conventionnel.

Le SC-FDMA a attiré l'attention comme une alternative séduisante à l'OFDMA, particulièrement dans les communications terre-satellite et dans le sens de transmission montant des réseaux 4G LTE où son PAPR (peak-to-average power ratio) plus faible que celui de l'OFDMA bénéficie au terminal mobile en termes d'efficacité énergétique, en diminuant la puissance crête de transmission et donc le poids et le coût du terminal (Smartphone ou tablette tactile).

Il a été adopté pour les liaisons montant de certaines normes 3GPP, plus particulièrement pour la partie radio (eUTRAN) des réseaux mobiles « LTE », car ce codage permet de diminuer la consommation électrique du terminal et donc d'augmenter l'autonomie de sa batterie. Pour les liaisons radio descendants des réseaux LTE, pour lesquelles il y a moins de contraintes énergétiques, c'est l'OFDMA qui est utilisé car il permet pour une même largeur spectrale, un débit binaire plus élevé.

Codage radio OFDMA et SC-FDMA : conversion numérique/analogique. [3]

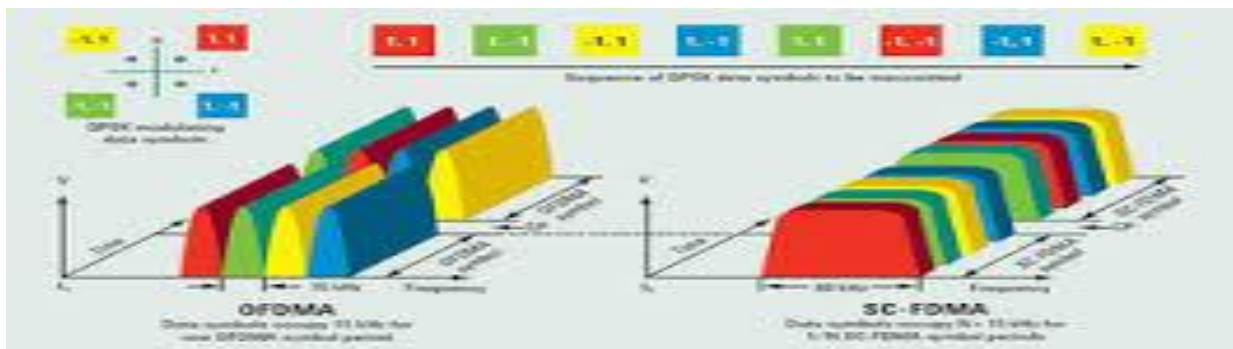


Figure 13: OFDMA et SC-FDMA

## 4.8 Les Avantages et Inconvénients de réseaux mobiles 4G (LTE)

### 4.8.1 Les Avantages

- ✓ permet d'accroître les débits des réseaux mobiles d'un facteur proche de 7 par rapport aux performances offertes actuellement aux utilisateurs de technologie 3G.
- ✓ Le 4G LTE offre le moyen le plus pratique pour transmettre de manière fiable les données sur de grands réseaux hautement distribués avec des vitesses plus rapides et une plus faible latence. Des améliorations de performance sont possibles en efficacité spectrale avec le HSPA +. Le 4G LTE est capable de fournir plus de données, à des taux plus rapides, sur une bande passante existante.
- ✓ temps de latence (réactivité du réseau) augmentés d'un facteur 10.
- ✓ amélioration de la flexibilité des fréquences télécoms, optimisation du spectre radio, simplification de la structure des réseaux mobiles et réduction du « coût par bit », possibilité d'offrir de nouveaux services générateurs de revenus et de marges plus élevées.
- ✓ Téléchargement des données plus rapide avec un débit cinq fois supérieur à celui de la 3G,
- ✓ Des appels vidéo de meilleure qualité. [20]

### 4.8.2 Inconvénients

- ✓ des différences de débits selon le lieu où l'on se trouve et l'appareil utilisé.
- ✓ Un des inconvénients majeurs Des abonnements parfois chers (selon les opérateurs).
- ✓ couverture de la 4G n'est pas encore totalement déployé et différente chez chaque opérateur. [20]

## 4.9 La 4G dans le Monde

Les normes LTE ont d'abord été considérées comme des normes de troisième génération (« 3,9G »), spécifiées dans le cadre des technologies IMT-2000. Cependant, en décembre 2010, l'UIT a accordé aux normes LTE la possibilité commerciale d'être considérées comme des technologies « 4G », du fait d'une amélioration sensible des performances comparées à celles des premiers systèmes « 3G ». Depuis lors, les réseaux mobiles LTE lancés partout dans le monde (par exemple : Proximus en Belgique, Swisscom en Suisse, Verizon, AT&T et Sprint aux États-Unis, Orange, Bouygues Telecom, SFR et Free Mobile en France...) sont commercialisés sous l'appellation « 4G ».

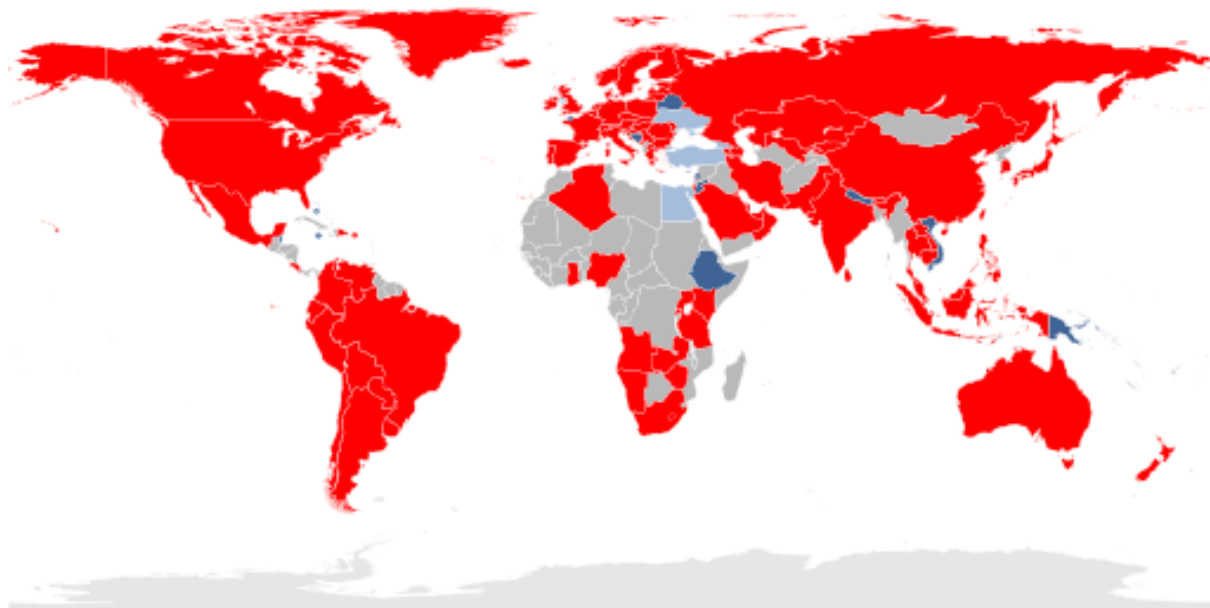


Figure 14 : Déploiement de la 4G dans le monde

### 4.9.1 Europe

L'Europe (via la CEPT) a fait le choix de réserver les bandes de fréquence des 800 MHz (issue du dividende numérique) et des 2 600 MHz pour les réseaux mobiles 4G, mais dans beaucoup de pays les opérateurs ont aussi la possibilité de réutiliser la bande de fréquence des 1800 MHz initialement attribuée au GSM (2G) ; cette bande de fréquence était la plus utilisée dans les réseaux 4G/LTE européens fin 2012.

La première commercialisation d'une offre mobile en 4G utilisant le standard LTE a été lancée dans les villes de Stockholm (Suède) et Oslo (Norvège) le 15 décembre 2009 par l'opérateur téléphonique TeliaSonera. [1]

#### ❖ Belgique

Le 5 novembre 2012, Proximus (Belgacom) lance officiellement la 4 G dans 5 grandes villes belges : Namur, Liège, Anvers, Gand et Louvain. Dans une moindre mesure, la 4G de Belgacom est également disponible à Mons, Wavre, Hasselt et Oude-Hervelee. Les premiers tests par les clients montrent une vitesse record de 53 Mbps. [1]

#### **4.9.2 Asie**

##### **❖ Thaïlande**

La Thaïlande a fait le choix des bandes de fréquence 1 800 MHz et 2 300 MHz. [1]

##### **❖ Singapour**

Singapour est précurseur en termes de 4G. Le deuxième opérateur de télécommunications du pays, StarHub, a lancé début juillet 2012 son réseau 4G dans le Central Business District (CBD) ainsi qu'à l'aéroport. Dans la foulée, l'opérateur historique SingTel et le troisième opérateur M1 prévoient tous de lancer leur réseau 4G prochainement. [1]

#### **4.9.3 États-Unis**

Les États-Unis, ont fait le choix des bandes de fréquence duplex (FDD) 700 MHz et 1700-2 100 MHz (fréquences dites « 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 LTE8 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 deuxième opérateur américain AT&T a lui aussi lancé une offre LTE 2011. [1]

#### **4.9.4 La 4G LTE en Algérie**

Algérie Télécom est le premier opérateur à commercialiser la 4G LTE en Afrique du Nord, et le deuxième au niveau africain, après l'Afrique du sud.

L'opérateur historique des télécommunications ALGERIETELECOM a pris l'initiative d'investir dans les nouvelles technologies, d'où on a opté pour le déploiement des équipements LTE début 2012.

## **5. Comparaison entre les réseaux 3G et 4G**

La figure suivante montre une simple comparaison entre l'architecture du réseau de troisième génération et celui de la quatrième génération.

- Les MME (Mobility Management Entity) remplacent les dispositifs PDSN / SGSN et BCS/RNC.
- Les eNodeBs remplacent les BTS / NodeB Seving.
- Les PDN (Packet Data Network) remplacent les GGSN. [3]

### Comparaison des débits médians\* des offres 3G et des offres 4G

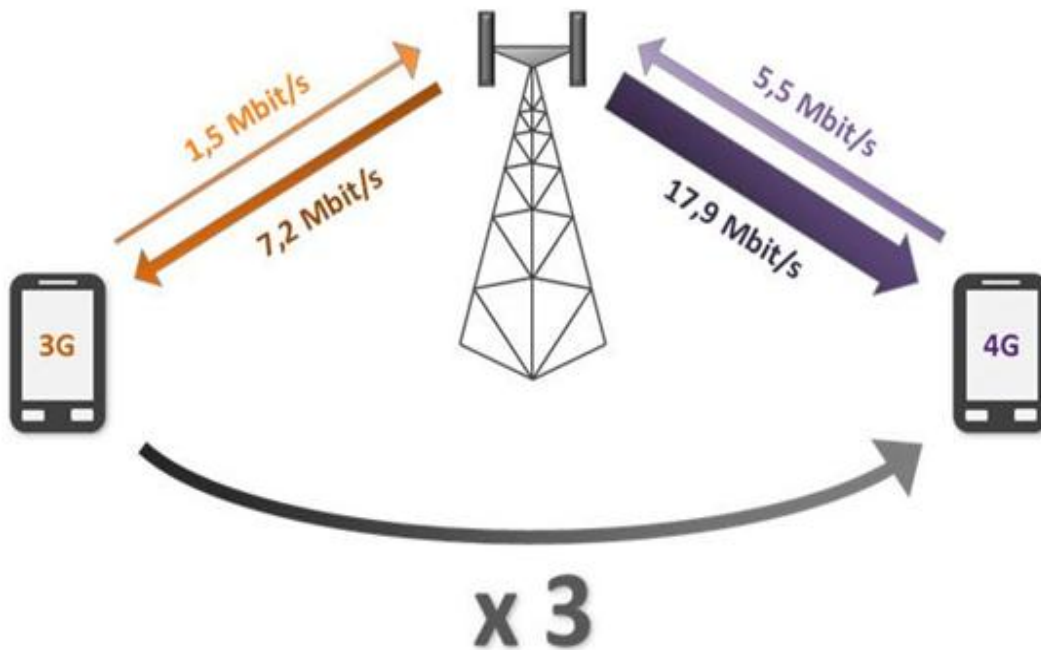


Figure 15 : Les comparaisons entre 4G et 3G.

- La 4G garantit offre des débits pouvant atteindre le débit théorique de 100Mb/s.
- Elle succède à la 3G qui peut offrir un débit théorique autour de 42Mb/s.

Le tableau suivant montre les comparaisons entre certains paramètres clés des systèmes 4G et 3G possible.

	<b>3G</b>	<b>4G</b>
Bande de fréquence	1.8 à 2.5 GHz	2 à 8 GHz
Bande passante	5-20 MHz	5-20 MHz
Le débit de données	Jusqu'à 2Mbps (384 kbps WAN)	Jusqu'à 20 Mbps ou plus
Accéder	Wideband CDMA	MC-CDMA, OFDMA
Codage du canal	Turbo-codes	Turbo-codes, LDPC
Commutation	Circuit / paquet	Paquet
Mobiles des vitesses de pointe	200 km/h	200 km/h

Tableau 3 : Les comparaisons entre certains paramètres clés des systèmes 4G et 3G.

## Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté un aperçu des différents composants et caractéristiques de la technologie LTE (quatrième génération) afin de présenter par la suite la terminologie des termes utilisés dans cette technologie. Dans le chapitre suivant, nous décrivons les performances de la qualité de service de la technologie LTE. Ainsi, nous présenterons les différentes interactions entre elle.

# **Chapitre 3**

## **Généralité sur la Qualité de Service**



## Chapitre 3 : Généralité sur la Qualité de Service

### Introduction

L'objectif principal d'un opérateur est de regrouper le plus grand nombre d'abonnés pour pouvoir augmenter son chiffre d'affaire, pour cela chaque opérateur mobile devra se focaliser sur les demandes de ses clients ainsi pour augmenter son taux de popularité, pour ça il doit se préoccuper sur l'amélioration de son réseau (couverture, ...) et des paramètres de la Qualité de service (débit, latence).

A travers ce chapitre, nous allons étudier les différents paramètres de la QoS et les performances des réseaux 4G.

### I. Qualité de Service (QoS)

#### 1. Définition (QoS)

Plusieurs définitions ont été proposées pour le terme de la qualité de service dont les plus importantes sont :

- La Qualité de Service (QoS) est la capacité à véhiculer dans de bonnes conditions un type de trafic donné, en termes de disponibilité, débit, délais de transmission, taux de perte de paquets.
- La Qualité de Service est une notion subjective. Selon le type d'un service envisagé, elle pourra résider dans le débit (Un débit permet de mesurer le flux d'une quantité relative à une unité de temps au travers d'une surface quelconque.), le délai (pour les applications interactives ou la téléphonie), la disponibilité (accès à un service partagé) ou encore le taux de pertes de paquets (pertes sans influence de la voix ou de la vidéo), (La vidéo regroupe l'ensemble des techniques, technologie, permettant l'enregistrement ainsi que la restitution d'images animées...). [21]
- La Qualité de Service regroupe un ensemble de technologies mises en œuvre pour assurer des débits suffisants et constants sur les réseaux, y compris Internet. [22]

## 2. Services de la qualité de service (QoS)

La mise en place de la qualité de service nécessite en premier lieu la reconnaissance des différents services:

- La source et la destination du paquet.
- Le protocole utilisé (UDP/TCP/etc.).
- Les ports de source et de destination dans le cas TCP et UDP.
- La congestion des réseaux.
- La validité du routage (gestion des pannes dans un routage en cas de routes multiples par ex.) La bande passante consommée.
- Les temps de latence. [12]

## 3. But de la qualité de service (QoS)

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

Elle permet ainsi aux fournisseurs de services de s'engager formellement auprès de leurs clients sur les caractéristiques de transport des données applicatives sur leurs infrastructures IP selon les types d'un service envisagé, la qualité pourra résider :

- Le débit (téléchargement ou diffusion vidéo).
- Le délai (pour les applications ou la téléphonie).
- La disponibilité (accès à un service partagé).
- Le taux de pertes de paquets. [3]

#### 4. Critères de la qualité de service (QoS)

La QoS au niveau d'un réseau se décline en quatre paramètres : le débit (la bande passante), la perte, le délai et la gigue.

##### 4.1 Le débit

Parfois appelé bande passante, il définit le volume maximal d'information (bits) par unité de temps (b/s) dans une communication entre un émetteur et un récepteur. [12]

Il existe deux modes de disponibilité de la bande passante, en fonction du type de besoin exprimé par l'application :

- Le mode "burst" est un mode immédiat, qui monopolise toute la bande passante disponible (par exemple lors d'un transfert de fichier).
- Le mode "Stream" est un mode constant, plus adapté aux fonctions audio/vidéo ou aux applications interactives. [3]

##### 4.2 La perte de paquets

C'est le nombre de paquets perdu par rapport au nombre de paquets émis, en fonction des applications considérées, le paramètre à prendre en compte varie : par exemple, pour la vidéo, les paramètres importants sont la bande passante, la gigue et le délai, pour un échange de fichiers, il vaut mieux limiter la perte de paquets. [13]

##### 4.3 Le délai de transit (latence)

Le délai de transmission, exprimé en ms, désigne le temps nécessaire pour acheminer un volume élémentaire de données de la source jusqu'à la destination. Ce paramètre peut correspondre à une valeur maximale à ne pas dépasser, une mesure moyenne ou minimale. Il est mesuré de bout en bout ou entre deux points de référence comme étant le temps nécessaire à l'acheminement d'une unité de volume, en général un paquet, entre les deux points de mesure. [4]

##### 4.4 La gigue

C'est un paramètre important pour les applications communicantes de type voix ou vidéo où la gigue doit être la plus faible possible. La gigue est due principalement aux délais de transferts variables dans les nœuds du réseau (switches et routeurs). [12]

## **II. La gestion de la qualité de service**

Aujourd'hui le protocole IP tend à s'imposer dans la plupart des infrastructures réseaux, que ce soit dans les réseaux locaux des entreprises, l'Internet bien sûr qui l'a vu naître, mais aussi les backbones des providers.

L'autre tendance concerne l'arrivée imminente (lorsque ce n'est pas déjà le cas) des applications multimédia dans les foyers comme dans les entreprises (visioconférence, VoIP, (audio, vidéo, jeux en réseaux). Or pour un fonctionnement normal et une satisfaction des utilisateurs, ces applications ont besoin de reposer sur un réseau performant et fiable. C'est notamment le cas des applications audio qui nécessitent le respect des délais de transmission strictes.

Or actuellement le protocole IP assure le même traitement pour tous les paquets qu'il voit transiter (notamment dans l'Internet), sans tenir compte des spécificités des applications émettrices, ni de leur contraintes (en bande passante, délai) : il s'agit du fameux BESTEFFORT.

Voilà pourquoi depuis la fin des années 1980, l'IETF a lancé des travaux en vue de combler ce talon d'Achille d'IP. Cela s'est traduit par la constitution de deux groupes de travail, qui ont mis au point deux modèles de gestion de la qualité de service (ou QoS, Qualité Of Service) que nous allons présenter : le modèle INTSERV, et le modèle DIFFSERV. [2]

### **1. Le modèle Diffserv**

Le modèle, " Services Différenciés " ou DiffServ, utilise une technique de marquage des paquets (chaque paquet est tagué d'un code dans son entête IP pour indiquer à quelle classe de trafic il appartient. Le modèle DiffServ a été défini par l'IETF dans le RFC 2475. Le principe

de base de DiffServ est la création de diverses classes de services fournissant chacune d'entre elles une qualité de service différente. Ces classes se distinguent les unes des autres par la présence d'un code dans le paquet IP : le DSCP (DiffServ Code Point). Le marquage des paquets selon la qualité de service qu'il nécessite, se fait en périphérie du réseau, soit à la source directement ou soit au niveau du routeur de bordure. Ensuite, les routeurs internes du réseau déterminent la priorité du paquet et le traitent en fonction de celle-ci.

Le fait d'introduire la différenciation entre les flots de trafic dans le paquet IP à l'aide du champ DiffServ rend ce modèle scalable. Chaque classe de service de qualité implique la création d'un contrat : le SLA (Services Level Agreement). Ce contrat précise des règles concernant le délai, la bande passante, le taux de disponibilité, la valeur du DSCP, la taille des tampons de la file d'attente pour cette classe dans les routeurs et le choix de la politique à utiliser en cas de non-respect du SLA (rejet des paquets, abaissement de la priorité du paquet...). DiffServ est conçu pour fonctionner avec la couche IP. Il se base sur le champ TOS (Type Of Service) d'IPv4, redéfini par l'IETF en champ DS (DiffServ) pour effectuer la classification. Dans l'IPv6, le champ utilisé par DiffServ est le TC (Traffic Class). Le RFC 2475 utilise le terme de behaviour aggregate (BA) plutôt que de classe de trafic. [14]

## **2. Le modèle Intserv/RSVP**

Le modèle IntServ définit une architecture capable de prendre en charge la QoS sans toucher au protocole IP. IntServ utilise pour cela un protocole spécifique de signalisation appelé RSVP (Resource ReSerVation Protocol), Quand une source produit un flux de données, elle peut également émettre des messages de signalisation RSVP, décrivant les caractéristiques de celui-ci. Cette signalisation ayant la même destination que le flux (il peut aussi s'agir d'une adresse de multicast), traversera les mêmes routeurs intermédiaires qui y ajouteront leurs caractéristiques, principalement leur temps de traversée. Les flux restent traités par les routeurs en Best-Effort. Le destinataire recevant les messages de signalisation, en plus des données du flux, peut décider d'améliorer la qualité de celui-ci en envoyant un message de réservation vers la source pour demander aux routeurs d'améliorer le traitement du flux. Mais le routage dans l'Internet n'est pas symétrique, il faut donc que les routeurs se souviennent pour chaque flux quel était le précédent routeur. Un contexte doit être établi dans

chaque routeur pour chaque flux signalé par la source. A la réception d'un message de réservation, un contrôle d'admission est fait par le routeur pour déterminer si l'ajout d'un nouveau flux ne perturbera pas ceux pour qui une réservation a déjà été faite. [13]

### **III. Qualité de service dans le réseau 4G**

Le développement du réseau Internet et le nombre d'utilisateurs pouvant se connectés à ce réseau impose le recours à des niveaux importants de QoS. Dans cette perspective, plusieurs groupes de travail ont vu le jour pour les réseaux 4G. Les nouveaux besoin en termes de mobilité des utilisateurs et la croissance des réseaux permettant le nomadisme des utilisateurs ont fait migrer le problème vers la des réseaux sans fil. [15]

#### **1. Le bearer EPS**

Le bearer EPS est un équivalent du contexte PDP en 2G/3G. Il représente un concept logique qui est établi entre le terminal et la PDN GW et qui agrège plusieurs flux data transportés entre les deux entités.

Il permet d'identifier de manière unique des flux de trafic recevant la même qualité de service entre le terminal et la PDN GW. Tous les flux associés à un bearer EPS reçoivent les mêmes traitements en termes de forwarding (expédition des paquets).

Il existe deux types de bearers EPS :

- Le Default bearer, le premier bearer établi lorsque le terminal se connecte à un PDN, il reste actif durant toute la connexion.
- Les Dedicated bearer, tous les bearers additionnels établis avec le même PDN. [3]

#### **2. Les Performance des réseaux 4G**

##### **2.1 Une mobilité à toute épreuve**

L'un des challenges des réseaux mobiles est d'être disponible partout et tout le temps. Pour cela les réseaux 4G ont été prévus pour fonctionner aussi bien dans les zones denses que dans les zones rurales. Une cellule 4G peut couvrir 5km de diamètre dans les zones fortement peuplé et s'étendre jusqu'à 100 km dans les zones les plus reculés. [3]

## 2.2 Des temps de réponse rapides

L'utilisation d'une communication à des débits toujours plus élevé ne peut être plus optimale si le transfert de données se fait dans un délai trop long. La 4G propose pour cela Une latence moyenne de 20ms et peut descendre en dessous de 5ms. [3]

## 2.3 La voix sur IP

La 4G propose un service de voix sur IP. En effet ce standard s'appuie sur un réseau de transport de paquet IP. Il n'est pas prévu de mode d'acheminement pour la voix, autre la VoIP. [3]

## 2.4 Débit sur l'interface radio

Le débit de la 4G est de 100 Mbit/s (descendant) et 50 Mbit/s (montant). L'interface radio E-UTRAN doit pouvoir supporter un débit maximum descendant instantané (du réseau au terminal) de 100 Mbit/s en considérant une allocation de bande de fréquence de 20 MHz pour le sens descendant et un débit maximum montant instantané (du terminal au réseau) de 50Mbit/s en considérant aussi une allocation de bande de fréquence de 20 MHz.

Les technologies utilisées sont OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) pour le sens descendant et SC-FDMA (Single Carrier - Frequency Division Multiple Access) pour Le sens montant. Cela correspond à une efficacité du spectre de 5 bit/s/Hz pour le sens descendant et 2,5 bit/s/Hz pour le sens montant.

En considérant HSDPA à 14,4 Mbit/s avec une allocation d'une bande de 5 MHz, L'efficacité spectrale est de 2,9 bit/s/Hz dans le sens descendant. Avec la 3G il est nécessaire d'allouer une bande de fréquence de 5 MHz. Avec la LTE, il est possible d'opérer avec une bande de taille différente avec les possibilités suivantes : 1.4, 3, 5, 10, 15 et 20MHz, pour les sens descendant et montant. L'intention est de permettre un déploiement flexible en fonction des besoins des opérateurs et des services qu'ils souhaitent proposer. [3]

## 2.5 Connexion permanente

Principe des accès haut débit où la connectivité est permanente pour l'accès à Internet.

Même si la connexion est permanente au niveau du réseau, il est nécessaire pour le terminal de passer de l'état IDLE à l'état ACTIF lorsqu'il s'agira d'envoyer ou recevoir du trafic. Ce changement d'état s'opère en moins de 100 ms. Le réseau pourra recevoir le trafic de tout terminal rattaché puisque ce dernier dispose d'une adresse IP, mettre en mémoire ce trafic, réaliser l'opération de paging afin de localiser le terminal et lui demander de réserver des ressources afin de pouvoir lui relayer son trafic. [3]

## **2.6 Délai pour la transmission de données**

Moins de 5 ms entre l'UE et l'Access Gateway, ceci dans une situation de non-charge où un seul terminal est ACTIF sur l'interface radio. La valeur moyenne du délai devrait avoisiner les 25 ms en situation de charge moyenne de l'interface radio. Ceci permet de supporter les services temps réel IP nativement, comme la voix sur IP et le streaming sur IP. [3]

## **2.7 Co-existence et Interfonctionnement avec la 4G**

Le handover entre E-UTRAN (LTE) et UTRAN (3G) doit être réalisé en moins de 300ms pour les services temps-réel et 500 ms pour les services non temps-réel. Il est clair qu'au début du déploiement de la LTE peu de zones seront couvertes. Il s'agira pour l'opérateur de s'assurer que le handover entre LTE et la 2G/3G est toujours possible.

Le handover pourra aussi s'effectuer entre LTE et les réseaux CDMA-2000. Les opérateurs CDMA évolueront aussi vers la LTE qui devient le vrai standard de communication mobile de 4<sup>ème</sup> génération. [3]

## **2.8 Flexibilité dans l'usage de la bande**

Comme indiqué précédemment E-UTRAN doit pouvoir opérer dans des allocations de bande de fréquence de différentes tailles incluant 1.4, 3, 5, 10, 15 et 20MHz. [3]



## Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons défini la QoS, présenté ses différents paramètres et ses différents critères, suivis d'une petite partie dans laquelle nous avons décrit les performances des réseaux cellulaires de la nouvelle génération (4G). Ce qui nous intéresse c'est les réseaux 4G(LTE), c'est pour cela qu'on va consacrer le chapitre suivant pour une simulation des réseaux 4G au moyen du simulateur OMNeT++, ensuite nous allons étudier les différents paramètres de la qualité de service (QoS) sur la base des données réelles fournies par un logiciel spécialisé baptisé Drive test pour la mesure de ces paramètres.

# **Chapitre 4**

## **Résultats et interprétations**

### CHAPITRE 4 : Résultats et interprétations

#### Introduction

Les réseaux informatiques connaissent une expansion importante grâce à plusieurs moyens qui ont pu se développer au cours du temps, donc il est coûteux de déployer un banc d'essai complet contenant plusieurs ordinateurs, des routeurs et des liaisons de données pour valider et vérifier un protocole de réseau ou un certain algorithme spécifique. C'est pour cela que les simulateurs de réseaux sont utilisés.

Les simulateurs du réseau offrent beaucoup d'économie, de temps et d'argent pour l'accomplissement des tâches de simulation et sont également utilisés pour que les concepteurs des réseaux puissent tester les nouveaux protocoles ou modifier les protocoles déjà existants d'une manière contrôlée et productrice.

Le problématique étudiée dans ce mémoire étant la simulation des performances des réseaux 4G, et en particulier les paramètres de la QoS. Nous présentons dans ce qui suit le déroulement des étapes de simulation que nous avons mené dans ce travail de fin d'études qui consiste à simuler quelques critères de QoS au moyen du simulateur OMNeT++. Notre intérêt est d'évaluer les paramètres qui influencent sur les performances globales du réseau 4G.

#### I. La simulation

La simulation consiste à la modélisation informatique d'un système quelconque, en offrant une représentation de toutes les entités de ce système, leurs comportements propres, ainsi que leurs interactions. Elle met à la disposition de l'utilisateur un environnement d'expérimentation dont on peut faire varier les paramètres.

Grace aux progrès réalisés dans le domaine du développement et des techniques de programmation, nous disposons aujourd'hui de langages de programmation très puissants. Ainsi, il devient possible de réaliser un simulateur dans un environnement de programmation existant. [16]

#### II. Choix du simulateur

L'étude des performances des systèmes de communications au niveau des réseaux représente une tâche complexe où des outils de simulation spécialisés doivent être utilisés. Dans notre étude de cas, sachant que nous nous intéressons aux systèmes cellulaires actuels et

futurs, une prise en charge du modèle LTE est d'une importance primordiale. Nous traiterons par la suite, le choix du simulateur réseau retenu pour produire les résultats et nous exposerons les performances au niveau de ce réseau, selon différents scénarios.

Parmi l'ensemble des moyens permettant de simuler le comportement des systèmes de communication, il existe plusieurs outils de simulation : OPNET, LTE-SIM, NS2, NS3, OMNeT++.

Dans notre travail nous avons adopté OMNeT++ pour les raisons suivantes :

- ❖ sa flexibilité.
- ❖ la disponibilité de son code. [4]

### 1. LTE-SIM

La plupart des fournisseurs d'équipements de communication mobiles ont mis en œuvre leurs propres simulateurs. Par ailleurs, d'autres simulateurs, développés dans les coopérations universitaires-industriel, peuvent être achetés au moyen d'une licence commerciale, et leurs codes sources ne sont pas accessibles au public. Un simulateur LTE basé sur Matlab a été proposé avec la mise en œuvre d'une liaison descendante conforme à la couche physique de la norme LTE, la modulation adaptative, plusieurs utilisateurs, transmission MIMO mais il ne tient pas compte des aspects pertinents de simulation LTE.

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

Environnement mono et multicellulaire (macro, micro, femto), Gestion de QOS, Environnement multiutilisateurs, Mobilité, UDP en dans la couche transport, TDD, FDD, Algorithme d'ordonnancement PF EXP, et M-LWDF, Modulation AMC. [3]

### 2. Le simulateur OPNET Modele

OPNET (OPTimized Network Engineering Tools) Modeler est un simulateur de réseau à événements discrets, a été proposé premièrement par Massachusetts Institute of Technology (MIT) en 1986 et écrit en langage C++. Il est bien établi et une suite commerciale professionnelle pour la simulation de réseau. Actuellement, il est l'environnement de simulation commercial le plus largement utilisé. Toutefois, il peut être utilisé gratuitement par les chercheurs s'appliquant aux programmes d'université. Contrairement NS-2 et GloMoSim,

## CHAPITRE 4 : Résultats et interprétations

---

OPNET soutient l'utilisation de la modélisation de réseau différent et matériel spécifique, comme lien physique émetteurs-récepteurs et d'antennes.

OPNET modeler dispose d'un environnement de développement interactif permettant la conception et l'étude des réseaux, des dispositifs, des protocoles et des applications. Pour ce faire, une longue liste de protocoles est supportée. En particulier, les protocoles MAC comprennent (wifi) IEEE 802.11a/b/g et ceux de Bluetooth. OPNET peut également être utilisé pour définir les formats de paquets personnalisés. Le simulateur aide les utilisateurs au développement des différents modèles par le biais d'une interface graphique. L'interface peut également être utilisée pour modèle, graphe, et d'animer le résultat obtenu. Une des caractéristiques les plus intéressantes d'OPNET est sa capacité à exécuter et suivre plusieurs scénarios d'une manière simultanée. Cependant, OPNET souffre également des mêmes problèmes d'évolutivité orienté objet comme NS2. OPNET Modeler fonctionne sur Windows XP/2K, Windows 7, Windows 8, Linux et Solaris.

OPNET est fonctionné en quatre étapes, proposer du modèle, spécification des statistiques, exécution de la simulation, obtenu les résultats. Si les résultats ne sont pas corrects il faut retourner à la première étape et fait les corrections du modèle puis continue les autres étapes. [17]

### 3. Le simulateur NS2

NS est un outil logiciel de simulation de réseaux informatiques. Il est essentiellement élaboré avec les idées de la conception par objets, de la réutilisation du code et de modularité. Il est aujourd'hui un standard de référence en ce domaine, plusieurs laboratoires de recherche recommandent son utilisation pour tester les nouveaux protocoles.

Le simulateur NS actuel est particulièrement bien adapté aux réseaux à commutation de paquets et à la réalisation de simulations de grande taille (le test du passage à l'échelle). Il contient les fonctionnalités nécessaires à l'étude des algorithmes de routage unicast ou multicast, des protocoles de transport, de session, de réservation, des services intégrés, des protocoles d'application comme FTP.

Les principaux composants actuellement disponibles dans NS par catégorie sont :

- application : Web, ftp, Telnet, générateur de trafic (CBR...).
- transport : TCP, UDP, RTP, SRM.
- routage unicast : Statique, dynamique (vecteur distance).
- routage multicast : DVMRP, PIM.
- gestion de file d'attente : RED, DropTail, Token bucket. [19]

### 4. Le simulateur NS 3

NS-3 est conçu pour remplacer le NS-2 courant populaire. Toutefois, NS-3 n'est pas une version mise à jour de NS2. NS-3 est un nouveau simulateur et il n'est pas rétrocompatible avec NS-2.

NS-3 est un simulateur réseau à évènements discrets. Il vise à remplacer son prédécesseur NS-2, écrit en C++ et OTcl (version orientée objet de Tcl), pour tenter de remédier à ses limites (mauvaise gestion des traces ou encore, plus gênant l'utilisation de multiples interfaces sur un noeud...). NS-3 est écrit en C++ et Python, et peut être utilisé sur les plateformes Linux/Unix, OS X (Mac) et Windows.

Son développement a d'abord commencé en Juillet 2006, et devait durer quatre ans, Il est financé par les instituts comme l'Université de Washington, Georgia Institute of Technology et le Centre de l'ICSI pour la recherche sur Internet, la première version majeure publique et stable a été publiée en juin 2008.

Les développeurs de NS-3 ont décidé que l'architecture de simulation devait être remaniée complètement en partant du zéro. Dans cette optique, l'expérience tirée de NS-2 doit être associée avec les progrès des langages de programmation et du génie logiciel. L'idée de la rétrocompatibilité avec NS-2 a été abandonnée dès le départ. Cela libère NS-3 de contraintes héritées de NS-2 et permet la construction d'un simulateur qui est bien conçu depuis le début. [12]

### 5. Le simulateur OMNET

OMNET++ IDE (Integrated Development Environment) est basé sur la plateforme Eclipse. C'est un environnement open source qui fournit des outils pour la création et la configuration des modèles de réseaux (les fichiers NED et INI) et des outils pour l'exécution d'un lot de programme ainsi que pour l'analyse des résultats de simulation.

OMNET++ semble être le meilleur parmi les solutions open source et freeware. OMNET++ semble séduire de plus en plus la communauté scientifique et un nombre croissant de modèles sont disponibles. Dans ce qui suit, il aura une vue plus détaillée sur le simulateur ainsi les raisons du choix de ce simulateur. [16]

### 5.1 Présentation

OMNET++ est un environnement de simulation à événements discrets. Utilisé pour la simulation des réseaux de communication, et d'autres systèmes distribués [ABD09].

Grâce à son architecture modulaire, OMNET++ est très largement répandu dans divers domaines d'application tel que :

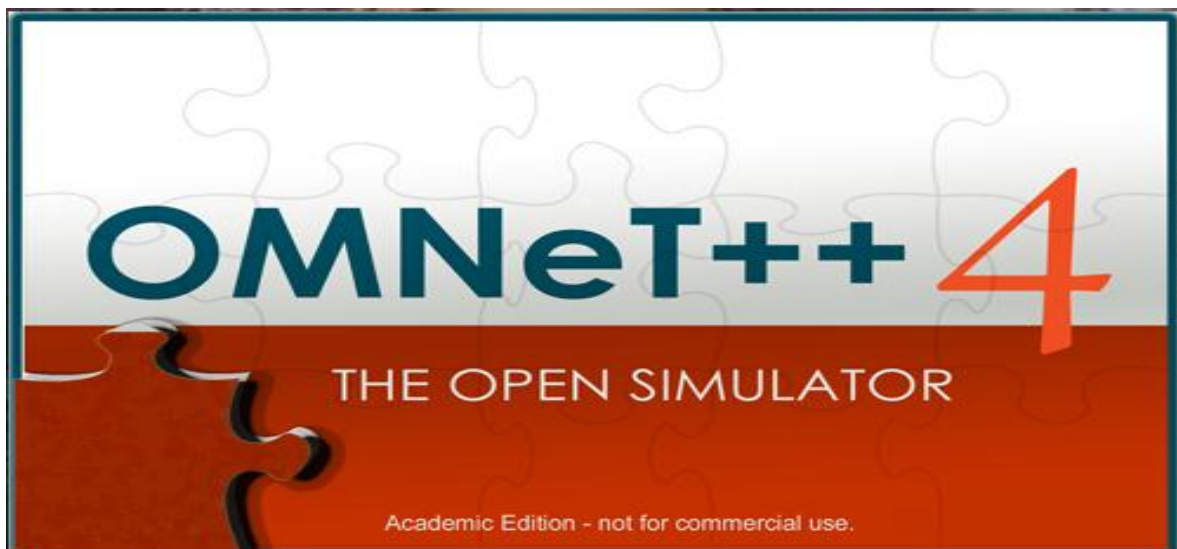


Figure 16: Le lancement du simulateur OMNeT++ 4.6

- La modélisation des Protocoles de communication.
- La modélisation des réseaux filaires et sans fils.
- La modélisation des systèmes répartis.
- Les architectures HardWare.
- En général, il peut être utilisé pour n'importe quel système à événements discrets pouvant être modélisé selon des entités communiquant par envoi de messages.

OMNET++ est basé sur la plateforme Eclipse. Il fournit des outils pour la création et la configuration des modèles de réseaux (les fichiers NED et INI) et des outils pour l'exécution d'un lot de programme ainsi que pour l'analyse des résultats de simulation. [16]

### 5.2 La structure d'OMNET

L'architecture d'OMNET++ est hiérarchique composée de modules. Un module peut être soit module simple ou bien un module composé. Les feuilles de cette architecture sont les modules simples qui représentent les classes C++. Pour chaque module simple correspond un fichier .cc et un fichier .h. Un module composé est composé de simples modules ou d'autres modules composés connectés entre eux. Les sous modules et les ports de chaque module sont spécifiés dans un fichier **.ned**.

La communication entre les différents modules se fait à travers les échanges de messages. Les messages peuvent représenter des paquets, des trames d'un réseau informatique, des clients dans une file d'attente ou bien d'autres types d'entités en attente d'un service. Les messages sont envoyés et reçus à travers des ports qui représentent les interfaces d'entrer et de sortie pour chaque module.

La conception d'un réseau se fait dans un fichier .ned et les différents paramètres de chaque module sont spécifiés dans un fichier de configuration (.ini). OMNET++ génère à la fin de chaque simulation deux nouveaux fichiers omnet.vec et omnet.sca qui permettent de tracer les courbes et calculer des statistiques. [18]

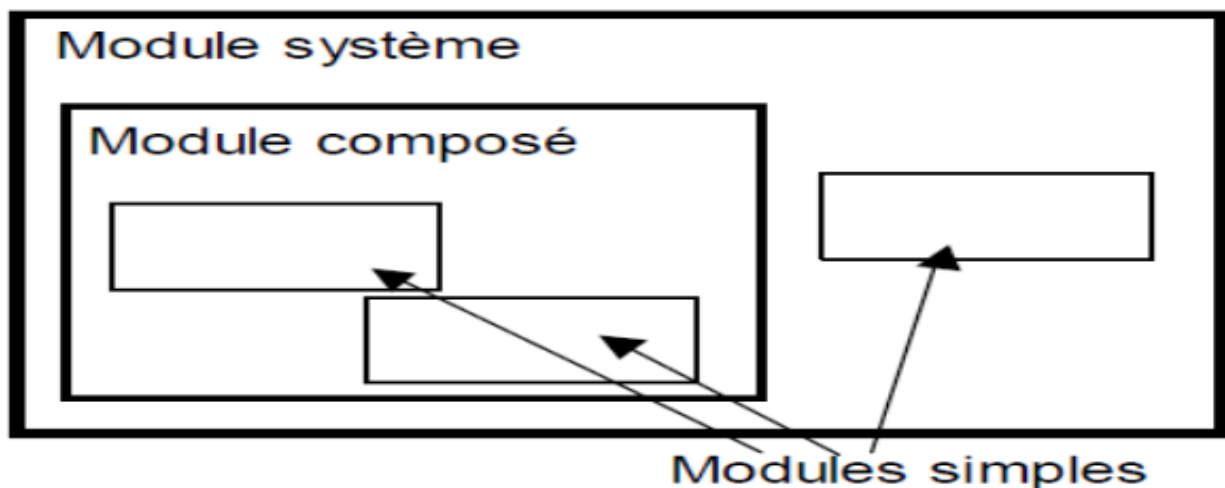


Figure 17 : Architecture modulaire de l'OMNeT++.

### 5.3 Installation du simulateur OMNET++



L'installation d'OMNET++ se fait en différentes étapes suivent une procédure d'installation décrite dans le package téléchargé selon le système d'exploitation installé. Les éléments installés sur l'ordinateur seront les suivants :

- Une bibliothèque de simulation interne.
- Un compilateur de langage descriptif de la topologie NED (nedc).
- Un éditeur de réseaux graphiques pour les fichiers NED (GNED).
- Un exécutable omnet++.
- Une interface graphique de simulation IDE.
- Un outil de documentation de modèle (opp\_neddoc).
- Autres utilitaires (l'outil de création makefile, etc).
- Une documentation, des simulations types, etc. [16]

### 5.4 Les principaux fichiers d'OMNET++

Les différents fichiers sont :

#### 5.4.1 Fichier (.Ned) :

Utilise le langage NED de description de réseau. Il peut être utilisé en 2 modes : mode graphique ou mode texte qui permet de décrire les paramètres et les ports du module. Les erreurs commises sont indiquées en temps réel par un point rouge situé à la gauche du code.

Un exemple de fichier NED en mode « source » et « graphique » sont présentés dans les (figure 13) et (figure 14). [16]

## CHAPITRE 4 : Résultats et interprétations

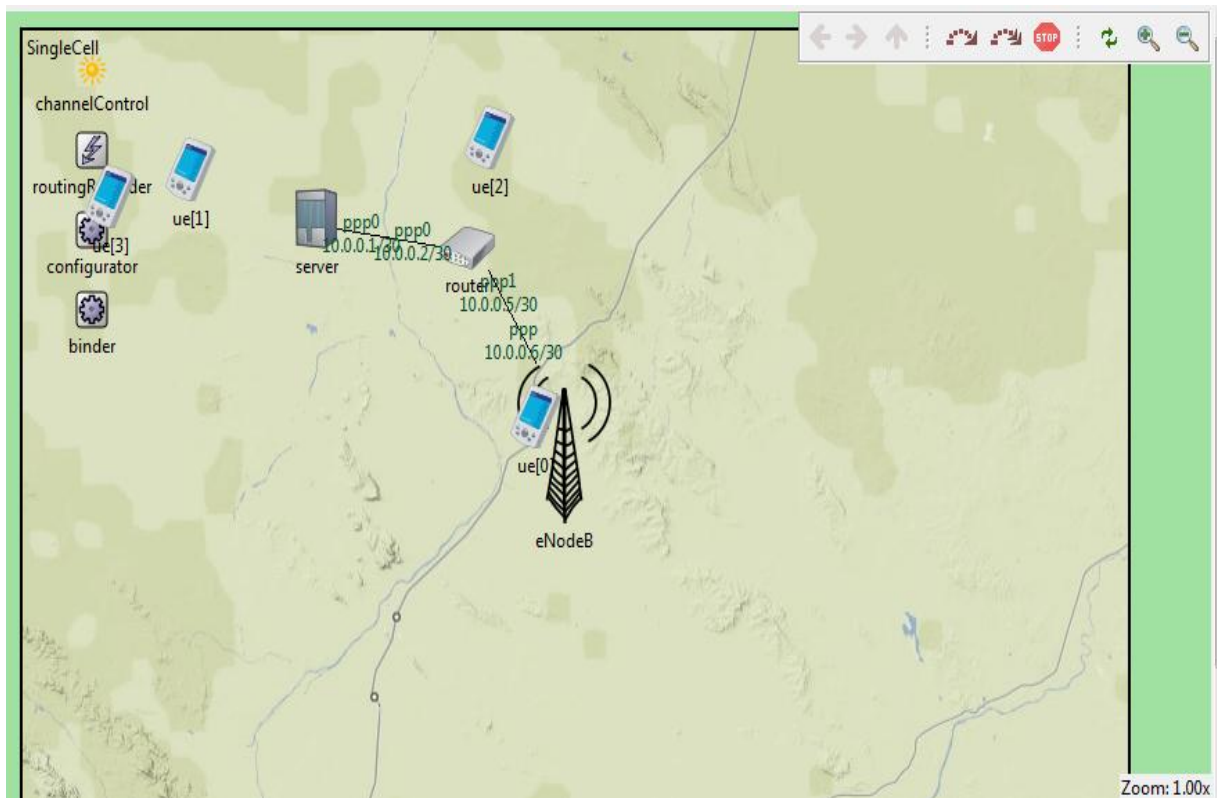


Figure 18 : fichier NED en mode graphique.

```
int numUe = default(1);

//@display("i=block/network2;bgb=991,558;bgi=background/budapest");
@display("i=block/network2;bgb=798,558;bgi=background/terrain");

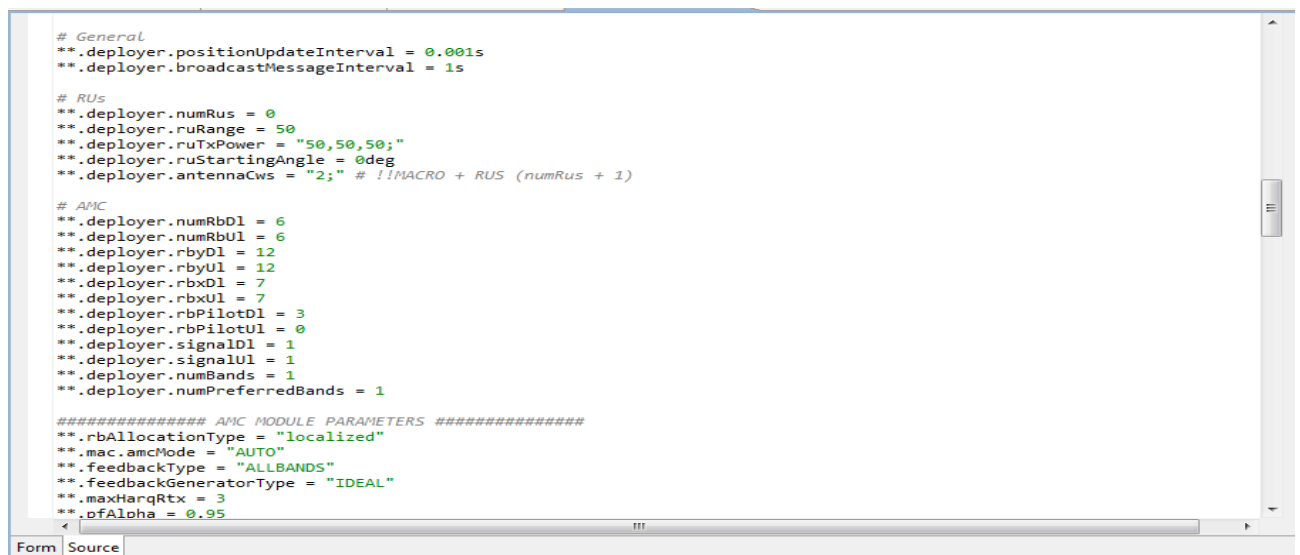
//@display("bgb=683,305");
submodules:
  channelControl: ChannelControl {
    @display("p=50,25;is=s");
  }
  routingRecorder: RoutingTableRecorder {
    @display("p=50,75;is=s");
  }
  configurator: IPv4NetworkConfigurator {
    @display("p=50,125");
    config = xmldoc("demo.xml");
  }
  binder: LteBinder {
    @display("p=50,175;is=s");
  }
  server: StandardHost {
    @display("p=212,118;is=n;i=device/server");
  }
  router: Router {
    @display("p=321,136;i=device/smallrouter");
  }
  eNodeB: eNodeB {
    @display("p=391,259;is=v1");
  }
  ue[numUe]: Ue {
    @display("p=783,278");
  }
}
```

Figure 19 : fichier NED en mode texte.

### 5.4.2 Fichier (.ini) :

Est lié étroitement avec le fichier NED. Permet à l'utilisateur d'initialisé les paramètres des différents modules ainsi la topologie du réseau. [16]

Voici un exemple présenté ci-dessous :



```
# General
**.deployer.positionUpdateInterval = 0.001s
**.deployer.broadcastMessageInterval = 1s

# RUS
**.deployer.numRus = 0
**.deployer.ruRange = 50
**.deployer.ruTxPower = "50,50,50;"
**.deployer.ruStartingAngle = 0deg
**.deployer.antennaCws = "2;" # !!MACRO + RUS (numRus + 1)

# AMC
**.deployer.numRbd1 = 6
**.deployer.numRbu1 = 6
**.deployer.rbyD1 = 12
**.deployer.rbyU1 = 12
**.deployer.rbxD1 = 7
**.deployer.rbxU1 = 7
**.deployer.rbPilotD1 = 3
**.deployer.rbPilotU1 = 0
**.deployer.signalD1 = 1
**.deployer.signalU1 = 1
**.deployer.numBands = 1
**.deployer.numPreferredBands = 1

##### AMC MODULE PARAMETERS #####
**.rbAllocationType = "localized"
**.mac.amcMode = "AUTO"
**.feedbackType = "ALLBANDS"
**.feedbackGeneratorType = "IDEAL"
**.maxHarqRtx = 3
**.pfAlpha = 0.95
```

Figure 20: exemple d'un fichier (.ini).

### 5.4.3 Fichier (.msg) :

Les modules communiquent en échangeant des messages. Ces derniers peuvent être déclarés dans un fichier dont l'extension est (.msg) où l'on peut ajouter des champs de données. OMNET++ traduira les définitions de messages en classes c++.

Le diagramme suivant peut donner une idée plus détaillé sur le développement d'exécution d'une simulation sous Omnet. [16]

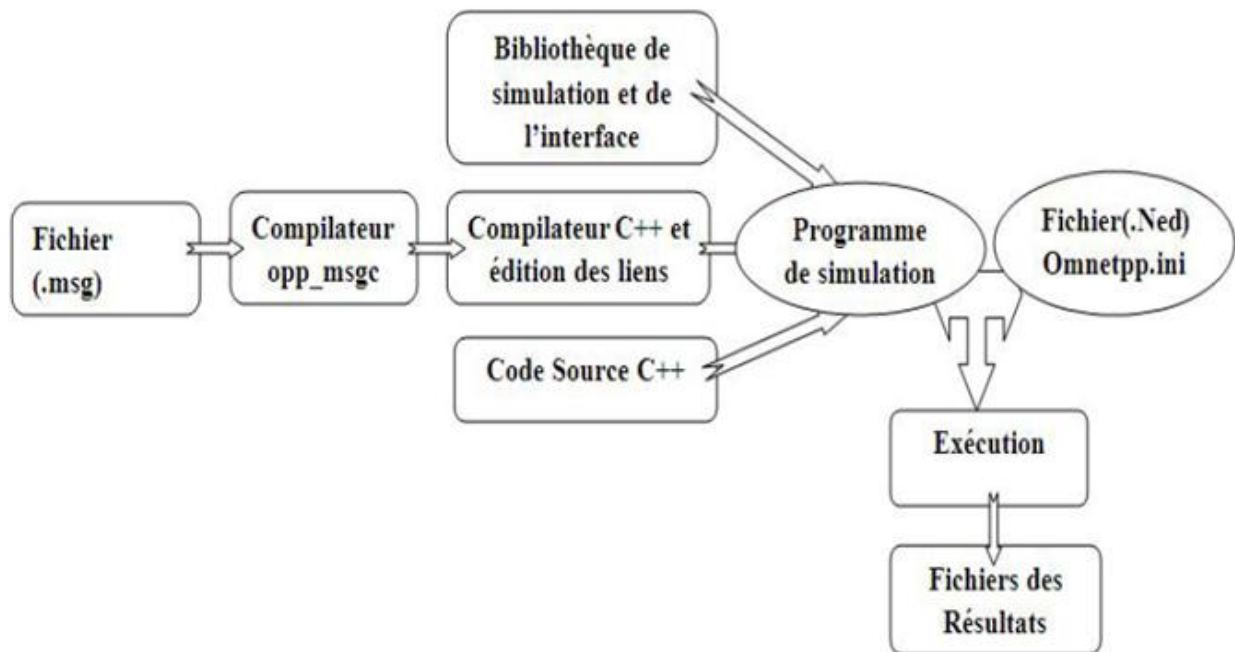


Figure 21 : Exécution d'une application sous OMNeT++

### 5.5 Ses avantages

L'avantage de OMNET ++ est sa facilité d'apprentissage, d'intégration de nouveaux modules et la modification de ceux déjà implémentés. Ainsi il n'est pas payant. [18]

### 5.6 Les plates formes d'OMNeT++

Le simulateur OMNeT++ n'est pas spécialisé pour les réseaux mobiles, pour cela il existe plusieurs extensions, plate forme et simulateur basé sur OMNeT++ qui essayent d'introduire ce manque comme "INET FrameWork", "Mixim", "Castalia", "Simulte".

#### 5.6.1 INET Framework

INET est un modèle de bibliothèque open-source pour l'environnement de simulation de OMNeT. Il fournit des protocoles, des agents et d'autres modèles pour les chercheurs et les étudiants qui travaillent avec les réseaux de communication. INET est particulièrement utile lors de la conception et la validation de nouveaux protocoles, ou d'explorer de nouveaux scénarios ou exotiques.

INET contient des modèles pour la pile à Internet (TCP, UDP, IPv4, IPv6, OSPF, BGP, etc.), protocoles de couche de liaison filaire et sans fil (Ethernet, PPP, IEEE 802.11, etc.), le soutien à la mobilité, les protocoles de MANET, DiffServ, MPLS avec LDP et RSVP-TE signalisation, plusieurs modèles d'application, et de nombreux autres protocoles et des composants.

Plusieurs autres cadres de simulation prennent INET comme base, et se prolongent dans des directions spécifiques, tels que les réseaux de véhicules, superposition / réseaux peer-to-peer, ou LTE. [3]

### 5.6.1.1 Installation d'INET

#### ❖ Installation automatique

Les versions récentes de la OMNeT ++ IDE peuvent télécharger et installer INET (la dernière version stable) pour vous. Comment cela fonctionne t-il?

1. Ouvrez le OMNeT ++ IDE ( `omnetpp` )
2. Allez à la table de travail (rejeter l'écran d'accueil). La première fois que vous faites cela, une invite vous demandera si vous souhaitez installer INET.
3. Gardez les cases cochées et continuez.

Si vous avez sauté cette étape (ouvert l'atelier, mais sauté installation INET), rien ne se perd:

1. Allez à Aide -> Installer modèles de simulation.
2. Une boîte de dialogue apparaîtra avec les modèles de simulation disponibles. Actuellement, seulement INET est listé là, il suffit de sélectionner et suivre les instructions.

Les deux manières, l'IDE va télécharger, décompresser et construire automatiquement INET à partir des sources. [4]

#### ❖ Installation manuelle

Vous aurez besoin d'une installation manuelle si vous avez téléchargé une version d'INET autre que le dernier stable, ou si vous avez cloné le INET dépôt git au système de fichiers local. La seule partie "difficile" est de savoir comment importer le projet dans l'espace de travail.

1. Télécharger les sources INET
2. Déballer-la dans le répertoire de votre choix: `tar xvfz INET- <version> .tgz`
3. Démarrez le OMNeT ++ IDE, et importer le projet via *Fichier -> Importer -> projets existants à l'espace de travail*. Un projet nommé INET devrait apparaître.
4. Construire avec *Project -> Build*, ou frapper **Ctrl + B**
5. Maintenant, vous devriez être en mesure de lancer par exemple des simulations. [4]

### 5.6.2 SimuLTE

Modèles SimuLTE l'avion de données de la LTE / LTE-A Radio Access Network et Evolved Packet Core. Il vous permet de simuler LTE / LTE-A en mode de duplexage par répartition en fréquence (FDD), avec ENBS etherogeneous (macro, micro, pico etc.), utilisant à la fois anisotrope et des antennes omnidirectionnelles. ENBS peuvent être connectés via l'interface X2, et peuvent communiquer en utilisant les deux messages standard et définis par l'utilisateur.

Nœuds EI et ENBS sont mises en œuvre en tant que modules composés. Ceux-ci peuvent être raccordés les uns avec les autres et avec d'autres nœuds (par exemple, des routeurs, des applications, etc.) afin de composer les réseaux. Les UEs et ENBS sont encore composés de modules:

- TCP et UDP applications (toute application compatible INET).
- TCP et UDP des couches de transport (INET).
- IP couche (de INET).
- LTE NIC mise en œuvre de la pile LTE.

Le **Binder** module est plutôt visible par tous les autres nœuds dans le système et stocke des informations sur eux, tels que des références à des nœuds. Il est utilisé, par exemple, pour localiser les ENBS interférents afin de calculer l'interférence inter-cellules perçue par un UE dans sa cellule de desserte. [4]

#### 5.6.2.1 Installation de SimuLTE

Le SimuLTE Framework peut être compilé sur une plate-forme supportée par le INET Framework. Et suivez les étapes suivantes pour l'installer :

- 1- Extraire le fichier téléchargé archive SimuLTE à côté du répertoire INET (ie dans votre répertoire d'espace de travail, si vous utilisez l'IDE).
- 2- Démarrez l'IDE, et veiller à ce que le projet «inet» est ouvert et correctement construit.
- 3- Importer le projet à l'aide: Fichier | Importer | général | Les projets existants dans l'espace de travail. Ensuite, sélectionnez le répertoire de l'espace de travail comme le répertoire racine, et être sûr de ne pas vérifier les "projets de copie dans l'espace de travail" boîte. Cliquez sur Terminer.
- 4- Vous pouvez construire le projet en appuyant sur CTRL-B (Projet | Construire tous)
- 5- Pour exécuter un exemple de l'IDE, sélectionnez le dossier de l'exemple de simulation sous «simulations», et cliquez sur "Exécuter" sur la barre d'outils.

[4]

### III. résultats détaillés

#### 1. Modèle d'étude

Dans La figure ci-dessous on présente l'architecture LTE.

Sur la base du modèle présenté précédemment nous allons étudier les différents paramètres de la QoS à savoir le SINR, le débit et le délai.

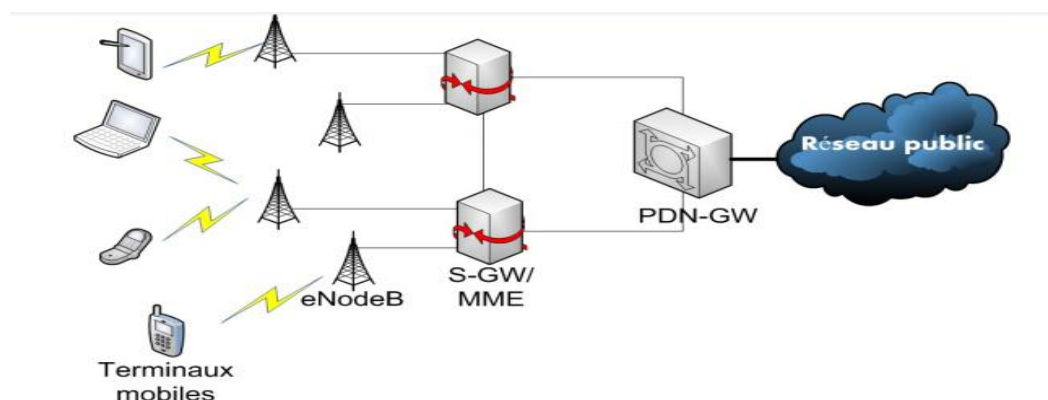


Figure 22 : Architecture LTE Exemple-Internet

Pour simuler les différents paramètres de la qualité de service (QoS) nous avons utilisé des résultats réels fournis par un logiciel spécialisé baptisé Drive test,

## 2. Le rapport signal sur bruit (SINR)

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

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

Sous la formule :

$$\text{SINR}(x) = \frac{P}{I + N}$$

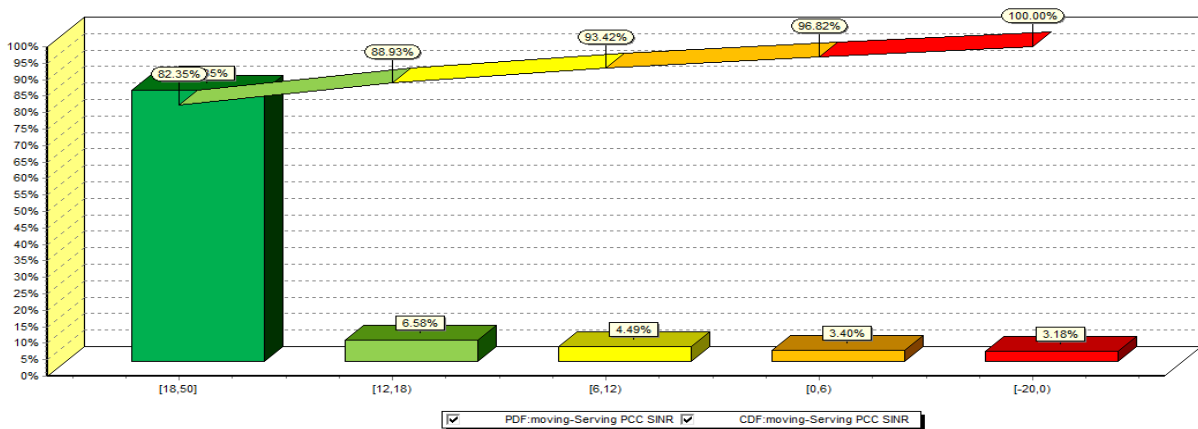


Figure 23 : Plot Couverture SINR sur histogramme

	Distance	SINR	Débit
--	----------	------	-------



## CHAPITRE 4 : Résultats et interprétations

---

Cell	[m]	[dB]	UP[Mbps]		DL[Mbps]	
			Pic	moy	Pic	moy
Cell 0	52	22	49.58	48.61	76.21	65015
Cell 1	320	27	49.53	47.61	89.40	77.94
Cell 2	255	28	49.58	48.68	90.24	85.88

Tableau 4: Près (SINR Plus haut que 15dB).

Cell	Distance	SINR	Débit			
	[m]	[dB]	UP[Mbps]		DL[Mbps]	
			Pic	Moy	Pic	moy
Cell 0	303	19	29.50	21.94	31.55	19
Cell 1	1088	16	26.15	19.57	14.45	10.07
Cell 2	1626	11	17.22	14.38	42.40	27.23

Tableau 5: Loin (SINR entre 0-5dB).

### 3. Le Débit

C'est un indicateur très important de QoS, sur lequel on peut mesurer la performance du réseau.

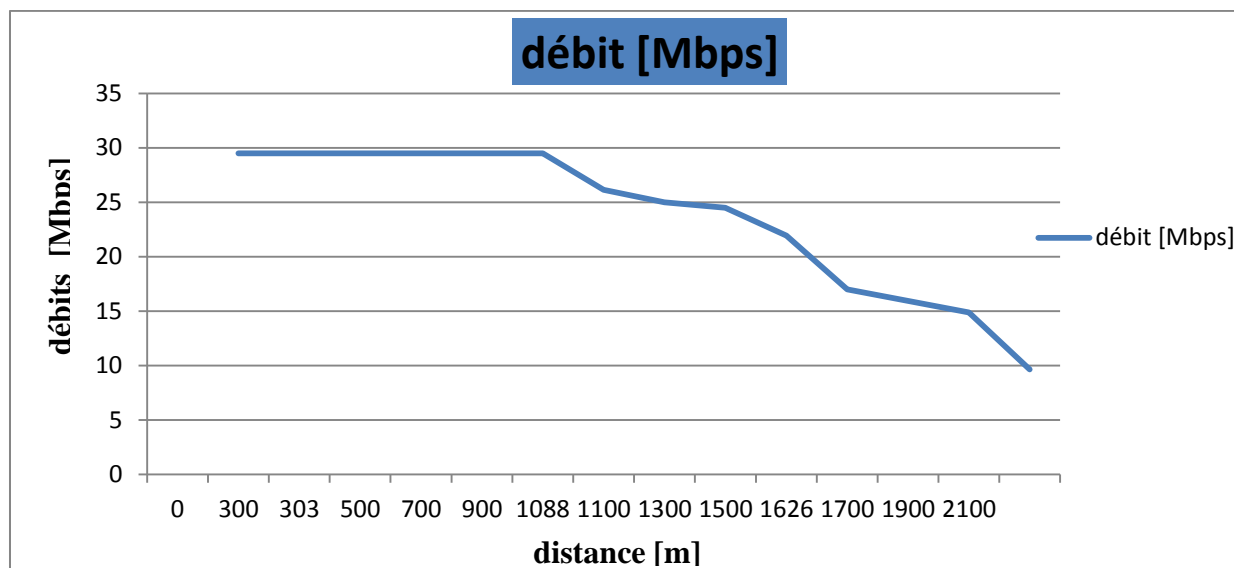


Figure 24 : Le Débit en fonction de la distance entre UE et NodeB.

D'après le graphe on trouve que le débit loin reste constant avec 29.50Mbps si la distance est entre 0 et 303 m par contre il diminue jusqu'à 17.22Mbps si la distance est entre 303 et 1626 m.

#### 4. Le délai (Latence teste)

Le délai de transmission, exprimé en ms, désigne le temps nécessaire pour acheminer un volume élémentaire de données de la source jusqu'à la destination.

Cell	Destination	Latence min [ms]	Latence max [ms]
Cell 0	10.110.18/178	20	24
Cell 1	10.110.18/178	21	23
Cell 2	10.110.18/178	21	23
Entre cell 0 & 1	10.110.18/178	20	23
Entre cell 0 & 2	10.110.18/178	21	24
Entre cell 1 & 2	10.110.18/178	21	23

Tableau 6: Latence teste

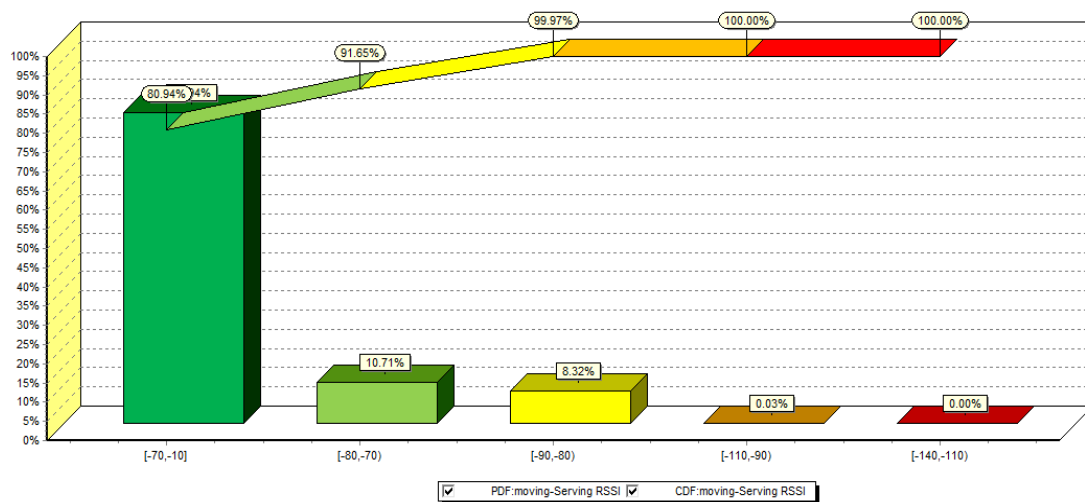


Figure 25 : test de Latence sur histogramme

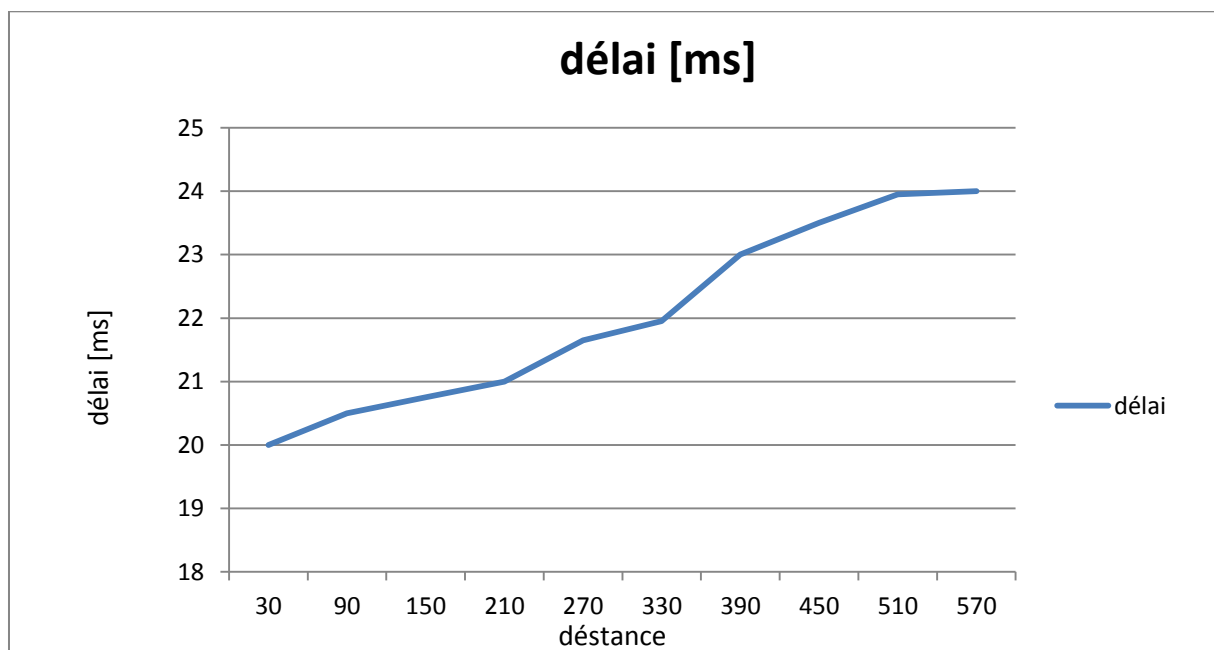


Figure 26 : test de Latence

D'après le graphe le délai est ascendant de 20ms vers 21ms si la distance est entre 30 et 210 m après il ascendant aussi de 21ms vers 24ms entre la distance de 210 et 570 m.

### Conclusion

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

Dans cette étude, on a concentré nos discussions, nos simulations et nos interprétations dans la partie LTE du système avec une attention très particulière sur les aspects du canal de transmission et de signalisation.

On a déduit que la qualité de service indique la fiabilité du réseau en impliquant des paramètres performants pour la transmission, pour cela nous avons testé l'évolution dans le temps et dans l'espace de quelques paramètres existants dans les réseaux 4G. (La bande passante SINR, le débit et le délai).

# **Conclusion**

Générale

## Conclusion Générale

Dans ce projet de recherche, nous avons étudié les paramètres permettant d'améliorer la qualité de service dans les réseaux mobiles de la 4<sup>ème</sup> Génération 4G (LTE).

Les générations de téléphonie mobile ont été développées pour garantir de meilleure performance en particulier les Qualités de Services, la première génération se trouve juste l'envoi de voix, la deuxième génération pour la messagerie plus de la voix, la troisième génération c'est l'orientation vers la multimédia.

De nos jours la dernière génération est la 4G, est connue comme la meilleure génération existante permettant le très haut débit, latence beaucoup moins importante, un large passant, une bande de fréquence flexible. La 5G est en train de test dans quelques pays.

Durant tout notre travail nous avons utilisé le simulateur omnet++ pour simuler le réseau 4G pour ce que concerne les paramètres de qualité de service on a étudié des résultats réels fournies par un logiciel spécialisé baptisé Drive test de Algérie télécom.

## Bibliographie

---

### Bibliographie

[2] : YEKHLEF M, étude des méthodes d'accès dans les réseaux mobiles, Université de Batna.

[3] : BOUCHENTOUF H, BOUDGHENE STAMBOULI R, ETUDE DES PERFORMANCES DES RESEAUX 4G LTE, 2012 /2013 mémoire master en télécommunication .univ abou bekr belkaid Tlemcen.

[4] : TOUATI F, TAHOUNZA M, Etude de Qualité de Service dans les réseaux mobiles 3G++, 2014/2015, Mémoire pour l'obtention du diplôme de master en télécommunication université de Tiaret.

[5] :M.BENJAMIN S, La Téléphonie Mobile : Technologies, acteurs et Usages, 2005, Mémoire réaliser sous la direction de M. Le Professeur JEAN FRAYSSINET Master II Recherche (Droit Des Medias), univ Marseille.

[7] : BCHINI T, Gestion de la Mobilité, de la Qualité de Service et Interconnexion de Réseau Mobiles de Nouvelle Génération, 2010, Thèse en vue de l'obtention du DOCTORAT DE L'UNIVERSITE DE TOULOUSE.

[8] : Eya JAMMAZI , Optimisation d'un réseau pilote 4G pour Tunisie Télécom, 21/juin/2013, UNIVERSITE de Gabés Ecole nationale d'ingénieurs de Gabés.

[9] : KHOUNI S, Simulation et Optimisation D'un Réseau GSM en Utilisant la Technologie OFDM, 2010, Mémoire pour l'obtention du diplôme de MAGISTER en communication université FERHAT ABBAS- SETIF UFAS (ALGERIE).

[10] : MERAH H, Conception d'un MODEM de la quatrième génération (4G) des réseaux de mobiles à base de la technologie MC-CDMA, 11 / 09 / 2012, UNIVERSITE FERHAT ABBAS – SETIF.

[11] : AMAZIT A, Impact Des Interférences De La Couche Physique Sur La Couche Mac Dans La Technologie LTE Mémoire pour l'obtention du diplôme de MAGISTER, juin 2011, L'université Du Québec A Trois- Rivières.

## **Bibliographie**

---

[12] : KHERBACHE Z, LARIBI A, Etude de la Qualité de Service(QoS) dans les réseaux WIFI, 2010, Mémoire pour l'obtention du Diplôme de Master en Informatique, univ abou bekr belkaid Tlemcen.

[13] : Boulkamh Ch, Prise en Compte de la QoS par les Protocoles de Routage dans les Réseaux Mobiles Ad Hoc, 2007, Mémoire pour l'obtention du Diplôme du Magistère en informatique, univ El Hadj Lakhdar de Batna.

[14] : SAADANE H, La qualité de service d'un streaming vidéo Dans un réseau ad hoc, 2012, Mémoire de l'obtention du diplôme de MAGISTER univ BADJI MOKHTAR – ANNABA.

[15] : Yannick Bouguen, LTE et les réseaux 4G, Groupe Eyrolles « ISBN : 978-2-212 - 12990-8 », 2012.

[16] : NIAR I, (analyse graphique pour la surveillance dans un réseau de capteurs sans fils (RCSF))

[17] : KORICHI Y et BOUHAMIDA O, Modélisation et simulation du problème du trou noir dans les réseaux mobiles P2P, 30/06/2013, Mémoire Master en Informatique Option: Informatique Industriel Université Kasdi Merbah-Ouargla.

[18] : Regbi M et Boutelli W, études des plateformes de simulations et d'émulations des NGN, 19/ 06 /2014, Mémoire Master Académique Domaine : Informatique et Technologie de l'Information, Université Kasdi Merbah-Ouargla.

[19] : Malki M et Marie P et Tannicha A et Tabarine Y, Simulateur Interactif de QoS, 2011, Master Informatique 2011 UNIVERSITE AVIGNON.

## **Web graphie**

[1]: <https://fr.wikipedia.org/wiki/> consulté le mars 2016.

[6]: [http://www.tutorialspoint.com/lte/lte\\_network\\_architecture.htm](http://www.tutorialspoint.com/lte/lte_network_architecture.htm) (LTE NETWORK ARCHITECTURE) consulté le mars 2016.



## **Bibliographie**

[20] : <https://sites.google.com/site/tpela4g/qu-est-ce-que-la-4g/les-avantages> consulté le mai 2016

[21] : <http://www.commentcamarche.net/contents/wireless/wlintro.php3> consulté le mars 2016.

[22] : <http://www.urec.cnrs.fr/IMG/pdf/cours.sf.pdf> consulté le mars 2016.

## Liste des Figure

---

### Liste des Figure

Figure 1 : l'architecture de BTS, BSC.....	8
Figure 2 : sous-système réseau : Le NSS (GSM).....	10
Figure 3 : réseau GPRS.....	11
Figure 4 : Architecture du réseau UMTS.....	14
Figure 5 : Architecture générale de LTE.....	20
Figure 6 : Architecture simple de L'EPS.....	21
Figure 7 : L'architecture de (E- UTRAN).....	22
Figure 8 : Architecture du réseau cœur EPC.....	23
Figure 9: Structure générique de trame LTE.....	26
Figure 10 : Structure de trame en FDD.....	27
Figure 11 : Structure de trame en TDD.....	28
Figure 12: Le handover .....	28
Figure 13: OFDMA et SC-FDMA.....	30
Figure 14 : Déploiement de la 4G dans le monde.....	31
Figure 15: Comparaison entre 4G et 3G.....	33
Figure 16: Le lancement du simulateur OMNeT++ 4.6.....	47
Figure 17 : Architecture modulaire de l'OMNeT++.....	48
Figure 18 : fichier NED en mode graphique.....	49
Figure 19 : fichier NED en mode texte.....	50
Figure 20: exemple d'un fichier (.ini).....	50

## Liste des Figure

---

Figure 21 : Exécution d'une application sous OMNeT++.....	51
Figure 22 : Architecture LTE Exemple-Internet.....	54
Figure 23 : Plot Couverture SINR sur histogramme.....	55
Figure 24 : Le Débit en fonction de la distance entre UE et NodeB.....	57
Figure 25 : test de Latence sur histogramme.....	58
Figure 26 : test de Latence.....	58

### Liste des Tableau

Tableau 1: différents débits2G.....	7
Tableau 2 : Différents Paramètres du LTE-Advanced.....	16
Tableau 3 : Les comparaisons entre certains paramètres clés des systèmes 4Get 3G.....	34
Tableau 4: Loin (SINR Between 0-5dB).....	56
Tableau 5: Près (SINR Higher than 15dB).....	56
Tableau 6: Latence teste.....	57

### Liste des abréviations

<b>1G</b>	<b>1ère Génération</b>
<b>2G</b>	<b>2ème Génération</b>
<b>3G</b>	<b>3ème Génération</b>
<b>4G</b>	<b>4ème Génération</b>
<b>5G</b>	<b>5ème Génération</b>
<b>3GPP</b>	<b>3rd Génération Partnership Project</b>
<b>ADSL</b>	<b>Asymmetric Digital Subscriber Line</b>
<b>AMPS</b>	<b>Advanced Mobile Phone System</b>
<b>BSC</b>	<b>Base Station Controller</b>
<b>BSS</b>	<b>Base Station Sub-system</b>
<b>BTS</b>	<b>Base Transceiver Station</b>
<b>CDMA2000</b>	<b>Code Division Multiple Access</b>
<b>DiffServ</b>	<b>Differenciated Service</b>
<b>EDGE</b>	<b>Enhanced Data Rates for GSM Evolution</b>
<b>eNodeB</b>	<b>evolved NodeB</b>
<b>FDD</b>	<b>Fréquence Division Duplexage</b>
<b>GGSN</b>	<b>Gateway GPRS Support Node</b>
<b>GPRS</b>	<b>General Packet Radio Service</b>
<b>GSM</b>	<b>Global System for Mobile Communication</b>
<b>HSDPA</b>	<b>High Speed Downlink Packet Access</b>
<b>HSOPA</b>	<b>High Speed OFDM Packet Access</b>
<b>HSPA</b>	<b>High Speed Packet Access</b>
<b>HSS</b>	<b>Home Subscriber Service</b>



<b>IP</b>	<b>I</b> nternet <b>P</b> rotocol
<b>LTE</b>	<b>L</b> ong <b>T</b> erm <b>E</b> volution
<b>NS-2</b>	<b>N</b> etwork <b>S</b> imulator 2
<b>NS-3</b>	<b>N</b> etwork <b>S</b> imulator 3
<b>NSS</b>	<b>N</b> etwork <b>S</b> ub <b>S</b> ystem
<b>NTT</b>	<b>N</b> ippon <b>T</b> elegraph & <b>T</b> éléphone
<b>OFDM</b>	<b>O</b> rthogonal <b>F</b> réquence <b>D</b> ivision <b>M</b> ultiplexing
<b>OFDMA</b>	<b>O</b> rthogonal <b>F</b> requency <b>D</b> ivision <b>M</b> ultiple <b>A</b> ccess
<b>QoS</b>	<b>Q</b> ualité <b>o</b> f <b>S</b> ervice
<b>RNC</b>	<b>R</b> adio <b>N</b> etwork <b>C</b> ontroller
<b>RNIS</b>	<b>R</b> éseau <b>N</b> umérique à <b>I</b> ntégration de <b>S</b> ervices
<b>RTC</b>	<b>R</b> éseau <b>T</b> éléphonique <b>C</b> ommuté
<b>RTCP</b>	<b>R</b> ea-time <b>T</b> ransport <b>C</b> ontrol <b>P</b> rotocol
<b>SMS</b>	<b>S</b> hort <b>M</b> essage <b>S</b> ervice
<b>TACS</b>	<b>T</b> otal <b>A</b> ccess <b>C</b> ommunications <b>S</b> ystem
<b>TCP</b>	<b>T</b> ransmission <b>C</b> ontrol <b>P</b> rotocol
<b>TDD</b>	<b>T</b> ime- <b>D</b> ivision <b>D</b> uplex
<b>UDP</b>	<b>U</b> ser <b>D</b> atagramme <b>P</b> rotocol
<b>UMTS</b>	<b>U</b> niversel <b>M</b> obile <b>T</b> élécommunications <b>S</b> ystem
<b>VoIP</b>	<b>V</b> oice <b>o</b> ver <b>I</b> P
<b>WCDMA</b>	<b>W</b> ide <b>C</b> oding <b>D</b> ivision <b>M</b> ultiple <b>A</b> ccess
<b>Wifi</b>	<b>W</b> ireless <b>F</b> idelity
<b>WIMAX</b>	<b>W</b> orldwide <b>I</b> nteroperability for <b>M</b> icrowave <b>A</b> ccess