

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique

Université Abderrahmane Mira

Faculté de Technologie



Département d'Automatique, Télécommunication et d'Electronique

## Projet de Fin d'étude

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Télécommunications

Spécialité : Réseaux et Télécommunications

### Thème

Evaluation de la QoS de la visioconférence sur le réseau LTE

**Préparé par :**

Latbi Wissam

Hamzi Rima

**Dirigé par :**

*Mr M.Azni*

**Examiné par :**

Mr M.Tounsi

Mr N.Benamirouche

Année universitaire : 2020/2021

## *Dédicace*

*Je rends grâce à Dieu de m'avoir donné le courage et la volonté ainsi que la conscience pour venir à terme de mes études.*

*Je dédie ce modeste travail :*

*A Mon cher père, pour tous ses conseils et pour toute la confiance qu'il a mise en moi et pour son dévouement pour mon bonheur.*

*Que dieu me le garde.*

*A Ma chère mère, qui a toujours été présente pour moi, dans les moments les plus difficiles et qui sans cesse veille sur moi avec ses prières, pour ses grands sacrifices et tout l'amour qu'elle me porte.*

*Que dieu me la garde.*

*A mon très cher frère **Oualid** qui a été toujours présent pour moi.*

*A mon cher **Idriss** à qui je souhaite un avenir plein de joie, de bonheur, de réussite et de sérénité. Je t'exprime à travers ce travail mes sentiments de fraternité et d'amour.*

*A ma binôme et ma chère copine **Hamzi rima** à qui je souhaite une vie joyeuse pleine de succès dans tous les domaines*

*A tous les professeurs et enseignants qui ont collaboré à ma formation*

*A toute ma grande famille*

*Latbi wissam*

## *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail à*

*Mes parents,*

*Ma famille,*

*Mes ami(e)s,*

*Tous ceux qui m'aiment et que j'aime*

*Hamzi rima*

## **REMERCIEMENTS**

*Nous remercions tout d'abord Dieu le tout puissant de nous avoir guidé et de nous avoir donné la force et la connaissance pour avoir accompli ce travail.*

*Nous adressons nos vifs remerciements à **Mr. Azni**, qui a dirigé ce travail.*

*Toute notre reconnaissance aux nombreux professeurs qui nous ont dirigés et qui ont suivi notre formation tout au long de notre cursus universitaire.*

*Nous tenons également à remercier **Mr. Tounsi** et **Mr. Benamirouche** qui ont bien voulu nous faire l'honneur d'accepter de juger ce travail.*

*Nous adressons aussi nos vifs remerciements à nos parents pour leur patience et leur soutien affectif et psychologique.*

## Table des matières

Introduction.....	1
Chapitre1	
1.1 Introduction.....	3
1.2 Généralités sur les réseaux mobiles.....	3
1.2.1 Les réseaux mobiles de 1 <sup>ère</sup> génération.....	3
1.2.2 Le réseau mobile de 2 <sup>ème</sup> génération.....	3
1.2.3 Les réseaux mobiles de 3 <sup>ème</sup> génération.....	4
1.2.4 Les réseaux mobiles de 4 <sup>ème</sup> génération.....	4
1.3 Etude du réseau 4G /LTE.....	4
1.3.1 Définition.....	4
1.3.2 Buts de la 4G/LTE.....	5
1.3.3 Architecture du réseau LTE.....	5
1.3.3.1 User Equipment(UE).....	6
1.3.3.2 Réseau d'accès E-UTRAN (Evolved-UTRAN).....	6
1.3.3.3 Le réseau cœur EPC (Evolved Packet Core).....	7
1.3.4 Architecture protocolaire du réseau LTE.....	8
1.3.4.1 Couche NAS.....	8
1.3.4.2 Couche RRC.....	8
1.3.4.3 Couche PDCP.....	9
1.3.4.3.1 Couche PDCP Uplink.....	9
1.3.4.3.2 Couche PDCP Downlink.....	9
1.3.4.4 Couche RLC.....	9
1.3.4.4.1 Mode transparent, TM (Transparent Mode).....	9
1.3.4.4.2 Mode non Acquitement, MU (Unacknowledged Mode).....	9
1.3.4.4.3 Mode Acquitement, AM (Acknowledged Mode).....	10
1.3.4.5 Couche MAC (Medium Access Control).....	10
1.3.4.6 Couche physique.....	13
1.3.5 Techniques d'accès et technologies utilisées dans le LTE.....	15
1.3.5.1 L'OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing).....	15
1.3.5.2 OFDMA.....	16
1.3.5.3 SC-FDMA.....	17
1.3.5.4 La technologie Multiple In Multiple Out (MIMO).....	17
1.3.6 Caractéristiques des réseaux 4G/LTE.....	18
1.3.6.1 Capacité.....	18

1.3.6.2	Débit.....	18
1.3.6.3	Latence.....	19
1.3.6.4	Agilité en fréquence.....	19
1.3.6.5	Mobilité.....	19
1.3.6.6	Multiplexage.....	20
1.3.6.7	Coexistence avec les générations précédentes.....	21
1.3.6.8	Qualité de service QoS.....	21
1.4	Conclusion.....	22

## Chapitre 2

2.1	Introduction.....	23
2.2	Définition de la Qualité de Service QoS.....	24
2.3.1	Débit.....	24
2.3.2	Latence.....	24
2.3.3	Perte de paquets.....	24
2.3.4	Gigue.....	24
2.3.5	La bande passante.....	24
2.3.6	Priorité des paquets.....	25
2.4	Mesure de la qualité de service des réseaux mobiles.....	25
2.4.1	Les critères de performance chez l'opérateur.....	26
2.4.2	Les critères de performance chez l'utilisateur.....	26
2.5	Les niveaux de service.....	26
2.6	La qualité de service du réseau LTE.....	27
2.6.1	Paramètres de la qualité de service.....	28
2.6.1.2	La priorité d'allocation et de rétention (ARP).....	28
2.6.1.3	Débit binaire garanti (GBR).....	28
2.6.1.4	Débit maximal MBR.....	29
2.6.1.5	Débit binaire non garanti (NGBR).....	29
2.6.1.6	Indicateurs Clés de Performances KPI (Key Performance Indicator).....	30
2.7	Exemple de Qualité de Service.....	31
2.7.1	Contraintes communes aux applications multimédia.....	32
2.8	Conclusion.....	32

## Chapitre 3

3.1	Introduction .....	34
3.2	Définition de la visioconférence .....	34
3.3	Protocoles .....	35
3.3.1	Le protocole H.323 .....	35
3.3.1.1	Architecture logique de protocole H.323 .....	36
3.3.1.2	Les entités du protocole H.323 .....	36
3.3.2	Le protocole SIP .....	37
3.3.2.1	Architecture logique du protocole SIP .....	37
3.3.2.2	Les entités du protocole SIP .....	37
3.3.2.3	Architecture protocolaire de SIP .....	38
3.4	Paramètres d'évaluation de la QoS de la visioconférence .....	38
3.4.1	Performance en termes de délai de bout_en_bout (E2E: End-to-End) .....	38
3.4.2	Performances en termes de perte de paquets (Packet Loss Performance) .....	39
3.4.3	Performances en terme de variation de délais (PDV : Packet Delay) .....	39
3.5	Conclusion .....	39

## Chapitre 4

4.1	Introduction .....	41
4.2	Scénarios de simulation .....	41
4.3	Performances en termes de délais de-bout-en bout .....	44
4.3.1	Scénario1 : trafic à faible charge .....	44
4.3.2	Scénario2 (Charge moyenne) .....	46
4.3.3	Scénario3 (Charge élevée) .....	47
4.3.4	Résumé des performances en termes de délais de bout en bout .....	49
4.4	Performances en termes de perte de paquets .....	50
4.4.1	Scénario 1 (faible charge) .....	50
4.4.2	Scénario 2 (Charge moyenne) .....	51
4.4.3	Scénario 3 (Charge élevée) .....	53
4.4.4	Résumé des performances en termes de perte de paquets .....	56
4.5	Performances en termes de variations de délais ou gigue .....	56
4.5.1	Scénario 1 (charge faible) .....	57
4.5.2	Scénario 2 (Charge moyenne) .....	58
4.5.3	Scénario 3 (Charge élevée) .....	59
4.5.4	Résumé des performances PDV .....	60

4.6 Conclusion.....	61
Conclusion.....	62
Bibliographie .....	65

## Liste des figures

<b>Figure 1.1</b> : Architecture du réseau LTE .....	5
<b>Figure 1.2</b> : Architecture du réseau d'accès 4G .....	6
<b>Figure 1.3</b> : Architecture du réseau cœur EPC .....	7
<b>Figure 1.4</b> : Plan de contrôle et plan Usager Plane.....	8
<b>Figure 1.5</b> : La couche MAC .....	11
<b>Figure 1.6</b> : Canal logique .....	11
<b>Figure 1.7</b> : Canal de transport .....	12
<b>Figure 1.8</b> : Structure d'une trame LTE .....	14
<b>Figure 1.9</b> : Structure de ressource Block .....	15
<b>Figure 1.10</b> : Représentation du signal OFDM en temps et fréquence .....	16
<b>Figure 1.11</b> : Comparaison des émetteurs-récepteurs entre OFDMA et SC-FDMA .....	17
<b>Figure 1.12</b> : Différentes techniques antennaires .....	18
<b>Figure 1.13</b> : Principe de soft handover et hard handover.....	19
<b>Figure 1.14</b> : Duplexage temporel et duplexage fréquentiel .....	20
<b>Figure 2.1</b> : Différentes classes de services du LTE .....	28
<b>Figure 2.2</b> : Bearer dédié et le bearer par défaut .....	29
<b>Figure 3.1</b> : Architecture de la visioconférence en mode multipoints.....	35
<b>Figure 3.2</b> : Architecture logique de protocole H.323.....	36
<b>Figure 3.3</b> : Architecture globale du protocole SIP .....	37
<b>Figure 3.4</b> : Architecture protocolaire de SIP.....	38
<b>Figure 4.1</b> : Réseau du scénario 1 .....	41
<b>Figure 4.2</b> : Réseau des scénarios 2 et 3 .....	43
<b>Figure 4.3</b> : Moyenne du délai de bout-en-bout dans le réseau de scénario 1.....	45
<b>Figure 4.4</b> : Délai de bout-en-bout dans le réseau de scénario 2 .....	47
<b>Figure 4.5</b> : Délai de bout-en-bout dans le réseau de scénario 3 .....	48
<b>Figure 4.6</b> : Délais de bout-en-bout pour les 3 scénarios. ....	49
<b>Figure 4.7</b> : Trafic émis et reçu dans le réseau de scénario 1. ....	51
<b>Figure 4.8a</b> : Trafic émis dans le réseau de scénario 2 .....	52
<b>Figure 4.8b</b> : Trafic reçu dans le réseau de scénario 2 .....	53
<b>Figure 4.9a</b> : Trafic émis dans le réseau de scénario 3 .....	55
<b>Figure 4.9b</b> : Trafic reçu dans le réseau de scénario 3 .....	55
<b>Figure 4.10</b> : Taux de perte de paquets pour les 3 scénarios.....	56
<b>Figure 4.11</b> : Les variations de délai dans le réseau de scénario 1.....	58
<b>Figure 4.12</b> : Les variations de délai dans le réseau de scénario 2.....	59
<b>Figure 4.13</b> : Variations de délai dans le réseau de scénario 3.....	60
<b>Figure 4.14</b> : Variations de délais pour les 3 scénarios. ....	61

## Liste des tableaux

<b>Tableau 3.1</b> : Normes H.323.....	36
<b>Tableau 4.1</b> : Bearers EPS.....	44
<b>Tableau 4.2</b> : Délais de bout-en-bout dans le réseau : Scénario1(Faible charge). ....	45
<b>Tableau 4.3</b> : Délais de bout en bout dans le réseau : Scénario 2 (charge moyenne). ....	46
<b>Tableau 4.4</b> : Délais de bout-en-bout dans le réseau deScénario 3 (Faible charge).....	48
<b>Tableau 4.5</b> : Trafic envoyé dans le réseau pour le scénario 1 (faible charge).....	50
<b>Tableau 4.6</b> : Trafic reçu dans le réseau de scénario 1 (faible charge).....	51
<b>Tableau 4.7</b> : Trafic envoyé dans le réseau pour le scénario 2 (Charge moyenne) .....	51
<b>Tableau 4.8</b> : Trafic reçu dans le réseau pour scénario 2 (Charge moyenne).....	52
<b>Tableau 4.9</b> : Trafic émis dans le réseau de scénario 3 (Charge élevée). ....	54
<b>Tableau 4.10</b> : Trafic reçu dans le réseau du scénario 3(Charge élevée).....	54
<b>Tableau 4.11</b> : Performances PDV pour le réseau du scénario 1 (Charge faible).....	57
<b>Tableau 4.12</b> : Performances PDV dans le réseau du scénario 2 (Charge faible).....	58
<b>Tableau 4.13</b> : Performances PDV dans le réseau du scénario 3 (Charge élevée).....	60

## Abréviations

1G	1ère Génération
2G	2ème Génération
3G	3ème Génération
4G	4ème Génération
3GPP	3rd Generation Partnership Project

### A

AM	Acknowledged Mode
ARQ	Automatic Re-Repeat Request
ARP	Allocation and Retention Priority
ACK	Acknowledgement

### B

BCCH	Broadcast Control Channel
BCH	Broadcast Channel
BTS	Base Transceiver Station
BSC	Base Station Controller

### C

CDMA	Code Division Multiple Access
CCCH	Common Control Channel

### D

DCCH	Dedicated Control Channel
DTCH	Dedicated Traffic Channel
DL-SCH	DownLink Shared Channel
DL	DownLink

### E

E-UTRAN	Evolved Universal Terrestrial Access Network
EPS	Evolved Packet System
EPC	Evolved Packet Core
E2E	End-To-End
eNB	Evolved Node B
eNodeB	E-UTRAN Node B

### F

FDMA	Frequency Division Multiple Access
FDD	Frequency Division Duplex
FTP	File Transfer Protocol

### G

GSM	Global System for Mobile
GMSK	Gaussian Minimum-Shift Keying
GW	Gateway
GBR	Guaranteed Bit Rate

### H

HARQ	Hybrid Automatic Repeat request
HSS	Home Subscriber Server

## I

IP Internet Protocol

## K

KPI Key Performance Indicator

## L

LTE Long Term Evolution

## M

MCCH Multicast Control Channel  
MTCH Multicast Traffic Channel  
MCH Multicast Channel  
MIMO Multiple Input Multiple Output  
ME Mobile Equipment  
MME Mobility Manager Entity  
MT Mode Transparent  
MBMS Multimedia broadcast and multicast service  
MAC Medium Access Control  
MISO Multiple Input Single Output  
MSC Mobile service Switching Center  
MBR Maximum Bit Rate  
MCU Multipoint Control Unit

## N

NAS Network Access Server  
NGBR NonGuaranteed Bit Rate  
NACK Non Acknowledgement

## O

OFDMA Orthogonal Frequency Division Multiple Access  
OMC Operations and Maintenance Center

## P

PCCH Paging Control Channel  
PCRF Policy Control and charging Rules Function  
PGW Packet Switch-GetWay  
PDCP Packet Data Convergence Protocol  
PDSCH Physical Downlink Shared Channel  
PDCCH Physical Downlink control Channel  
PUSCH Physical Uplink Shared Channel  
PBCH Physical Broadcast Channel  
PCFICH Physical control Format Indicator Channel  
PHICH Physical Channel  
PUCCH Physical Uplink control Channel  
PRACH Physical Random Access Channel  
PDV Packet Delay Variation  
PHY Physical Layer

## Q

QoS Quality Of Service  
QoS Qualité de Service

<b>R</b>	QCI	QoS Class Identifier
	SMS	Short Message Services
	RNC	Radio Network control
	RRC	Radio Resource Control
	ROHC	Robust Header Compression
	RLC	Radio Link Control
	RACH	Random Access Channel
	RB	Resource Blocks
	RSVP	Ressource Reservation Protocol
	RTC	Réseau Téléphonique Commuté.
	RNIS	Réseau Numérique à Intégration de Services
<b>S</b>		
	SC-FDMA	Single carrier-Frequency Division Multiple Access
	S-GW	Serving-GetWay
	SDU	Service Data Unit
	SIMO	Single Input Multiple Output
	SISO	Single Input Single Output
	SNR	Single To Noise Ratio
	SIP	Session Initiation Protocole
<b>T</b>		
	TDMA	Time Division Multiple Acces
	TE	Terminal Equipement
	TDD	Time Division Duplex
	TCP	Transmission Control Protocol
	ToS	Type of Service
	TFP	Traffic Forwarding Policy
	TFT	Traffic Flow Template
<b>U</b>		
	UMTS	Universal Mobile Telecommunication System
	UE	User Equipement
	UTRAN	Universal Terrastrial Access Network
	UL-SCH	UpLink Shared Channel
	UP	UpLink
	UTRAN	Universal Terrastrial Access Network
	UDP	User Datagram Protocol
	UAC	User Agent Client
	UAS	User Agent Server
	UM	Unacknowledged Mode
<b>V</b>		
	VoIP	Voice Over IP
	VoLTE	Voice Over LTE
<b>X</b>		
	X2	interfaces entre eNodeBs

# Introduction

## Introduction

Le domaine des télécommunications a connu un profond changement et une évolution rapide durant les deux dernières décennies. Avec l'apparition des nouvelles technologies, les normes deviennent de plus en plus adaptées afin d'assurer une meilleure qualité de service (QoS) aux clients. En effet le volume de trafic sur le réseau de télécommunication a été en augmentation rapide, particulièrement avec l'introduction de plus en plus de dispositifs mobiles plus avancés et des services en temps réel tels que les services multimédia. L'introduction de ces nouveaux dispositifs et des services exigés tels que la vidéo en streaming, l'accès rapide à internet, la visioconférence, jeu en ligne...etc. a attiré l'attention sur le problème de la limitation de la capacité ainsi que la dégradation de la QoS offerte aux utilisateurs.

Afin de répondre à ces limitations, le groupe 3GPP (3rd Generation Partnership Project) a introduit le standard LTE (Long Term Evolution), déployé dans un premier temps en Europe, aux USA, puis à travers le monde. Ainsi, de nos jours les opérateurs ont déjà déployé la technologie LTE aux abonnés afin de fournir de hauts débits. Cela grâce aux dispositifs utilisés par le LTE, dont l'utilisation de l'accès multiple en fréquence orthogonales OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access), les duplexages fréquentiel FDD (Frequency Division Duplexing) et temporel TDD (Time Division Duplexing), les techniques avancées d'antennes telles que la technologie MIMO (Multiple Input Multiple Output) et les méthodes garantissant la QoS.

Plusieurs outils permettent de suivre la QoS offerte par l'opérateur selon le type de trafic. Pour assurer cette QoS, les opérateurs se basent sur des enquêtes clients, un suivi en temps réel d'indicateurs de qualité de service appelés KPI (Key Performance Indicator) et les paramètres QCI (QoS Class Identifier).

C'est dans ce cadre que s'inscrit ce projet de fin d'étude. Notre objectif est d'évaluer la QoS du réseau 4G/LTE par rapport à la visioconférence. Pour cela, nous utiliserons plusieurs mesures essentielles qui déterminent la qualité d'une communication vidéo en temps réel. Les mesures les plus importantes sont le délai de bout-en-bout, le débit et les variations de délais ou la gigue.

Le présent rapport est organisé en 4 chapitres. Le premier chapitre présente un rappel sur les réseaux mobiles (1G, 2G, 3G) et une étude détaillée sur le réseau mobile de quatrième génération (4G).

Le deuxième chapitre est consacré à la notion de la qualité de service (QoS) où nous définissons précisément les paramètres de mesure appropriés.

Dans le troisième chapitre, nous présenterons la visioconférence sous plusieurs aspects (architecture, protocoles...).

# Introduction

---

Dans le quatrième chapitre nous présenterons les résultats de simulation obtenus sur quelques modèles du réseau LTE dans les situations à faible, moyenne et forte charge sur le réseau.

Le mémoire se termine par une conclusion et quelques perspectives.

# **Chapitre 1**

## **Généralités sur les réseaux mobiles**

## 1.1 Introduction

Les réseaux radio mobiles sont généralement classés en générations; 1G est le système radio mobile analogique dans les années 1980; 2G le premier système radio mobile numérique; 3G le premier système large bande. LTE (Long term Evolution) Rel-8 est le portail vers les réseaux de la 4ème génération (soit 3.9 G), et LTE-Advanced est réellement le premier réseau 4G, et ce n'est plus le dernier pas de standardisation dans le processus de l'évolution à long terme boostée par le 3GPP.

## 1.2 Généralités sur les réseaux mobiles

### 1.2.1 Les réseaux mobiles de 1<sup>ère</sup> génération

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 1G avait beaucoup de défauts, comme les normes incompatibles d'une région à une autre, une transmission analogique non sécurisée (Écouter les appels), pas de roaming vers l'international (roaming est la possibilité de conserver son numéro sur un réseau d'un autre opérateur) [1].

### 1.2.2 Le réseau mobile de 2<sup>ème</sup> génération

La deuxième génération (notée 2G) a marquée une rupture avec la 1G grâce au passage de l'analogique au numérique. Le réseau GSM (Global System For Mobile) mis en service depuis 1991, est un standard de téléphonie qui utilise le concept cellulaire. Les communications fonctionnent selon un mode entièrement numérique, ce qui permet de sécuriser les données.

La norme GSM autorise un débit maximal de 9,6 kbits/s ce qui permet de transmettre la voix ainsi que des données numériques de faible volume, par exemple des messages textes SMS (Short Message Services) limités à 160 caractères. Ce réseau possède deux bandes de fréquences: la bande 890-915MHZ pour la voix montante et la bande de 935-960MHZ, pour la voix descendante ; il est basé sur les technologies TDMA et FDMA. La modulation spécifiée pour ce réseau mobile est la modulation GMSK (Gaussian minimum-shift keying). Les principaux services de GSM sont le service téléphonique et le service de transmission, mis en œuvre en mode circuit.

### 1.2.3 Les réseaux mobiles de 3<sup>ème</sup> génération

La 3G a été impulsée pour permettre des applications vidéo sur le mobile et améliorer la QoS du Multimédia. Les applications visées étaient la possibilité de regarder Youtube, de la visiophonie,... Outre l'augmentation de débit, un point complexe à résoudre était de passer d'un service de téléphonie (à connexion circuit) vers un service DATA (connexion paquets). L'idée était d'ajouter des amplificateurs avant chaque antenne, il amplifie le signal pour que celui-ci puisse être reçu par une autre antenne, en changeant les techniques de modulation. Pour cela, il a fallu améliorer les terminaux (Smartphone, Tablette...) permettant un usage plus confortable de la connexion haut débit. La 3G est représentée principalement par les normes UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) et CDMA2000, permettant des débits qui sont bien plus rapides que les générations précédentes [2].

### 1.2.4 Les réseaux mobiles de 4<sup>ème</sup> génération

Le LTE est connu comme étant le standard de communication mobile le plus récent, il a été introduit par le 3GPP dans les Releases 8 et 9. Il propose des débits élevés pour le trafic temps-réel, avec une large portée. Théoriquement, le LTE peut atteindre un débit de 50Mbit/s en lien montant et 100Mb/s en lien descendant mais réellement il n'atteint que 40Mbit/s [3].

## 1.3 Etude du réseau 4G /LTE

### 1.3.1 Définition

Les nouvelles normes LTE visent à améliorer l'efficacité spectrale, à diminuer la latence, à augmenter la performance du réseau, à offrir des débits élevés en situation de mobilité à grande ou faible vitesse, à permettre et à faciliter l'interconnexion et l'interopérabilité entre différentes technologies existantes et à réduire les coûts de déploiement et d'exploitation en introduisant de nouvelles architectures et technologies. Le LTE est basé sur des techniques radios telles que la technique OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) pour le sens descendant, la technique SC-FDMA (Single Carrier - Frequency Division Multiple Access) pour le sens montant et la technique MIMO (Multiple Input Multiple Output) pour l'émission-réception. Les largeurs de bande du LTE peuvent s'étendre de 1,25 à 20 MHz en liaison montante comme en liaison descendante, ce qui permet à un opérateur d'adapter cette technologie aux bandes de fréquence qu'il possède. En outre, l'architecture

MIMO contribue à augmenter les débits de transfert de données du LTE en autorisant plusieurs chemins de signaux [4, 5].

### 1.3.2 Buts de la 4G/LTE

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 relè, le délai de bout-en-bout, la gigue et la perte de paquets.
- Minimiser le coût de signalisation.

### 1.3.3 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. L'architecture du réseau 4G/LTE ou Evolved Packet System (EPS), se divise en trois parties essentielles comme illustrée par la figure 1.1 [6].

1. L'équipement usager UE (User Equipement).
2. Le réseau d'accès E-UTRAN (Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network).
3. Le réseau cœur EPC (Evolved Packet Core).

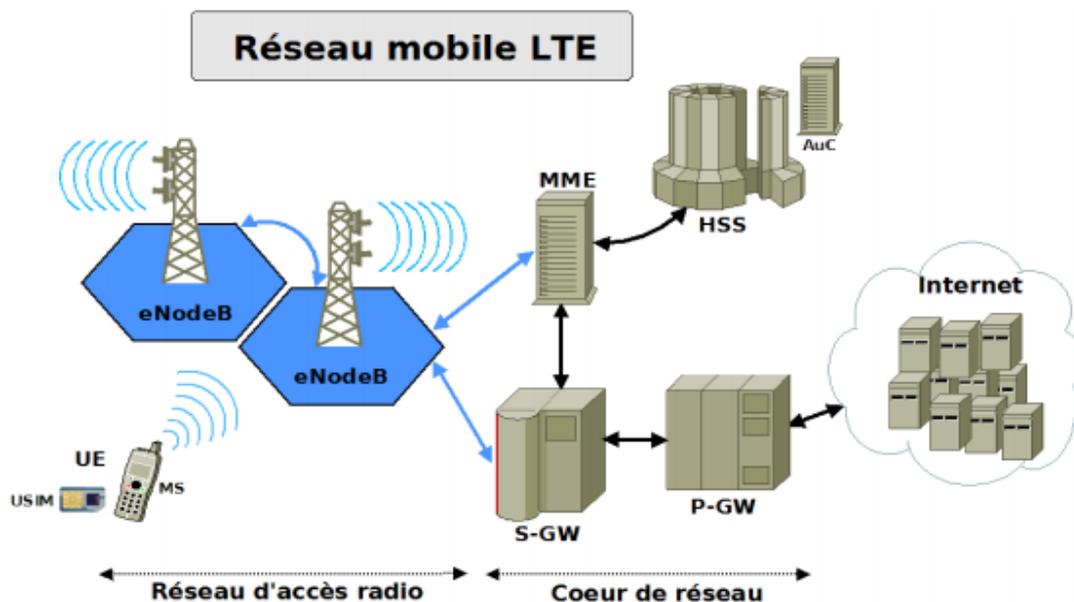


Figure 1.1 : Architecture du réseau LTE.

### 1.3.3.1 User Equipment(UE)

Il regroupe les éléments suivants:

- L'équipement mobile ME (Mobile Equipment) assure la gestion de la connexion avec le réseau mobile (établissement, reconfiguration, relâche) et la continuité de service en mobilité, de façon transparente pour l'utilisateur. C'est donc cet équipement qui met en œuvre les protocoles et les mécanismes propres à la technologie mobile utilisée.
- L'équipement terminal TE (Terminal Equipment) désigne l'élément physique sur lequel l'utilisateur accède aux services du réseau mobile. Il peut s'agir d'un ordinateur personnel, d'un appareil photo ou de tout autre équipement domestique utilisant un équipement mobile externe ou intégré pour l'accès au réseau mobile. Il échange donc essentiellement des paquets de données IP avec le ME.

### 1.3.3.2 Réseau d'accès E-UTRAN (Evolved-UTRAN)

Il constitue la partie radio du réseau et comprend (figure 1.2) :

1. L'eNodeB qui est responsable de la transmission et de la réception radio avec l'UE, regroupe les entités NodeB et RNC de l'UTRAN 3G. Les fonctions supportées par le RNC ont été réparties entre l'eNodeB et les entités du réseau cœur MME/Serving GW
2. L'interface S1 qui consiste en S1-C (S1-Contrôle) entre l'eNodeB et le MME et S1-U (S1-Usager) entre l'eNodeB et le Serving GW.
3. L'interface X2 définie entre eNodeBs adjacents.

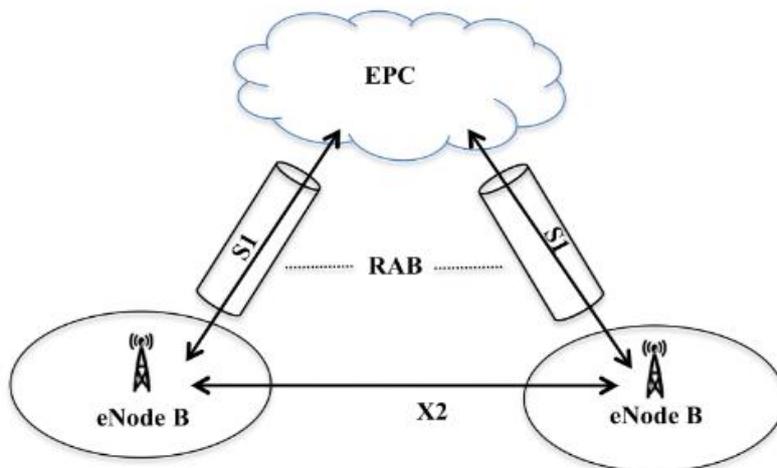


Figure 1.2 : Architecture du réseau d'accès 4G.

### 1.3.3.3 Le réseau cœur EPC (Evolved Packet Core)

C'est le nom du réseau cœur évolué, paquet tout IP. EPC aussi peut communiquer avec les réseaux 2G/3G. Son architecture est simplifiée, comme le montre la figure 1.3, en la comparant à celle de 2G/3G.

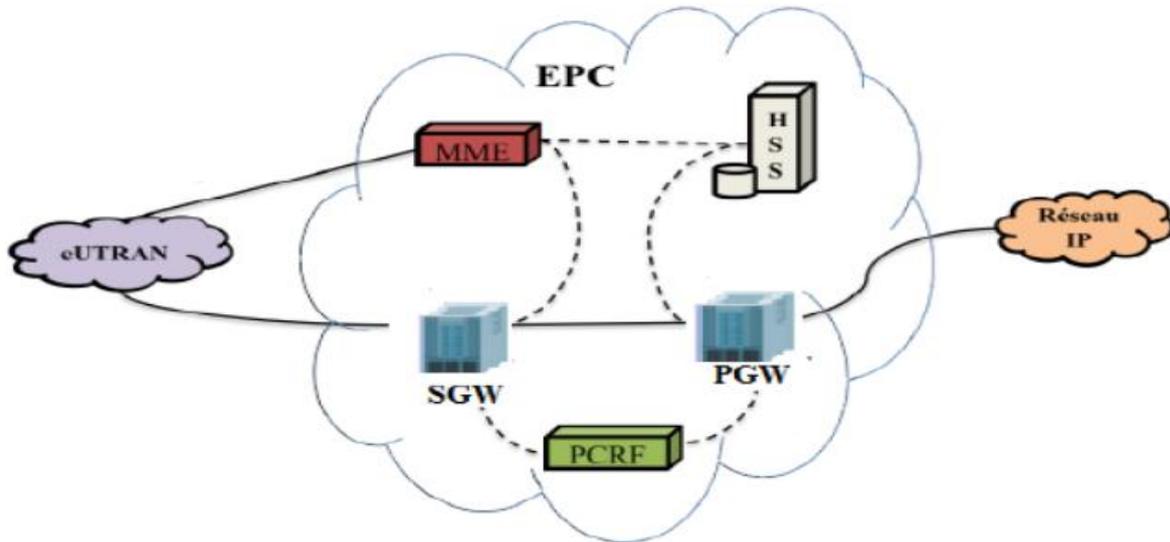


Figure 1.3 : Architecture du réseau cœur EPC [7]

Le système EPC utilise trois plateformes différentes pour connecter l'utilisateur à son univers de communication mobile [8 ,9]:

1. **MME (Mobility Manager Entity)** : Il est responsable de savoir la localisation de l'utilisateur, de connaître son état et gérer les procédures authentification et mobilité des UE.
2. **SGW (Serving Gateway)** : Il est responsable du transfert d'un relais à un autre, il gère tout l'aspect Handover inter-eNodeB et effectue ce transfert vers un réseau 2G ou 3G.
3. **PGW (Packet Data Network Gateway)**: C'est la passerelle vers les réseaux externes. Il est responsable du routage, en assignant une adresse IP au mobile au moment de l'attachement au réseau. PGW est un point pour faire le filtrage des données. Il participe aussi à l'opération de taxation. Plus les deux entités HSS (Home Subscriber Server) : HSS contient le profil de l'abonné pour les réseaux 2G, 3G et le LTE.
4. **PCRF (Policy & Charging Rules Function)**: Il fournit au PGW les règles de taxation nécessaire pour différencier les flux de données et de les taxer d'une façon convenable.

### 1.3.4 Architecture protocolaire du réseau LTE

Dans cette section, nous allons décrire les différentes couches de protocoles et l'emplacement des fonctions dans l'architecture LTE comme le montre la figure 1.4.

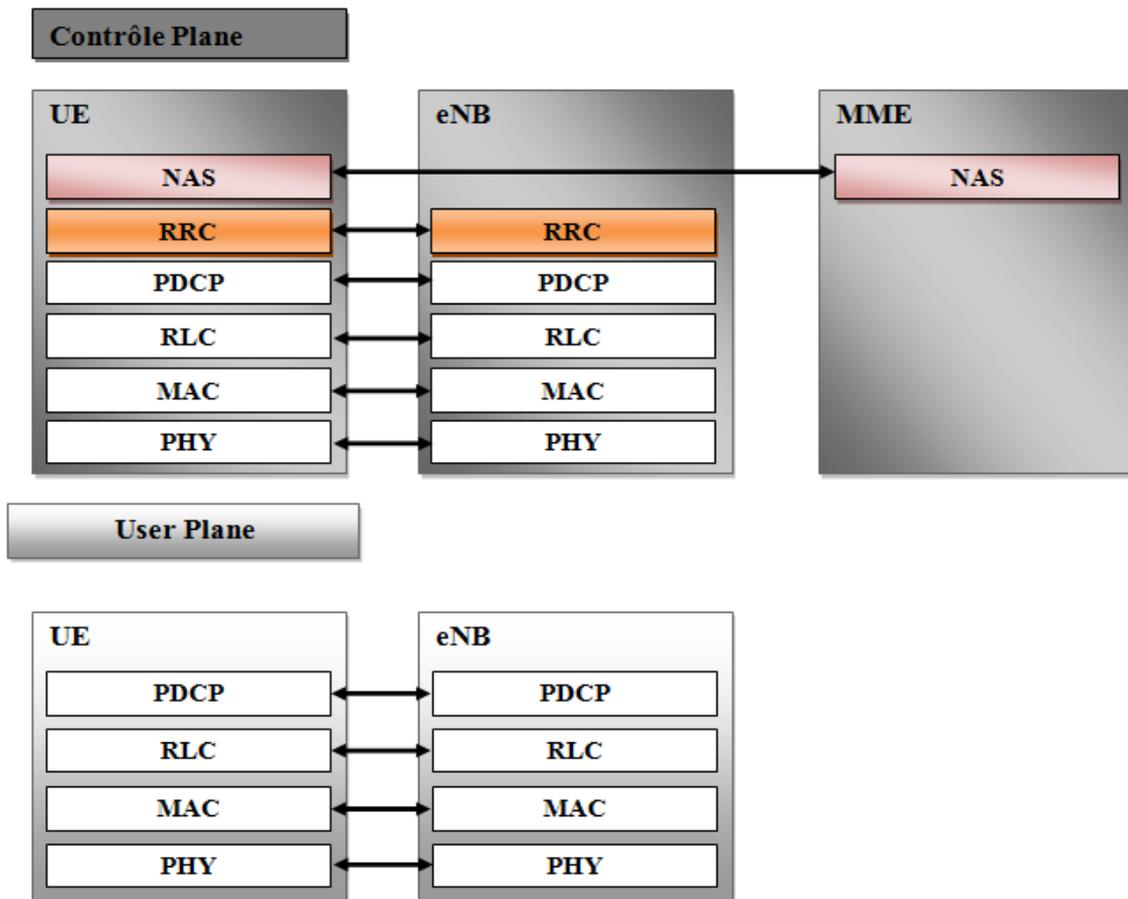


Figure 1.4 : Plan de contrôle et plan Usager Plane

#### 1.3.4.1 Couche NAS

Le protocole Non Access Stratum (NAS) s'exécute entre l'entité de gestion de la mobilité (MME) et l'équipement utilisateur (UE). À des fins de contrôle, le NAS est utilisé pour la connexion au réseau, l'authentification, la configuration de la gestion de la mobilité des supports. Les messages du NAS ont été ajustés, stabilisés et protégés par le MME et l'UE.

#### 1.3.4.2 Couche RRC

Le contrôle des ressources radio (RRC) s'effectue entre l'eNB et l'UE. Cela implique également avec le plan de contrôle.

### **1.3.4.3 Couche PDCP**

La couche PDCP (Packet Data Convergence Protocol) fonctionne à la fois sur le plan de contrôle et sur le plan utilisateur. Il est également responsable de l'équilibrage des liaisons montantes et descendantes [28].

#### **1.3.4.3.1 Couche PDCP Uplink**

Il existe trois types de modèles de processus de liaison montante utilisés pour la liaison montante LTE PDCP. Dans le premier processus, lorsque PDCP reçoit des paquets IP de la couche supérieure, il implémente des numéros de séquence. Le deuxième processus est responsable de la compression ou de la décompression du paquet IP le plus élevé du plan utilisateur par la compression d'en-tête robuste, RoHC (Robust Header Compression) et l'utilisation d'une bande passante d'interface efficace.

#### **1.3.4.3.2 Couche PDCP Downlink**

Dans ce processus, lorsque PDCP reçoit le paquet des couches inférieures, il vérifie les informations de déchiffrement de l'en-tête PDCP et les supprime. Après cela, il peut chiffrer à la fois les données du plan utilisateur et du plan de contrôle, ainsi que l'intégrité du plan de contrôle. Enfin pour la couche supérieure à livrer, la décompression de l'en-tête du paquet du plan utilisateur est créée aux numéros de séquence [30].

### **1.3.4.4 Couche RLC**

#### **1.3.4.4.1 Mode transparent, TM (Transparent Mode)**

Le mode transparent est une plage entre les SDU (Service Data Unit) RLC (Radio Link Control) et les PDU (Protocol Data Unit) RLC. Ce mode contrôle certaines signalisations, par exemple, diffuser des informations sur le système et des messages de radiomessagerie.

#### **1.3.4.4.2 Mode non Acquiescement, MU (Unacknowledged Mode)**

Le mode non acquiescement est utilisé pour le trafic de maintien défensif tel que VoIP, pointant vers le multimédia connu sous le nom de diffusion multimédia/service multimédia (MBMS : Multimedia Broadcast and Multicast Service). Ce mode effectue la distribution et la continuité des RLC SDU, détecte les doublons et la réorganisation des RLC PDU, ainsi que la refonte des RLC SDU.

### 1.3.4.4.3 Mode Acquiescement, AM (Acknowledged Mode)

Le mode Acquiescement prend en charge les retards et les erreurs dans le trafic sensible qui n'est pas en temps réel, c'est-à-dire la navigation sur le Web. Ce mode fournit des données bidirectionnelles où RLC peut à la fois transmettre et recevoir des données. La spécificité d'ARQ (Automatic Repeat Request) est qu'il peut résoudre parfaitement les erreurs de paquets de transmission de données. Certains plans de contrôle sont que les messages RRC sont également utilisés dans ce mode. Au-delà de l'information du mode UM, le mode AM peut opérer la transmission des PDU RLC, la re-sélection des PDU RLC de retransmission [30].

### 1.3.4.5 Couche MAC (Medium Access Control)

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

Au niveau de cette couche, les mesures de l'état du trafic et de correction des erreurs sont assurées par la méthode de retransmission HARQ (Hybrid Automatic Repeat reQuest). De plus, la couche MAC offre le service d'ordonnancement [28, 29, 16].

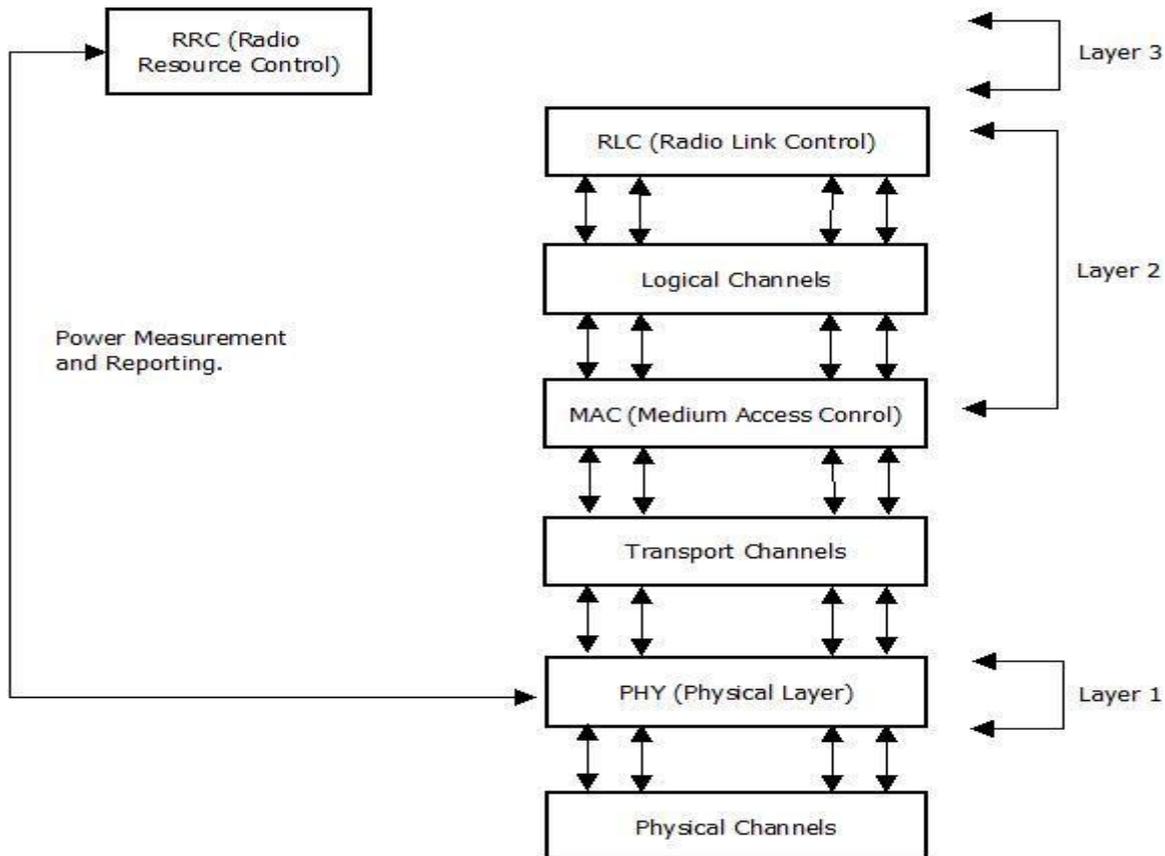


Figure 1.5 : La couche MAC.

➤ **Canal logique**

La connexion entre MAC et RLC sur différents canaux logiques qui assurent le service de transfert de données et spécifie les types d'informations de données qui transportent également les types de canaux logiques qui incluent à la fois les canaux de contrôle (données du plan de contrôle) et les canaux de trafic (données du plan utilisateur). Sur la **figure 1.6**, nous pouvons voir la position entre MAC et RLC via le canal logique [28, 30]. Ci-dessous, nous citons les principaux canaux logiques.

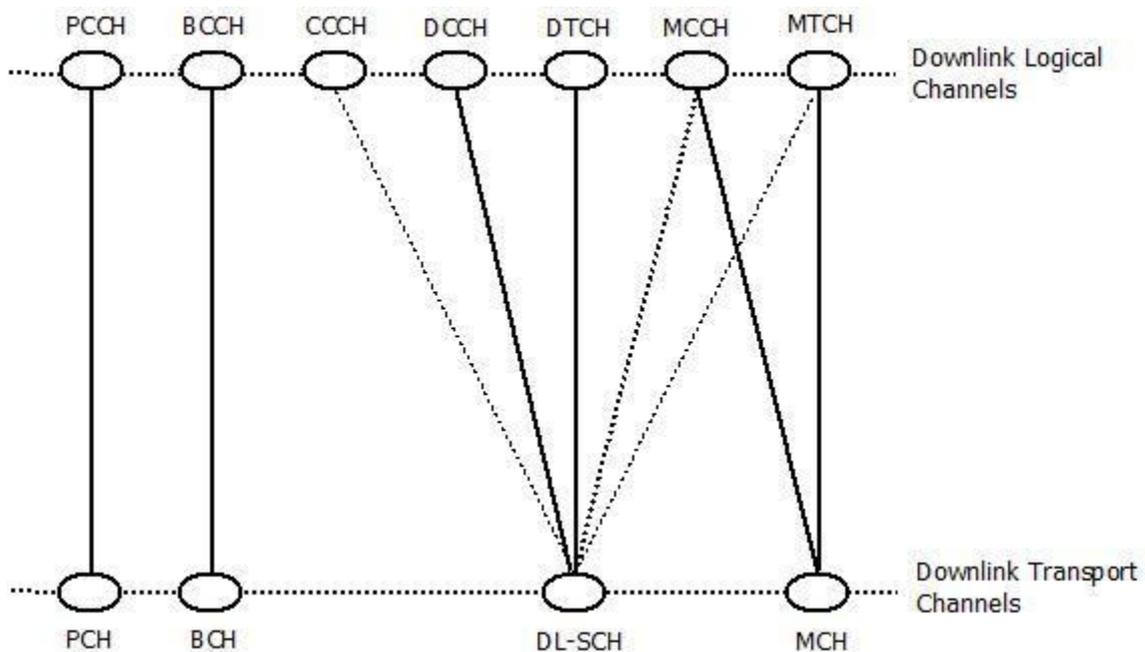


Figure 1.6 : Canal logique

- **PCCH (Paging Control Channel)** : Le canal de liaison descendante est utilisé pour transférer des informations de recherche de personnes, également utilisé pour la recherche de personnes lorsque le réseau ne connaît pas la cellule de position de l'UE.
- **BCCH (Broadcast Control Channel)** : Le canal de liaison descendante est utilisé pour diffuser des informations de contrôle.
- **CCCH (Common Control Channel)** : Ce canal est utilisé pour contrôler la transmission d'informations entre les UE et le réseau, est également utilisé pour les UE sans connexion RRC au réseau.
- **DCCH (Dedicated Control Channel)** : Il s'agit d'un canal bidirectionnel point à point. Il peut diffuser des informations de contrôle entre l'UE et le réseau qui sont utilisées par les UE avec une connexion réseau RRC.

- **DTCH (Dedicated Traffic Channel)** : C'est également un canal point à point qui est attribué à un UE pour le transfert d'informations d'utilisateur.
- **MCCH (Multicast Control Channel)** : C'est un canal de liaison descendante point à point qui diffuse des informations de contrôle MBMS vers l'UE à partir du réseau. Les UE utilisent ce canal pour recevoir le MBMS.
- **MTCH (Multicast Traffic Channel)** : Il s'agit également d'un canal de liaison descendante point à point qui diffuse les données de trafic du réseau vers l'UE. Les UE utilisent également ce canal pour recevoir le MBMS [31].

➤ **Canal de transport**

La connexion entre MAC et PHY (couche physique) sur différents canaux de transport qui assurent le service de transfert de données et spécifie comment les informations sont acheminées vers une modulation physique particulière qui est fixe. Dans la figure 1.7, nous pouvons voir la position entre MAC et PHY sur les canaux de transport [28, 30].

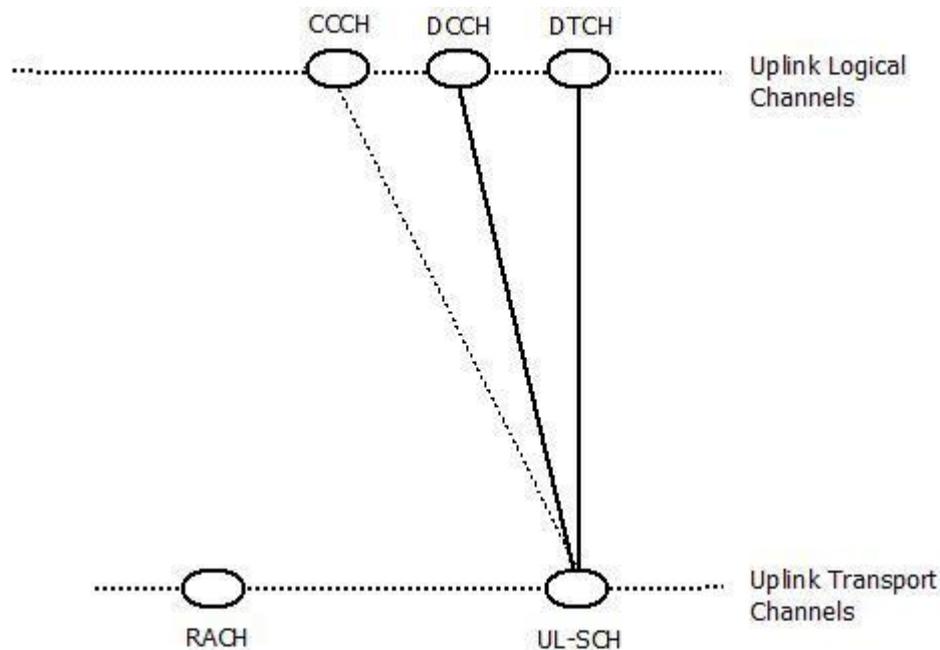


Figure 1.7 : Canal de transport.

- **PCH (Paging Channel)** : Canal de liaison descendante et maintient une rétroaction discontinue pour permettre l'économie d'énergie de l'UE. Ce canal diffuse la zone de couverture totale de la cellule.
- **BCH (Broadcast Channel)** : Il s'agit d'un canal de liaison descendante au format fixe et prédéfini, qui diffuse également vers la zone de couverture totale de la cellule.

- **MCH (Multicast Channel)** : Il s'agit d'un canal de liaison descendante qui prend en charge la transmission MBMS sur diverses cellules et portions de ressources semi-statiques. Il diffuse également la zone de couverture totale de la cellule.
- **DL-SCH (Downlink Shared Channel)** : Il s'agit d'un canal de liaison descendante qui prend en charge l'ARQ hybride et la variation de liaison dynamique et la vérification par la puissance de modulation, de codage et de transmission. Ce canal prend en charge une allocation de ressources puissante et semi-statique et prend en charge en outre la réponse discontinue de l'UE et la transmission MBMS.
- **RACH (Random Access Channel)** : C'est un canal de liaison montante et porte un minimum d'informations. Il peut être perdu en raison d'un plantage lors de la transmission sur ce canal.
- **UL-SCH (Uplink Shared Channel)** : Il s'agit également d'un canal de liaison montante et prend en charge une puissante variation de liaison. Il vérifie par la puissance d'émission, la modulation et le codage. Ce canal prend également en charge l'allocation de ressources dynamique et semi-statique [31].

#### 1.3.4.6 Couche physique

La couche 1, appelée également Layer 1 (L1) comprend la définition :

- ✓ du mécanisme de transmission FDD et TDD.
- ✓ des techniques multi-antennaires utilisables (MIMO).
- ✓ des combinaisons de modulations et de codage correcteur d'erreurs possibles.
- ✓ de la structure de multiplexage OFDMA et SC-FDMA.

Afin de permettre des échanges entre le terminal et le réseau, la couche physique spécifie différents canaux appelés canaux physiques.

##### ➤ Canaux physiques

Les canaux physiques en downlink sont :

- ◆ PDSCH : pour transmission du DL-SCH et du PCH
- ◆ PDCCH : pour donner des allocations d'ordonnancement à l'UE sur PDSCH ou PUSCH.
- ◆ PBCH : Pour la transmission du BCH.

- ◆ PCFICH : qui informe l'UE sur le nombre de symboles OFDM utilisé pour le PDCCH.
- ◆ PHICH : porte les acquittements d'HARQ.

Les canaux physiques en uplink sont :

- ◆ PUSCH : Pour la transmission du UL-SCH ; il porte également les informations de contrôle en cas de collision de ces deux canaux sur le même intervalle de temps.
- ◆ PUCCH : qui transporte les informations de contrôle, comprenant les réponses ACK et NACK du terminal aux transmissions downLink.
- ◆ PRACH : il transporte le préambule de l'accès aléatoire envoyé par les terminaux, le PRACH porte le RACH.

#### ➤ Structure de trame de la couche physique

Les signaux de transmission sont divisés en trames, et chacune des trames comprend 10 sous-trames. Chaque sous-trame est formée de deux times slots et d'une durée de 0,5 ms pouvant allouer à la fois une transmission montante et descendante. Chaque slot contient 7 symboles OFDM. Ici, la structure générale de trame de la couche physique est illustrée par la figure 1.8 [32]:

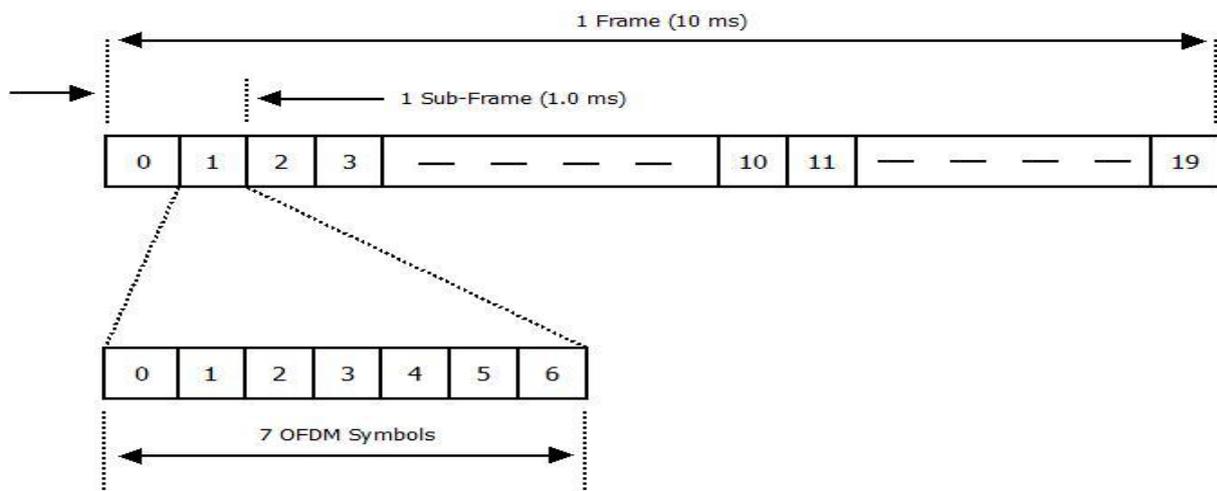


Figure 1.8 : Structure d'une trame LTE.

#### ➤ Ressource block

C'est ce que nous utilisons pour représenter la transmission en LTE. Il s'agit de la plus petite ressource temps-fréquence pouvant être allouée par voie hertzienne en LTE. Une unité de bloc de ressources (RB) se compose d'une sous-porteuse sur un symbole

OFDMA [12]. Pendant la transmission à la fois sur la liaison montante et la liaison descendante, un ordonnanceur situé à l'eNodeB alloue des ressources dans les unités de RB soit en mode FDD ou TDD, qui a une bande passante de 180 kHz sur un seul intervalle de temps de 0,5 ms [12, 13]. La figure 1.9 montre la structure globale de la trame LTE RB.

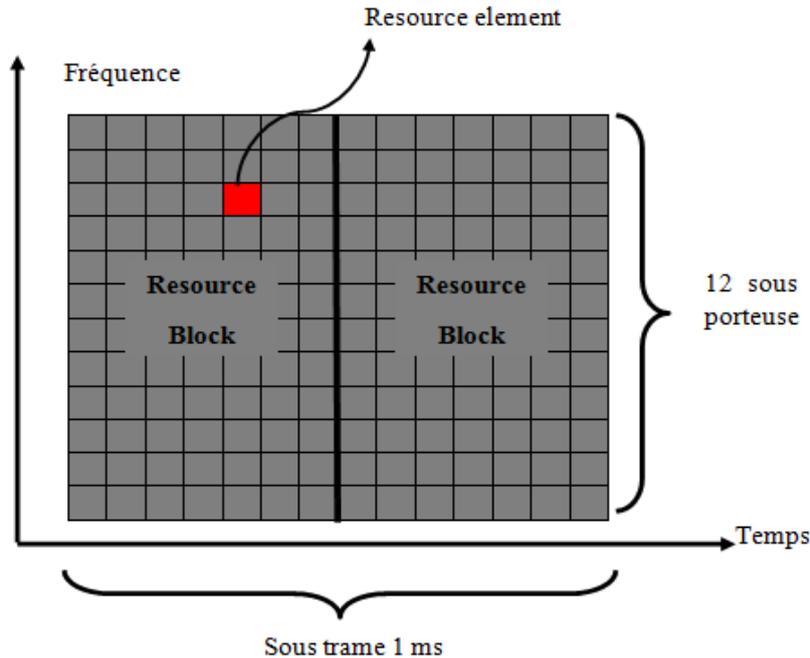


Figure 1.9 : Structure de ressource Block.

### 1.3.5 Techniques d'accès et technologies utilisées dans le LTE

Deux technologies sont intégrées dans le LTE, notamment l'OFDM et le MIMO, cependant les techniques d'accès sont: L'OFDMA (en downlink), Le SC-FDMA(en UpLink).

#### 1.3.5.1 L'OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)

La couche physique LTE qui est basée sur un multiplexage par répartition orthogonale de fréquence OFDM, est le schéma de transmission de choix pour permettre des données, des vidéos et des communications multimédias et est utilisé par une variété de haut débit. OFDM est un système élégant et efficace pour un débit élevé pour la transmissions de données dans un environnement radio sans visibilité directe ou à trajets multiples [10].

### 1.3.5.2 OFDMA

Cette technique de modulation est utilisée dans la section de transmission de liaison descendante du réseau LTE pour accéder au système sans fil à large bande mobile en 4G [11]. L'OFDMA est un accès multiple basé sur OFDM qui combine les techniques de TDMA et FDMA pour la transmission de liaison descendante LTE [12]. Ceci est illustré dans la figure 1.10 ci-dessous. Il alloue une fraction de la bande passante du système à chaque utilisateur dans chaque tranche de temps spécifique et garantit une meilleure efficacité spectrale et une meilleure planification des ressources en fonction des réponses en fréquence et du temps de canal [12, 13].

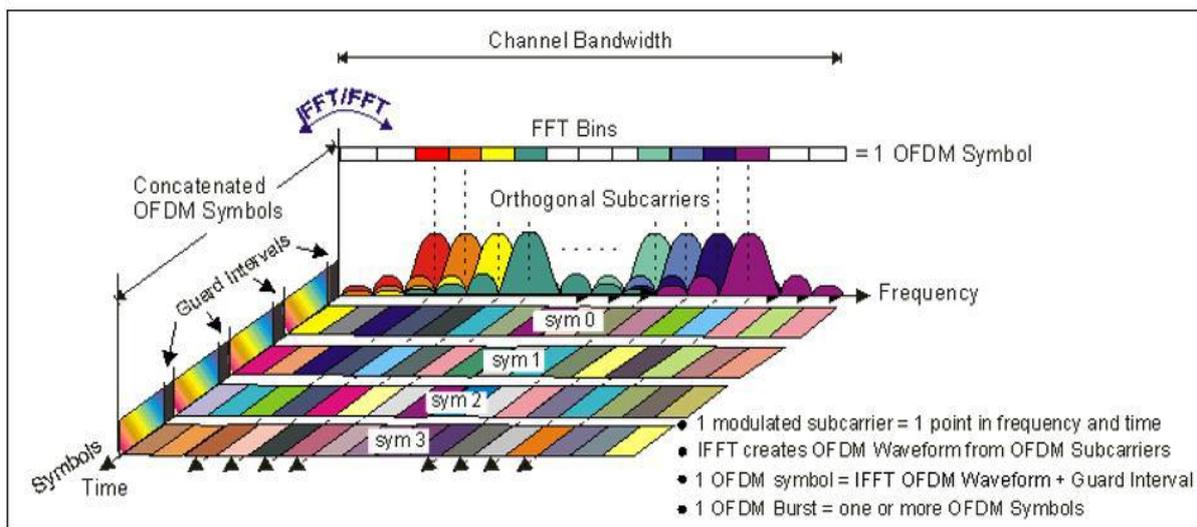


Figure 1.10: Représentation du signal OFDM en temps et fréquence.

### 1.3.5.3 SC-FDMA

SC-FDMA est choisi comme technique de transmission multiple pour la section de liaison montante LTE. SC-FDMA est une technique de modulation très sophistiquée qui combine divers avantages de l'OFDM qui comprend l'attribution efficace des fréquences, un faible rapport de puissance crête à moyenne avec une résistance à trajets multiples pour la transmission aux sections de liaison montante du réseau LTE [14]. L'un des avantages de SC-FDMA est la gestion de l'alimentation dans l'UE pendant la transmission montante [13]. Bien que l'OFDMA ait l'avantage d'une meilleure utilisation de la bande étroite disponible sur SC-FDMA [2, 12], SC-FDMA d'autre part est moins sensible à l'évanouissement sélectif en fréquence du canal que l'OFDMA en raison de sa capacité à étaler très efficacement chaque symbole modulé sur toute la largeur de bande du canal SC-FDMA [12]. La figure 1.11 montre la comparaison des émetteurs-récepteurs OFDMA et SC-FDMA.

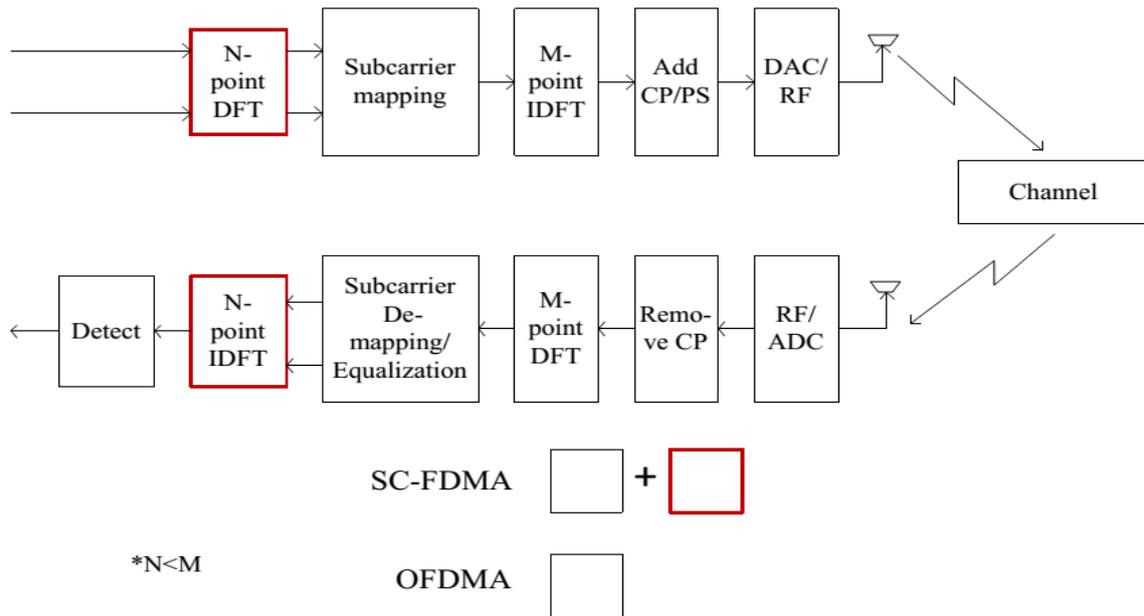


Figure 1.11: Comparaison des émetteurs-récepteurs entre OFDMA et SC-FDMA

Les points communs donc sont :

- Une transmission de données en blocs.
- Un multiplexage des données en fréquence dans le cas où ils sont répartis sur plusieurs sous-porteuses orthogonales.
- Une égalisation de canal réalisée dans le domaine fréquentiel.
- Une complexité globalement équivalente.

#### 1.3.5.4 La technologie Multiple In Multiple Out (MIMO)

Le but de la technique MIMO étant d'augmenter le débit et la portée des réseaux sans fil, elles se basent sur l'utilisation de plusieurs antennes aussi bien du côté de l'émetteur que celui du récepteur. Lorsqu'un tel système comprend, seulement, une seule antenne à l'émission et plusieurs antennes à la réception, il est nommé SIMO même, lorsqu'il comprend plusieurs antennes à la réception et une seule antenne à l'émission, nommé MISO. Finalement, si les deux côtés comptent une antenne chacun, le système est dit SISO. [1]

La mise en place d'une telle structure permet au LTE d'atteindre des débits importants. De plus, le fait d'utiliser plus d'une antenne des deux côtés du système permet d'apporter de la diversité et a pour conséquence l'amélioration du rapport signal à bruit (SNR) et donc du taux d'erreurs binaires.

Les systèmes MIMO exploitent les techniques de :

- **Diversité d'espace** : diversité d'antenne.

- **Diversité fréquentielle** : Cette technique demande l'envoi du même signal sur des fréquences différentes.
- **Diversité temporelle** : Lorsque l'on sépare l'envoi du même signal par le temps cohérence du canal.

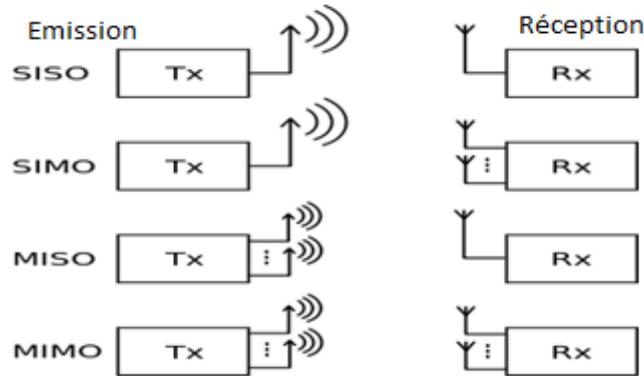


Figure 1.12: Différentes techniques antennaires

### 1.3.6 Caractéristiques des réseaux 4G/LTE

#### 1.3.6.1 Capacité

Avec l'explosion des services nécessitant une connexion toujours active, la contrainte appliquée sur la capacité en nombre d'utilisateurs simultanés devient forte. Le système doit supporter simultanément un large nombre d'utilisateurs par cellule. Il est attendu qu'au moins 200 utilisateurs simultanés par cellule soient acceptés à l'état actif pour une largeur de bande de 5 MHz, et au moins 400 utilisateurs pour des largeurs de bande supérieures. Un nombre largement supérieur d'utilisateurs devra être possible à l'état de veille [16].

#### 1.3.6.2 Débit

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

- 100 Mbit/s en voie descendante pour une largeur de bande allouée de 20 MHz, soit une efficacité spectrale crête de 5 bit/s/Hz.
- 50 Mbit/s en voie montante pour une largeur de bande allouée de 20 MHz, soit une efficacité spectrale crête de 2,5 bit/s/Hz.

Ces chiffres supposent un UE de référence comprenant :

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

Pour le LTE y auna, deux antennes d'émission à la station de base et deux antennes en réception au niveau de l'UE [16].

### 1.3.6.3 Latence

C'est la capacité du réseau à réagir lorsque des utilisateurs font appel à des services. Nous distinguons deux plans qui sont la latence du plan de contrôle et la latence du plan usager.

- Latence du plan de contrôle : cette dernière a comme objectif une amélioration par rapport à l'UMTS et donc d'un temps de transition inférieur à 100 ms
- Latence du plan usager : Elle correspond au délai de transmission d'un paquet IP au sein du réseau d'accès. Une latence du plan usager inférieure à 5 ms est visée [17].

### 1.3.6.4 Agilité en fréquence

L'interface radio E-UTRAN peut opérer dans des allocations de bande de fréquence de différentes largeurs incluant : 1.4, 3, 5, 10, 15 et 20 MHz [18].

### 1.3.6.5 Mobilité

Avec le facteur de la mobilité, la technologie assure le bon fonctionnement à des vitesses comprises entre 120 et 350 km/h où le "handover" pourra s'effectuer, LTE ne permet que le "hard handover" et non pas le "soft handover" dans des conditions où l'utilisateur se déplace à grande vitesse comme démontré dans la figure 1.7 [19].

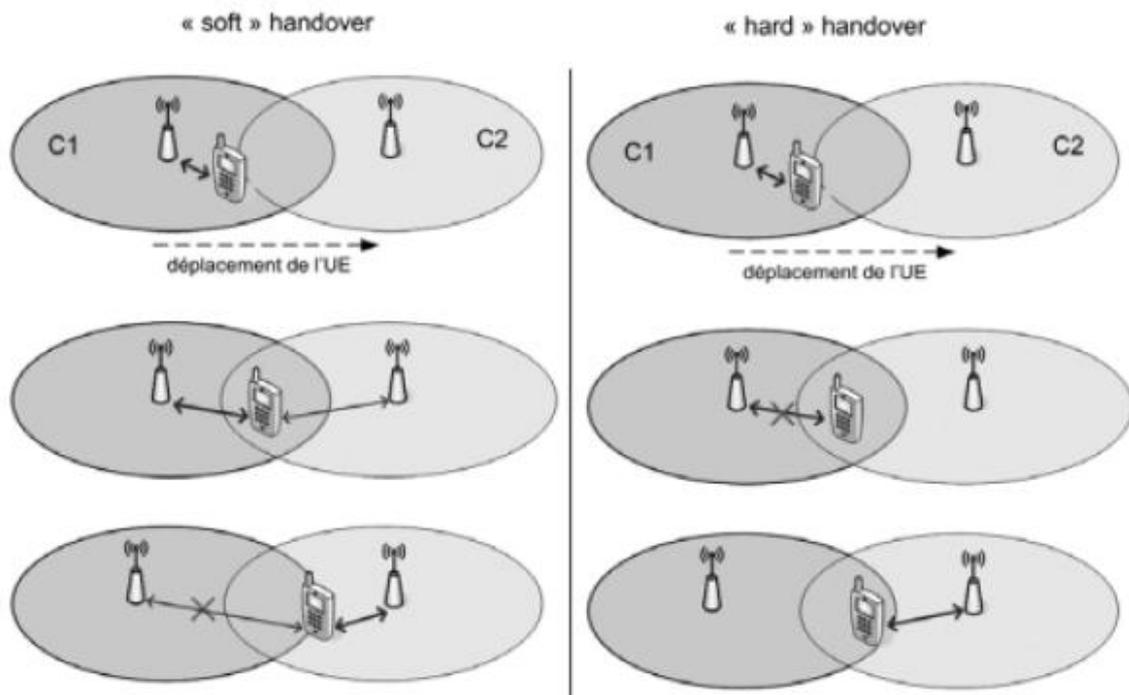


Figure 1.13 : Principe de soft handover et hard handover [16]

### 1.3.6.6 Multiplexage

Le duplexage définit la manière dont sont séparées les transmissions sur la voie descendante et sur la voie montante. La voie descendante, aussi appelée Downlink (DL), correspond à la transmission de la station de base vers l'UE. La voie montante, aussi appelée Uplink (UL), correspond à la transmission de l'UE vers la station de base. Il existe deux principaux modes de duplexage, tous les deux gérés par l'interface radio du LTE :

- Le duplexage en fréquence ou Frequency Division Duplex (FDD)
- Le duplexage en temps ou Time Division Duplex (TDD)

En mode FDD, les voies montante et descendante opèrent sur deux fréquences porteuses séparées par une bande de garde. En mode TDD, les voies montante et descendante utilisent la même fréquence porteuse, le partage s'effectuant dans le domaine temporel, comme illustré dans la figure 1.14 [16].

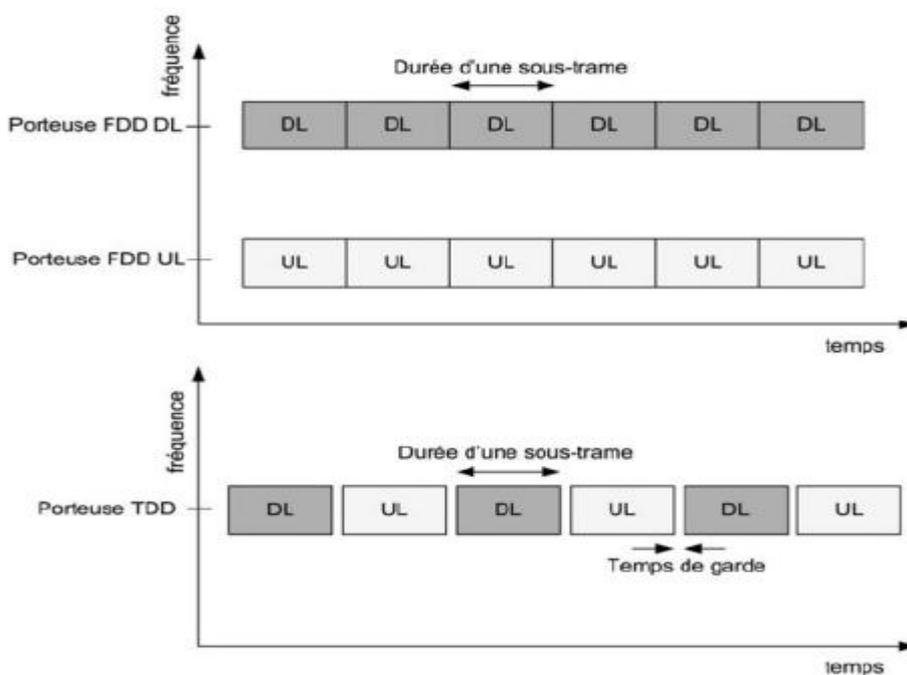


Figure 1.14 : Duplexage temporel et duplexage fréquentiel.

Certains intervalles de temps de transmission sont réservés à la voie montante, tandis que les autres sont réservés à la voie descendante. Un temps de garde est nécessaire au changement de direction de transmission, notamment pour laisser aux équipements le temps de basculer de l'émission à la réception [16].

### 1.3.6.7 Coexistence avec les générations précédentes

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. Et comme au début du déploiement de LTE peu de zone seront couvertes, il s'agira donc pour l'opérateur de s'assurer que le *handover* entre LTE et la 2G/3G soit toujours possible. Le *handover* pourra aussi s'effectuer entre LTE et les réseaux non-3GPP [17].

### 1.3.6.8 Qualité de service QoS

Habituellement une nouvelle génération de systèmes mobiles permet une introduction de nouveaux services et une amélioration de certains services vis-à-vis des générations précédentes. Le premier changement apporté par le LTE en termes d'expérience utilisateur est donc un confort d'utilisation des services en ligne :

- Navigation Web: naviguer sur Internet.
- Vidéo streaming : les applications streaming : regarder les vidéos.
- Transfert de fichiers: téléchargement de fichiers à partir d'internet.
- Voix: la voix sur IP (VoIP) comme *Skype* : envoyer et recevoir des appels vocaux sur Internet et plus intéressant encore la voix sur LTE (VoLTE) optimisé pour la téléphonie mobile.

## 1.4 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté une vue globale sur l'évolution des réseaux cellulaires, qu'ils soient filaires ou hertziens et leurs caractéristiques. Nous avons cité l'évolution des réseaux en commençant de la première génération analogique ensuite la deuxième génération GSM, puis le réseau UMTS et finalement pour arriver au réseau LTE que nous avons présenté d'une manière assez détaillée. Nous avons décrit son architecture et ses caractéristiques notamment le débit, la latence, l'agilité en fréquence et la QoS...etc.

Dans le chapitre suivant nous allons étudier d'une manière approfondie la notion de QoS dans un réseau. Ceci nous permettra de considérer les performances du réseau 4G/LTE par rapport aux applications multimédia, notamment la visioconférence.

# **Chapitre 2**

## **Généralités sur la Qualité de Service**

## 2.1 Introduction

Chaque réseau à mettre en place que ce soit en télécommunication, en informatique ou autre, l'objectif principal est d'avoir les meilleures performances possibles. Pour cela, les exigences des utilisateurs, en termes de qualité de service, doivent être satisfaites.

Le principal objectif 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, et pour ça il doit se préoccuper de l'amélioration de son réseau (couverture, ...) et de paramètres (débit, latence...) qui lui assurent une certaine qualité de service.

## 2.2 Définition de la Qualité de Service QoS

La qualité de service (QoS) est la capacité d'un réseau à transmettre dans de bonnes conditions un certain nombre de paquet dans une connexion entre un émetteur et un récepteur. Cela peut être présenté sous plusieurs termes tels que la disponibilité, le débit, les délais de transmission, la gigue et le taux de perte de paquets. La QoS regroupe un ensemble de technologies mises en œuvre pour assurer des débits suffisants et constants sur tous les types de réseaux [20].

Appliquée aux services de donnés, la QoS désigne l'aptitude à pouvoir garantir un niveau acceptable de perte de paquets, défini contractuellement, pour un usage donné (voix sur IP, vidéoconférence, etc.) et bien sur tout ça avec une certaine mobilité [21].

Dans les services data les principaux critères amenant à déterminer une qualité de services sont les suivantes :

- Le débit.
- La latence.
- La perte de paquet.
- Le déséquencement : Il se traduit par le désordre des séquences à l'arrivée.

Elle permet de classer les différents types d'applications selon leur importance, afin d'y assigner plus ou moins de bande passante, et ainsi d'optimiser le réseau et de diminuer la latence. La mise en place d'une QoS est particulièrement recommandée si le réseau gère des applications lourdes et sensibles à la latence.

## 2.3 Paramètres de la QoS

### 2.3.1 Débit

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

### 2.3.2 Latence

C'est le délai de traversée du réseau, d'un bout à l'autre, par un paquet. Les différentes applications présentes dans un réseau n'auront pas le même degré d'exigence en fonction de leur nature : faible, s'il s'agit d'une messagerie électronique ou de fichiers échangés, ce degré d'exigence sera fort s'il s'agit de données de type *voix*. La latence dépend du temps de propagation (fonction du type de média de transmission), du temps de traitement (fonction du nombre d'équipements traversés) et de la taille des paquets (temps de sérialisation).

### 2.3.3 Perte de paquets

Elle correspond aux octets perdus lors de la transmission des paquets. Elle s'exprime en pourcentage. Plutôt rare, elle correspond au nombre de paquet de données qui n'ont pas été reçus par la destination lors d'une communication. Cela peut être causé par plusieurs facteurs, la plupart du temps due à un encombrement du réseau.

### 2.3.4 Gigue

La gigue désigne les variations de latence des paquets. La présence de gigue dans les flux peut provenir des changements d'intensité de trafic sur les liens de sorties des commutateurs. Plus globalement, elle dépend du volume de trafic et du nombre d'équipements sur le réseau.

### 2.3.5 La bande passante

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

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

### 2.3.6 Priorité des paquets

Afin d'arbitrer entre les modes *burst* et *streaming* précédemment cités, une gestion du trafic peut soit être installée au sein du réseau, soit à ses extrémités. S'il s'agit de l'intérieur du réseau, les nœuds de ce réseau opèrent alors comme étant des éléments de classification et de priorisation des paquets qui y circulent. Si le dispositif se trouve à l'extérieur, les équipements constituant le réseau se trouvent déchargés de toute QoS. Deux mécanismes sont alors à l'œuvre : le contrôle de débit TCP, qui modifie le débit des applications TCP en fonction des conditions de charge du réseau et du niveau de priorité des applications, et la gestion des files d'attente personnalisées, qui affecte les flux entrants aux files d'attentes qui leur correspondent.

## 2.4 Mesure de la qualité de service des réseaux mobiles

La mesure de la QoS dans les réseaux mobiles peut se faire de plusieurs manières [21]:

- A travers les Drive Tests : c'est une méthode de mesure où les opérateurs prennent directement la place des utilisateurs, la QoS est directement mesurée.
- Mesure OMC (Operations and Maintenance Center) : comme son nom l'indique, c'est une mesure au niveau de l'OMC, c'est-à-dire que les informations proviennent directement de l'OMC.
- Les plaintes des clients : cette méthode est aussi importante car elle est moins coûteuse voir même gratuite.
- Les analyseurs de protocoles : on utilise ces analyseurs au niveau des BTS, BSC et MSC pendant une période donnée et c'est eux qui vont alerter les employés des problèmes.

Les critères qui rentrent dans l'estimation de la qualité de service d'un réseau peuvent être classés en deux grandes catégories [21]:

- Les critères de performances chez l'opérateur
- Les critères de performances chez l'utilisateur

### 2.4.1 Les critères de performance chez l'opérateur

Il s'agit des aspects techniques en rapport avec les technologies et composants du réseau, c'est ce que l'on peut offrir par rapport à la ressource dont on dispose. Ces critères peuvent dépendre de plusieurs facteurs comme:

- Le coût du déploiement du réseau.
- Le coût pour assurer son évolution.
- Le coût pour maintenir son fonctionnement.

L'opérateur a alors pour but de garantir une bonne qualité de service tout en assurant de minimiser les dépenses en termes de budget.

### 2.4.2 Les critères de performance chez l'utilisateur

Ces critères sont directement mis en correspondance avec les attentes des abonnés. Ces attentes sont liées à :

- La disponibilité du réseau.
- La qualité de la communication
- Le maintien de la communication
- L'Intégrité de la communication

## 2.5 Les niveaux de service

Le terme *niveau de service* (en anglais *service level*) définit le niveau d'exigence pour la capacité d'un réseau à fournir un service point à point ou de bout en bout avec un trafic donné. On définit généralement trois niveaux de QoS :

- **Meilleur effort** (en anglais *best effort*), ne fournissant aucune différenciation entre plusieurs flux réseaux et ne permettant aucune garantie. Ce niveau de service est ainsi parfois appelé *lack of QoS*.
- **Service différencié** (en anglais *differentiated service* ou *soft QoS*), permettant de définir des niveaux de priorité aux différents flux réseau sans toutefois fournir une garantie stricte.

- **Service garanti** (en anglais guaranteed service ou hard QoS), consistant à réserver des ressources réseau pour certains types de flux. Le principal mécanisme utilisé pour obtenir un tel niveau de service est RSVP (Resource reSerVation Protocol) [21].

### 2.6 La qualité de service du réseau LTE

Fournir la qualité de service de bout en bout requise pour les appareils mobiles est l'un des défis du réseau sans fil. Le service QoS fait référence à la capacité du réseau à fournir des performances prévisibles et garanties pour les applications qui s'exécutent sur le réseau [22]. Cependant, il est très difficile de garantir la qualité de service requise de diverses applications multimédias sur un support sans fil. Les applications multimédias comme la VoIP et la vidéo sont gourmandes en bande passante et ne peuvent tolérer qu'une très faible latence afin de mieux servir les utilisateurs finaux [11]. Pour cette raison, différents modèles et stratégies ont été utilisés dans LTE pour mieux servir ces applications. Une partie de la politique est l'utilisation de l'algorithme de planification qui donne la priorité aux applications sur un support de réseau sans fil en fonction du type de service (ToS). Cet algorithme utilise l'identificateur de la classe de qualité de service (QCI) pour classer et diviser les applications à l'aide de la politique de transfert de trafic (TFP) parmi toutes les applications du réseau.

En LTE, le support EPS (Evolved Paquet System) a été défini pour permettre à l'EPS de garantir les exigences de qualité de service des différents flux de trafic établis entre le PGW et les UE : c'est un support radio transporte les paquets d'un porteur (bearer) EPS entre un équipement utilisateur et un eNB, comme le montre la figure 2.1 ci-dessous [14].

Chaque flux IP est associé à un porteur différent EPS et le réseau décide de la priorité du trafic. Lors de la réception d'un paquet IP à partir d'Internet, P-GW effectue la classification des paquets en fonction de certains paramètres prédéfinis et lui envoie un porteur EPS approprié.

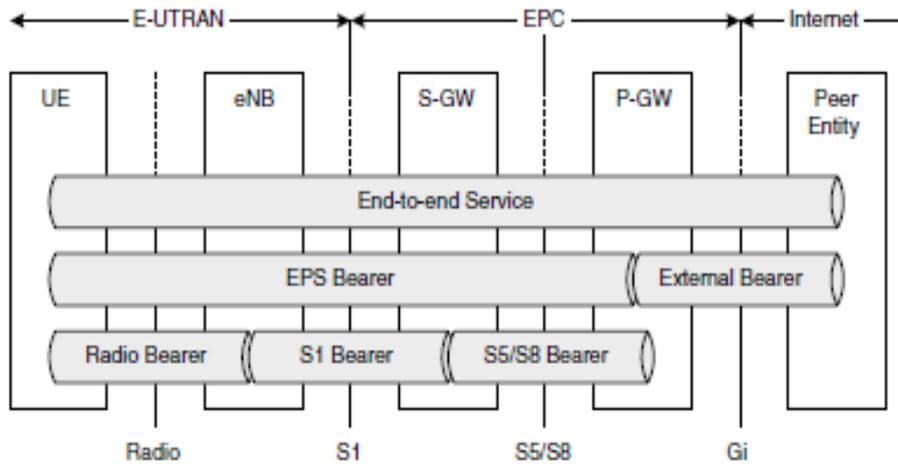


Figure 2.1: Différentes classes de services du LTE

## 2.6.1 Paramètres de la qualité de service

La QoS de bearer EPS est caractérisée par des paramètres que nous présenterons ci-dessous :

### 2.6.1.1 QoS Classe Identifier (QCI)

Le QCI est un paramètre défini au sein du système LTE/EPC pour différencier les qualités de service entre les flux de services différents. L'UE et les nœuds du réseau tels que l'eNodeB, la S-GW, la PG-W déterminent le traitement à appliquer aux paquets de données d'un *bearer* EPS en fonction de la valeur de QCI définie pour ce *bearer* [16].

### 2.6.1.2 La priorité d'allocation et de rétention (ARP)

L'ARP est la fonction du réseau LTE qui détermine si une demande d'établissement d'un support peut être acceptée ou rejetée en raison de la limitation des ressources [24]. Il représente l'allocation symbolique et la rétention du support radio pour le contrôle d'admission des appels pendant l'encombrement [23]. Il est également important d'indiquer ici que, une fois qu'un *bearer* est établi, la fonction d'ARP s'arrête là. L'ordonnancement et le contrôle de débit sont uniquement effectués par le QCI, le GBR et le NGBR respectivement [13, 14].

### 2.6.1.3 Débit binaire garanti (GBR)

Comme son nom l'indique, le support garantit un débit binaire minimum pour ses services, ces dernières pouvant être utilisés pour les applications spéciales telles que la VoIP, la vidéoconférence et les jeux en ligne. Ceux-ci ont une valeur GBR associée pour laquelle une transmission dédiée les ressources sont allouées en permanence (par exemple par une fonction

de contrôle d'admission dans le eNodeB) lors de l'établissement de la modification du support. Les débits binaires supérieurs au GBR peuvent être autorisés pour un support GBR si des ressources sont disponibles. Dans de tels cas, un débit binaire maximum (MBR), qui peut également être associé à un support GBR, définit une limite du débit binaire que l'on peut attendre d'un support GBR [23].

#### 2.6.1.4 Débit maximal MBR

Le paramètre MBR désigne le débit maximal autorisé sur le bearer EPS. Si le débit instantané mesuré par un équipement du plan usager dépasse le MBR, cet équipement peut effectuer un lissage de débit en supprimant des paquets, afin de respecter ce seuil. Ce lissage de trafic sera typiquement réalisé par l'eNodeB dans le sens montant et par la P-GW dans le sens descendant. [16]

#### 2.6.1.5 Débit binaire non garanti (NGBR)

Les supports non GBR qui ne garantissent aucun débit binaire particulier. Ceux-ci peuvent être utilisés pour des applications telles que la navigation Web ou le transfert FTP. Pour ces porteurs, pas de bande passante les ressources sont allouées en permanence au porteur [23].

Il existe également deux types de support dans le réseau LTE qui sont associés aux flux du réseau LTE, comme illustré dans la Figure 2.2 ci-dessous. Il s'agit du bearer dédié et du bearer par défaut.

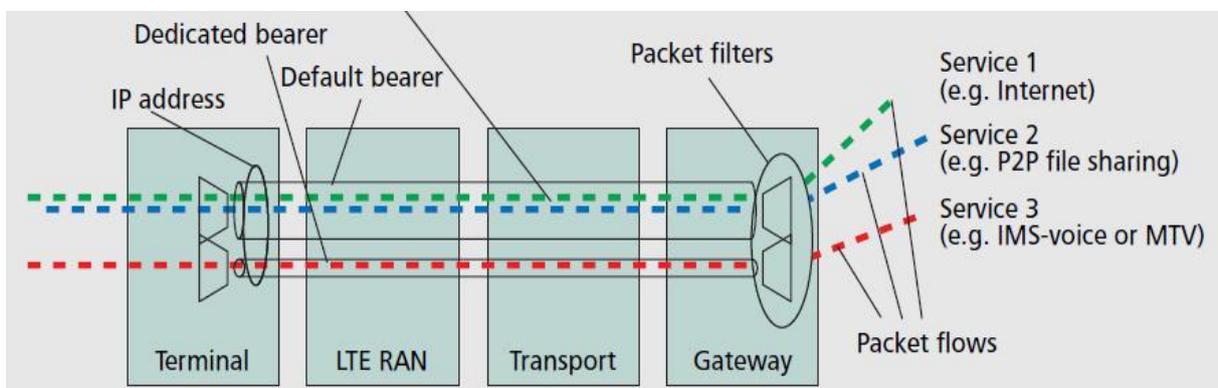


Figure 2.2 : Bearer dédié et le bearer par défaut.

- **Bearer par défaut** : Il s'agit d'un support non GBR, qui ne fournit pas de garantie de débit binaire. Ce type de support est établi au démarrage pour tout le trafic le long du réseau [23, 24] avant que les applications GBR ne soient réattribuées au canal dédié.

Le modèle de flux de trafic (TFT) est utilisé pour associer des supports dédiés à leurs paramètres de QoS correspondants. Néanmoins, un support par défaut peut ou non être associé au TFT basé sur HSS [25].

- **Bearer dédié :** Cela peut fonctionner comme support GBR ou non GBR. Le support dédié en tant que GBR permet à l'UE, à l'aide de TFT, de spécifier le débit binaire garanti, le délai de paquet et le taux de perte de paquet requis. Cela permet le mappage direct du flux de données de service à la fois en liaison descendante et en liaison montante. La cartographie en liaison montante est effectuée aux eNodeB et UE tandis que celle de la liaison descendante est effectuée respectivement au niveau du S-GW ou du P-GW.

### 2.6.1.6 Indicateurs Clés de Performances KPI (Key Performance Indicator)

L'évaluation de la QoS se fait à partir des indicateurs de paramètres de performances ou Key Performance Indicator (KPI). Ces KPI sont des ensembles de mesures qui donneront des informations sur les performances du réseau. Ils sont obtenus par la synthèse des informations recueillies et à l'aide de quelques calculs [26]. Les KPI vont permettre d'évaluer et de diagnostiquer le réseau. Ils sont utilisés dans la présentation de tableau de bord de gestion, ce tableau va permettre d'évaluer l'atteinte d'un objectif. Si un des KPI excède les seuils fixés par l'opérateur, le superviseur du réseau vient de signaler un problème détecté au niveau de la fonctionnalité qu'assure cet indicateur. Ce tableau doit être régulièrement mis à jour.

Les KPI doivent donc donner exactement les informations sur la couverture, la disponibilité du réseau, la qualité de la voix et les coupures d'appel. Chaque KPI assure une fonctionnalité bien distincte.

Sur le réseau de téléphonie mobile, on peut déjà évaluer l'état de ce dernier grâce à ces indicateurs, toutefois on peut rentrer plus en détail. En effet, des KPI peuvent être aussi spécifiques aux différents types de réseaux et les différentes technologies formant ce réseau.

#### ➤ KPI des réseaux 4G

Pour les réseaux de 4<sup>ème</sup> génération, on a voulu demander plus en termes de performances. En effet, la norme 3G présente déjà des caractéristiques assez élevées que ce soit en termes de technologie et bien évidemment aussi en termes de performances. Pour se démarquer, la 4G a mis la barre assez haute.

En termes de performance, la norme 4G a établi les critères suivants [27] :

- Une mobilité à toute épreuve : L'un des challenges de la norme 4G est d'assurer une disponibilité et une mobilité partout et en tout temps. C'est-à-dire que la communication doit en aucun cas être indisponible que ce soit dans une zone de forte densité ou même dans une zone plus reculée.
- Des temps de réponses rapides : En termes de latence la 4G propose une moyenne de 20ms et peut même descendre à 5ms, la marge doit alors se situer entre 5 à 20ms.
- La Voix sur IP : La voix IP constitue une condition indispensable pour déterminer que l'on est bel est bien sur la norme 4G, plus précisément une norme 4G sans voix IP n'est pas une norme de 4<sup>ème</sup> génération. En effet, ce standard s'appuie sur un réseau de transport de paquets IP, l'acheminement de la voix se fait à travers de la VoIP ou la voix sur IP.
- Débits sur la partie radio : Sur la voie montante la 4G a un débit de 50Mbit/s et 100Mbit/s sur la voie descendante.
- Coexistence et Interfonctionnement avec la 3G : Il est nécessaire que la 4G doit-être capable d'interagir avec les technologies de la 3g, par exemple lors d'un « handover » entre E-UTRAN(LTE) et UTRAN (3G) qui doit être réalisé en moins de 300ms.

### 2.7 Exemple de Qualité de Service

On voit à travers ces quelques exemples que les besoins en QoS peuvent être différents. Par exemple si l'on veut diffuser de la vidéo à la demande, on aura besoin d'un transfert quasi temps-réel avec une latence très faible et une gigue faible, en revanche il ne sera pas dramatique de perdre une image de temps en temps ou alors d'avoir une qualité d'image un peu dégradée.

Selon l'application utilisée, on s'efforcera de faire le bon compromis pour assurer la meilleure QoS possible, sachant qu'il n'existe pas de solution qui résolve tous les problèmes à la fois. Avec un débit toujours plus grand proposé aux utilisateurs, les applications réseau ont évolué, ou plus exactement de nouvelles applications sont apparues : les applications multimédia. On peut compter parmi ces applications : la téléphonie sur IP, la diffusion de musique, la vidéoconférence, la vidéo à la demande. Ces nouvelles applications étant gourmandes en ressources, les réseaux traditionnels doivent mettre en œuvre des mécanismes de QoS pour ces flux dits continus. Nous allons voir ici les contraintes de ces applications.

### **2.7.1 Contraintes communes aux applications multimédia**

Dans les applications multimédia, les données sont soumises à des contraintes temporelles quasi temps réel. Cela implique qu'il n'est pas possible d'utiliser le protocole de transport TCP puisque si des paquets sont détruits en cas de congestion, leur réémission serait pénalisante et inutile pour le flux multimédia. Il faut donc utiliser un protocole de transport non fiable tel que l'UDP.

#### **1- La téléphonie sur IP**

La principale contrainte de la téléphonie sur IP est le délai. Pour qu'une conversation puisse avoir lieu convenablement, il est nécessaire d'avoir une latence inférieure à 35 ms. Pour assurer ce délai, les routeurs ne doivent pas comporter des files d'attente trop longues. En effet, de longues files d'attente permettent d'obtenir un débit plus élevé puisque moins de paquets sont perdus mais le temps passé dans les files augmente. Dans l'idéal, les routeurs doivent avoir une file prioritaire à faible latence pour les flux de voix sur IP.

#### **2- La vidéoconférence**

Pour la vidéoconférence, le débit est essentiel pour que la qualité de la vidéo soit suffisante et les contraintes en termes de délais sont identiques à celles de la voix sur IP. Il est en effet très gênant que l'image soit décalée du son ou que le média soit saccadé.

## **2.8 Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons défini la qualité de service QoS, présenté ses différentes paramètres et ses différents critères ainsi les techniques de mesure de la QoS notamment le KPI, QCI...etc. suivi d'une partie dans laquelle nous avons décrit les performances des réseaux cellulaires 4G.

Le prochain chapitre sera consacré à l'étude de la QoS de la visioconférence sur le réseau LTE.

# **Chapitre 3**

**La visioconférence sur le réseau**

**LTE**

### 3.1 Introduction

Les applications multimédia sont actuellement très répandues, que ce soit dans le monde de l'informatique ou dans la vie de tous les jours. Le qualificatif de multimédia est très utilisé, on parle souvent de révolution multimédia ou de tout multimédia. La performance actuelle des différents types de périphériques disponibles sur le marché (téléphone mobile, assistant personnel, ordinateur portable...etc.), ainsi que l'émergence des réseaux et des débits actuels ont largement contribué à démocratiser ce terme.

Vu la demande croissante des flux multimédia et en particulier le streaming vidéo ou la vidéoconférence, les fournisseurs de services réseaux et les fournisseurs de contenu vidéo sont confronté au défis de maximiser leurs services en terme de quantité et de qualité toute en garantissant la qualité de service.

Dans ce chapitre, nous présentons l'étude de la QoS par rapport à l'un des types des flux multimédia, notamment la visioconférence.

### 3.2 Définition de la visioconférence

La visioconférence est une technologie qui permet, depuis un micro-ordinateur de communiquer avec un ou plusieurs interlocuteurs distants et de les voir en temps réel dans une fenêtre virtuel à l'écran. Elle permet à ses participants disséminés sur plusieurs sites distants, de communiquer en bénéficiant d'une transmission du son, de l'image et de tout autre type de données.

La visioconférence ou la vidéo conférence est un moyen de communication de plus en plus utilisé par les entreprises aujourd'hui. De par son aspect pratique, la visioconférence intéresse les entreprises avec d'autres entreprises ou personnes en évitant de se déplacer; elle permet donc d'organiser des réunions de travail, des conférences formations ou autres réunions à distance tout en donnant l'impression d'être tous présents dans la même salle. Une seule séance de visioconférence évite de multiples appels téléphoniques, emails, fax, envoi de courriers, ou pire encore des déplacements [36].

La figure 3.1 représente une visioconférence en mode multipoints.

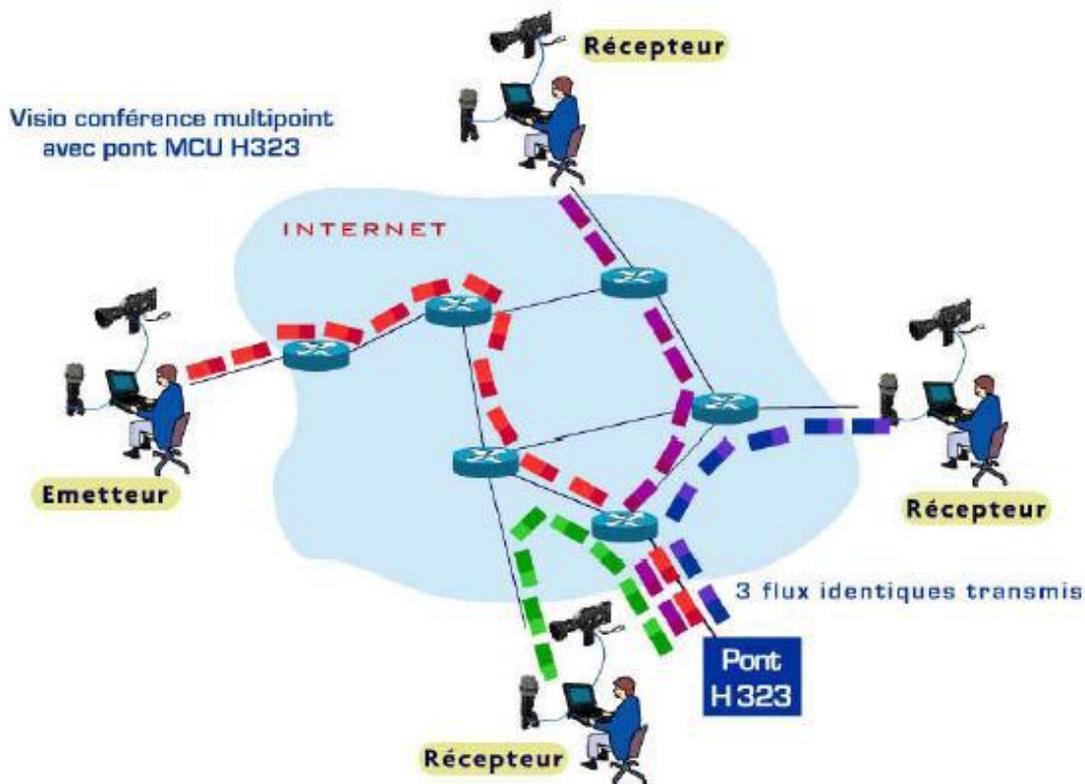


Figure 3.1 : Architecture de la visioconférence en mode multipoints.

### 3.3 Protocoles

Il existe à l'heure actuelle plusieurs protocoles différents servant à faire communiquer des machines, ou des logiciels ensemble. Ces protocoles, parfois normalisés, regroupent plusieurs normes qui seront décrites par la suite. Dans la suite de cette section, nous présentons deux normes principales qui ont été produites spécialement pour le tenue de conférences audio ou vidéo.

#### 3.3.1 Le protocole H.323

H.323 est un regroupement de plusieurs normes et sert à encapsuler un signal de visioconférence sur des réseaux IP. Il se présente comme un des premiers protocoles adaptés dans le transfert de données multimédias sur un réseau [35].

Il regroupe, entre autre les normes suivantes :

Types de normes	Normes
Normes vidéo	H.261, H.263, H.263+, H.264,
Normes audio	G.711, G.722, G.723, G.726, G.728, G.729
Normes contrôle et signalisation	H.225, H.245

Tableau 3.1 : Normes H.323.

### 3.3.1.1 Architecture logique de protocole H.323

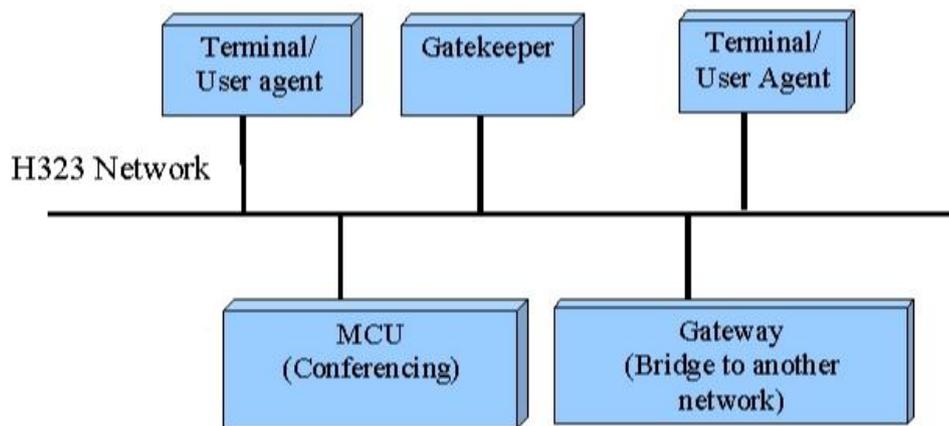


Figure 3.2 : Architecture logique de protocole H.323.

#### 3.3. 1.2 Les entités du protocole H.323

- **Terminaux H.323** : un terminal est un point terminal permettant des communications en temps réel avec d'autres points terminaux. Il s'agit d'un équipement utilisateur tel que un PC ou un téléphone qui supporte au moins un codec audio et éventuellement d'autres codecs audio et vidéo.
- **Gate Keeper** : est le composant le plus important d'un réseau H.323. Il agit comme étant le point central pour tous les appels dans sa zone et contrôle les points terminaux. Un GateKeeper H.323 agit comme un commutateur virtuel. Il sert à l'enregistrement des terminaux dans le réseau. Cet enregistrement consiste en l'association des identifiants des utilisateurs à leur adresse IP de façon dynamique pour gérer la mobilité des usagers.

- **MCU (Multipoint Control Unit)** : un MCU est une entité qui supporte des conférences entre trois ou plus terminaux. Il peut s'agir d'un équipement indépendant (ex : PC) ou peut être intégré dans un Gateway, un GateKeeper ou un terminal.
- **Gateway** : une gateway assure en temps réel des communications bidirectionnelles entre des terminaux H.323 et d'autres terminaux (EX : terminaux RTC, RNIS, GSM). La gateway traduit d'une part les protocoles de signalisations et permet de faire communiquer des équipements de visioconférence quelque soit le réseau utilisé. Elle se présente sous la forme d'une carte interface complémentaire intégrée au matériel [36].

### 3.3.2 Le protocole SIP

SIP (Session Initiation Protocole) est un protocole destiné à établir, modifier ou fermer des sessions multimédia. Il a été conçu spécifiquement pour la VoIP, il n'est pas chargé de faire passer des données vidéo ou audio, mais il offre une compatibilité élargie avec d'autres protocoles. En effet, il a la particularité d'être flexible et peut fonctionner avec bon nombre de codecs vidéo, audio ainsi que des protocoles de transport différents [37].

#### 3.3.2.1 Architecture logique du protocole SIP

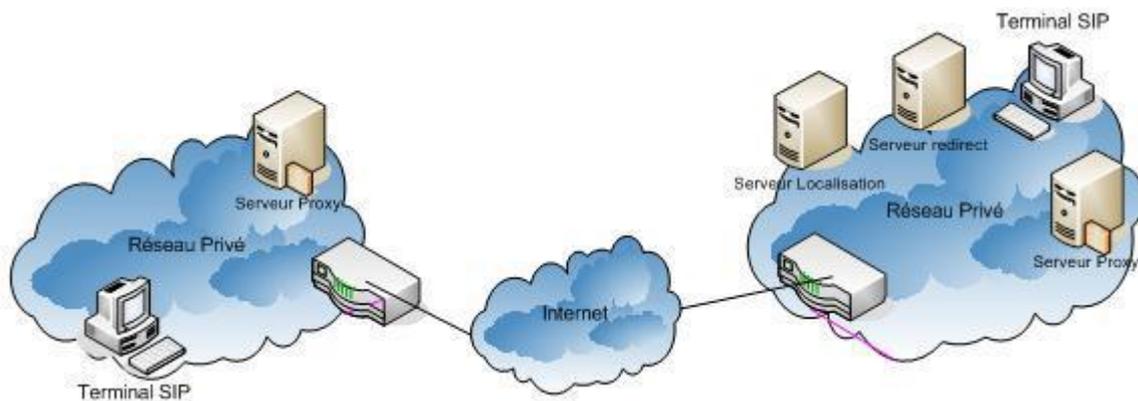


Figure 3.3 : Architecture globale du protocole SIP [37].

#### 3.3.2.2 Les entités du protocole SIP

- Les agents SIP (UAC : User Agent Client) : Application du visiteur qui lance et envoie des demandes de SIP.
- Les serveurs SIP (UAS : User Agent Server) : Reçoit et répond aux demandes de SIP au nom des clients : accepte, réoriente ou refuse des appels.

- Serveur Proxy : Entre en contact avec un ou plusieurs clients ou serveurs du prochain saut et passe les demandes d'appel plus loin. Contient UAC et UAS.
- Serveur de redirection : Accepte des demandes de SIP, trace l'adresse dans des adresses zéro ou plus récentes et renvoie ces adresses au client.
- Serveur de localisation : Fournit des informations au sujet des endroits possibles d'un visiteur pour le réorienter aux serveurs Proxy. Peut être placé avec un serveur de SIP.
- Terminal SIP : Soutient la communication en temps réel et bidirectionnelle avec une autre entité de SIP [37].

### 3.3.2. 3 Architecture protocolaire de SIP

La figure 3.4 présente un aperçu de l'architecture protocolaire dans la norme SIP.

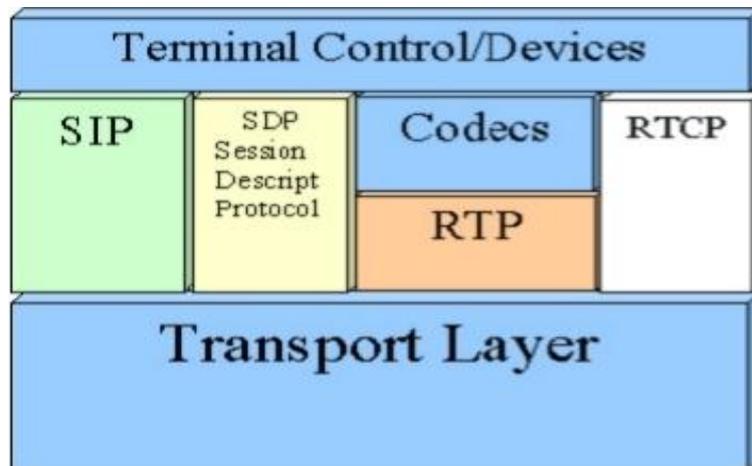


Figure 3 4: Architecture protocolaire de SIP

## 3.4 Paramètres d'évaluation de la QoS de la visioconférence

### 3.4.1 Performance en termes de délai de bout\_en\_bout (E2E: End-to-End)

Le temps nécessaire pour qu'un paquet passe de l'équipement utilisateur (source) à l'équipement utilisateur (destination) dans le réseau est appelé délai de bout en bout (E2E) et mesuré en secondes. Cependant, le délai E2E est une métrique clé pour évaluer les performances des réseaux ainsi que la qualité de service à comprendre par les utilisateurs finaux [33]. Lorsque les paquets traversent de la source à la destination, il peut y avoir trois types de retards, à savoir le délai de l'expéditeur, le délai du réseau et le délai du récepteur.

### 3.4.2 Performances en termes de perte de paquets (Packet Loss Performance)

Dans le réseau, lorsque des paquets de données traversent de la source à la destination, il peut y avoir un risque de perdre des paquets. L'équation du taux de perte de paquets est déterminée par la formule suivante:

$$\text{Taux de perte de paquets} = \frac{\text{Nbr de paquets émis} - \text{Nbr de paquets reçus}}{\text{Nbr de paquets émis}} * 100$$

### 3.4.3 Performances de variation de délais (PDV : Packet Delay Variation)

La variation de délai de paquet (PDV) est parfois appelée *Jitter*. *Jitter* a généralement deux significations. Variation du signal par rapport à un signal d'horloge, c'est le premier sens de *Jitter* et le second sens de *Jitter* est la variation d'un retard par rapport à une métrique de référence comme le retard moyen ou le retard minimum. La variation de délai est importante pour la taille des tampons de lecture pour les applications nécessitant la livraison régulière de paquets comme la lecture de la voix ou de la vidéo [34]. La métrique de performance est basée sur la différence du délai unidirectionnel des paquets sélectionnés.

## 3.5 Conclusion

Au cours de ce chapitre nous avons défini la visioconférence, son architecture ainsi que les protocoles qu'elle utilise (H.323 et SIP). Ceci est suivi d'une partie où nous avons décrit les différents paramètres d'évaluation de la QoS de la visioconférence.

Dans le chapitre qui suit nous allons utiliser ces mesures de performances en simulant différents scénarios afin d'évaluer la QoS dans le réseau LTE.

# **Chapitre 4**

## **Simulation et résultats**

## 4.1 Introduction

Dans les chapitres précédents nous avons présenté essentiellement l'architecture du réseau LTE et nous avons discuté son fonctionnement logique. Puis, nous avons considéré les aspects fondamentaux des architectures dédiées à la visioconférence. Nous avons aussi discutés les paramètres les plus significatifs servant à mesurer la QoS pour les applications multimédia dans les réseaux.

Dans le présent chapitre, nous allons présenter les résultats de simulation obtenus dans le cas de la visioconférence dans le réseau LTE. Les résultats montrant l'évolution des paramètres de mesure de la QoS, dont le délai de bout-en-bout, les variations de délais et le débit, sont ainsi présentés et discutés en considérant quelques scénarios type de communication multimédia.

## 4.2 Scénarios de simulation

Cette section du mémoire décrit le modèle du réseau qui a été utilisé comme modèle de référence dans cette étude. Le schéma de principe est montré par la figure 4.1.

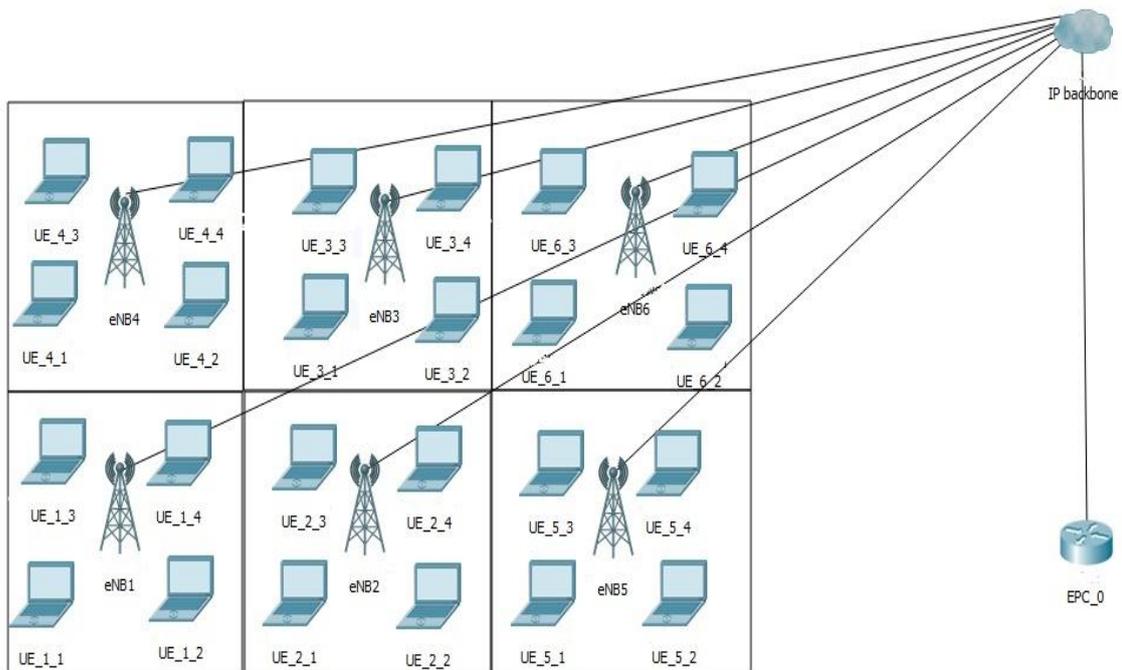


Figure 4.1 : Réseau du scénario 1

Ce modèle est constitué de six (6) stations de base (appelées  $eNB_1, eNB_2 \dots eNB_6$ , pour la circonstance). Chaque station de base peut servir 4 utilisateurs dénommés par  $UE_{i,j}$ .  $UE_{i,j}$  désigne le  $j^{ème}$  UE qui est servi par la station de base  $eNB_i$ . Dans ce modèle,  $eNB_1, eNB_2$  et  $eNB_5$  sont considérées comme émetteurs où, dans chacune d'elles, les UEs sont considérés comme sources vidéo. Les stations réceptrices sont :  $eNB_3, eNB_4$  et  $eNB_6$ . Une bande passante de 20 MHz a été considérée. Afin d'établir des priorités et spécifier la QoS requise, 4 types de *bearers* EPS peuvent être spécifiés. Chacun des UEs est associé à un *bearer* dont la QoS est décrite par un paramètre QCI qui détermine un ensemble de paramètres qui spécifient les caractéristiques requises sur un trafic donné. Dans le standard LTE, QCI peut prendre des valeurs entre 1 et 9. Les valeurs de 1 à 4 représentent GBR (Garanteed Bit Rate) et les autres représentants non-GBR. Dans ce modèle de simulation, 4 valeurs de QCI ont été utilisés qui sont 2, 4, 6 et 7 et trois scénarios de communication ont été considérés.

Dans le premier scénario, nous avons considéré le paradigme 'best-effort' où aucune QoS n'est exigée. Un tel scénario modélise donc le cas d'une communication à faible charge sur le réseau.

Dans les deuxièmes et troisièmes scénarios, un réseau à charge moyenne de trafic et un réseau à forte charge de trafic ont été considérés. Nous étudions l'effet de la charge du trafic sur la visioconférence en considérant dans le même réseau des applications de type visioconférence et de type FTP (Téléchargement de fichier). Pour la visioconférence, nous prenons à la fois des *bearers* de type GBR et NGBR. Pour FTP, seuls les *bearers* NGBR peuvent être associés.

Pour ces deux derniers scénarios, le modèle du réseau est constitué de 6 *eNBs* indexées de 1 à 6.  $eNB_1, eNB_2$  et  $eNB_5$  sont considérées comme sources auxquelles 4 stations vidéo et 2 clients FTP sont connectés. De même, 4 stations vidéo et 1 serveur FTP sont associés à  $eNB_3, eNB_4$  et  $eNB_6$  qui sont la destination du trafic (Figure 4.2). La bande passante est considérée à son maximum de 20Mhz. Des *bearers* EPS sont établis avec les différentes stations auxquelles des indices QCI de 2,4 ,6 et 7 sont associés.

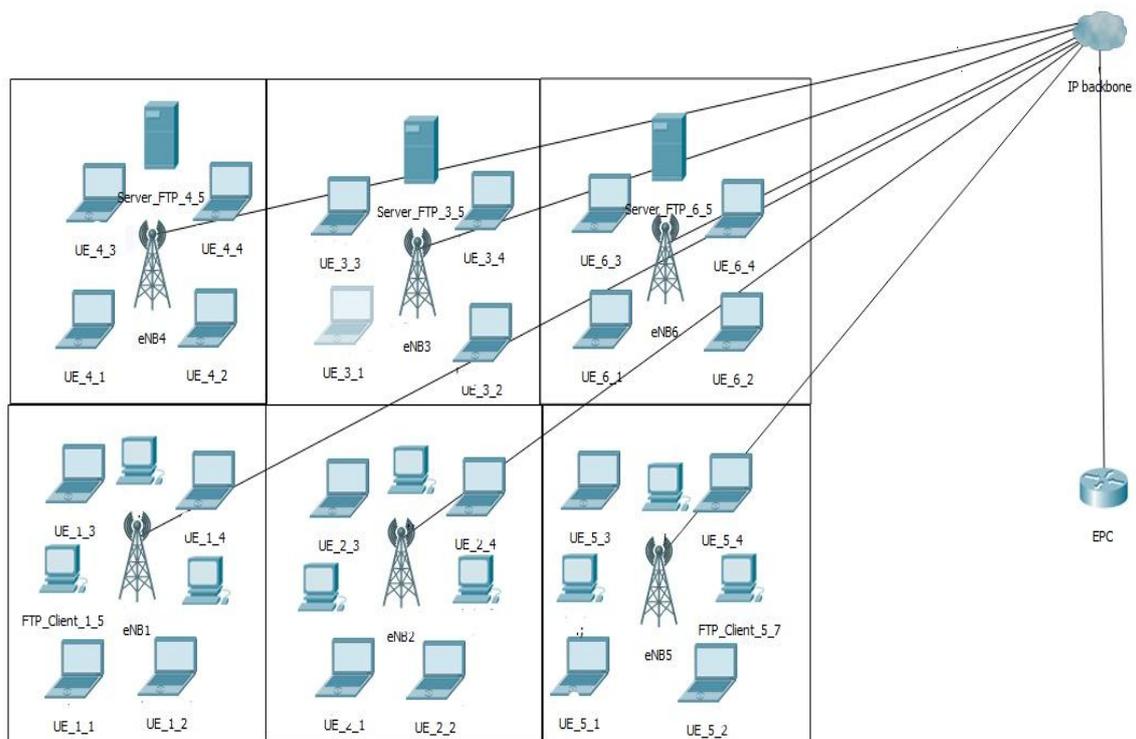


Figure 4.2 : Réseau des scénarios 2 et 3

Le tableau 4.1 montre les différents *bearers* EPS avec leurs niveaux de priorité, ainsi que le débit binaire associé.

Nom du bearer EPS	identifiant Class de QoS	Réattribution tension priorité		Valeur
$UE_{1,1}$	1 (GBR)	2	Débit binaire garanti en voie montante	7 Mbps
			Débit binaire garanti en voie descendante	7 Mbps
			Débit binaire maximum en voie montante	7 Mbps
			Débit binaire maximum en voie descendante	7 Mbps
$UE_{1,2}$	2 (GBR)	4	Débit binaire garanti en voie montante	6 Mbps
			Débit binaire garanti en voie descendante	6 Mbps
			Débit binaire maximum en voie montante	6 Mbps
			Débit binaire maximum en voie descendante	6 Mbps
$UE_{1,3}$	6 (Non-GBR)	6	Débit binaire garanti en voie montante	5 Mbps
			Débit binaire garanti en voie descendante	5 Mbps
			Débit binaire maximum en voie montante	5 Mbps
			Débit binaire maximum en voie descendante	5 Mbps
$UE_{1,4}$	7 (Non-GBR)	7	Débit binaire garanti en voie montante	3 Mbps
			Débit binaire garanti en voie descendante	3 Mbps
			Débit binaire maximum en voie montante	3 Mbps
			Débit binaire maximum en voie descendante	3 Mbps

Table 4.1 : Bearers EPS

### 4.3 Performances en termes de délais de-bout-en bout

Dans cette section, nous considérons les performances de la visioconférence dans le réseau LTE en termes de délais de bout-en-bout. Nous considérons cette mesure les trois scénarios cités ci-dessus. Notons que le délai de bout-en-bout est le temps de traversée des données à partir d'un  $UE$  source jusqu'à un  $UE$  de destination.

#### 4.3.1 Scénario1 : trafic à faible charge

Comme rapporté précédemment, nous supposons dans ce premier scenario que nous disposons de  $4UEs$  dans chacune des cellules des 6  $eNBs$  qui sont considérées dans ce

modèle. 4 types de *bearer* EPS sont associés respectivement à chacun des *UE*, et à chaque *bearer* est attribuée une valeur de QCI définissant ainsi la QoS exigée. Dans ce Scénario, nous assumons aussi un débit vidéo de 9000 octets/s correspondant à une fréquence trame de 10 images/s. Les résultats de ce scénario sont montrés sur le tableau 4.2. Ils sont aussi montrés graphiquement par la figure4.3.

Bearer	Min (sec)	Moy (sec)	Max (sec)
$UE_{1,1}$	0.0210	0.0210	0.0211
$UE_{1,2}$	0.0260	0.0260	0.0261
$UE_{1,3}$	0.0328	0.0329	0.0329
$UE_{1,4}$	0.03990	0.03999	0.03999

Tableau 4.2: Délais de bout-en-bout dans le réseau de scénario1 (Faible charge).

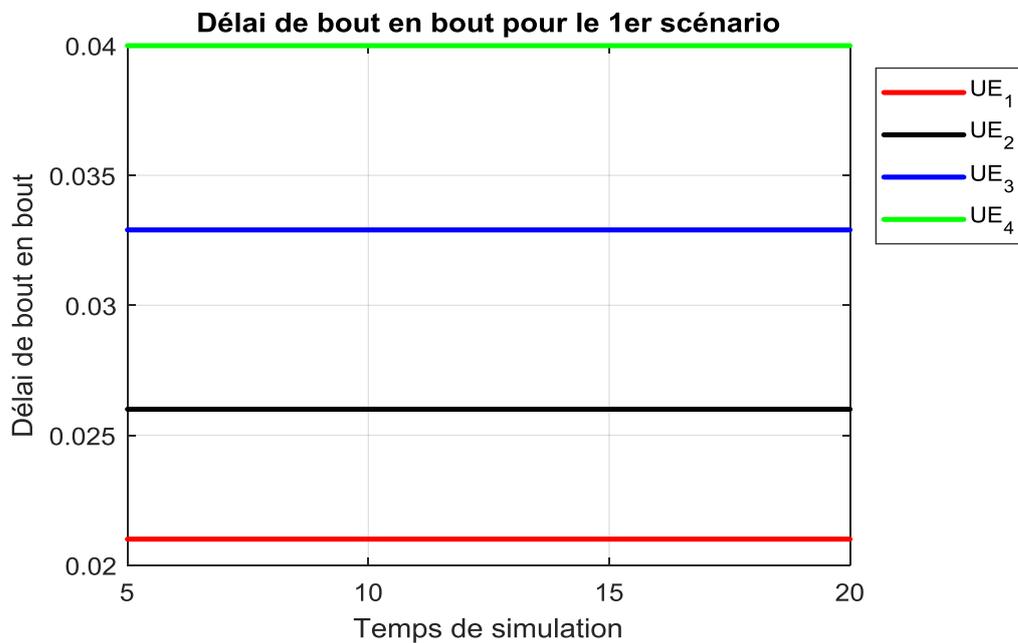


Figure 4.3 : Moyenne du délai de bout-en-bout dans le réseau de scénario 1.

Nous discutons ici les résultats qui sont montrés par le tableau 4.2 et la figure 4.3. L'analyse des performances en termes de délais de-bout-en-bout (E2E : End-to-End) pour la visioconférence qui résulte de la définition de classes de services (EPS QoS) est effectuée afin

d'évaluer la QoS dans le réseau LTE pour différents supports au sein d'EPS. Une classe de service est effectivement associée à un support EPS (*bearer*), correspondant à une QoS donnée. D'après la figure 4.3, on peut voir qu'un délai E2E amélioré est obtenu en appliquant la hiérarchisation des flux de paquets. Les niveaux de priorités définis par application de la technique ARP (Allocation Retention Priority) à  $UE_{1,1}$ ,  $UE_{1,2}$ ,  $UE_{1,3}$  et  $UE_{1,4}$  sont fixés à 2, 4, 6 et 7 respectivement.

Ici, nous pouvons voir que les *bearers* GBR sont capables de réduire les délais moyens par rapport aux *bearers* NGBR. Les délais pour les *bearers* GBR et NGBR sont acceptables, car afin de maintenir la qualité d'une vidéo conversationnelle interactive, telle que la vidéoconférence, les délais doivent être égaux ou inférieurs à 150 ms (millisecondes).

En conclusion, les résultats de la simulation montrent que différents niveaux de performances en termes de délais E2E potentiels peuvent être atteints en utilisant la hiérarchisation associée à la QoS dans le réseau LTE.

#### 4.3.2 Scénario2 (Charge moyenne)

Comme nous l'avons dit précédemment ce modèle est constitué de 6 eNBs où  $eNB_1$ ,  $eNB_2$  et  $eNB_5$  sont considérées comme stations émettrices, auxquelles 4 stations vidéo et deux clients FTP sont connectés. Aussi, 4 UEs et un serveur FTP sont associés à  $eNB_3$ ,  $eNB_4$  et  $eNB_6$  qui sont la destination du trafic.

Dans ce scénario, nous présentons les résultats des performances en termes de délais E2E pour la vidéoconférence dans un réseau LTE à charge moyenne. Les résultats de ce scénario sont montrés sur le tableau 4.3 et tracés sur la figure 4.4.

Bearer	Min (sec)	Moy (sec)	Max (sec)
$UE_{1,1}$	0.0281	0.0281	0.0288
$UE_{1,2}$	0.040	0.0418	0.0664
$UE_{1,3}$	0.906	3.150	3.289
$UE_{1,4}$	4.929	39.31	40.681

Tableau 4.3 : Délais de bout en bout dans le réseau de scénario 2 (charge moyenne).

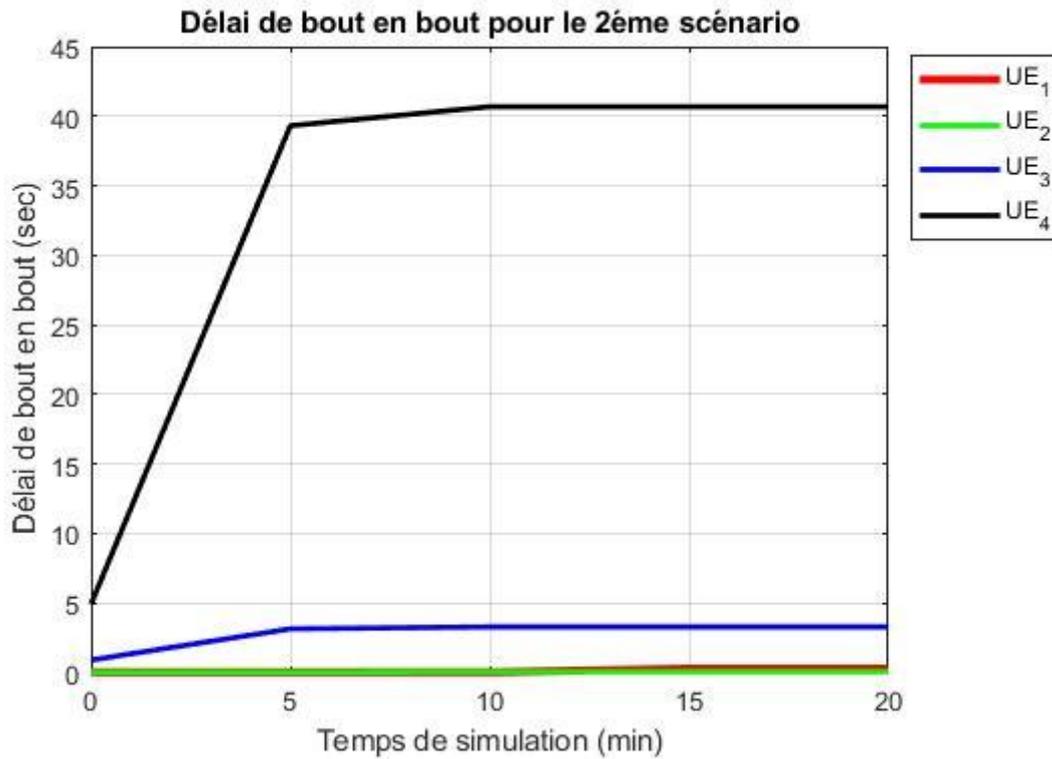


Figure 4.4 : Délai de bout-en-bout dans le réseau de scénario 2

Nous pouvons observer à partir du tableau 4.3 que le paramètre QCI est déterminant. Un délai E2E amélioré est obtenu en appliquant la hiérarchisation. Les QCI associés à  $UE_{1,1}$ ,  $UE_{1,2}$ ,  $UE_{1,3}$  et  $UE_{1,4}$  sont déterminés par les niveaux ARP qui leur ont été alloués et qui sont respectivement fixés à 2, 4, 6 et 7. Les *bearers* associés  $UE_{1,1}$  et  $UE_{1,2}$  sont capables de réduire considérablement le délai moyen, tandis que ceux associés à  $UE_{1,3}$  et  $UE_{1,4}$  ont les pires performances. Du point de vue de la qualité de service, le retard pour les NGBR  $UE_{1,3}$  et  $UE_{1,4}$  n'est pas acceptable. Cela signifie que, afin de maintenir la qualité d'une vidéo conversationnelle interactive, le délai doit être égal ou inférieur à 150 ms. Le délai E2E pour les *bearers* NGBR (c'est-à-dire  $UE_{1,3}$  et  $UE_{1,4}$ ) avec ARP 6 et 7 est définitivement trop élevé pour les applications en temps réel, telle que la vidéoconférence, par rapport aux *bearers* GBR ( $UE_{1,1}$  et  $UE_{1,2}$ ).

### 4.3.3 Scenario3 (Charge élevée)

Ce scénario est similaire au deuxième scénario, mais dans ce cas nous étudierons les performances de délai E2E pour la vidéoconférence avec un réseau à charge élevée. Les résultats de ce Scénario sont montrés sur le tableau 4.4 et tracés sur la figure 4.5.

Bearer	Min (sec)	Moy(sec)	Max (sec)
$UE_{1,1}$	0.037	0.0371	0.038
$UE_{1,2}$	0.484	2.490	2.679
$UE_{1,3}$	1.322	2.108	2.117
$UE_{1,4}$	5.551	33.612	34.58

Tableau 4.4 : Délais de bout-en-bout dans le réseau de Scénario 3 (Faible charge).

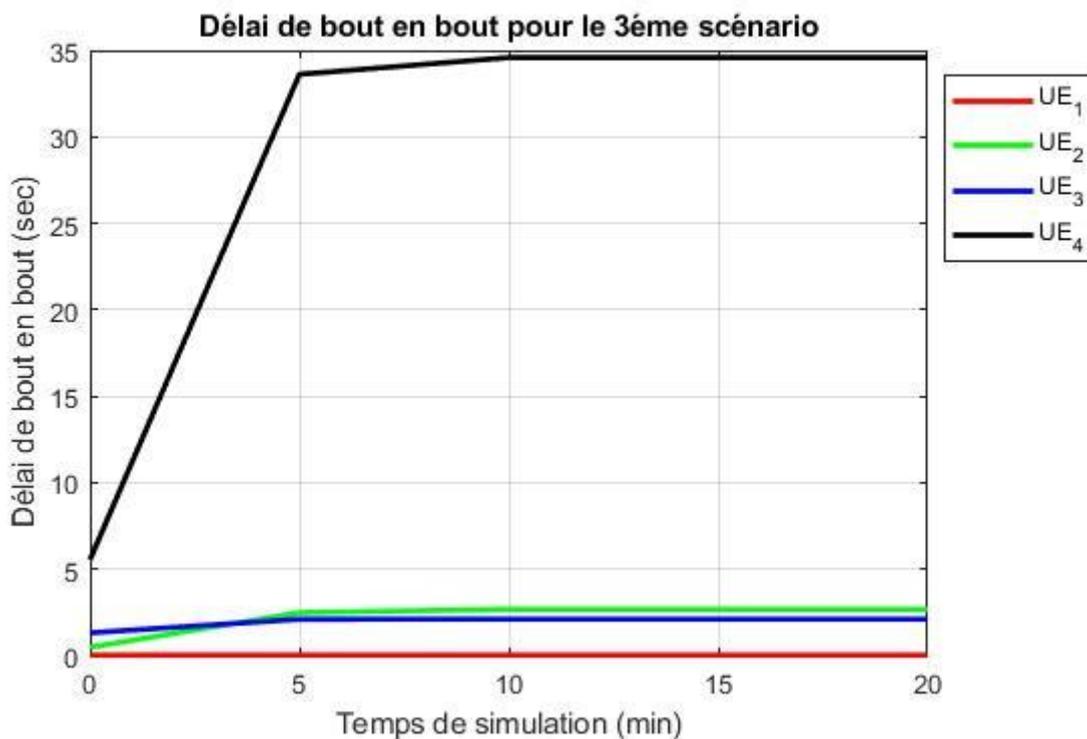


Figure 4.5: Délai de bout en bout dans le réseau de scénario 3

L'analyse des performances de retard E2E pour la vidéoconférence et le mappage aux classes de QoS EPS est effectuée afin d'évaluer la QoS LTE pour différents supports au sein d'EPS, chacun étant associé à une QoS. Nous pouvons voir sur la figure 4.5 que le délai est amélioré en appliquant la hiérarchisation des flux de paquets. Par exemple, le *bearer*  $UE_{1,1}$  associé au niveau ARP 2 semble être capable de réduire les délais moyens alors que  $UE_{1,2}$ ,  $UE_{1,3}$  et  $UE_{1,4}$  ont les pires performances de délai. Les délais pour ces trois *bearers* ne sont pas acceptables du point de vue de la qualité de service. Cela signifie qu'afin de maintenir la

qualité d'une vidéo conversationnelle interactive telle que la vidéoconférence, le délai doit être égal ou inférieur à 150 ms (millisecondes).

Lorsque nous nous concentrons sur les performances de délais E2E pour le *bearer* NGBR, nous constatons une augmentation forcée du délai pour le trafic NGBR à faible priorité  $UE_{1,2}$ ,  $UE_{1,3}$  et  $UE_{1,4}$ . Le délai E2E pour  $UE_{1,2}$ ,  $UE_{1,3}$  et  $UE_{1,4}$  ainsi que la priorité de rétention d'allocation ARP 4, 6 et 7 sont définitivement trop élevés, par rapport à  $UE_{1,1}$ , pour les applications en temps réel telles que la vidéoconférence.

En conclusion, les résultats de la simulation montrent que les différents niveaux de performances potentiels de délais E2E peuvent être atteints en utilisant la hiérarchisation associée à la QoS LTE.

#### 4.3.4 Résumé des performances en termes de délais de bout en bout

La figure 4.6 illustre la comparaison du délai E2E moyen entre les trois scénarios basés sur des charges différentes. Sur l'axe Y, les retards E2E sont représentés en seconde tandis que différents *bearers* GBR et NGBR sont présentés sur l'axe X.

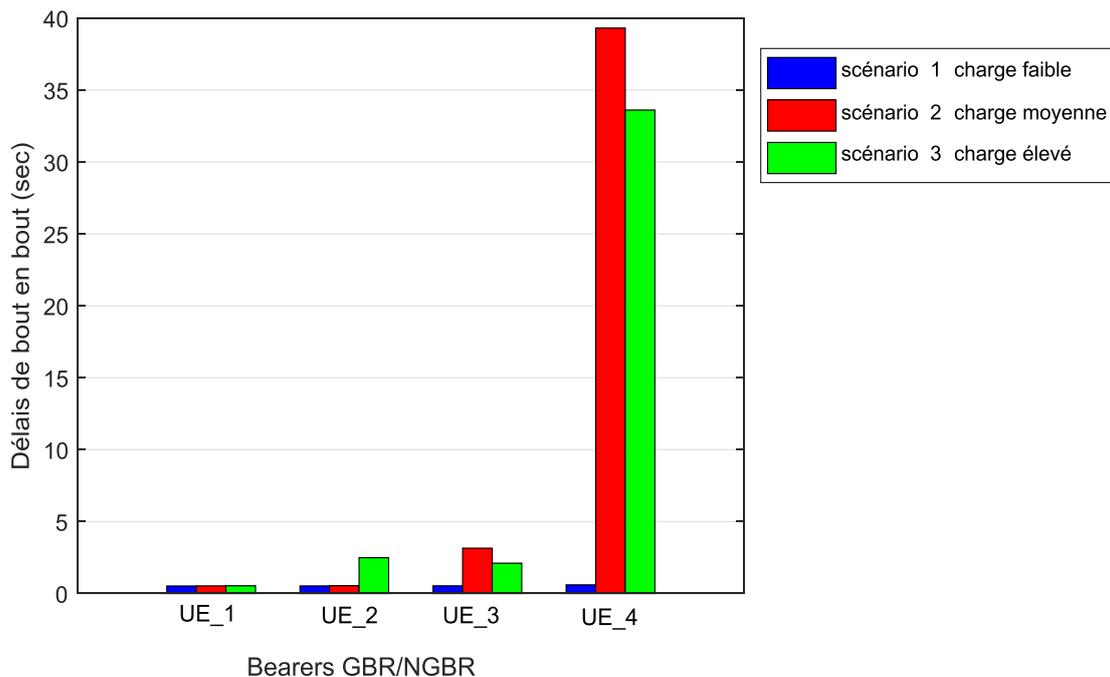


Figure 4.6 : Délais de bout-en-bout pour les 3 scénarios.

## 4.4 Performances en termes de perte de paquets

Lorsque les paquets de données dans le réseau traversent de la source à la destination, cette transmission peut entraîner un risque de perte de paquets. L'expression du taux de perte de paquets est :

$$\text{Taux de perte de paquets} = \frac{\text{Nbr de paquets envoyés} - \text{Nbr de paquets reçus}}{\text{Nbr de paquet reçu}} * 100$$

Dans cette section, nous présentons les performances sur le taux de perte de paquets pour les trois scénarios cités ci-dessus.

### 4.4.1 Scénario 1 (faible charge)

Dans cette section, nous évaluons et analysons les résultats de la simulation du taux de perte de paquets en visioconférence dans le cas du scénario 1. Également, dans ce scénario, nous pouvons voir que la moyenne des données envoyées et reçues sont les mêmes pour le trafic GBR et NGBR.

Le tableau 4.5 présente le trafic émis dans le cas du scénario 1 et le tableau 4.6 montre le trafic reçu et le taux de perte de paquets pour les différentes classes de trafic. Le trafic émis et le trafic reçu sont montrés par la figure 4.7 pour tous les *UEs*.

Sur la figure 4.7 nous voyons que le trafic émis est autour de 60674 octets/s pour les applications vidéo à différents niveaux de priorités, ce qui correspond à un débit binaire de 485392 bits/s au niveau de la couche application. Au niveau de la couche MAC, ce débit correspond à environ 497909 bits/s en raison de la surcharge due aux entêtes MAC, alors que le trafic vidéo envoyé à la couche MAC est supérieur au trafic au niveau de la couche application. En raison de la charge de trafic du scénario 1 (faible charge), il n'y a pas de préemption d'un flux sur un autre et des rejets se produisent dans la cellule d'eNodeB\_1. Tout le trafic a la possibilité d'utiliser les ressources disponibles dans EPS dans la cellule eNodeB\_1.

Trafic envoyé dans le Scénario 1	Min [Bytes]	Moy [Bytes]	Max [Bytes]
	0.0	60674	81000

Tableau 4.5 : Trafic envoyé dans le réseau de scénario 1 (faible charge).

Bearer	Min [Bytes]	Moy [Bytes]	Max [Bytes]	Taux de perte de paquet [%]
$UE_{1,1}$	0.0	60674	81000	0%
$UE_{1,2}$	0.0	60674	81000	0%
$UE_{1,3}$	0.0	60674	81000	0%
$UE_{1,4}$	0.0	60674	81000	0%

Tableau 4.6 : Traffic reçu dans le réseau de scénario 1 (faible charge).

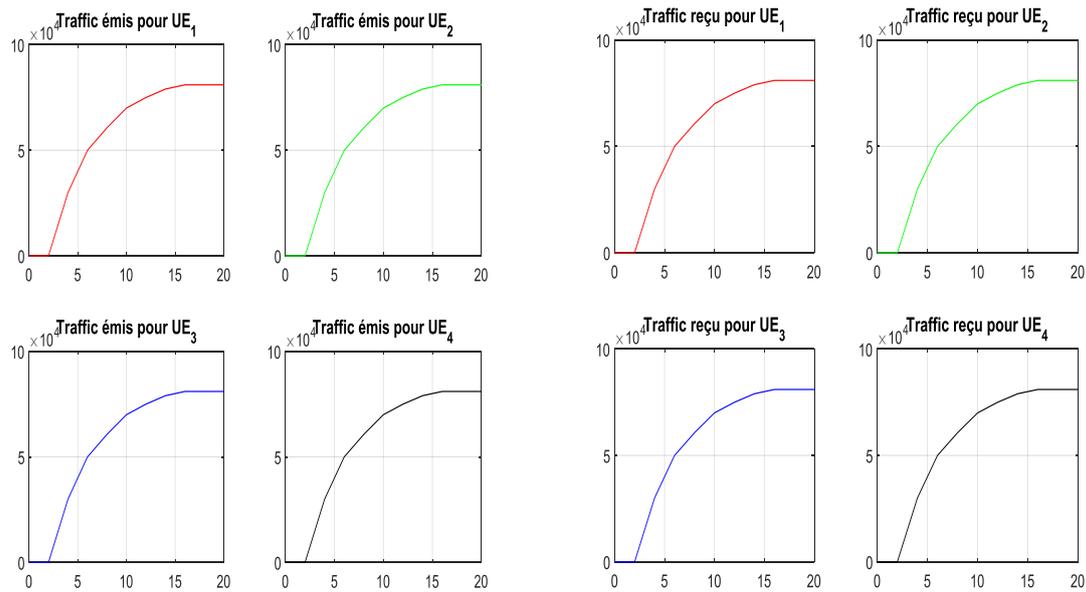


Figure 4.7 : Traffic émis et reçu dans le réseau de scénario 1.

#### 4.4.2 Scénario 2 (Charge moyenne)

Les tableaux 4.7 et 4.8 montrent les résultats du taux de perte de paquets pour différentes classes de traffic. Le tableau 4.7 montre le traffic envoyé et le tableau 4.8 montre le traffic reçu et le taux de perte de paquets.

Traffic envoyé dans le Scénario 2	Min [Bytes]	Moy [Bytes]	Max [Bytes]
	0.0	485829	648620

Tableau 4.7 : Traffic envoyé dans le réseau de scénario 2 (Charge moyenne)

Bearer	Min [Bytes]	Moy [Bytes]	Max [Bytes]	Taux de perte de paquet [%]
$UE_{1,1}$	0.0	485820	648620	0.001%
$UE_{1,2}$	0.0	485804	648620	0.005%
$UE_{1,3}$	0.0	50192	95500	89%
$UE_{1,4}$	0.0	3500	10235	99%

Tableau 4.8 : Trafic reçu dans le réseau de scénario 2 (Charge moyenne).

Dans la figure 4.8, la quantité de trafic émis (voir figure 4.8a) et reçu (voir figure 4.8b) dans le réseau à charge moyenne sont présentés. Nous pouvons voir que le nombre moyen de paquets de données émis via  $UE_{1,1}$ ,  $UE_{1,2}$ ,  $UE_{1,3}$  et  $UE_{1,4}$  est d'environ 485829 octets. D'autre part, le trafic moyen reçu par les supports  $UE_{1,1}$  (GBR) et  $UE_{1,2}$  (GBR) est presque le même. Mais le trafic reçu par  $UE_{1,3}$  (NGBR) est inférieur à celui de  $UE_{1,1}$  et  $UE_{1,2}$  et le trafic reçu par  $UE_{1,4}$  (NGBR) est bien inférieur à celui des autres. La perte moyenne de paquets pour  $UE_{1,1}$ ,  $UE_{1,2}$ ,  $UE_{1,3}$  et  $UE_{1,4}$  sont respectivement de 0,001 %, 0,005 %, 89 % et 99 %.

En conclusion, la perte de paquets pour  $UE_{1,4}$  et  $UE_{1,3}$  est plus élevée que pour  $UE_{1,1}$  et  $UE_{1,2}$  respectivement, car les niveaux de priorité de  $UE_{1,1}$  et  $UE_{1,2}$  sont plus élevés et qu'ils sont de type GBR.

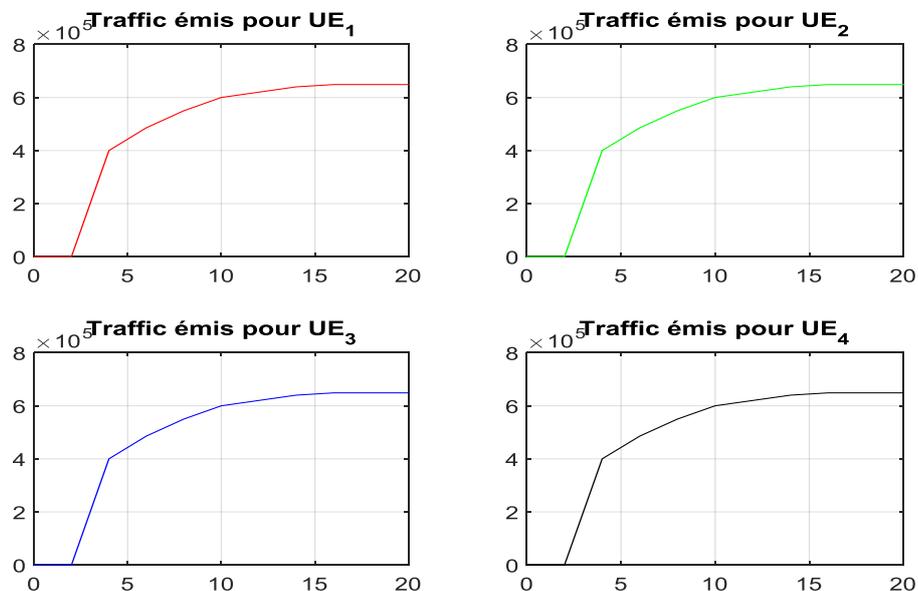


Figure 4.8.a : Trafic émis dans le réseau de scénario 2

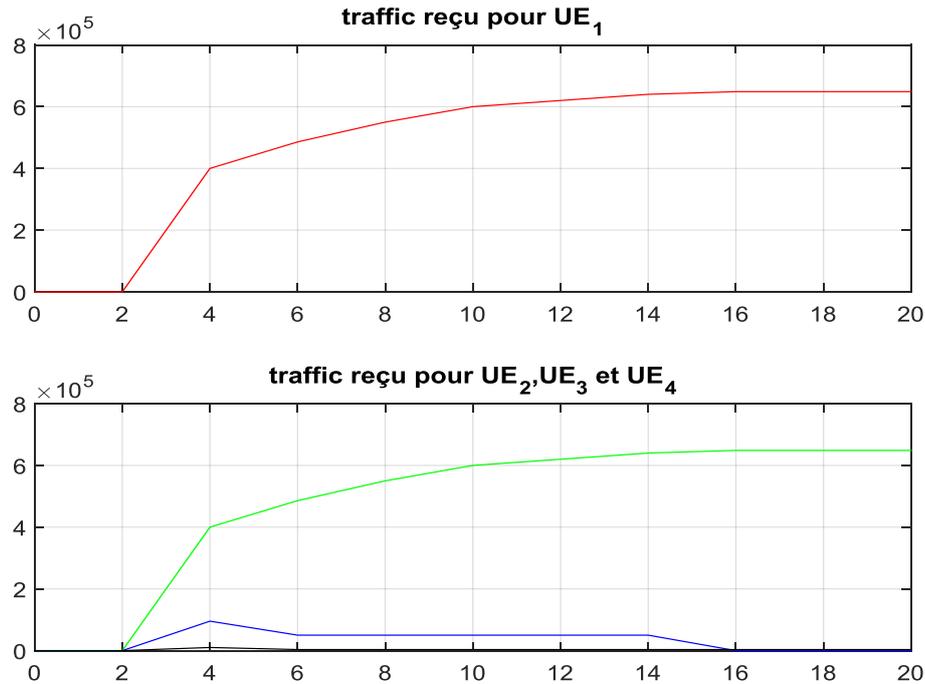


Figure 4.8.b : Trafic reçu dans le réseau de scénario 2

A partir de la figure 4.8 (b), nous déduisons que le trafic vidéo à haute priorité a une certaine préemption sur le trafic vidéo à faible priorité reçu par  $UE_{1,3}$  et  $UE_{1,4}$ . Cela signifie qu'après le démarrage des applications vidéo haute et basse priorité, nous voyons que des préemptions et des rejets se produisent dans la cellule d'eNB<sub>1</sub>. Dès que les applications de vidéoconférence sont actives, nous pouvons voir que deux *bearers* NGBR ont été préemptés. Ce sont les *bearers* associés à  $UE_{1,3}$  et à  $UE_{1,4}$ . Nous observons ainsi que deux des supports NGBR commencent à être rejetés en raison du trafic vidéo de haute priorité. Nous pouvons voir aussi sur la figure 4.8 que les applications vidéo de  $UE_{1,1}$ ,  $UE_{1,2}$ ,  $UE_{1,3}$  et  $UE_{1,4}$  émettent à environ 485829 octets/sec, ce qui se traduit par un débit binaire de 3886632 bits/sec au niveau de la couche application. Au niveau de la couche MAC, ceci correspond à environ 3975429 bits/s en raison de la surcharge MAC, de sorte que le trafic vidéo émis à la couche MAC est supérieur au débit du trafic au niveau de la couche application.

#### 4.4.3 Scénario 3 (Charge élevée)

Les tableaux 4.9 et 4.10 montrent les résultats du taux de perte de paquets pour différentes classes de trafic. Le tableau 4.9 montre le trafic envoyé et le tableau 4.10 montre le trafic reçu et le taux de perte de paquets.

Traffic envoyé dans le Scénario 3	Min [Bytes]	Moy[Bytes]	Max [Bytes]
	0.0	526315	702671

Tableau 4.9 : Traffic émis dans le réseau de scénario 3 (Charge élevée).

Bearer	Min [Bytes]	Moy [Bytes]	Max [Bytes]	Taux de perte de paquet [%]
$UE_{1,1}$	0.0	526291	702671	0.004%
$UE_{1,2}$	0.0	94447	197011	82%
$UE_{1,3}$	0.0	16661	61930	96%
$UE_{1,4}$	0.0	3498	10697	99%

Tableau 4.10 : Traffic reçu dans le réseau du scénario 3 (Charge élevée).

Ces résultats sont aussi traduits graphiquement par les figures 4.9a et 4.9b.

Environ 526315 octets de données sont émises sur ce réseau du scénario 3 (charge élevée). Lorsque tous les  $UE$  démarrent la visioconférence, il y a une charge élevée dans ce réseau. D'après la figure 4.9b, il semble que le trafic reçu sur  $UE_{1,1}$  soit sur une moyenne de 526291 octets, ce qui est presque identique aux données émises en raison du support GBR avec la priorité la plus élevée. D'autre part,  $UE_{1,2}$ ,  $UE_{1,3}$  et  $UE_{1,4}$  sont rejetés en raison des supports GBR et NGBR ayant la priorité la plus faible. Les pertes de paquets pour les  $UE_{1,1}$ ,  $UE_{1,2}$ ,  $UE_{1,3}$ ,  $UE_{1,4}$  sont de près de 0,004%, 82%, 96% et 99%.

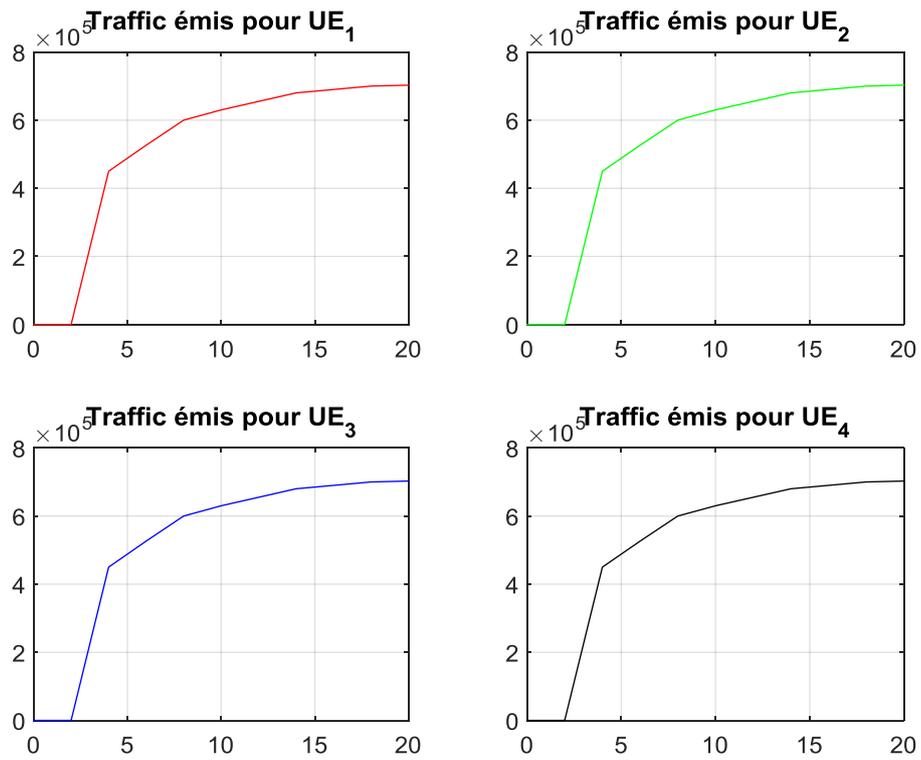


Figure 4.9.a: Traffic émis dans le réseau de scénario 3

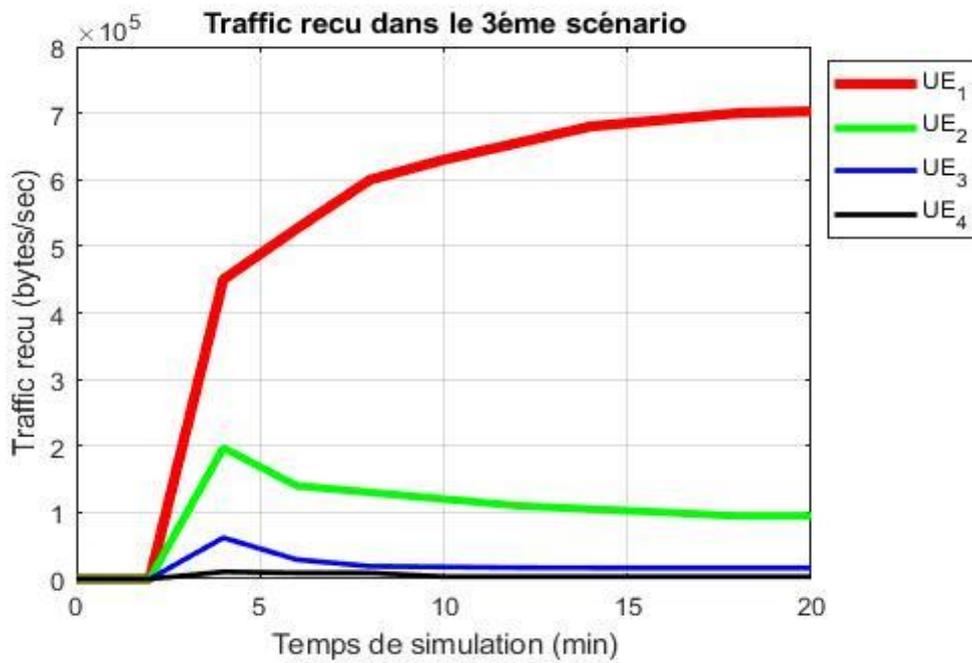


Figure 4.9.b : Traffic reçu dans le réseau de scénario 3

#### 4.4.4 Résumé des performances en termes de perte de paquets

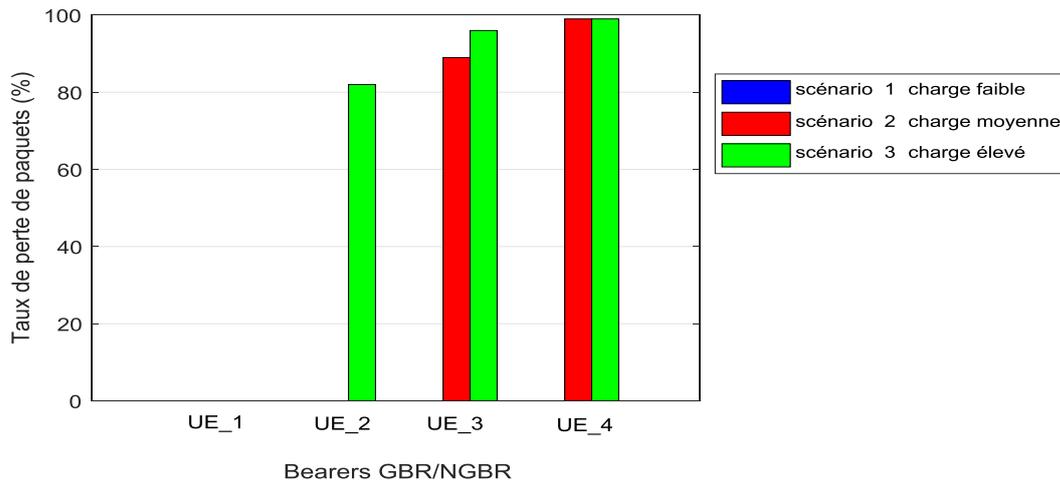


Figure 4.10 : Taux de perte de paquets pour les 3 scénarios

La figure 4.10 décrit les performances de perte de paquets des différents supports GBR et NGBR. Pour les trois scénarios de visioconférence, le réseau Scénario 1 (Faible charge), Scénario 2 (Charge moyenne) et Scénario 3 (Charge élevée). L'axe X représente les *bearers*  $UE_{1,1}$  (GBR),  $UE_{1,2}$  (GBR),  $UE_{1,3}$  (NGBR) et  $UE_{1,4}$  (NGBR) et l'axe Y représente le taux de perte de paquets (%).

#### 4.5 Performances en termes de variations de délais ou gigue

Cette métrique de performance (PDV : Packet Delay Variation) est basée sur la différence entre les délais unidirectionnels des paquets successivement reçus. Dans la suite de cette section, nous allons réaliser une évaluation approfondie des performances en termes de variations de délais, pour les trois scénarios cités précédemment. Cette évaluation des performances a pour objectif d'étudier les performances PDV pour différentes classes de trafic qui sont simultanément des flux actifs dans les trois scénarios et pour fournir des informations sur le réglage des paramètres PDV. Les résultats, en termes de valeurs minimales, maximales, moyennes et d'écart type de PDV, sont donnés sous forme de tableaux et traduits graphiquement sous forme de figures.

Dans toutes les figures présentées dans les sous-sections suivantes, l'axe X représente le temps de simulation en secondes tandis que l'axe Y représente la variation des délais (PDV) en secondes.

#### 4.5.1 Scénario 1 (charge faible)

Pour ce premier scénario, les résultats de PDV sont montrés dans le tableau 4.11. La figure 4.11 montre l'évolution de PDV en fonction du temps de simulation. Nous voyons sur la figure 4.11 et le Tableau 4.11 que la variation du PDV pour les *bearers*  $UE_{1,1}$ (GBR) varie de 0,000093 ms à 0,00165 ms où le délai moyen de paquet est de 0,0002 535 ms. Les PDV pour  $UE_{1,2}$  (GBR) démarrent de 0,000012 ms à 0,00212 ms avec une moyenne de 0,00032 ms. Dans le cas de  $UE_{1,3}$  (NGBR), le PDV moyen est de 0,0002481 ms et pour le *bearer*  $UE_{1,4}$  (NGBR), le PDV le plus bas est de 0,000081 ms tandis que le PDV le plus élevé est de 0,00143 ms avec une moyenne de 0,000219 ms.

Bearer	Min [sec]	Moy [sec]	Max [sec]
$UE_{1,1}$	$9.394 * 10^{-8}$	$2.535 * 10^{-7}$	$1.656 * 10^{-6}$
$UE_{1,2}$	$1.205 * 10^{-7}$	$3.252 * 10^{-7}$	$2.121 * 10^{-6}$
$UE_{1,3}$	$9.199 * 10^{-8}$	$2.481 * 10^{-7}$	$1.619 * 10^{-6}$
$UE_{1,4}$	$8.126 * 10^{-8}$	$2.193 * 10^{-7}$	$1.433 * 10^{-6}$

Tableau 4.11 : Performances PDV pour le réseau du scénario 1 (Charge faible)

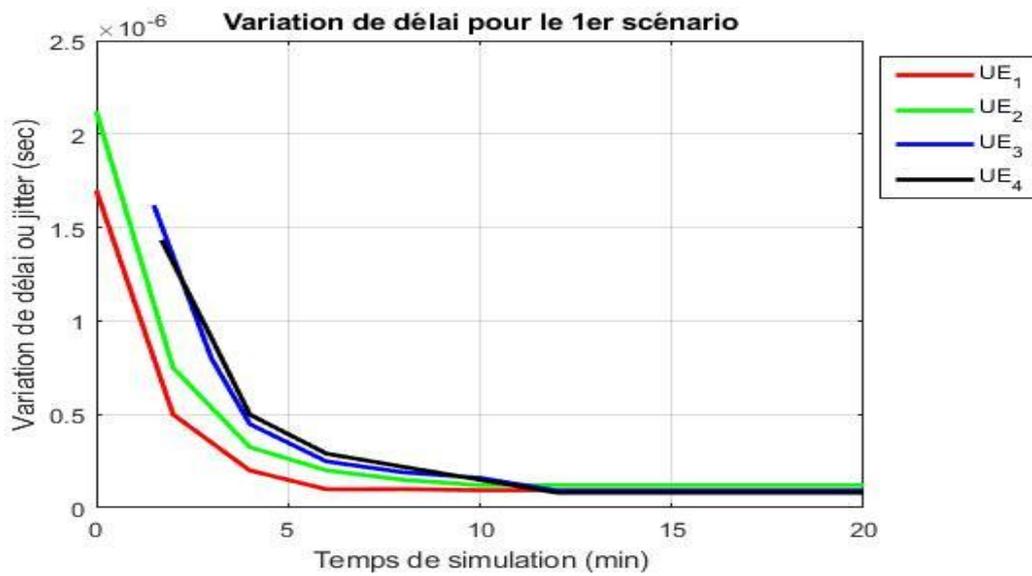


Figure 4.11 : Les variations de délai dans le réseau de scénario 1.

#### 4.5.2 Scénario 2 (Charge moyenne)

Les variations de délais pour les différents supports GBR et NGBR sont présentées dans le Tableau 4.12 et tracées sur la Figure 4.12. Le PDV pour le *bearer*  $UE_{1,1}$  (GBR) est démarré à 0,0027 ms et terminé à 0,0296 ms avec une moyenne de 0,0055 ms. Dans le cas du *bearer*  $UE_{1,2}$ (GBR), le PDV est de 0,09641 ms à 1,23 ms et le délai moyen des paquets est de 0,23 ms. La valeur PDV pour le *bearer*  $UE_{1,3}$  (NGBR) est de 3256 ms à 1113ms et  $UE_{1,4}$  (NGBR) démarre de 16672ms à 508940ms où les retards moyens de paquets sont de 1036ms et 439500ms.

Dans le cas du réseau du scénario 2 (charge moyenne), nous pouvons voir que le PDV pour le *bearer*  $UE_{1,2}$  (GBR) est 400% plus élevé que le *bearer*  $UE_{1,1}$  (GBR).

Bearer	Min [sec]	Moy [sec]	Max [sec]
$UE_{1,1}$	$2.758 * 10^{-6}$	$5.5249 * 10^{-6}$	$2.960 * 10^{-5}$
$UE_{1,2}$	$9.641 * 10^{-5}$	0.00023	0.00123
$UE_{1,3}$	0.2565	1.036	1.113
$UE_{1,4}$	16.672	439.50	508.94

Tableau.4.12 : Performances PDV dans le réseau du scénario 2 (Charge faible).

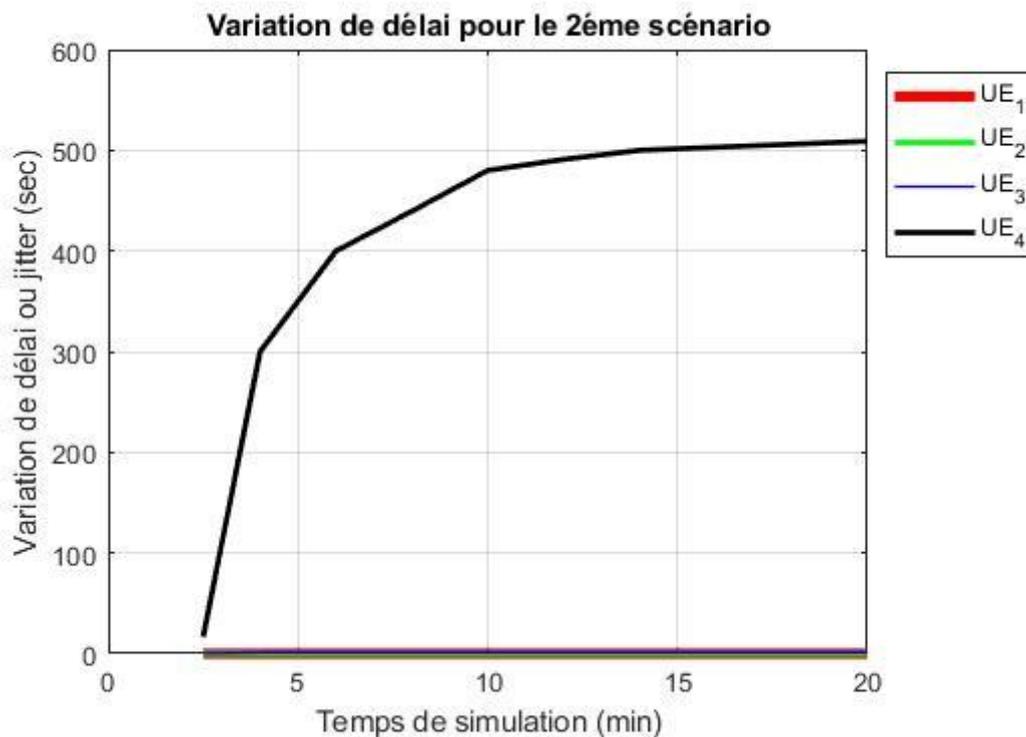


Figure 4.12 : Les variations de délai dans le réseau de scénario 2.

### 4.5.3 Scénario 3 (Charge élevée)

La figure 4.13 et le tableau 4.13 décrivent le PDV pour différents *bearers* GBR et NGBR sur le réseau du scénario 3 (charge élevée). La variation de délai pour le *bearer*  $UE_{1,1}$  (GBR) passe de  $4,728 \cdot 10^{-6}$  sec. À  $6,33 \cdot 10^{-5}$ sec avec une moyenne de  $1,078 \cdot 10^{-5}$  sec. Pour le *bearer*  $UE_{1,2}$  (GBR), le PDV minimum est de 0,0372s et celui-ci va jusqu'à un maximum de 0,678s où la valeur moyenne est de 0,612s. Aussi, pour le *bearer*  $UE_{1,3}$  (NGBR), le PDV minimum est de 0,5603s et le PDV le plus élevé est de 0,8345s sur une moyenne de 0,8219 s.

Dans le cas du scénario 3 (charge élevée), le PDV moyen pour le *bearer*  $UE_{1,2}$ ,  $UE_{1,3}$  et  $UE_{1,4}$  est très élevé et ils sont par conséquent rejetés, car le *bearer* GBR de la plus haute priorité a la possibilité d'utiliser toute la bande passante disponible.

Bearer	Min [sec]	Moy [sec]	Max [sec]
$UE_{1,1}$	$4.728 * 10^{-6}$	$1.078 * 10^{-5}$	$6.337 * 10^{-5}$
$UE_{1,2}$	0.0372	0.61214	0.6780
$UE_{1,3}$	0.5603	0.8219	0.8345
$UE_{1,4}$	17.912	332.581	378.126

Tableau. 4.13 : Performances PDV dans le réseau du scénario 3 (Charge élevée).

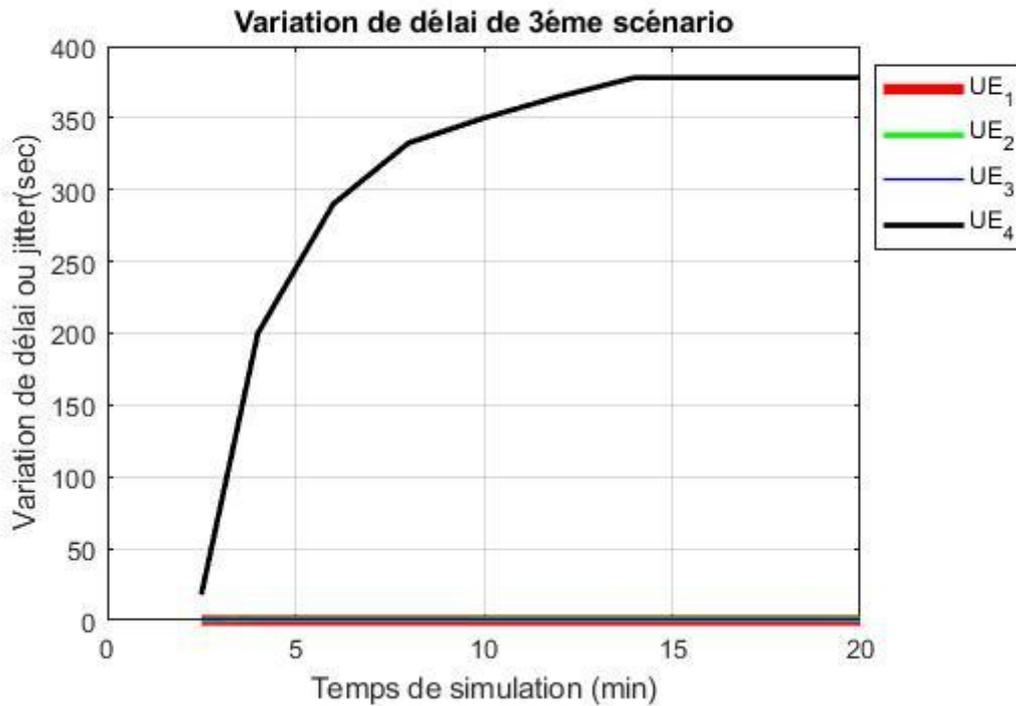


Figure 4.13 : Variations de délai dans le réseau de scénario 3.

#### 4.5.4 Résumé des performances PDV

La figure 4.14 présente les performances de variations de délais des différents supports GBR et NGBR pour les trois scénarios de visioconférence. L'axe X représente différents supports GBR et NGBR tandis que l'axe Y représente la variation du délai de paquet (secondes).

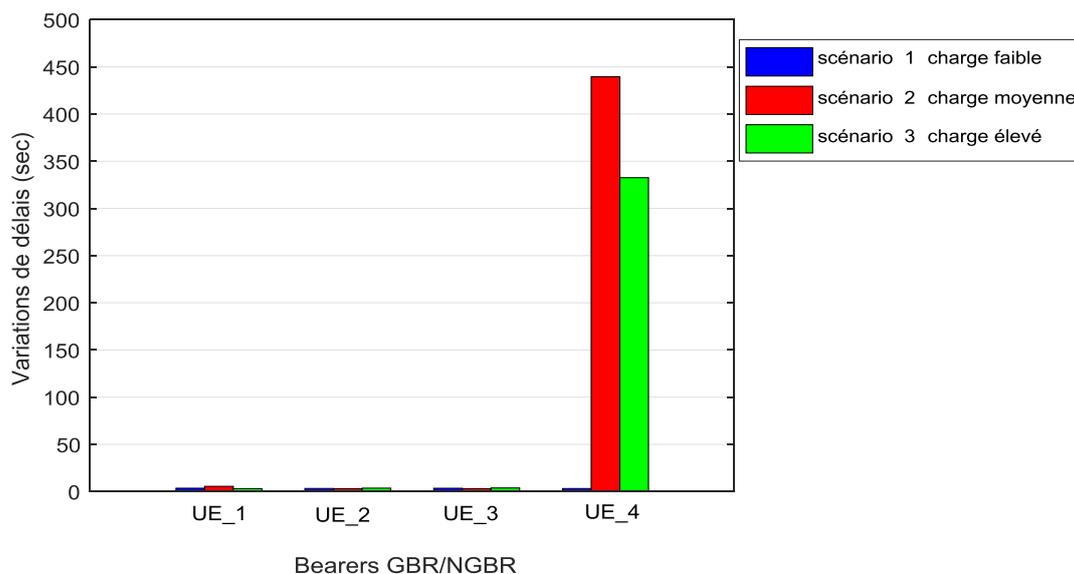


Figure 4.14 : Variations de délais pour les 3 scénarios.

En conclusion, PDV pour le réseau du scénario 3 (charge élevée) est supérieur au réseau du scénario 2 (charge moyenne) et au réseau du scénario 1 (charge faible). Dans le cas du scénario 1 (faible charge), la PDV du réseau pour les supports GBR et NGBR n'est pas élevée. Pour les réseaux à charge moyenne et élevée, le PDV pour NGBR est beaucoup plus élevé que le support GBR. De plus, il existe un flux de trafic très faible via  $UE_{1,2}$ ,  $UE_{1,3}$  et  $UE_{1,4}$  dans le scénario 3 (charge élevée) en raison du trafic support GBR de la plus haute priorité.

## 4.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les résultats de simulation des performances de la QoS de la visioconférence dans le réseau LTE. Nous avons étudié plusieurs paramètres servant de mesures pour évaluer cette QoS. En général, ces mesures sont le délai de bout-en-bout (E2E), le taux de perte de paquet et la variation de délais ou gigue.

Nous avons considéré trois scénarios de communication dans le réseau LTE, conçus de telles sortes à ce que le réseau soit examiné dans des situations de faible charge, charge moyenne et charge élevée. Les résultats obtenus dans ces trois modèles ont été comparés. Nous avons ainsi montré l'importance d'ARP dans EPC durant l'établissement des *bearers* radio et leur traduction en QCI par le réseau UTRAN.

# **Conclusion**

### Conclusion

Ce mémoire est dédié à l'étude de la QoS de la visioconférence dans le réseau LTE. Ainsi, ce travail, nous a permis de considérer des aspects relevant de plusieurs technologies, à savoir les réseaux mobiles en général (GSM, UMTS et LTE) et le réseau LTE en particulier, ainsi que la technologie IP et les protocoles de communication qui lui sont associés. Ceci constitue un véritable enrichissement de notre formation.

Nous avons commencé par une étude générale de la technologie radio mobile LTE, les innovations apportées par rapport aux technologies précédentes, les caractéristiques de l'architecture LTE ainsi que ses interfaces, aussi bien les canaux radio, les exigences LTE et la QoS offerte. Nous avons aussi présenté les paramètres principaux pour la mesure de la QoS dans le réseau LTE, notamment le délai de bout en bout (E2E), le taux de perte de paquet et la gigue. Nous avons mesuré ces paramètres du point de vue applicatif pour les applications de visioconférence.

Nous avons évalué la QoS d'une visioconférence en simulant trois scénarios à différentes charge de trafic. Nous pouvons retenir les principales observations qui suivent.

Les résultats de la simulation montrent que les *bearers* GBR et NGBR ont un impact important sur la visioconférence dans un réseau encombré (charge élevé). Donc par rapport au délai E2E nous pouvons conclure que les GBR et NGBR sont acceptables pour un réseau à faible charge. Pour un réseau à charge moyenne le paquet est partiellement rejeté pour le *bearar* NGBR. Alors que, dans un réseau à charge élevée, seul le *bearer* GBR de priorité la plus élevée a un délai E2E tolérable.

Pour les réseaux à faible charge, le taux de perte de paquets est presque nul, que ce soit pour les *bearers* GBR ou NGBR. Alors que, dans le cas d'un réseau encombré (charge moyenne, et élevée) la perte moyenne des paquets est plus élevée pour le NGBR, comparée aux GBR.

Dans un réseau à faible charge, les PDVs sont presque égales pour GBR et NGBR. Pour un réseau à charge moyenne, les variations de délais de paquets pour le *bearer* NGBR sont plus élevées par rapport au *bearer* GBR. Alors que, seul le *bearer* GBR de la plus haute

priorité a la possibilité d'utiliser la bande passante disponible dans un réseau à charge élevée en raison de la forte congestion.

Pour tous les cas nous pouvons conclure que le *bearer* GBR de la plus haute priorité a plus d'opportunités d'utiliser les ressources disponibles dans EPS d'eNodeB lorsque le réseau est encombré. Par rapport au trafic des *bearers* GBR, les NGBR sont presque rejetés.

Comme perspectives, nous souhaitons dans les prochaines études avoir la chance de simuler des réseaux plus chargés et d'évaluer d'autres paramètres qui mènent vers une meilleure QoS.

# Bibliographie

- [1] Bouchentouf.H Boudghene.S.R, "Etude des performances des réseaux 4G (LTE) ", Mémoire Master en Télécommunication, Université de Tlemcen Abou Bekr Belkaid, 2012-2013.
- [2] Alban HOUNTON, "Etude des performances des réseaux 4G", Mémoire Licence Professionnelle. UATM GASA FORMATION, UATM GAZA, 2015.
- [3] H.MERAH, "Conception d'un MODEM de la quatrième génération (4G) des réseaux de mobiles à base de la technologie MC-CDMA", thèse Magistère en Communication, Université FERAHAT ABBAS, 2012.
- [4] GHASSEN.A.A, MAHAMOD.I KASMIRAN.J, "Modeling and Performance Evaluation of LTE Networks with Different TCP Variants ", Académie mondiale des sciences, 2011.
- [5] URDAREANU.A, "Réseau de 4ème Génération ", Rapport bibliographique, Université de RENNES, 2007.
- [6] <http://www.efort.com>, site d'études et formations en Télécommunications Service et Réseaux de Télécommunication, 2009
- [7] Huawei Technologies, "LTE Radio Planning Introduction", Document interne et confidentiel de Huawei, Co., LTD.
- [8] Hanen Hrizi, Salma Saidane, "Dimensionnement des Réseaux Radio 3G et 4G ", Projet de fin d'Études pour l'obtention de diplôme Licence Appliquée en Sciences et technologies de l'Information et de la Communication Option RST, Tunisie Telecom, 2012/2013.
- [9] SEIDE.G, "Planification d'un réseau de quatrième Génération à partir D'un Réseaux De Troisième Génération", Mémoire en vue de l'obtention Du diplôme de maîtrise des sciences appliquées (génie informatique), Université de MONTREAL, 2011
- [10] Tara Ali yahia, "Understanding LTE and its performance", Springer science+Business Media, LLC 2011.
- [11] Md. Neharul Islam Md. Showket Hossen, "QoS Performance Evaluation of Video Conferencing over LTE", Blekinge Institute of Technology, Sweden.
- [12] Najah Abu Ali, Hossam S. Hassanein Abd Elhamid M. Taha, "LTE, LTE-Advanced and WiMAX-Towards IMT-Advanced Network ", John Wiley, 2012.
- [13] Md. Jewel Babu Md. Ebna Masum, "End- to-End Delay Performance Evaluation for VoIP in the LTE Network", School of Engineering, Bleking Institute of Technology, Sweden, Sweden, Master Thesis 2011
- [14] Yasir Zaki, "Future Mobile Communication: LTE Optimization and Mobile Network Virtualization", Faculty of Physics and Electrical Engineering, University of Bremen, Germany, Germany, 2012.

- [15] Isaam Touik, Mathew Baker Stefania Sesia, "LTE-The UMTS Long Term Evolution-From Theory or Practice", John Wiley, 2009
- [16] y. Bouguen, E. Harouin, F. wolff, "LTE et les réseaux 4G ", Eyrolles, 2012.
- [17] Document fournit par ATM Mobilis Sétif.
- [18] X. LAGRANGE, "Principes de fonctionnement de l'interface radio LTE", Les sélections techniques de l'ingénieur, Mai 2013, Référence Internet TE7374.
- [19] Qualcomm Incorporated, "LTE Mobility Enhancements", RFC 12/20079, février 2010.
- [20] <http://www.urec.cnrs.fr/IMG/pdf/cours.sf.pdf> , Date de consultation mai 2021.
- [21] "Pourquoi la QoS mobile ?", [https://www./comment\\_ca\\_marche/qualité\\_de\\_service.html](https://www./comment_ca_marche/qualité_de_service.html) , Site-Ecole-TCO-Lille-France, 3 février 2018.
- [22] Thushara Weerawardane, Carmelita Gorg, Andreas Timm-Giel Yasir Zaki, "Long Term Evolution (LTE) Model Development within OPNET Simulation ENvironment," Communication Network Department, University of Bremen, Germany, 2010.
- [23] Isaam Toufik, Mathew Baker Stefania Sesia, "LTE-The UMTS Long Term Evolution-From Theory or Practice", John Wiley, 2011.
- [24] Shabnam Sultana, Stefan Rommer, Lars Frid, Catherine Mulligan Magnus Olsson, "SAE and the Evolved Packet Core-Driving the Mobile Broadband Revolution," Elsevier Academic Press, 2009.
- [25] Department of Commerce-Boulder Labs, Public Safety Communications Research, Priority Preemption, QoS.
- [26] "Qu'est-ce qu'un KPI? ", [https://www.bluenst\\_system.com/kpi\\_indicator\\_performance](https://www.bluenst_system.com/kpi_indicator_performance), 06 Février 2018.
- [27] M. Lamelot, "Quel sont les performances de la 4G ?", <http://www.tomshardwar.fr/article/4Glte.2-798-2.html>, Mars 2018.
- [28] "Long Term Evolution Protocol Overview," White Paper, freescale semiconductor, 2008
- [29] "LTE in a Nutshell- Protocol Architecture", WHITE PAPER, Telesystem Innovations inc, 2010.
- [30] A. Showk, D. Szczesny, S. Traboulsi, I. Badr, E. Gonzalez, and A. Bilgic, "Modeling LTE protocol for mobile terminals using a formal description technique", in Proceedings of the 14th international SDL conference on Design for motes and mobiles, Bochum, Germany, 2009, pp. 222–238.
- [31] "3GPP LTE Channels and MAC Layer", EventHelix.com inc., <http://eventhelix.com> , 2009.

[32] Adebayo. Emmanuel A, "Performance Analysis of an LTE-4G Network Running Multimedia Applications", Master of Science in Computer Engineering, Eastern Mediterranean University, July 2014

[33] "Delay Performance in IP Routers (Conference Paper by Patrik Carlsson, Doru Constantinescu, Adrian Popescu, Markus Fiedler, Arne A. Nilsson) - Electronic Research Archive @ Blekinge Institute of Technology (BTH)" <http://www.bth.se/fou/forskininfo.nsf/alfs/6a0575404096648bc1256eed00309b88> .

[34] S. Keshav, "An Engineering Approach to Computer Networking", Addison-Wesley, ISBN 0-201-63442-2, 1997.

[35] <http://wapiti.enic.fr/commun/ens/peda/options/ST/RIO/pub/exposes/exposesrio2003ttnfa04/de-scourtis-reynaud/h323.html>

[36] Moussaoui.F, Fenniche M, "Application de visioconférence sur la 4G sous Bluejeans", Mémoire Master en Télécommunications, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2017/2018.

[37] <http://wapiti.enic.fr/commun/ens/peda/options/ST/RIO/pub/exposes/exposesrio2006-ttnfa2007/Hjibe-Dorville/SIP.html>

[38] Mr OUILES SaidAdlane, "PROJET D'UNE PLATFOME VISIOCONFERENCE", mémoire de fin d'études en master 2 option électronique, université de Tizi-Ouzou, 2012/201.

## Résumé

Dans ce mémoire, une étude de la QoS dans le réseau LTE, vis-à-vis des applications de visioconférence est proposée. En effet, LTE comprend une architecture plate tout-IP, et une interface radio qui lui permet de présenter de multiples qualités, en particulier des débits élevés entre la station de base et les terminaux. Cela augmente la capacité de transmission et permet ainsi d'offrir le même débit à plusieurs utilisateurs ou de fournir des débits plus élevés au même nombre d'utilisateurs. En outre, la réduction de l'intervalle de transmission des données (latence) devrait améliorer considérablement la réactivité du terminal ; son autonomie s'en trouve rallongée malgré la connexion à un service de données à large bande tels que les services multimédia qui exigent une certaine qualité de service (QoS).

L'étude proposée dans ce mémoire est fondée sur la mesure de quelques paramètres fondamentaux qui déterminent la QoS offerte à une application de visioconférence sur le réseau LTE. Les principaux paramètres qui ont été évalués sont le délai de bout-en-bout (E2E), le taux de perte de paquets et la variation de délai (PDV) ou gigue.

**Mots clés :** LTE, QoS, EPS, Visioconférence, GBR, NGBR, E2E, PDV, perte de paquets.

## Abstract

In this thesis, a study of QoS in the LTE network, opposite videoconferencing applications is proposed. Indeed, LTE includes an all-IP flat architecture, and a radio interface which allows it to present multiple qualities, in particular high data rates between the base station and the terminals. This increases the transmission capacity and thus makes it possible to offer the same speed to several users or to provide higher speeds to the same number of users. In addition, reducing the data transmission interval (latency) should significantly improve the responsiveness of the terminal; its autonomy is extended despite the connection to a broadband data service such as multimedia services which require a certain quality of service (QoS).

The study proposed in this thesis is based on the measurement of a few fundamental parameters that determine the QoS offered to a videoconferencing application on the LTE network. The main parameters that were evaluated are end-to-end delay (E2E), packet loss rate, and delay variation (PDV) or jitter.

**Key words:** LTE, QoS, EPS, Visioconference, GBR, NGBR, E2E, PDV, packet loss.