

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Abderahmane MIRA - BEJAIA -

Faculté de Technologie

Département D'électronique



## Mémoire de Fin d'Etudes

Présenté par

**BENCHINE Meriem**

**MAALIOU Sonia**

**Pour l'obtention du Diplôme de Master Recherche**

*Filière : Electronique*

*Spécialité : Télécommunication*

*Thème*

**Evaluation des performances du réseau LTE**

**Soutenu en public en date du : 25.06.2015**

**Devant le Jury:**

**Melle D. HAMZAOUI**

**Mr M. AZNI**

**Promotrice**

**MEZHOUD Naima**

**Promotion 2014-2015**

# REMERCIEMENTS

*Nous remercions Dieu, le tout puissant de nous avoir accordé santé, volonté, courage et patience. Ces valeurs nous ont été très utiles tout le long de notre parcours.*

*Nous tenons à remercier nos encadrateurs Mme N. Mezhoud, de l'université et Mr M. Nasri d'Algérie Telecom de Setif pour leurs conseils et orientations tout au long d'élaboration de ce travail et pour leur aide précieuse.*

*Nous remercions les membres du jury, Mr M. Azni, Melle D. Hamzaoui pour avoir accepté d'examiner notre travail.*

*Nous tenons à remercier également Mr Haddad Nacer d'Algérie Telecom d'Akbou pour l'aide qu'il nous a offert, Mme Ouared d'Algérie Telecom de bougie, malgré que ses efforts n'aient pas abouti aux résultats que nous voulions et Mr N. Séfaoui d'Algérie Telecom d'Alger pour son aide.*

*Sans oublier bien sur Mr M.Zaidi, enseignant à l'école privée Fly School pour nous avoir aidé à réaliser notre simulation du réseau LTE.*

*Enfin, nous adressons nos remerciements à nos pères Mr A. Maaliou et Mr M.Benchine pour leurs aide précieuse et leurs soutien tout au long de l'élaboration de ce travail.*

# Dédicaces

*Ce mémoire est dédié à  
Nos parents,  
Nos familles,  
Nos ami(e)s,  
Tous ceux qui nous aiment et qu'on aime.*

*Benchine Meriem & Maaliou Sonia*

# Table des matières

<b>Introduction Générale</b>	<b>1</b>
<b>1 Généralité sur les réseaux mobiles</b>	<b>2</b>
1.1 Introduction . . . . .	2
1.2 Réseaux cellulaires de première génération . . . . .	2
1.2.1 AMPS . . . . .	2
1.2.2 ETACS . . . . .	2
1.2.3 Radicom2000 . . . . .	3
1.2.4 NMT . . . . .	3
1.3 Réseaux cellulaires de deuxième génération . . . . .	3
1.3.1 GSM . . . . .	3
1.3.2 GPRS . . . . .	6
1.3.3 EDGE . . . . .	7
1.4 Réseaux cellulaires de troisième génération . . . . .	8
1.4.1 UMTS . . . . .	8
1.4.2 HSPA : . . . . .	10
1.4.3 I-HSPA . . . . .	11
1.5 Réseaux cellulaires de quatrième génération . . . . .	11
1.5.1 LTE . . . . .	11
1.5.2 Au-delà du LTE : LTE Advanced . . . . .	12
1.6 Récapitulation . . . . .	12
1.7 Conclusion . . . . .	13
<b>2 Etude du réseau LTE</b>	<b>14</b>
2.1 Introduction . . . . .	14
2.2 Développement du réseau LTE . . . . .	14
2.3 La 4G dans le monde . . . . .	15
2.4 Architecture du réseau LTE . . . . .	16
2.4.1 Evolution de l'architecture du réseau LTE . . . . .	16
2.4.2 Equipements du réseau LTE . . . . .	19
2.4.3 Interfaces de communication . . . . .	19
2.5 Interface radio du réseau LTE . . . . .	23
2.5.1 Rappel sur le canal radio . . . . .	23
2.5.2 Les modes de duplexage . . . . .	23

---

2.5.3	Structure de trame de l'interface radio . . . . .	24
2.5.4	Technique d'accès multiple . . . . .	26
2.5.5	Architecture protocolaire du réseau LTE . . . . .	34
2.5.6	Modulation . . . . .	36
2.6	Indicateurs de performance du LTE . . . . .	38
2.6.1	Débit . . . . .	38
2.6.2	Capacité . . . . .	39
2.6.3	Latence . . . . .	39
2.6.4	Flexibilité dans l'usage de la bande . . . . .	39
2.6.5	Mobilité . . . . .	40
2.6.6	Coexistence avec les générations précédentes . . . . .	40
2.6.7	La qualité de service QoS . . . . .	40
2.7	Conclusion . . . . .	41
<b>3</b>	<b>Simulations et résultats</b>	<b>42</b>
3.1	Introduction . . . . .	42
3.2	Partie 1 . . . . .	42
3.2.1	Objectif . . . . .	42
3.2.2	Résultats et conclusions . . . . .	43
3.3	Partie 2 . . . . .	47
3.3.1	Objectif . . . . .	47
3.3.2	Choix du simulateur . . . . .	48
3.3.3	Résultats et conclusion . . . . .	48
3.4	Conclusion . . . . .	49
	<b>Conclusion Générale</b>	<b>50</b>
	<b>Annexe A</b>	<b>i</b>
	<b>Annexe B</b>	<b>iv</b>
	<b>Annexe C</b>	<b>v</b>

# Table des figures

1.1	Architecture du GSM . . . . .	4
1.2	Architecture du GSM/GPRS . . . . .	7
1.3	Les trois composantes de l'architecture d'un réseau UMTS . . . . .	9
1.4	Interfaces de communication du réseau UMTS . . . . .	10
2.1	Déploiement de la 2G, 3G et 4G dans le monde . . . . .	15
2.2	Evolution de l'architecture du réseau LTE . . . . .	17
2.3	Domaines du réseau LTE . . . . .	18
2.4	Equipements du EPC . . . . .	18
2.5	Interfaces de connexion du réseau LTE . . . . .	21
2.6	Architecture du réseau 3G/UMTS étendu vers 4G/LTE . . . . .	22
2.7	Interface de connexion entre la LTE et les réseaux non 3GPP . . . . .	22
2.8	Répartition des voies montantes et descendantes en fréquence . . . . .	24
2.9	Répartition des voies montantes et descendantes en temps . . . . .	24
2.10	Structure de trame en FDD . . . . .	25
2.11	Structure de trame en TDD . . . . .	26
2.12	La technologie MIMO . . . . .	27
2.13	Orthogonalité des sous porteuses . . . . .	28
2.14	Représentation fréquentielle et temporelle d'un signal OFDMA . . . . .	29
2.15	Sous-porteuses OFDM . . . . .	29
2.16	Resource bloc et resource element pour un CP en mode normal . . . . .	30
2.17	Génération des sous-porteuses . . . . .	31
2.18	Comparaison entre OFDMA et SC-FDMA . . . . .	33
2.19	Comparaison entre un symbole OFDMA et un symbole SC-FDMA . . . . .	34
2.20	Pile protocolaire de l'interface radio . . . . .	34
2.21	Constellation QAM a 16 états . . . . .	37
2.22	Constellation QAM à 64 états . . . . .	37
2.23	Constellation QPSK . . . . .	38
2.24	Hard handover . . . . .	40
3.1	PLR pour la video . . . . .	44
3.2	Indicateur d'équité pour la vidéo . . . . .	45
3.3	PLR pour les NRT . . . . .	46
3.4	Indicateur d'équité pour les NRT . . . . .	47

3.5	Débit du trafic vidéo . . . . .	48
3.6	Délai de transmission du trafic vidéo . . . . .	49

# Liste des tableaux

1.1	Tableau comparatif des différentes générations . . . . .	12
1.2	Comparaison entre des différents standards . . . . .	13
2.1	Taille de la IFFT affecté a chaque largeur de bande . . . . .	31
2.2	Tableau récapitulatif des paramètres des systèmes OFDMA et SC-FDMA	32
2.3	Comparaison entre les modulations . . . . .	37
2.4	Modulation QPSK . . . . .	38
2.5	Débit binaire maximale pour la voie montante . . . . .	39



## Liste des abréviations

---

**1G** Première Génération  
**2G** Deuxième Génération  
**3G** Troisième Génération  
**3GPP** Third Generation Partnership Project  
**4G** Quatrième Génération

### A

**ADSL** Asymmetric Digital Subscriber Line  
**AMPS** Advanced Mobile Phone System  
**ARQ** Automatic Repeat reQuest  
**AUC** AUthentication Center

### B

**BG** Border Gateway  
**BPSK** Binary Phase Shift Keying  
**BS** Base Station  
**BSC** Base Station Controller  
**BSS** Base Station Subsystem  
**BTS** Base Transceiver Station

### C

**CCU** Channel Codec Unit  
**CDMA** Code division multiple Access  
**CN** Core Network  
**CP** Cyclic Prefix  
**CS** Circuit Switch

### D

**DC** Distribution System  
**DFT** Discret Fourier Transform  
**DWPTS** Down Pilot Time Slot

### E

**EDGE** Enhanced Data for GSM Evolution  
**EIR** Equipment Identity Register  
**eNodeB** evolved NodeB

## Liste des abréviations

---

**EPC** Evolved Packet Core Network  
**EPS** Evolved Packet System  
**ETACS** Extended Total Access Communication System  
**eUTRAN** Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network  
**EXP-Rule** Exponential-Rule

## F

**FDD** Frequency Division Duplexing  
**FDMA** Frequency-Division Multiple Access

## G

**GERAN** GSM/EDGE Radio Access Network  
**GGSN** Gateway GPRS Support Node  
**GP** Guard Period  
**GPRS** General Packet Radio Service  
**GSM** Global System for Mobile Communication

## H

**HARQ** Hybrid Automatic Repeat Request  
**HLR** Home Location Register  
**HSS** Home Subscriber Server  
**HSPA** High Speed Packet Access  
**HSDPA** High Speed Down Packet Access  
**HSUPA** High Speed Up Packet Access

## I

**I-HSPA** Internet-HSPA  
**IP** Internet Protocol

## L

**LTE** Long Term Evolution  
**LTE-A** LTE-Advanced

## M

## Liste des abréviations

---

**MAC** Medium Access Control  
**ME** Mobile Equipment  
**MIMO** Multiple Input Multiple Output  
**MME** Mobility Management Entity  
**MMS** Multimedia Messaging Service  
**M-LWDF** Maximum-Largest Weight Delay  
**MS** Mobile Station  
**MSC** Mobile service Switching Center

## N

**NACK** Negative ACKnowledgement  
**NAS** Non Access Stratum  
**NMT** Nordic Mobile Telephone  
**NRT** Non Real Time  
**NS-3** Network Simulator-3  
**NSS** Network Sub System

## O

**OFDM** Orthogonal Frequency Division Multiplexing  
**OFDMA** Orthogonal Frequency Division Multiple Access

## P

**PAPR** peak-to-Average Power Ratio  
**PCRF** Policy and Charging Rules Function  
**PDCP** Packet Data Convergence Protocol  
**PDN** Packet Data Network  
**PDNGW** Packet Data Network GateWay  
**PDU** Protocol Data Units  
**PGW** Packet Data-GetWay  
**PLR** Packet Loss Ratio  
**PRB** Physical Resource Block  
**PS** Packet Switch  
**PSK** Phase Shift Keying  
**PSTN** Public Switched Telephone Network

## Liste des abréviations

---

### Q

**QAM** Quadrature Amplitude Modulation

**QPSK** Quadrature Phase Shift Keying

### R

**RB** Resource Block

**RE** Resource Element

**RLC** Radio Link Control

**RNC** Radio Network Controller

**RRC** Radio Resource Control

**RT** Real Time

### S

**SAE** System Architecture Evolution

**SC-FDMA** Single Carrier-Frequency Division Multiple Access

**SGSN** Serving GPRS Support Node

**SGW** Serving GateWay

**SIM** Subscriber Identity Module

**SMS** Short Message Service

### T

**TDD** Time-Division Duplex

**TDMA** Time Division Multiple Access

**TTI** Transmission Time Interval

### U

**UE** User Equipement

**UIT** Union International Telecommunication

**UMTS** Universal Mobile Telecommunications System

**UpPTS** Uplink Pilot Time Slot

**USIM** Universal Subscriber Identity Module

**UTRAN** Universal Terrestrial Radio Access Network

### V

**VLR** Visitor Location Register

## Liste des abréviations

---

**VoIP** Voice over IP

### **W**

**W-CDMA** Wideband Code Division Multiple Access

**WiFi** Wireless Fidelity

**WiMAX** Worldwide Interoperability for Microwave Access

**WRC** World Radio Communication conference

## Introduction Générale

---

Durant ces dernières années, les opérateurs de télécommunication à travers le monde, ont vu une croissance exponentielle d'abonnés mobiles. En même temps, le volume du trafic par abonné a été aussi en augmentation rapide ; particulièrement, avec l'introduction de plus en plus de dispositifs mobiles plus avancés et des services en temps réel tel que les services multimédias. L'introduction de ces nouveaux et exigés services ; tel que l'accès rapide à internet, la visioconférence, la vidéo en straming, le commerce électronique a attirée l'attention sur le problème de limitation de la capacité ainsi que la dégradation de la QoS offerte aux utilisateurs.

En réponse à ces limitations, le groupe spécial 3GPP a introduit le LTE, déployé dans un premier temps en Europe, aux USA, puis à travers le monde. Ainsi, de nos jours les opérateurs ont déjà commencé à proposer la technologie LTE aux abonnés afin de fournir des hauts débits. Cela grâce aux dispositifs utilisés par le LTE : l'utilisation de l'accès multiple en fréquences orthogonales (OFDMA), duplexage temporel et fréquentiel (TDD et FDD), technique avancée d'antenne tel que la technologie Multiple Input Multiple Output (MIMO) et les méthodes de la QoS.

Pour cela, nous avons choisit d'étudier cette technologie afin de comprendre les techniques qui font d'elle une technologie très performante.

Notre travail est organisé de manière à présenter d'abord les différentes générations de téléphonie mobile. En suite, dans le deuxième chapitre nous présenterons le réseau LTE sous plusieurs aspects (infrastructure, architecture protocolaire,...). Et dans le dernier chapitre, nous présenterons les résultats obtenus de l'entreprise où nous avons fait notre stage, de plus les résultats de notre simulation du réseau LTE sur la QoS.

# Chapitre 1

## Généralité sur les réseaux mobiles

### 1.1 Introduction

La technologie des réseaux mobiles est présentée en quatre étapes principales, auxquelles il est donné couramment le nom de génération. Nous parlons de première, deuxième, troisième et actuellement de quatrième génération de réseaux mobiles, généralement abrégées respectivement par 1G, 2G, 3G, 4G. Ces quartes générations diffèrent principalement par les techniques mises en œuvre pour accéder à la ressource radio.

### 1.2 Réseaux cellulaires de première génération

La première génération de réseaux mobiles est apparue au cours des années 1980. Il s'agissait principalement des standards suivants :

#### 1.2.1 AMPS

Apparu à la fin des années 70 aux États-Unis. L'AMPS était le premier standard de réseaux cellulaires. Il possédait de faibles mécanismes de sécurisation rendant possible le piratage des lignes téléphoniques. Il était Basé sur un codage et une modulation de type analogique et il utilisait la technique d'accès multiple FDMA sur la fréquence 800 MHz. Ce standard dispose d'un nombre total de 832 canaux de largeur 30 KHz chacun.

#### 1.2.2 ETACS

C'est une version améliorée du standard TACS, il a été développé au Royaume-Uni. Il été basé sur un codage et une modulation de type analogique. Il utilisait la technique d'accès multiple FDMA sur la fréquence 900 MHz, et disposait de 1000 canaux de largeur 25 KHz chacun.

### 1.2.3 Radicom2000

Apparu en France en 1985, il venait remplacer progressivement le réseau analogique. Ce réseau utilisait la technologie numérique pour la signalisation et la modulation analogique pour la voix. Les fréquences étaient attribuées dynamiquement en fonction des besoins.

### 1.2.4 NMT

Il a été mis en service par les pays nordiques, pour répondre aux problèmes de congestion des réseaux de téléphonie existants à cette époque. Il est basé sur une technologie analogique et utilisait deux fréquences 400 MHz et 900 MHz, correspondant à NMT-400 avec 200 canaux de largeur 25 KHz et NMT-900 avec 1999 canaux de largeur 12.5 KHz.

La capacité de ces systèmes demeurait très limitée, de l'ordre de quelques appels simultanés par cellule. Cette contrainte de capacité, ainsi que les coûts élevés des terminaux et des tarifs de communication ont restreint l'utilisation de la 1G à un très faible nombre d'utilisateurs. Cette dernière était constituée d'appareils relativement volumineux.

Les systèmes de cette première génération ne parvenaient pas réellement à franchir les frontières de leurs pays d'origine et aucun d'entre eux ne s'imposa en tant que véritable norme internationale, c'est pour cela que la technologie devait définir des normes de téléphonie mobile à l'échelle internationale d'où l'apparition de la deuxième génération [1][2].

## 1.3 Réseaux cellulaires de deuxième génération

La deuxième génération de réseaux mobiles est apparue vers les années 90. Elle a marqué une rupture avec la première génération de téléphones cellulaires grâce au passage de l'analogique vers le numérique. Il s'agissait principalement des standards suivants :

### 1.3.1 GSM

Apparu en 1992 en Europe, il a connu un énorme succès et fut déployé dans un grand nombre de pays, permettant l'itinérance entre ces derniers. Il est basé sur le FDMA et le TDMA. Il introduit la modulation GMSK. Il utilise la gamme de fréquence autour de 900 MHz organisée comme suit :

- De 890 à 915 MHz pour la voie montante.
- De 935 à 960 MHz pour la voie descendante.
- La largeur d'un canal fréquentiel est de 200 KHz.

Vue la largeur du canal cela laisse la place pour 124 canaux fréquentiels à répartir entre



les différents opérateurs, ce qui été suffisant au départ. Mais, avec l'augmentation du nombre d'utilisateurs, il s'est avéré nécessaire d'attribuer une bande supplémentaire aux alentours de 1800 MHz, d'où la nécessité de porter la technologie GSM 900 MHz vers une bande à plus haute fréquence. C'est le système GSM 1800 MHz connu aussi sous le nom de DCS-1800 dont les caractéristiques sont quasi identiques au GSM en termes de protocoles et de service sauf pour les communications montantes se faisant entre 1710 et 1785 MHz et les communications descendantes entre 1805 et 1880 MHz .

Mis à part la transmission des communications (voix, données) sur des circuits dédiés, l'infrastructure est également utilisée pour véhiculer les canaux de contrôle et de signalisation, autrement dit, toutes les informations nécessaires aussi bien au dialogue entre les éléments du réseau qu'à l'établissement et au maintien des communications entre les stations de base et les terminaux mobiles. Les canaux de signalisation sont également employés pour véhiculer les messages courts (SMS) ou des messages multimédias (MMS). Cette norme permet un débit maximal de 9.6 Kbit/s [3][4][5].

### Architecture du GSM

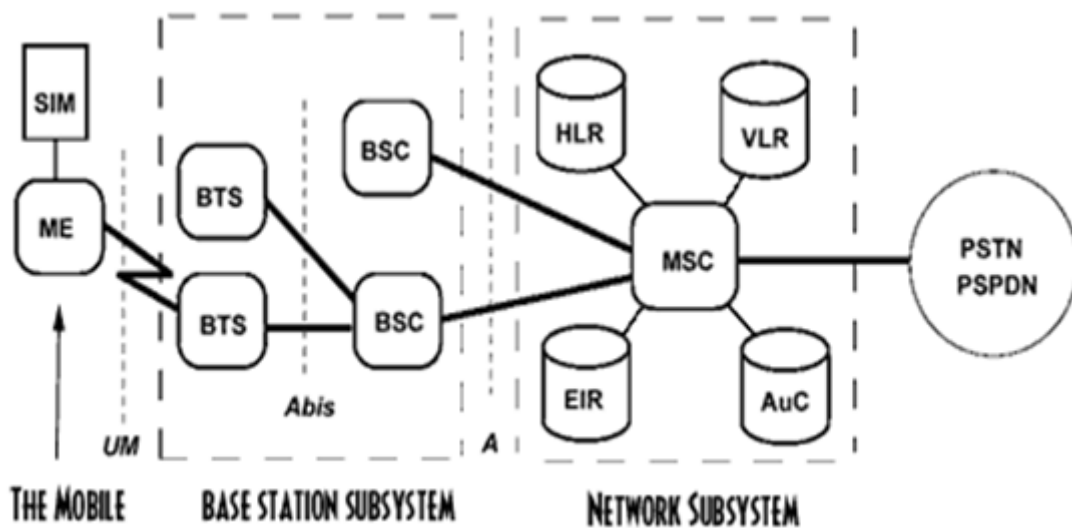


FIGURE 1.1 – Architecture du GSM

L'architecture d'un réseau GSM est constituée de :

- **Le sous-système radio (BSS)** : constitué de la station mobile (MS), la station de base (BTS) et son contrôleur (BSC). Son rôle est de gérer l'accès radio.
- **Le sous-système réseau ou d'acheminement (NSS)** : constitué du centre de commutation mobile (MSC), l'enregistreur de localisation nominale (HLR), Le centre

d'authentification (AUC), l'enregistreur de localisation des visiteurs (VLR) et de l'enregistreur des identités des équipements (EIR). Son rôle est de prendre en charge toutes les fonctions de contrôle et d'analyse d'informations contenues dans des bases de données nécessaires à l'établissement de connexions utilisant une ou plusieurs des fonctions suivantes : chiffrement, authentification ou roaming.

### Equipements du réseau GSM :

- **MS** : c'est le poste d'un abonné permettant l'accès au réseau. Il est à la fois un poste téléphonique sans fil et un terminal de données qui transmet et reçoit des messages du réseau.
- **BTS** : équipement terminal du réseau vers les SM. C'est un groupe d'émetteurs et de récepteurs fixes, qui échange des messages avec les SM présentes dans la cellule qu'elle contrôle. La BTS utilise des canaux radio différents selon le type d'information échangé, données utilisateur ou signalisation, et selon le sens de l'échange (liaison montante ou liaison descendante).
- **BSC** : contrôleur de station de base, il dialogue avec une ou plusieurs BTS. Cet équipement est à la fois un concentrateur du trafic issu des stations de base et une passerelle vers le sous-système réseau.
- **MSC** : commutateur du réseau GSM. D'une part il interconnecte un réseau GSM avec le réseau téléphonique public RTCP/RNIS, d'autre part, il est l'interface des bases de données du réseau GSM avec le sous-système radio. Ces bases de données, outre qu'elles permettent de contrôler les droits d'accès des usagers au réseau, enregistrent la localisation des abonnés.

Les bases de données du GSM sont :

- **VLR** : base de données relative aux visiteurs du réseau. Il stocke des informations sur l'identité et la localisation des visiteurs du réseau.
- **HLR** : banque de données stockant des informations sur l'identité et la localisation de l'abonné de manière permanente.
- **AuC** : centre d'authentification qui assure l'authentification des terminaux du réseau.
- **EIR** : base de données comportant les informations de sécurité et d'identification relatives au terminal qui reçoit un identifiant unique IMEI et qui ne peut être modifier sans altérer le terminal[3][6].

Cette norme a permis l'essor des communications mobiles, et les performances de cette deuxième génération de systèmes cellulaires sont beaucoup plus importantes que celles de la première génération (efficacité spectrale, sécurité et fonctionnalités).

Un important apport à ces systèmes a consisté en la modification de la méthode d'accès aux données, et a donné lieu à la naissance de deux générations intermédiaires nommées 2.5G et 2.75G incarnées respectivement par les systèmes GPRS et EDGE.

### 1.3.2 GPRS

Défini par le 3GPP dans la Release 97 et lancé en France au début de l'année 2002. Il ne constitue pas à lui seul un réseau mobile à part entière, mais il représente la première évolution du GSM adaptée au transfert de données, il peut donc être installé sans aucune licence supplémentaire. Ceci signifie que tous les opérateurs qui disposent d'une licence GSM peuvent faire évoluer leur réseau vers le GPRS. Il a connu des résultats commerciaux mitigés, à cause de son débit de 50 Kbit/s, alors que théoriquement il devait atteindre les 115 Kbit/s [5][6].

Le GPRS utilise les bandes de fréquences attribuées au GSM, c'est-à-dire dans les 900 MHz et 1800 MHz et enfin une troisième pour les USA, dans les 1900 MHz, et les mêmes canaux. Il repose sur la transmission en mode paquet. Il est conçu pour réutiliser au maximum les infrastructures GSM existantes, néanmoins son déploiement nécessite la mise en place d'une infrastructure réseau fournissant un accès paquet à des réseaux de données à commutation de paquet de type X.25 ou IP, et l'introduction de passerelles pour s'adosser aux réseaux GSM existants.

#### Architecture du GPRS

Le GPRS nécessite l'introduction de nouvelles entités, tel que :

- **SGSN** : nœud de service contrôleur relié au BSS du réseau GSM, il joue le rôle de routeur, et gère les terminaux présents dans une zone donnée.
  
- **GGSN** : nœud de passerelle relié à un ou plusieurs réseaux de données. c'est un routeur qui gère les transmissions de paquets de données :
  - Paquets entrants d'un réseau externe, acheminés vers le SGSN du destinataire.
  - Paquets sortants vers un réseau externe, émanant d'un destinataire interne au réseau.
  
- **BG** : joue le rôle d'interface avec les autres PLMN et permet ainsi de gérer les niveaux de sécurité entre les réseaux.
  
- **PCU** : situé généralement sur les BTS, BSC ou SGSN. Il a pour fonction de gérer l'échéancier de transmission et l'acquiescement des blocs sur les canaux de données.
  
- **CCU** : ajouté au BTS, il permet de gérer les envois d'informations vers le module SGSN [7].

La figure qui suit représente l'architecture du GPRS.

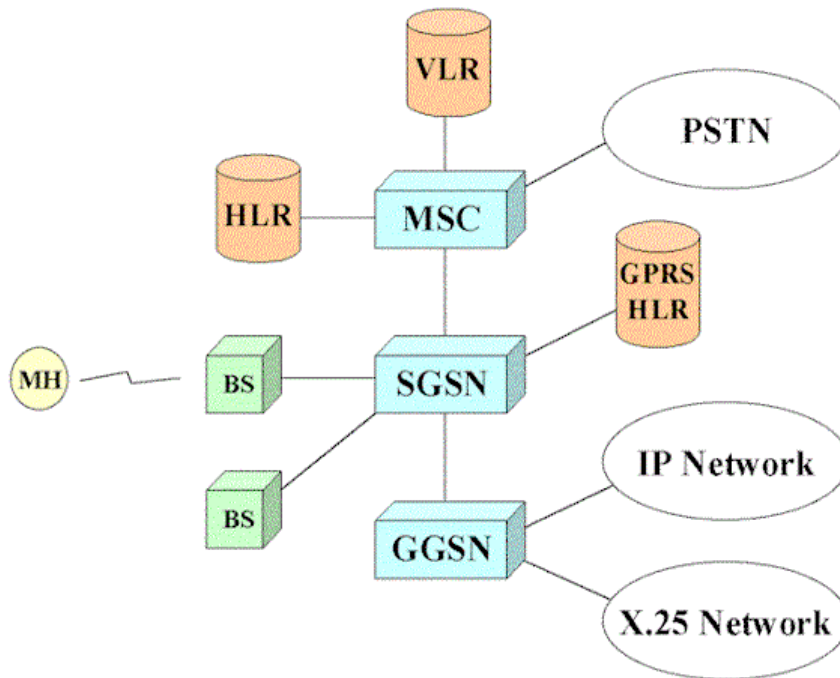


FIGURE 1.2 – Architecture du GSM/GPRS

### 1.3.3 EDGE

Défini par le 3GPP dans la Release 98, c'est une autre forme d'évolution du GSM et du GPRS, développé au cours de l'année 2005. Il s'applique aussi bien au mode circuit du GSM qu'au mode paquet du GPRS. Il introduit une nouvelle modulation nommée 8-PSK, autorisant ainsi des débits théoriques maximums de 384 Kbit/s et un débit réel de 177 Kbit/s, ce qui permet de dépasser les limites connues auparavant, ouvrant alors la porte aux applications multimédias.

Le fonctionnement de l'EDGE, est presque identique à celui du GPRS. Il suffit de rajouter un équipement EDGE (EDGETru) au niveau des BTS. On ce qui concerne le reste du réseau GSM/GPRS, il est utilisé de manière inchangée [8].

Les différents continents ont développé des systèmes assez similaires dans leurs principe de fonctionnement, mais parfois différents dans leur réalisation. C'est donc dans le cadre d'une homogénéisation globale des standards qu'est née l'idée d'une nouvelle génération.

## 1.4 Réseaux cellulaires de troisième génération

La 3G est apparue dans les années 2000, elle n'a pas été une révolution de la même ampleur que la 2G dans les années 90, mais, elle a fait évoluer les usages : accès haut débit à l'internet sans fil, jeux en ligne, visiophonie, messages vidéo, la réception de la télévision sur le téléphone, etc.

Cette génération regroupe deux familles de technologie ayant connu un grand succès commercial, il s'agit principalement des standards suivants :

### 1.4.1 UMTS

L'UMTS a été introduit par le 3GPP dans la Release 99. Il est issu du GSM et déployé autour du globe à partir de l'année 2002 [6]. Il exploite la nouvelle technologie W-CDMA (basée sur le CDMA et le mode FDD) et la technologie TD-CDMA (basée sur la technique le CDMA et le mode TDD). Il supporte les deux schémas de duplexage FDD utilisant un multiplexage fréquentiel à la manière de FDMA (deux fréquences différentes pour la voie montante et la voie descendante séparées par une bande de garde ) et TDD qui est un multiplexage temporel à la manière de TDMA (une seule fréquence est utilisée alternativement par les deux voies montante et descendante et un partage temporel). Il permet d'atteindre des débits allant de 384 kbit/s jusqu'à 2 Mbit/s et fonctionne dans la bande de fréquence située entre 1900 MHz et 2200 MHz organisée comme suit :

- De 1920 à 1980 MHz pour la liaison montante.
- De 2110 à 2170 MHz pour la liaison descendante.
- La largeur fréquentiel du canal est de 5 MHz.

Il utilise la modulation BPSK (uplink) QPSK (downlink). Il est compatible avec tous les réseaux du monde du fait de la possibilité de roaming au niveau mondial [1].

#### Architecture de l'UMTS

UMTS est composé de deux domaines comme illustré a la figure ci-dessous :

- **Domaine de l'équipement usager** : utilisé pour désigner la station mobile dans un réseau UMTS. Il représente le vecteur qui permet à l'abonné d'accéder au réseau et également à ses services. On distingue deux différentes parties au point de vue fonctionnel : l'équipement mobile et le module d'identité universel de l'abonné.

- **Domaine de l'infrastructure** : lui-même constitué de deux domaines :

- **Domaine du réseau d'accès (UTRAN)** : domaine du réseau qui permet, d'une part, à l'utilisateur de se connecter au réseau, et d'autre part d'acheminer les informations vers le cœur du réseau de l'UMTS.

- **Domaine du réseau cœur (CN)** : réseau cœur qui est la partie du système chargée de la gestion des appels. Il permet aux abonnés de communiquer à l'intérieur d'un

même réseau de téléphonie mobile et assure l'interconnexion de ce dernier avec des réseaux externes, fixes ou mobiles.

Dans le réseau cœur, on distingue deux sous-réseaux ou domaines : le domaine CS et le domaine PS qui ont pour fonction d'assurer la commutation de circuits et la commutation de paquets.

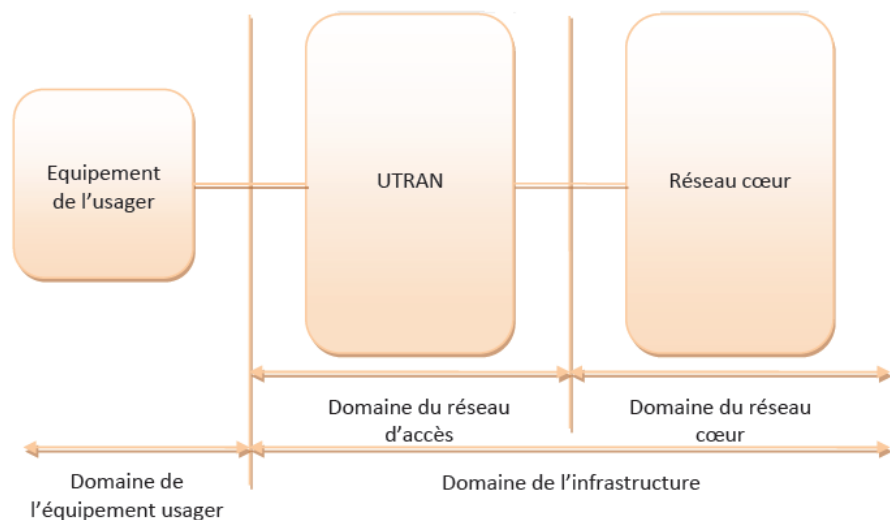


FIGURE 1.3 – Les trois composantes de l'architecture d'un réseau UMTS

### Interfaces de communication

Plusieurs types d'interfaces de communications coexistent au sein du réseau UTRAN, nous citons :

- **Uu** : Interface entre un équipement usager et le réseau d'accès UTRAN. Elle permet à l'utilisateur de se rattacher au réseau.
- **Iu** : Interface entre le réseau d'accès UTRAN et le réseau cœur de l'UMTS. Elle permet au contrôleur radio RNC de communiquer avec le SGSN.
- **Iur** : Interface qui permet à deux contrôleurs radios RNC de communiquer entre eux.
- **Iub** : Interface qui permet la communication entre un NodeB et un contrôleur radio RNC.

La figure ci-dessous illustre ces différentes interfaces

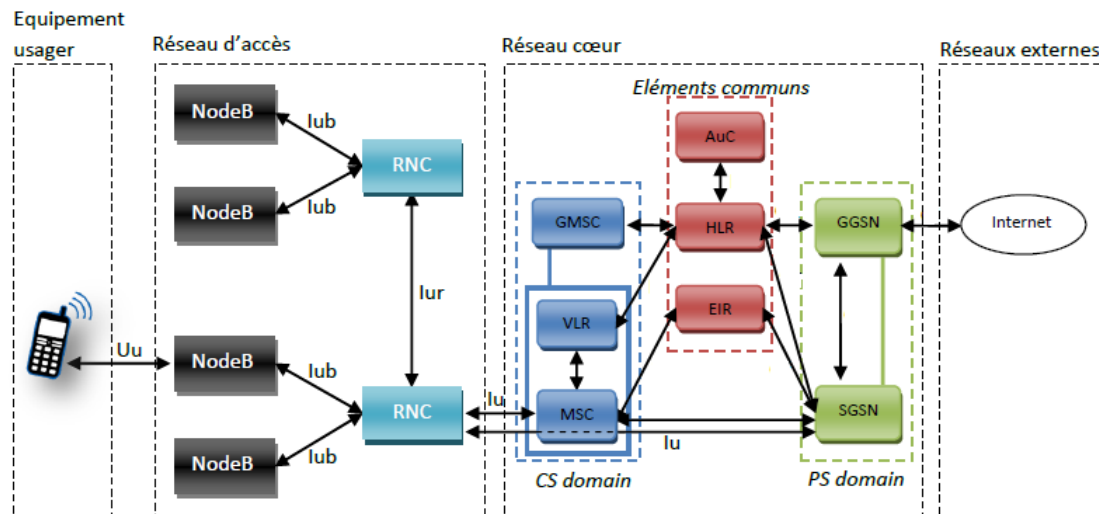


FIGURE 1.4 – Interfaces de communication du réseau UMTS

### Equipements de l'UMTS

- **ME** : équipement mobile.
- **USIM** : application qui permet à l'abonné d'accéder aux services souscrits.
- **NodeB** : équivalent à la BTS des réseaux GSM. Son rôle principal est d'assurer les fonctions de réception et de transmission radio pour une ou plusieurs cellules de l'UTRAN.
- **RNC** : équivalente au BSC des réseaux GSM, il s'occupe principalement du routage des communications entre le NodeB et le réseau cœur d'une part, et le contrôle et la supervision du NodeB d'autre part [9].

### 1.4.2 HSPA :

Le HSPA a été introduit par le 3GPP dans les Releases 5 en 2002 et 6 en 2005 et évalué à 3.5G (nommé aussi 3G+), regroupe :

- HSDPA pour la voie descendante.
- HSUPA pour la voie montante.

Ce standard utilise la bande de fréquence 900/2100 MHz et permet d'atteindre des débits de 5,8 Mbit/s en voie montante utilisant les modulations QPSK et BPSK, et 14,4 Mbit/s en voie descendante utilisant les modulations QPSK et 16QAM.

Techniquement, le HSPA utilise la capacité non utilisée par l'UMTS. En d'autres termes, il suffit de rehausser le logiciel sur les contrôleurs afin de permettre aux relais de suppor-

ter le nouveau protocole de transmission de "paquets". La mise à jour des équipements peut donc se faire rapidement. L'opération ne nécessite pas d'intervention sur les équipements ni sur l'infrastructure de l'UMTS [10].

### 1.4.3 I-HSPA

Nommé aussi HSPA+, parfois H+ ou encore 3G++, normalisé par le 3GPP au cours de l'année 2007 dans les Releases 7 et 8. Il permet l'amélioration des débits et de la capacité en introduisant de nouvelles techniques, opérant dans les bandes de fréquences 900/2100 MHz.

En voie descendante, la modulation 64QAM est désormais prise en charge, de même que la modulation 16QAM en voie montante. En complément, une cellule peut transmettre des données à un utilisateur sur deux porteuses simultanément en voie descendante, à l'aide de la fonctionnalité DCHSDPA. Le spectre supportant la transmission n'est donc plus limité à 5 MHz mais à 10 MHz ce qui permet de doubler le débit fourni à l'utilisateur à environ 42 Mbit/s en théorie et un débit réel de 10 Mbit/s. De plus, une largeur de bande plus élevée permet au système une gestion plus efficace des ressources spectrales. Le HSPA+ intègre enfin le terme d'architecture plate, qui permet de réduire la latence du système par la suppression du contrôleur de stations de base pour les services de données [10].

Offrir de meilleurs services et des débits élevés aux usagers est un défi permanent des acteurs des communications mobiles. La 3G a donc marqué l'avènement du haut débit mobile en proposant sa première application multimédia en mobilité. Un nouvel objectif est de pouvoir aller bien au-delà de cette proposition initiale, d'où l'apparition d'une nouvelle génération.

## 1.5 Réseaux cellulaires de quatrième génération

La technologie 4G est la nouvelle génération des standards téléphoniques entièrement IP, en voie d'expansion à travers le monde.

### 1.5.1 LTE

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 50 Mbit/s en lien montant et 100 Mb/s en lien descendant mais réellement il n'atteint que 40 Mbit/s [11][12].



### 1.5.2 Au-delà du LTE : LTE Advanced

Dénoté LTE-A et évalué à 4.5G, il a été déployé à partir de l'été 2013. Il a été défini par le 3GPP de la Releases 10, dans le but d'augmenter le débit en utilisant plusieurs porteuses (agrégation de porteuses) pour atteindre un débit de 1Gbit/s dans le sens descendant en mobilité lente et un débit de 100 Mbit/s en grande mobilité, et un débit de 500 Mbit/s pour le sens montant.

Concernant le LTE, celui-ci exploite une bande de 20 MHz au maximum. En agréant 5 porteuses, la bande totale atteint 100 MHz et le débit peut donc être 5 fois plus élevé [13][14].

## 1.6 Récapitulation

Les tableaux suivants récapitulent par génération tout ce qui a été présenté plus haut.

Génération	Acronyme	Description	Version 3GPP	Débit(théorique/réel)
1G	AMPS			analogique
	ETACS			analogique
	Radicom 2000			analogique
	NMT			analogique
2G	GSM	Échange de type voix/données de faible volume		9.6 Kbps
2.5G	GPRS	Échange de type voix/données de volume modéré	97	115 Kbps / 50 Kbps
2.75G	EDGE	Échange simultané de voix et données	98	384 Kbps /177 Kbps
3G	UMTS	voix+données à haut débit	99	384 Kbps jusqu'à 2 Mbps
3.5G	HSPA	Évolution de l'UMTS	5 et 6	5.8 Mbps/ 14.4 Mbps
3.75G	HSPA+	Évolution de l'UMTS	7 et 8	42 Mbps/ 10 Mbps
4G	LTE	Réseau tout IP	8 et 9	100 Mbps/ 40 Mbps
4.5G	LTE-A	Réseau tout-IP	10	1Gbps en mobilité lente 100 Mbps en grande mobilité

TABLE 1.1 – Tableau comparatif des différentes générations

	Largeur de canal	Technique d'accès multiple	Modulation DL	Modulation UL	Bande de fréquences usuelles (MHz)
GSM/GPRS/EDGE	200 KHz	FDMA/TDMA	GMSK	8PSK	900/1800
UMTS	5 MHz	CDMA	QPSK	BPSK	1900/2200
HSPA	5 MHz	CDMA/TDMA	QPSK, 16QAM	BPSK, QPSK	900/2100
HSPA+	5/10 MHz	CDMA/TDMA	QPSK, 16QAM, 64QAM	BPSK, QPSK, 16QAM	900/2100
LTE	1.4, 3.5, 10, 15, 20 MHz	OFDMA/SC-FDMA	QPSK, 16QAM, 64QAM	QPSK, 16QAM	1900/2200
LTE-A	1.4 jusqu'à 100 MHz	OFDMA/SC-FDMA	QPSK, 16QAM, 64QAM	QPSK, 16QAM	2600

TABLE 1.2 – Comparaison entre des différents standards

## 1.7 Conclusion

Dans ce premier chapitre, nous avons présenté toutes les générations qu'ont connu les réseaux mobiles.

Pour arriver à la 4<sup>ème</sup> génération que nous connaissons aujourd'hui, des efforts considérables ont été consentis par des groupes de réflexion, dont le souci majeur a toujours été de dépasser les limites d'une technologie et pouvoir offrir aux utilisateurs le meilleur en matière de communication, de débit, de fiabilité et de coût.

La 4G est sans doute la plus performante à tout point de vue, nous axerons dans le chapitre suivant toute notre étude sur le standard LTE.

# Chapitre 2

## Etude du réseau LTE

### 2.1 Introduction

LTE (Long Term Evolution, signifie en français l'évolution à long terme) désigne un projet initié par l'organisme de standardisation 3GPP œuvrant à rédiger des techniques qui permettront d'améliorer la norme UMTS des réseaux cellulaires 3G pour aboutir à une nouvelle génération, et faire face aux futures évolutions technologiques.

Les buts poursuivis pour le LTE consistent en le transfert des données à très haut débit, avec une portée plus importante, un nombre d'appels par cellule plus élevé que dans l'UMTS, une latence plus faible, une meilleur qualité de service et bien sur avec une réduction des coûts.

De même que ces précédentes, la 4G présente une architecture qui comporte un réseau d'accès « E-UTRAN », et un réseau cœur véhiculant que des paquets de données tout-IP « EPC », ceci formant le système « EPS/LTE » appelé simplement « LTE ».

### 2.2 Développement du réseau LTE

- Novembre 2004 : initiation du groupe LTE par le 3GPP lors de la conférence de Toronto (Canada), et en parallèle le groupe SAE.
- Juin 2005 : première version approuvée des conditions de LTE.
- Décembre 2005 : le choix d'accès multiple d'OFDMA et de SCFDMA pour la liaison descendante et la liaison montante respectivement.
- Septembre 2006 : conclusions de l'étude chargée d'améliorer l'interface radio et d'optimiser l'architecture du réseau d'accès.
- 2007 : publication de la nouvelle interface radio(E-UTRA) et le nouveau réseau d'accès (E-UTRAN).
- Fin 2008 : stabilisation des travaux résultants des études effectuées par les deux groupes avec les spécifications techniques.
- Début 2010 : commercialisation de LTE [12].

## 2.3 La 4G dans le monde

Aujourd'hui, rares sont les pays qui utilisent encore le GSM et peu d'autres utilisent la 3G.

La carte ci-dessous représente la minorité des pays qui utilisent la 2G et 3G et la majorité qui utilisent (LTE WiMAX et HSPA+).

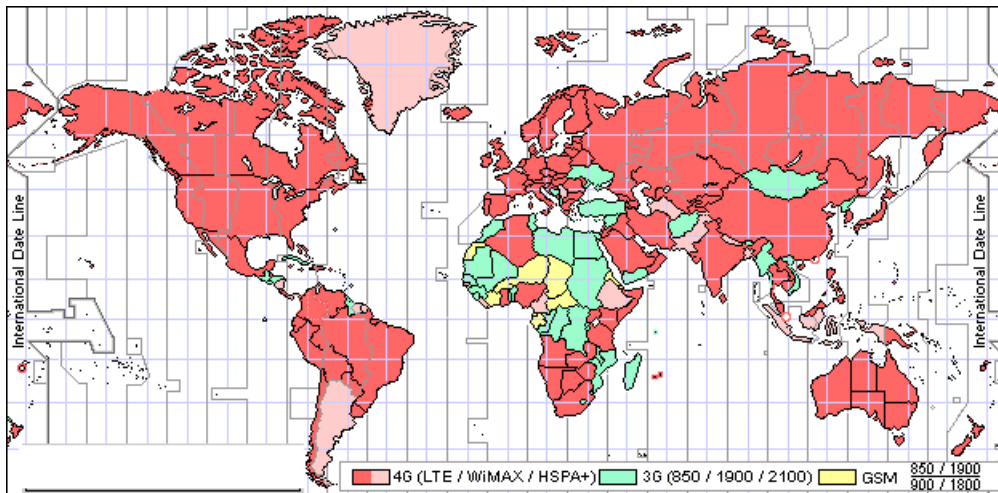


FIGURE 2.1 – Déploiement de la 2G, 3G et 4G dans le monde

Etant donné que le spectre est une ressource rare, son organisation au niveau mondial est nécessaire à plusieurs titres. Il doit garantir la compatibilité des systèmes entre pays, autorisant l'itinérance des utilisateurs à travers le monde. Cette mission d'harmonisation au niveau mondial est assurée par le secteur Radiocommunications de l'UIT ou UIT-R. Les WRC sont des forums internationaux organisés tous les quatre ans par l'UIT-R, au cours desquels les traités internationaux régissant l'utilisation du spectre de fréquences radio peuvent être revus.

D'un point de vue fréquentiel, le déploiement du LTE peut ainsi se concevoir de deux manières :

- Déploiement sur une bande de fréquences déjà allouée à un système 2G ou 3G .
- Déploiement sur de nouvelles bandes de fréquences.

**Europe** : pour permettre le déploiement du très haut débit mobile de manière satisfaisante, l'Europe a choisi d'harmoniser les bandes attribuées au LTE entre les différents pays de l'Union. Ce sont les bandes 800 MHz et 2,6 GHz qui ont été identifiées au niveau européen ainsi que la possibilité de réutiliser la bande de fréquence des 1800 MHz initialement attribuée au GSM (2G).

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

l'opérateur téléphonique TeliaSonera.

Les déploiements à grande échelle en Europe ont été enregistrés à partir de 2013 [10][15].

**Asie :** l'Asie a fait le choix d'opérer sur les bandes de fréquences des 800 MHz, 1800 MHz et 2300 MHz.

Le Japon lance pour la première fois le réseau LTE en décembre 2010 par NTT DO-COMO puis KDDI et Softbank, en suite viennent les opérateurs LGU+ et SK telecom en Corée du sud.

**États-Unis :** les États-Unis ont fait le choix des bandes de fréquence des 700 MHz et 1700-2100 MHz.

La société Verizon Wireless a lancé une offre commerciale 4G LTE en 2010 ; elle a déjà, en 2012, plus de 32 millions d'abonnés LTE ce qui en fait le leader mondial (par le nombre d'abonnés) devant le japonais NTT DOCOMO et les opérateurs coréens KT et SK Telecom. Le deuxième opérateur américain ATT a lui aussi lancé une offre LTE en mi 2011[16].

**Afrique :** l'opérateur Vodacom en Afrique du sud a été le premier à lancer la 4G LTE sur la bande 1800 MHz en 2012.

D'autres pays disposent aussi de cette technologie, nous pouvons citer : L'Ouganda, Tanzanie, Algérie (l'opérateur Algérie Telecom en 2014).[17]

**Australie :** l'opérateur australien OPTUS a lancé le premier réseau la 4G LTE en 2012 sur la bande des 1800 MHz [18].

## 2.4 Architecture du réseau LTE

### 2.4.1 Evolution de l'architecture du réseau LTE

Le standard HSPA est caractérisé par :

- L'architecture originale de la 3G.
- Un chemin commun pour le plan usager et le plan de contrôle.
- Il est basé sur le WCDMA.

La première évolution par rapport au HSPA consistait en :

- La séparation des chemins pour le plan usager et le plan de contrôle.
- Le SGSN devient une entité de contrôle.
- Le plan usager dévie le SGSN pour passer directement au GGSN.

Ensuite vient l'E-HSPA avec les évolutions suivantes :

- L'introduction de l'architecture plate.
- La plupart des fonctionnalités du RNC sont maintenant incluses dans le NodeB.

- L'amélioration du temps de réponse.

A la fin on retrouve l'architecture de LTE caractérisé par :

- Une architecture plate.
- Basé sur l'OFDMA et le SC-FDMA.
- Tout-IP [12].

La figure suivante illustre les différentes étapes de l'évolution de l'architecture du réseau pour atteindre la dernière étape de l'architecture connue du LTE.

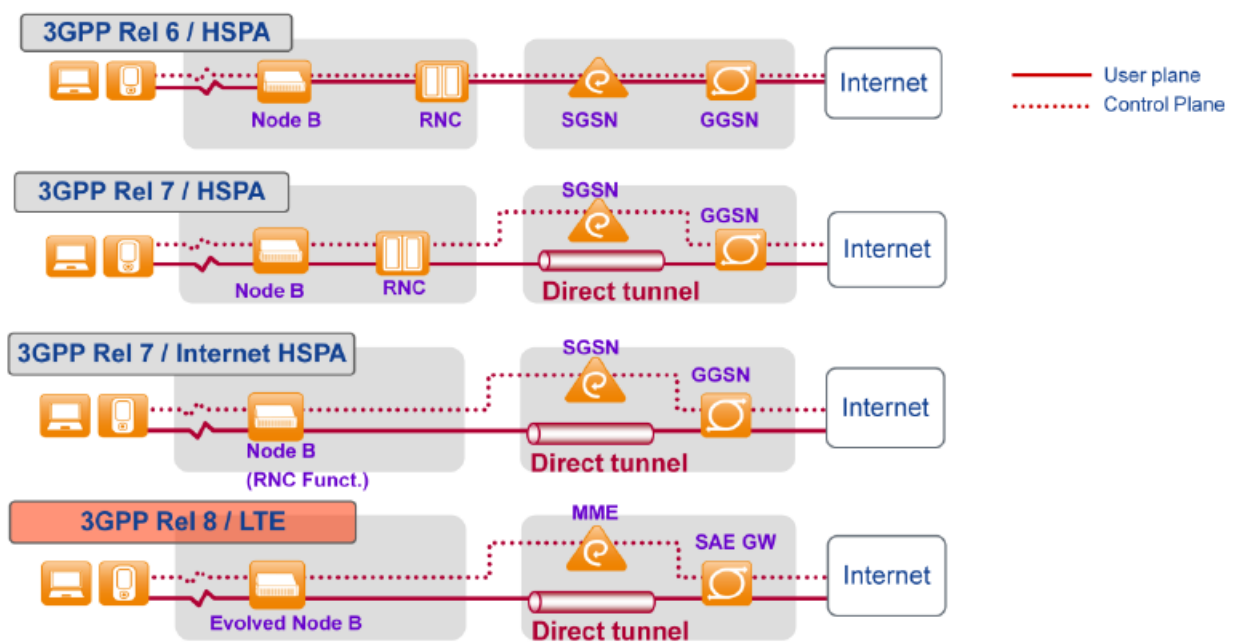


FIGURE 2.2 – Evolution de l'architecture du réseau LTE

Comme l'indique la figure ci-dessous, le réseau LTE est caractérisé par une architecture plate, simplifiée et uniquement paquet, nous retrouvons les domaines suivants :

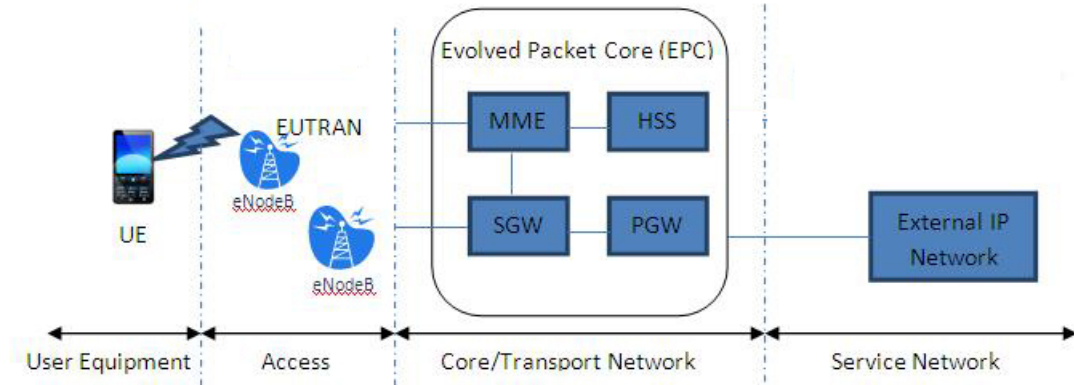


FIGURE 2.3 – Domaines du réseau LTE

**Domaine de l'équipement usager (UE) :** il est utilisé pour désigner la station mobile dans un réseau LTE. Il représente le vecteur qui permet à l'abonné d'accéder au réseau et également à ses services.

**Domaine du réseau d'accès (EUTRAN) :** il permet d'une part, à l'utilisateur de se connecter au réseau, et d'autre part d'acheminer les informations vers le cœur du réseau.

**Domaine du réseau cœur paquet évolué (EPC) :** il est composé d'équipements qui doivent supporter la connectivité tout-IP entre les domaines multi technologiques dans l'architecture LTE. Il assure la gestion des utilisateurs, la gestion de la mobilité entre les systèmes 3GPP et non 3GPP, la gestion de la qualité de service et la gestion de la sécurité, au moyen des différents équipements qui le constituent et qui sont représentés dans la figure ci-dessous[19].

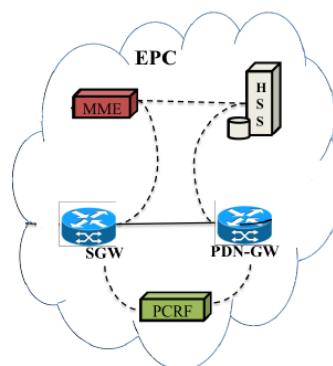


FIGURE 2.4 – Equipements du EPC

### 2.4.2 Equipements du réseau LTE

**eNodeB** : équivalent au (NodeB et le RNS de l'UMTS). Il constitue le réseau d'accès E-UTRAN. Il offre les fonctions de gestion de la ressource radio, de compression d'entête, de chiffrement pour les données usager, de sélection d'une entité MME lors de l'attachement du terminal mobile au réseau, de routage des données usager vers la passerelle S-GW et de minimisation de perte de paquets lors de la mobilité de l'utilisateur en mode actif.

**PGW** : constitue le nœud qui relie l'utilisateur mobile aux autres réseaux PDN. Il agit comme un routeur par défaut par lequel transitent les requêtes de l'utilisateur. Il effectue l'allocation d'adresses IP pour chaque UE, le filtrage des paquets des usagers et se charge de leurs créer des bearer (supports pour véhiculer les données) conformes avec leurs contrats et le PCRF. Il comptabilise les octets échangés dans la session de ce dernier à des fins de facturation.

**SGW** : il est défini pour gérer les données utilisateurs. Il est impliqué dans le routage et la transmission de paquets de données entre les eUTRAN et le réseau cœur. Il gère l'interfacage du réseau cœur avec les réseaux d'accès (il peut être lié à plusieurs PGW pour permettre aux UE d'être connectés simultanément à différents PDN).

**MME** : comporte les fonctionnalités de base de la signalisation dans la connexion du terminal mobile au réseau. Il fournit les informations nécessaires à l'identification de l'utilisateur au moment de son authentification dans le système, en se servant des informations provenant du HSS et négocie la qualité de service à offrir. Il indique au SGW la position du UE lorsque ce dernier est dans un état de repos.

**HSS** : Se présente comme une version évoluée du HLR. Il permet de stocker des informations d'abonnement pouvant servir au contrôle d'appels et à la gestion de session des utilisateurs réalisé par le MME, et les informations sur les services auxquels sont abonnés les UEs.

**PCRF** : c'est une entité qui exécute principalement deux grandes tâches. La première est de gérer la qualité de service que requiert le réseau, et alloue en conséquence les bearer appropriées. La seconde tâche se rapporte principalement à la tarification, en effet, le PCRF gère les politiques de facturation qui doivent être prises en compte par le PDN-GW et applicables en fonction des actions de l'utilisateur [20].

### 2.4.3 Interfaces de communication

La figure ci-dessous illustre les différentes interfaces de communication qui se trouvent entre les différents équipements, nous retrouvons :

**Uu** : interface entre l'utilisateur et eNodeB. C'est l'interface radio de l'EUTRAN qui est basée sur l'OFDMA dans le sens descendant et SC-FDMA dans le sens montant des communications.



**X2** : interface entre les eNodeB qui se charge du handover sans impliquer l'EPC.

**S1-U** : interface entre eNodeB et SGW, purement pour les données d'utilisateurs.

**S1-MME** : interface entre eNodeB et MME, échange de la signalisation de strate de non-accès.

**S5/S8** : interface entre SGW et PGW.

**S11** : interface entre SGW et MME. Un seul MME peut prendre en charge multiple SGW, chacun avec sa propre interface S11, utilisé pour coordonner l'établissement des supports du SAE dans l'EPC. La signalisation sur ces interfaces est utilisée pour installer les supports des ressources associés.

**S10** : interface entre les MME. C'est une interface de signalisation.

**S6a** : interface entre MME et HSS. Utilisée par le MME afin de chercher les souscriptions et les informations d'authentification dans le HSS. Ce dernier peut pendant cette procédure stocker l'adresse courante de l'utilisateur du MME dans sa base de données.

**SGi** : interface entre PGW et le réseau IP. Utilisé par le PGW pour envoyer et recevoir des données à/en provenance du réseau informatique externe ou pour entretenir la plate-forme.

**Gx ou S7** : interface entre PDN et PCRF. Permet à ce dernier de demander l'installation des supports EPC avec la QoS appropriée, indiquer des changements de statut du EPC au PCRF.

**Rx** : interface entre PCRF et le réseau PDN externe, en général vers le domaine de service

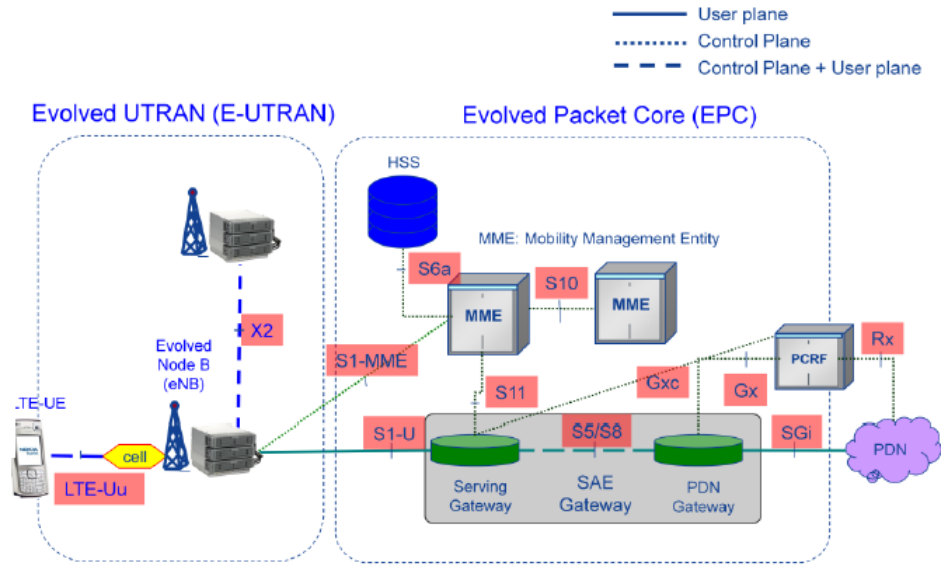


FIGURE 2.5 – Interfaces de connexion du réseau LTE

L'interconnexion du réseau LTE avec les réseaux 3GPP (3G/2G) se fait par l'intermédiaire des interfaces S3, S4, S12 [12], comme l'illustre la figure ci-dessous.

**S3** : interface de signalisation utilisée afin de coordonner le changement inter-système entre le MME et le SGSN.

**S4** : contient l'interface du plan d'utilisateur et le plan de contrôle, localisé entre SGW et SGSN.

**S12** : interface entre l'EPC et le réseau d'accès, utilisé pour acheminer les données directement entre le SGW et l'UTRAN et vice versa.

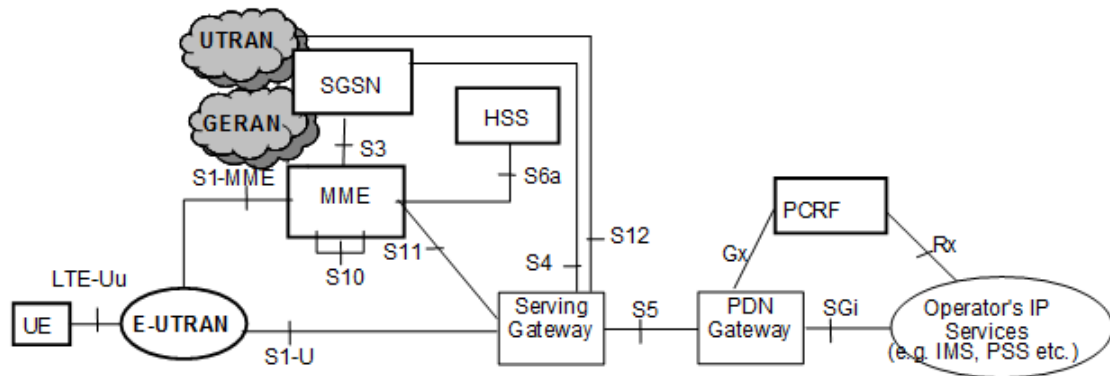


FIGURE 2.6 – Architecture du réseau 3G/UMTS étendu vers 4G/LTE

L'interconnexion avec les réseaux non 3GPP est illustrée dans la figure ci-dessous et représentée par :

**S2a** : interface de connexion entre PGW et trusted non-3GPP AN.

**S2b** : interface de connexion entre PGW et untrusted non-3GPP AN [12].

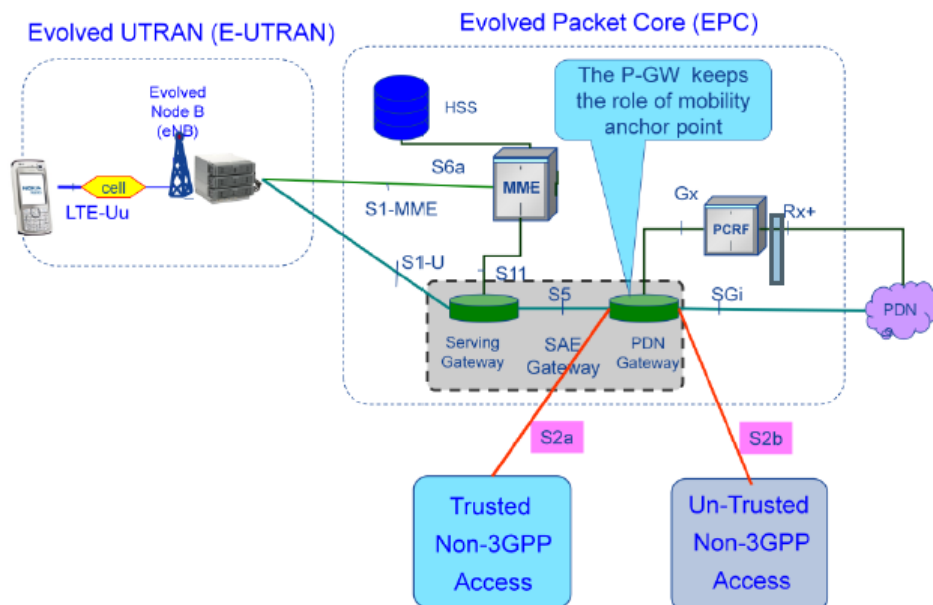


FIGURE 2.7 – Interface de connexion entre la LTE et les réseaux non 3GPP

## 2.5 Interface radio du réseau LTE

L'interface radio assure le rôle clé de transférer par la voie des airs les données issues de la couche IP associées au service demandé par l'utilisateur. Ce transfert doit respecter des exigences de qualité de service (latence, débit) malgré un medium extrêmement variable, tout en optimisant l'accès à une ressource spectrale limitée. En outre, la disponibilité du spectre, variable selon les régions du globe, impose de pouvoir s'adapter à différents types de bandes disponibles.

### 2.5.1 Rappel sur le canal radio

En communications, le canal de transmission représente toutes les transformations subies par le signal entre l'émetteur et le récepteur, d'une part sa propagation dans le milieu de transmission, d'autre part, dans les équipements d'émission et de réception. Le canal de transmission détermine la manière dont les données doivent être mises en forme à l'émetteur afin de se propager dans de bonnes conditions dans le milieu, et les traitements à mettre en œuvre au niveau du récepteur afin de les détecter correctement. Le canal de transmission est donc d'une importance clé, car il détermine une grande partie de la conception d'un système de communication.

### 2.5.2 Les modes de duplexage

Le duplexage définit la manière dont sont séparées les transmissions en uplink et en downlink, l'interface radio du LTE supporte les deux modes de duplexage FDD et TDD. La gestion de ces modes a été décidée afin de garantir une interface radio universelle, utilisable quelle que soit la disponibilité du spectre et permettant ainsi une itinérance globale. Ces deux modes ont été développés de manière à présenter un haut degré de similitude. Ainsi, si la structure de trame diffère, la structure d'une sous-trame est identique dans les deux modes, à l'exception des sous-trames spéciales employées en TDD à la transition entre voie descendante et voie montante.

Cette harmonisation permet de réutiliser une grande part des implémentations pour les deux modes et ainsi de réduire les coûts de développement.

Le choix du mode de duplexage dépend principalement de la disponibilité du spectre : le FDD requiert deux bandes de spectre, séparées par une bande de garde de taille suffisante pour éviter les interférences. En revanche, le TDD permet de déployer un système de communication dans une bande isolée. Les figures ci-dessous illustrent ceci.

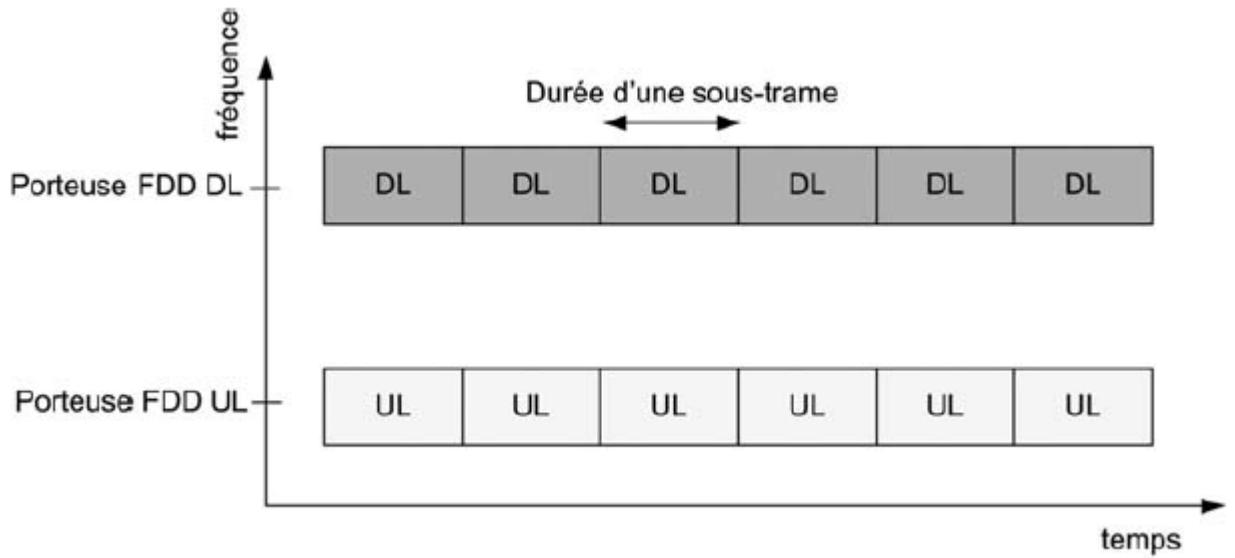


FIGURE 2.8 – Répartition des voies montantes et descendantes en fréquence

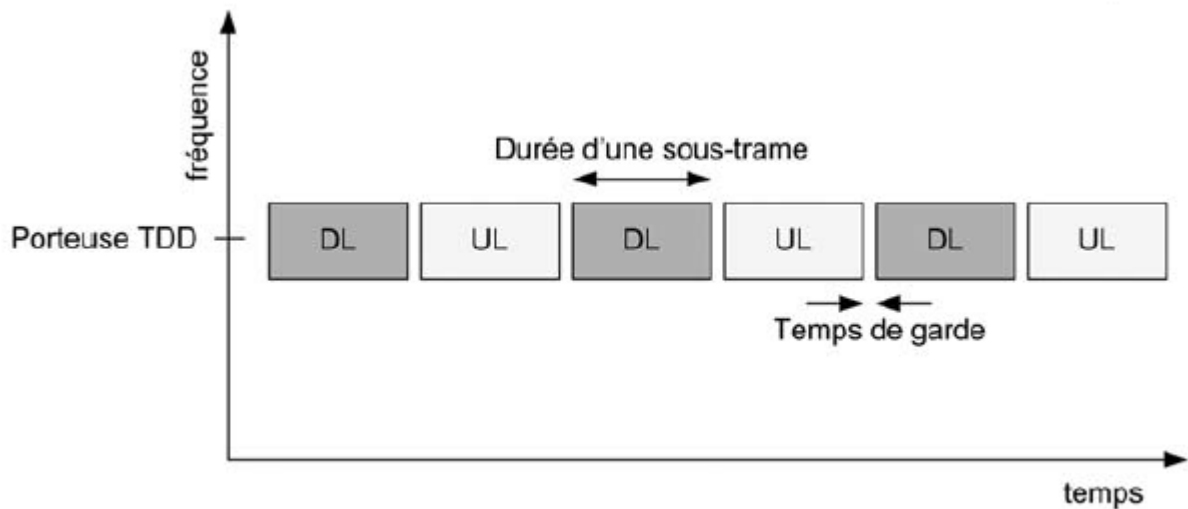


FIGURE 2.9 – Répartition des voies montantes et descendantes en temps

### 2.5.3 Structure de trame de l'interface radio

L'opération de l'interface radio dans le domaine temporel est découpée en trames radio consécutives de  $10\text{ms}$ . Une trame radio est divisée en dix sous-trames de  $1\text{ms}$  chacune, numérotées de 0 à 9. La sous-trame constitue un TTI, c'est-à-dire l'intervalle

de temps de transmission élémentaire pouvant être alloué à un UE. Il existe deux types de structures de trame :

- Le type 1 est adapté au FDD .
- Le type 2 est adapté au TDD.

Dans la structure de trame de type 1, chaque sous-trame est divisée en deux slots de  $0,5ms$  chacun. Les slots d'une trame radio sont numérotés de 0 à 19. En FDD, dix sous-trames sont disponibles pour la voie montante et dix sous-trames pour la voie descendante par période de  $10ms$ , puisque les voies montante et descendante opèrent sur des fréquences différentes.

La figure suivante représente une trame FDD.

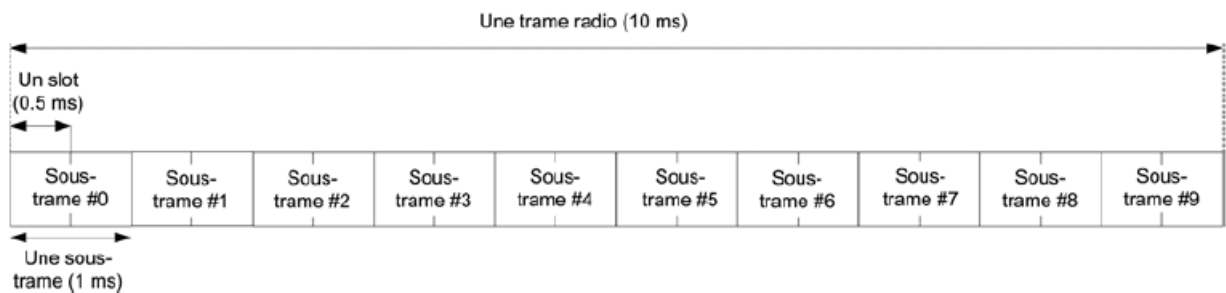


FIGURE 2.10 – Structure de trame en FDD

En TDD, les voies montante et descendante utilisent la même fréquence porteuse, le partage entre les deux directions s'effectuant dans le domaine temporel, le partage entre les deux directions s'effectue dans le domaine temporel en réservant certaines sous-trames pour la voie montante et d'autres pour la voie descendante. L'alternance entre voie descendante et voie montante implique d'établir un temps de garde noter GP entre une sous-trame descendante et une montante. D'une part, les équipements ont besoin d'un certain temps afin de basculer entre émission et réception. D'autre part le temps de propagation entre la station de base et un UE en bordure de cellule, puis cette UE et la station de base ; rend impossible la réception par la station de base d'une sous-trame montante immédiatement après l'émission d'une sous-trame descendante [10].

La figure suivante représente la structure d'une trame en TDD.

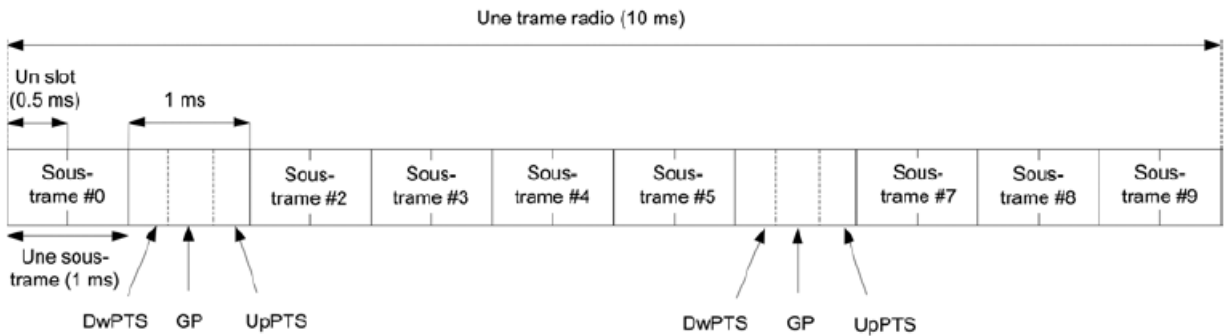


FIGURE 2.11 – Structure de trame en TDD

L'interface radio du système LTE est marquée par la disparition de l'accès multiple à répartition en codes au profit de l'accès multiple à répartition en fréquences orthogonales.

La technique OFDMA est particulièrement adaptée à un canal radio sélectif en fréquence (frequency selective channel) et aux très hauts débits.

## 2.5.4 Technique d'accès multiple

### OFDMA

Accès multiple à répartition en fréquences orthogonales, dans le sens descendant pour les deux modes FDD et TDD, qui se caractérise par son affinité avec les techniques avancées telles que MIMO (permet la transmission parallèle et simultanée de données sur la même fréquence avec plusieurs antennes au niveau de l'émetteur et du récepteur dans le but d'accroître l'efficacité spectrale).

La figure ci-dessous illustre la technique MIMO.

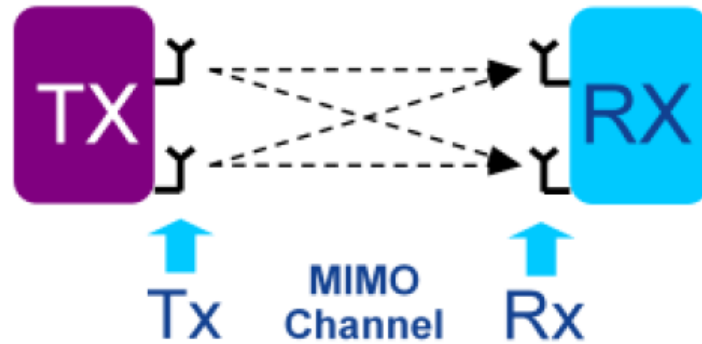


FIGURE 2.12 – La technologie MIMO

L'OFDMA est un dérivé du codage OFDM (utilisé par exemple sur les liens ADSL et dans certains réseaux WiFi), mais contrairement à ce dernier, l'OFDMA est optimisé pour l'accès multiple, cela se fait en répartissant sur un grand nombre de sous-porteuses le signal numérique que l'on veut transmettre ce qui permet, pour un même débit global, d'avoir sur chaque canal un débit plus faible et donc un temps d'émission de chaque symbole plus long ( $66.7\mu s$  ce qui correspond à une fréquence de 15 KHz); cela limite les problèmes d'interférences inter-symboles et de fading liés aux « chemins multiples de propagation ».

L'orthogonalité dans ce système est obtenue en ayant un écart de fréquence entre les sous-porteuses qui est égal à la fréquence des symboles sur chaque sous-porteuse (15 KHz), ce qui permet d'éviter les interférences mutuelles. Cela signifie que le produit scalaire entre chacune des sous-porteuses est nul pendant la durée de transmission d'un symbole. ceci est illustré dans la figure qui suit.



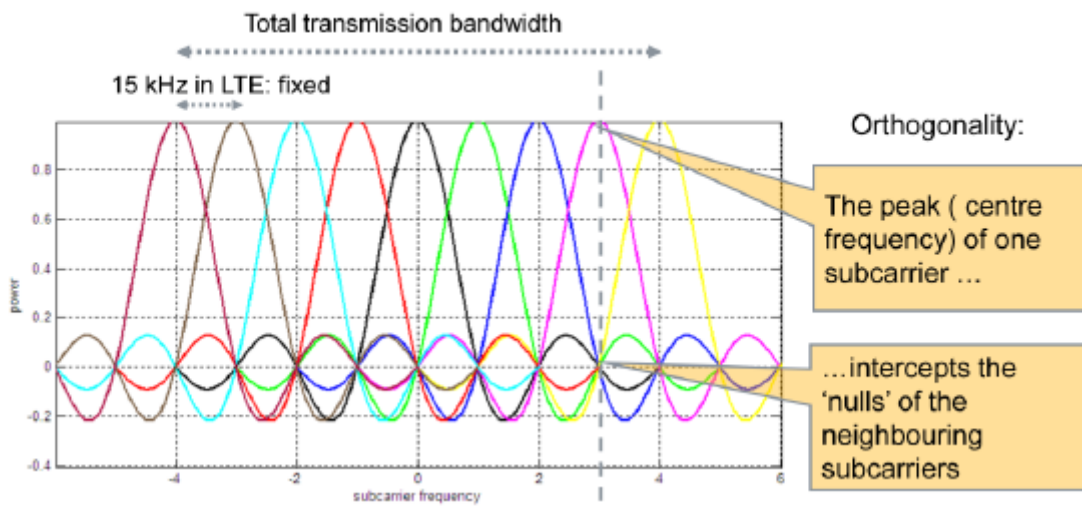


FIGURE 2.13 – Orthogonalité des sous porteuses

Un préfixe cyclique (CP) est utilisé dans les transmissions OFDMA, afin de conserver l'orthogonalité et les propriétés sinusoïdales du signal pour les canaux à trajets multiples. Ce CP est ajouté au début des symboles émis. Deux longueurs différentes de CP sont prévues pour s'adapter à des temps différents de propagation du canal de transmission qui dépendent de la taille de la cellule radio et de l'environnement : un préfixe cyclique normal de  $4.7\mu s$ , et un préfixe cyclique étendu de  $16.6\mu s$  utilisé dans les très grandes cellules radio.

La figure ci-dessous, représente un signal OFDMA dont la largeur de la bande de fréquence est de 5 MHz, mais le principe reste le même pour un réseau d'accès à des largeurs de bandes différentes. Les symboles de données sont différemment modulés et transmis sur un nombre élevé d'onde sous-porteuses orthogonales étroitement alignées.

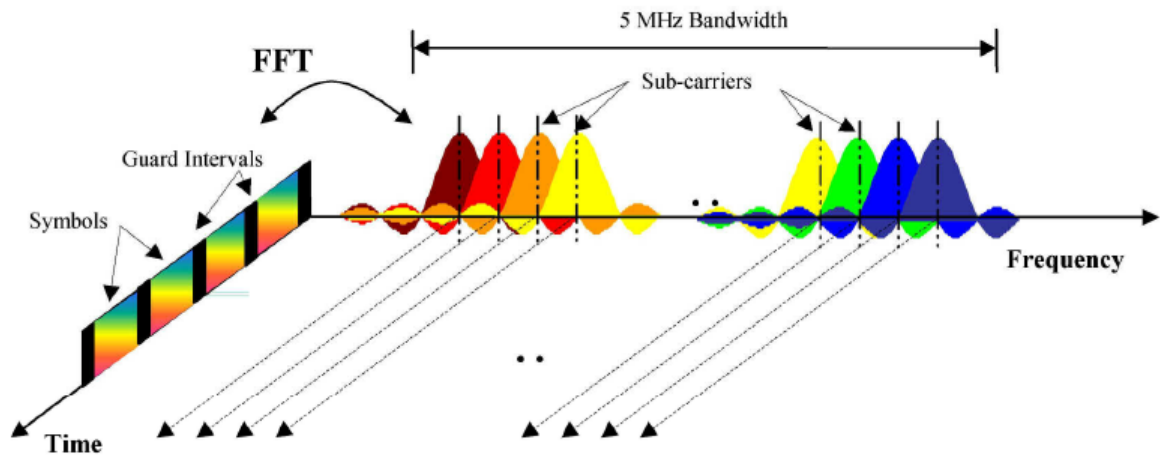


FIGURE 2.14 – Représentation fréquentielle et temporelle d'un signal OFDMA

Les sous-porteuses se divisent en sous-porteuses de données, sous-porteuses pilotes et DC.

La figure ci-dessous illustre tous cela.

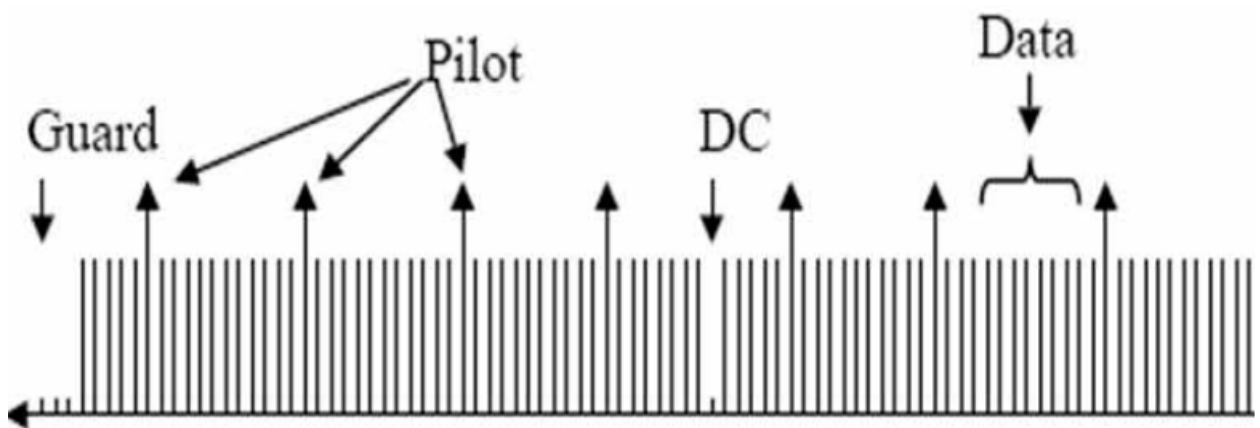


FIGURE 2.15 – Sous-porteuses OFDM

La transmission des données numériques se fait en parallèle à travers un ensemble de sous-porteuses, dont chacune transporte une part des données.

ces sous-porteuses sont organisées de manière à définir : les ressources block (RB), les ressources element(RE) comme illustré dans la figure ci-dessous, qui est représenté dans le domaine fréquentiel et temporel comme suit :

rappelons d'abord qu'on abscisse on a :

- Une trame radio complète dure  $10ms$ .
- Cette trame est découpée en 10 sous-trames de  $1ms$  chacune.
- Chaque sous trame est scindée en 2 slots de  $0,5ms$ .
- Chaque slot contient 6 ou 7 symboles OFDMA (dépend du choix du CP).
- La partie codante d'un symbole OFDMA dure  $66,7\mu s$ .

En ordonnée, la bande de fréquence totale est découpée :

- En  $n$  RB ou PRB qui est l'unité de base permettant le partage des ressources en OFDMA.
- Chaque RB est découpé en 12 sous-porteuses de  $15 KHz$  chacune ce qui donne  $180 KHz$  et dure un slot.

L'élément de base est le RE. A chaque RE correspond un symbole OFDMA qui sera encodé en utilisant la sous-porteuse correspondante. Un RB est donc composé de  $12 \times 7$  ou  $12 \times 6$  REs.

Dans la figure qui suit nous considérons un CP normal avec un RB est composé de  $12 \times 7$  REs [12][21][22][23].

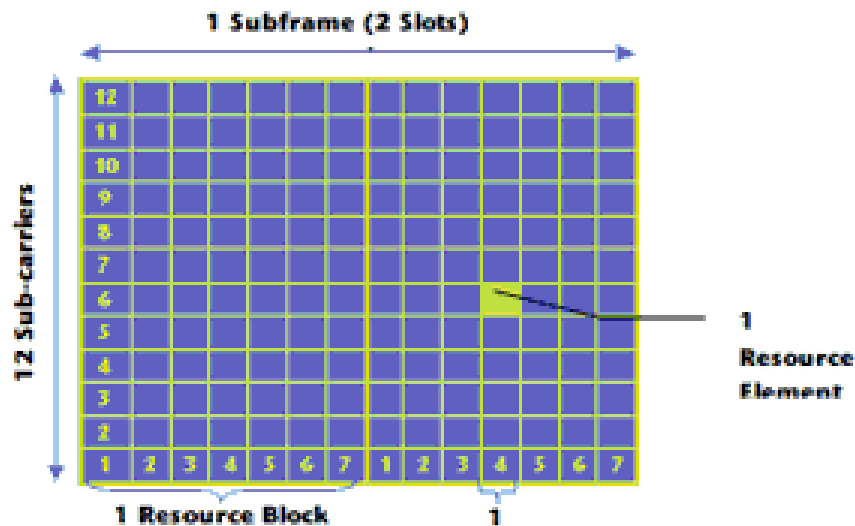


FIGURE 2.16 – Resource bloc et resource element pour un CP en mode normal

- Génération des sous-porteuses

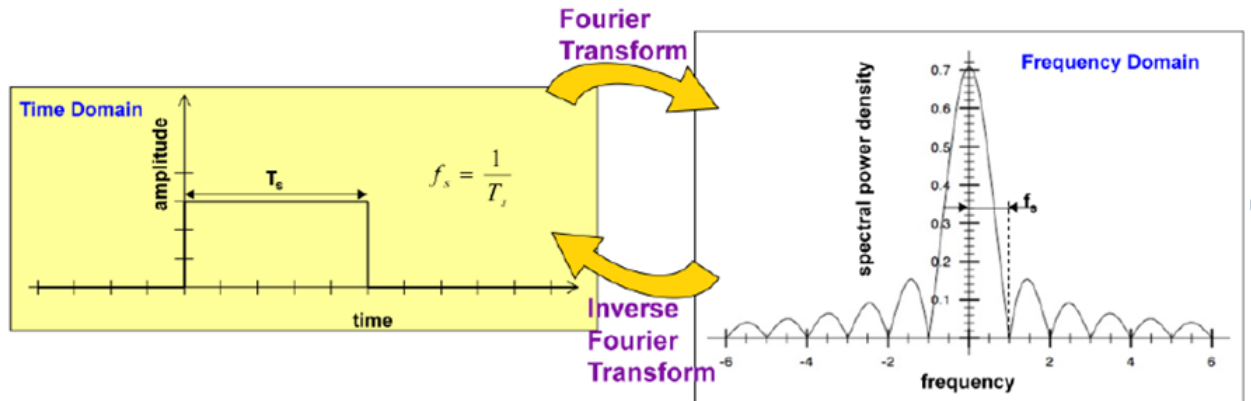


FIGURE 2.17 – Génération des sous-porteuses

Afin de générer les sous porteuses orthogonales, une IFFT est utilisée de la manière suivante :

- La taille de la IFFT ( $N_{fft}$ ) :  $N_{fft} > N_c$ , nombre de sous porteuses.
- $N_{fft}$  doit être une puissance de 2.

Pour cela  $N_{fft}$  varie en fonction du nombre des sous porteuses dans chaque bande de fréquence. Si nous prenons l'exemple de la bande de 20 MHz nous avons :

$N_c = 1200$  sous porteuse (1200 n'est pas une puissance de deux).

La puissance de 2 qui vient après 1200 est 2048.

$2048 - 1200 = 848$  sous- porteuses sont complétées avec des zéros.

Ainsi nous définissons la fréquence d'échantillonnage ( $f_s$ ) :

$f_s = N_{fft} * 15KHz$  Prenons l'exemple d'une largeur de bande de 5 MHz (avec 10% pour la bande de garde)

$N_c = 4.5MHz / 15KHz = 300$

$N_{fft} = 512$

$f_s = 512 * 15KHz = 7.68MHz$

Le tableau représente les  $N_{fft}$  et  $N_c$  pour les différentes largeurs de bande :

Largeur de bande	1.4 MHz	3 MHz	5MHz	10MHz	15MHz	20MHz
$f_s$ MHz	1.92	3.84	7.68	15.36	23.04	30.72
$N_c$	72	180	300	600	900	1200
$N_{fft}$	128	256	512	1024	1536	2048
nombre de sous- porteuses complétées par zéro	56	140	212	424	636	848

TABLE 2.1 – Taille de la IFFT affecté a chaque largeur de bande

Comme les propriétés de l'OFDMA ne sont pas très favorables pour la liaison montante, il a fallu introduire le SC-FDMA.

## SC-FDMA

Accès multiple à répartition en fréquences avec porteuse unique aussi appelé DFTS-OFDMA. Dans le sens montant pour les deux modes FDD et TDD. Cette technique consiste à répartir sur un grand nombre de sous-porteuses non pas directement les symboles sources comme en OFDMA, mais il utilise en complément, une DFT pour pré-coder l'OFDMA conventionnel. Il est caractérisé par un PAPR plus faible que celui de l'OFDMA. Cette technique bénéficie au terminal mobile en termes d'efficacité énergétique, en diminuant la puissance crête d'émission et donc le poids et le coût du terminal, permet aussi de diminuer la consommation électrique et donc augmenter la durée de vie de la batterie.

### comparaison entre OFDMA et SC-FDMA

#### - Les points de similitude

Tout comme l'OFDMA, le SC-FDMA opère dans les mêmes bandes flexibles : 1.4, 3, 5, 10, 15, 20 MHz, et dispose du même nombre de RB en fonction de la largeur de la bande comme le montre le tableau ci-dessous.

Bande passante du canal(MHz)	1.4	3	5	10	15	20
Nombre de Ressource Bloc(RB)	6	15	25	50	75	100
Nombre de sous-porteuses modulées	72	180	300	600	900	1200

TABLE 2.2 – Tableau récapitulatif des paramètres des systèmes OFDMA et SC-FDMA

- Même espace entre les sous-porteuses qui est de 15 KHz.
- Même longueur des CP : normal de  $4.7\mu s$ , étendu de  $16.6\mu s$ .
- Même TTI.
- Même format de la trame.
- Utilisés dans les deux modes de duplexage FDD et TDD.

#### - Les différences

- L'OFDMA transmet plusieurs symboles en parallèle à travers de multiples sous-porteuses, tandis que le SC-FDMA transmet les données en série, en employant de multiples sous-porteuses.

la figure ci-dessous illustre un exemple d'une transmission de 6 symboles modulés utilisant l'OFDMA et le SC-FDMA.

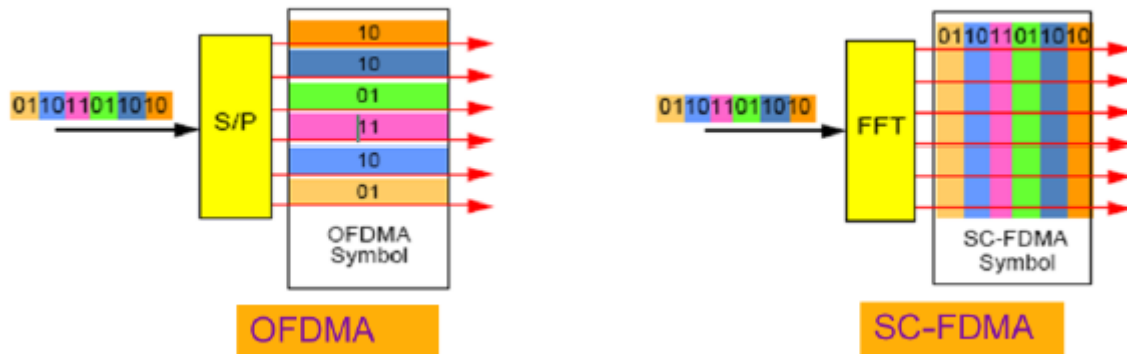


FIGURE 2.18 – Comparaison entre OFDMA et SC-FDMA

- OFDMA : 6 symboles modulés(01 10 11 01 10 10)sont transmis par le symbole OFDMA de manière a ce que chaque sous-porteuse transmet un symbole.
- SC-FDMA : Les 6 symboles modulés sont transmis par le symbole SC-FDMA en utilisant toutes les sous-porteuses pour transmettre chaque symbole, donc la durée de transmission d'un symbole est de 1/6 de la durée d'un symbole en OFDMA.
- En OFDMA, les RB attribués dynamiquement à un équipement mobile peuvent avoir des fréquences différentes non adjacentes, réparties dans une bande de 20 MHz (maximum). Par contre en SC-FDMA, les RB utilisés par le terminal doivent avoir des fréquences adjacentes (consécutives).
- En OFDMA, le symbole modulé occupe 15 KHz et dure le temps d'un symbole OFDMA( $66.67\mu s$ ), tandis qu'en SC-FDMA le symbole modulé occupe  $N \cdot 15$  KHz et dure  $1/N$  de la durée du symbole SC- OFDMA ( $N$  : le nombre de symboles modulés). La figure qui suit illustre l'exemple d'un symbole OFDMA et SC-FDMA utilisant la modulation QPSK [12].

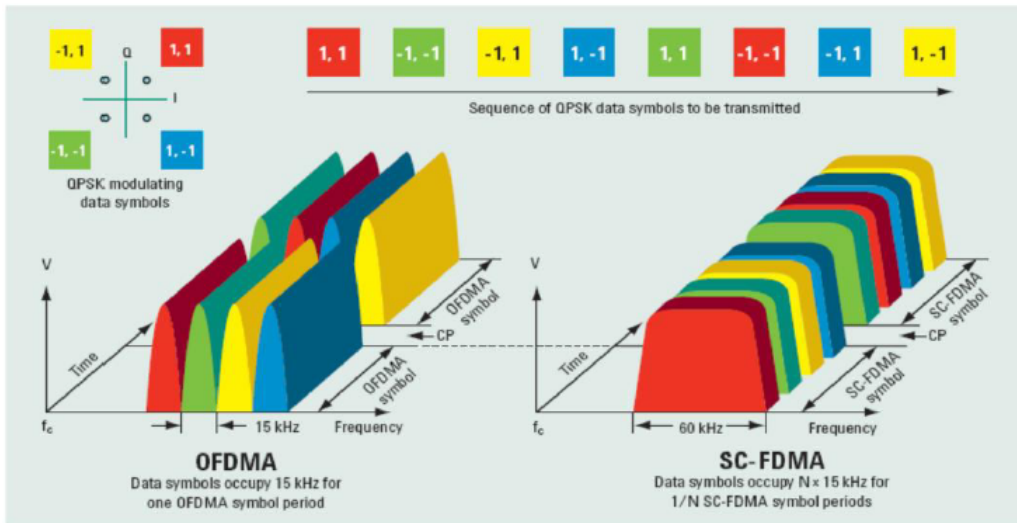


FIGURE 2.19 – Comparaison entre un symbole OFDMA et un symbole SC-FDMA

### 2.5.5 Architecture protocolaire du réseau LTE

La pile protocolaire de l'interface Uu est représentée dans la figure ci-dessous.

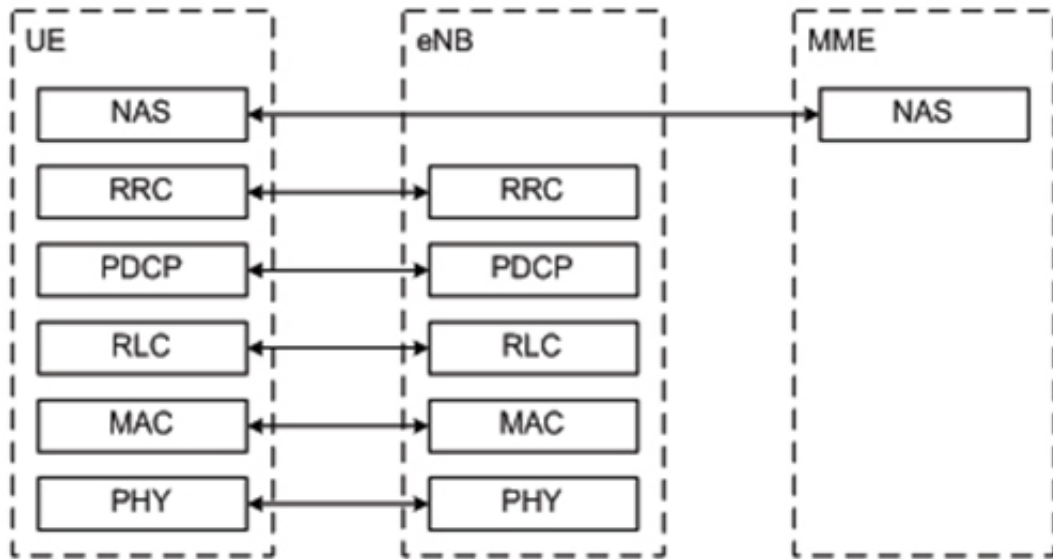


FIGURE 2.20 – Pile protocolaire de l'interface radio

Chaque couche comprend des fonctionnalités différentes mais complémentaires à la couche qui suit.

#### Fonction de la couche physique (PHY)

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.

(Pour plus d'information sur les canaux physiques voir l'annexe A).

### Fonction de la sous-couche MAC

La sous-couche MAC permet l'accès et l'adaptation de transmission grâce aux fonctions suivante :

- La correction d'erreur par transmission HARQ lors de la réception d'un acquittement négatif (NACK) : le protocole HARQ, est la version hybride du protocole ARQ (tout bloc qui n'est pas acquitté car il a été non reçu par le destinataire, ou dont l'acquittement n'est pas reçu correctement, est retransmis). Le protocole est dit « hybride » ce qui signifie que :

- L'émetteur d'un bloc de données peut retransmettre un bloc non correctement reçu en utilisant une redondance différente de celle utilisée lors de la précédente transmission.

- Le récepteur est capable de combiner à la réception plusieurs blocs portant sur la même donnée d'origine. Une telle combinaison en réception permet de recevoir correctement une donnée alors que chaque bloc pris individuellement n'est pas correctement reçu.

- Les allocations dynamiques des ressources radios (scheduling) : le scheduling définit la manière dont les files d'attente des données sont servies, en utilisant plusieurs algorithmes afin de réaliser l'allocation de ressources radio aux utilisateurs du système d'une façon efficace que se soit en downlink ou en uplink. Nous citons quelques algorithmes d'ordonnancement : Max-Min Fair (MMF), Maximum-Largest Weight Delay First (M-LWDF), Exponentiel Rule (EXP-Rule) et le Proportional Fairness PF).

Dans la suite du mémoire, nous nous intéressons aux deux algorithmes suivant :

- Exponentiel Rule (Exp-Rule) : l'Exp-Rule a été proposée pour servir les données qui requièrent un débit élevé.

- Maximum-Largest Weight Delay First (M-LWDF) : M-LWDF est un algorithme qui prend en charge des flux ayant des exigences de QoS différents, il essaye de pondérer les retards des paquets en utilisant la connaissance de l'état du canal [12][24][25].

(Pour la modélisation mathématique de l'ordonnancement, voir Annexe B)

- La priorisation des flux en voie montante.

La couche MAC utilise les services fournis par la couche physique sous forme de canaux de transport.



(Pour plus d'information sur les canaux de transport voir l'annexe A).

### **Fonctions de la sous-couche RLC**

Cette couche assure les fonctions de :

- Détection et retransmission des PDU manquantes(en mode acquitté) permettant la reprise sur erreur.
- Remise en séquence des PDU pour l'ordonnancement des SDU à la couche supérieure (PDCP).

La couche RLC utilise les services de la couche MAC sous forme de canaux logiques.

(Pour plus d'informations sur les canaux logiques voir l'annexe A).

### **Fonction de la couche PDCP**

Elle assure les fonctions :

- De sécurité.
- De transfert de données.
- De compression d'en-tête.
- De chiffrement et déchiffrement.

Ces trois couche (MAC, RLC, PDCP) constituent la couche 2 appelée aussi layer 2 (L2).

### **Fonction de la sous-couche RRC**

C'est la couche spécifique pour la commande d'accès pour l'EUTRAN, elle gère la signalisation liée aux fonctions radio, la configuration et le contrôle des couches de niveau 1 et niveau 2.

### **Fonction de la couche NAS**

Elle prend à sa charge l'ensemble des fonctions qui ne sont pas liées à une technologie radio :

- Gestion de la mobilité.
- Gestion de la sécurité.

Tous les messages passent par la station de base eNodeB, mais cette dernière n'interprète en aucun cas les messages NAS. Elle se contente de les relayer vers le MME [10][12][26].

## **2.5.6 Modulation**

LTE utilise trois types de modulation suivant le sens montant et descendant :

- Dans le sens montant : QPSK, 16QAM.
- Dans le sens descendant : QPSK, 16QAM, 64QAM.

Le tableau ci dessus représente ces différentes modulations , le nombre de bit utilisé pour coder chaque symbole, ainsi que le débit par symbole.

modulation	bit/symbole	débit d'un symbole
QPSK	2	1/2 du débit binaire
16QAM	4	1/4 du débit binaire
64QAM	6	1/6 du débit binaire

TABLE 2.3 – Comparaison entre les modulations

## QAM

La modulation d'amplitude en quadrature est une forme de modulation de porteuse par modification de l'amplitude de la porteuse elle-même et d'une onde en quadrature (une onde déphasée de 90 degrés avec la porteuse) selon l'information transportée par deux signaux d'entrée.

Autrement dit, cela peut être considéré ( en utilisant une notation en nombre complexe) comme une simple modulation d'amplitude d'une onde, exprimée en complexe, cela signifie que l'amplitude et la phase de la porteuse sont simultanément modifiées en fonction de l'information à transmettre.

Le nombre de points de la constellation est indiqué avant le type de modulation QAM comme suite :

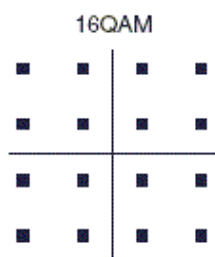


FIGURE 2.21 – Constellation QAM a 16 états

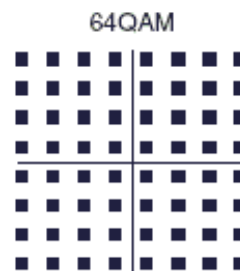


FIGURE 2.22 – Constellation QAM à 64 états

Dans le cas générale, cette modulation s'écrit sous la forme suivant :  
modulation à  $2^2K$  états ( $2^2K$ -QAM), pour transmettre  $2K$  bits pendant une période.  
Ceci en utilisant :

$$E \sin(2\pi ft + \phi) = [E \cos \phi] \sin 2\pi ft + [E \sin \phi] \cos 2\pi ft$$

$$E \sin(2\pi ft + \phi) = [E \cos \phi] \sin 2\pi ft + [E \sin \phi] \sin(2\pi ft + \pi/2)$$

$\phi$  : Phase.

f : fréquence porteuse

## QPSK

Aussi connue sous le nom de 4-PSK cette modulation utilise un diagramme de constellation à quatre points, à équidistance autour d'un cercle comme illustré dans la figure ci-dessous.

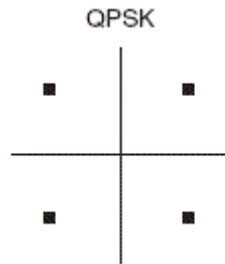


FIGURE 2.23 – Constellation QPSK

Dans le cas générale, cette modulation s'écrit sous la forme suivante : modulation à  $2^K$  états ( $2^K$ -PSK), pour transmettre K bits pendant une période. Le tableau suivant représente les différentes phases et signaux à transmettre pour la modulation QPSK.

Bits à transmettre	00	01	10	11
Phase	0	$\pi/2$	$\pi$	$3\pi/2$
Signal transmis	$E \sin 2\pi ft$	$E \cos 2\pi ft$	$-E \sin 2\pi ft$	$-E \cos 2\pi ft$

TABLE 2.4 – Modulation QPSK

## 2.6 Indicateurs de performance du LTE

### 2.6.1 Débit

Opérant sur une largeur de bande de 20 MHz, l'interface radio E-UTRAN doit pouvoir supporter :

- un débit maximum de 100 Mbit/s en voie descendante, soit une efficacité spectrale crête de 5 bit/s/Hz.
- un débit maximum de 50 Mbit/s en voie montante, soit une efficacité spectrale crête de 2.5 bit/s/Hz.

(Pour plus d'information sur le calcul du débit, voir l'annexe C). Le tableau ci-dessous représente les débit en voie descendante pour les deux configurations d'antennes SISO, MIMO.

configuration d'antenne	SISO	2 * 2 MIMO
Débit binaire maximale Mbit/s	100	173

TABLE 2.5 – Débit binaire maximale pour la voie montante

## 2.6.2 Capacité

La capacité d'une cellule correspond au trafic total maximal qu'elle peut écouler en situation de forte charge au cours d'une période donnée. Elle est conditionnée par l'efficacité spectrale du système et la ressource spectrale (fréquence porteuse) disponible. La présence de plusieurs UEs actifs sous une même cellule se traduit par une réduction du débit fourni à chacun et la capacité est divisée par le nombre d'UEs actifs dans cette cellule. En d'autres termes la capacité d'un réseau limite la valeur des débits dans un scénario impliquant plusieurs UEs actifs. LTE permet alors d'accroître la capacité des réseaux mobiles.

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 [10][12].

## 2.6.3 Latence

La latence d'un système est définie comme étant sa capacité à réagir rapidement à des demandes d'utilisateurs ou de services. Elle se décline en latence du plan de contrôle et latence du plan usager :

**Latence du plan de contrôle :** correspond à un temps de transition inférieur à 100 ms entre un état de veille de l'UE et un état actif autorisant l'établissement du plan usager.

**Latence du plan usager :** définie par le temps de transmission d'un paquet entre la couche IP de l'UE et la couche IP d'un nœud du réseau d'accès ou inversement. En d'autres termes, elle correspond au délai de transmission d'un paquet IP au sein du réseau d'accès.

LTE est caractérisé par une latence inférieure à 5 ms dans une situation de non-charge où un seul terminal est ACTIF sur l'interface radio, et voisine des 20 ms en situation de charge moyenne de l'interface radio.

## 2.6.4 Flexibilité dans l'usage de la bande

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 [26].

### 2.6.5 Mobilité

La mobilité est assurée à des vitesses inférieure à 350 km/h par le hard handover qui consiste à relâcher le lien de la cellule de l'utilisateur (C1) avant d'établir le lien sur la cellule voisine (C2), comme le montre la figure qui suit [10].

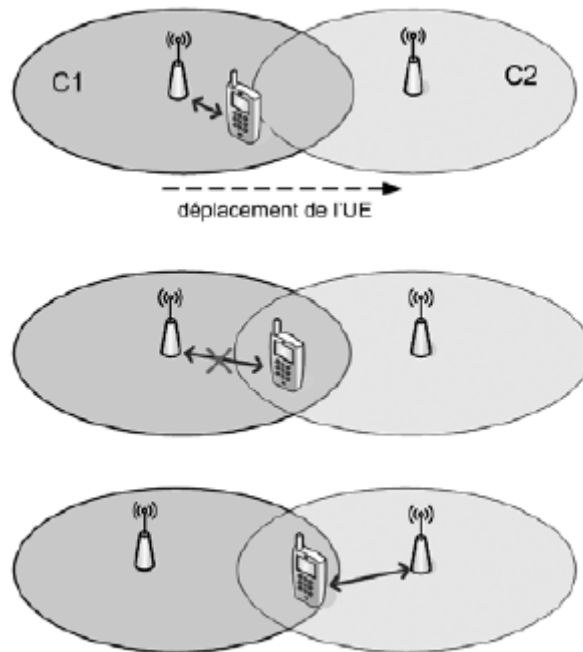


FIGURE 2.24 – Hard handover

### 2.6.6 Coexistence avec les générations précédentes

Le handover entre E-UTRAN (LTE) et UTRAN (3G) doit être réalisé en moins de 300 ms 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 [12].

### 2.6.7 La qualité de service QoS

La qualité de service est la capacité de transmission dans de bonnes conditions d'un certain nombre de paquet partant d'un émetteur vers un récepteur, et cela peut être présenté sous plusieurs termes tel que :

**Équité** : elle désigne le partage équitable des ressources entre les différents utilisateurs. Ceci est vrai si et seulement si tous les paquets de données ont les mêmes caractéristiques (qualité du canal, etc) or, ce principe ne s'applique pas.

En LTE les paquets sont différents les uns des autres, dans ce cas nous assumons que la

notion de partage soit la question suivante " si l'utilisateur reçoit la quantité de ressource dont il à besoin ou non". Spécifiquement on se qui concerne l'allocation des ressources, nous définissons deux types de partage :

- **Equité partielle** : elle est définit dans la mesures du niveau d'équité dans un groupe, quand les paquets appartiennent aux mêmes types d'application.

Prenons l'exemple du partage de ressource entre des paquets de donnée de type VoIP, ces derniers appartiennent tous à la même classe, mais ne possèdent pas la même qualité du canal donc dans cette aspect nous pouvons dire que les paquets de données sont partiellement hétérogènes.

- **Equité totale** : c'est la mesure du niveau d'équité dans un groupe hétérogène. Prenons l'exemple de l'équité dans différent paquets comme la VoIP et la vidéo. Dans cet exemple, les paquets n'appartiennent pas à la même classe, ne possèdent ni le même débit binaire ni les mêmes qualités du canal, donc nous pouvons dire que ces paquets sont complément hétérogènes.

**Taux de perte de paquet(PLR)** : le PLR représente le pourcentage des paquets de données qui traversent le canal physique et n'arrivent pas à rejoindre leurs destination.

**Délai de transmission** : c'est la mesure du temps écoulé entre l'émission d'un paquet et sa réception par le destinataire.

**Gigue** : elle représente la variation de la latence des paquets.

## 2.7 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté le réseau LTE d'une manière assez détaillée, nous avons mis en avant ses performances, ses caractéristiques et les améliorations qui sont le fruit des diverses recherches dans le domaine, ces derniers touchent notamment le débit, la mobilité, la capacité de gestion, le coût, etc. De ce fait, le réseau LTE de la quatrième génération se distingue des réseaux précédents.

Toutefois, il y a lieu de noter que toute cette étude ne reflète que l'aspect théorique du réseau LTE, nous nous proposons de développer le volet pratique de ce réseau dans le chapitre suivant, ce qui nous permettra, d'illustrer le fonctionnement et les mécanismes de gestion de ce réseau en terme de qualité de service.

# Chapitre 3

## Simulations et résultats

### 3.1 Introduction

Pour pouvoir évaluer les performances d'une nouvelle technologie, un nouveau réseau, il est coûteux de déployer toute une installation afin de vérifier et valider un protocole de réseau ou un certain algorithme. Pour remédier à cela, nous avons recours à la simulation qui met à la disposition de l'utilisateur un environnement d'expérimentation.

Simuler, c'est modéliser un système complexe, afin de prévoir son comportement dans le monde réel. Il s'agit d'une approche permettant de représenter le fonctionnement d'un système réel de plusieurs entités, de modéliser les différentes interactions entre elles et enfin évaluer le comportement global du système et son évolution dans le temps.

Dans ce qui suit nous allons présenter les données qui nous ont été fournies par l'entreprise où nous avons effectué notre stage (Algérie Telecom -Setif-), ensuite les résultats que nous avons pu avoir de la simulation que nous avons effectuée sous NS-3.

### 3.2 Partie 1

#### 3.2.1 Objectif

Rappelons d'abord que l'une des fonctions de l'eNodeB les plus importantes est la bonne gestion des ressources radios et l'allocation efficace de ces ressources dans les deux sens montant et descendant.

Notre objectif est de présenter deux parmi une multitude d'algorithmes ordonnanceurs dans le sens descendant pour des services en temps-réel (RT) et non temps-réel (NRT), qui sont utilisés pour répondre au besoin d'allouer les ressources efficacement et ainsi offrir la QoS demandée par l'utilisateur.

### 3.2.2 Résultats et conclusions

Les résultats que nous allons présenter concerne deux types de services :

- Le premier en RT (Real Time) qui concerne la transmission d'un flux de données vidéo.
- Le second en NRT (Non Real Time) qui concerne la transmission d'un flux de données d'un site web.

Pour les deux services cités précédemment, nous allons présenter les mesures concernentle taux de perte de paquet (PLR) lors de la transmission et l'indicateur d'équité, en fonction du nombre d'utilisateurs. Ceci en utilisant les deux algorithmes d'ordonnancement : l'EXP-Rule et le M-LWDF. En tout ça fait 8 courbes.

On rappelle que :

- Un PLR faible indique une bonne transmission, contrairement à un PLR élevé.
- Une valeur d'indicateur d'équité signifie un bon partage(équitable) des ressources radios entre les utilisateurs, contrairement à une valeur faible.



## Scénario en RT

## - PLR

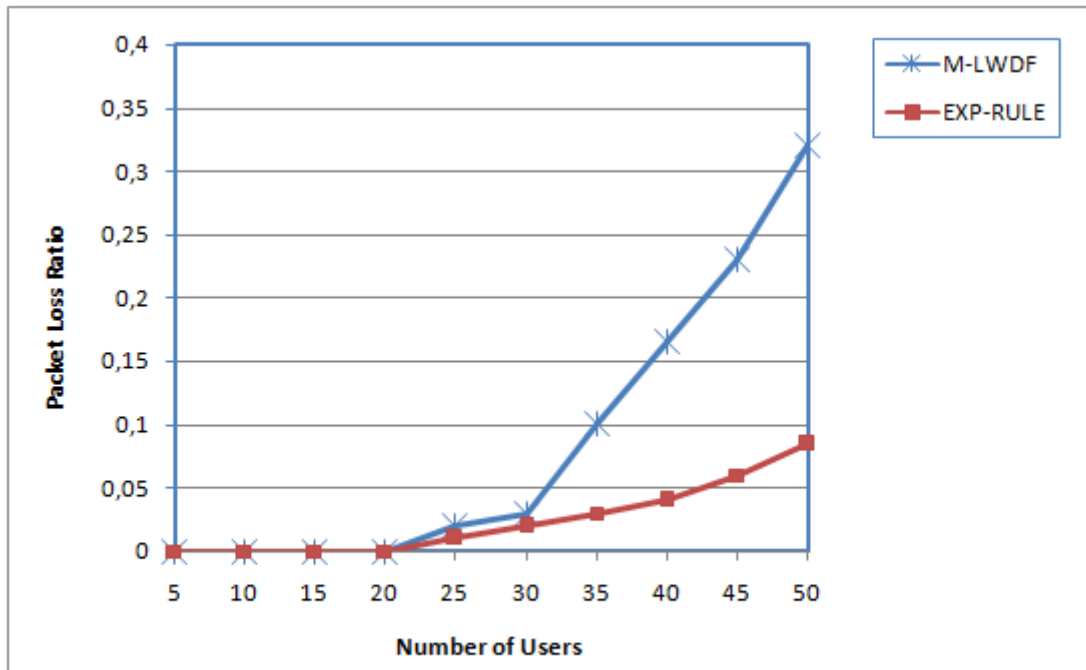


FIGURE 3.1 – PLR pour la video

Le graphe ci-dessus représente les variations du PLR au fur et à mesure que le nombre d'utilisateurs augmente. Le PLR diminue de 23.5% quand nous utilisons l'EXP-Rule comparé à le M-LDWF pour 50 utilisateurs. Ceci traduit le fait que la file d'attente des paquets vidéos est servie en premier ainsi, la perte de paquets causée par le buffer overflows "dépassement de tampon de mémoire" est réduit.

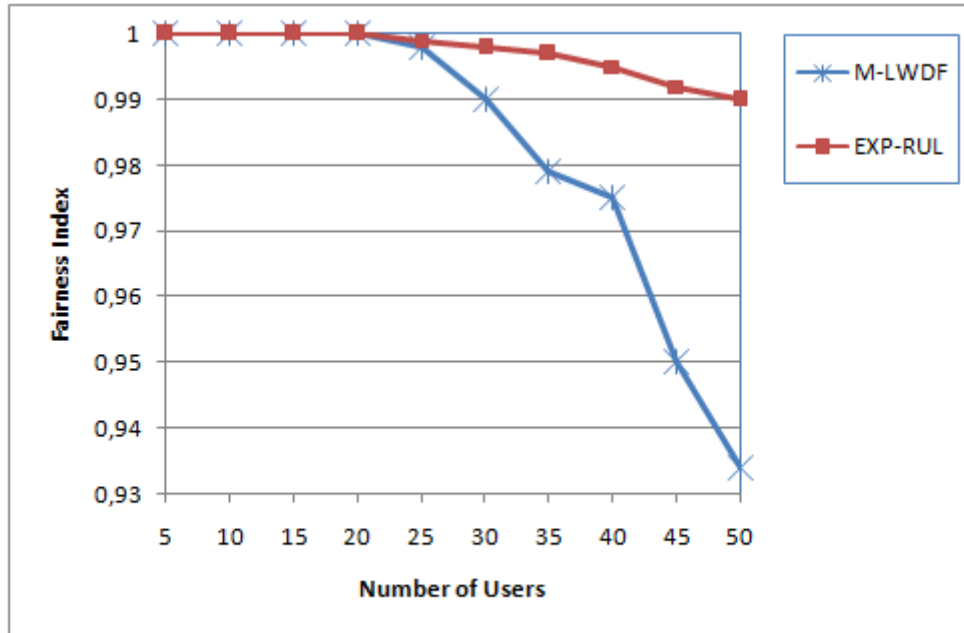
**- Indicateur d'équité**

FIGURE 3.2 – Indicateur d'équité pour la vidéo

Le graphe ci-dessus représente les variations du retard au fur et à mesure que le nombre d'utilisateurs augmente. La meilleure performance est représentée par l'EXP-Rule pour un partage équitable des ressources radios à 99% devant le M-LWDF qui offre un partage équitable des ressources à 93% pour 50 utilisateurs.

## Scénario en NRT

## - PLR

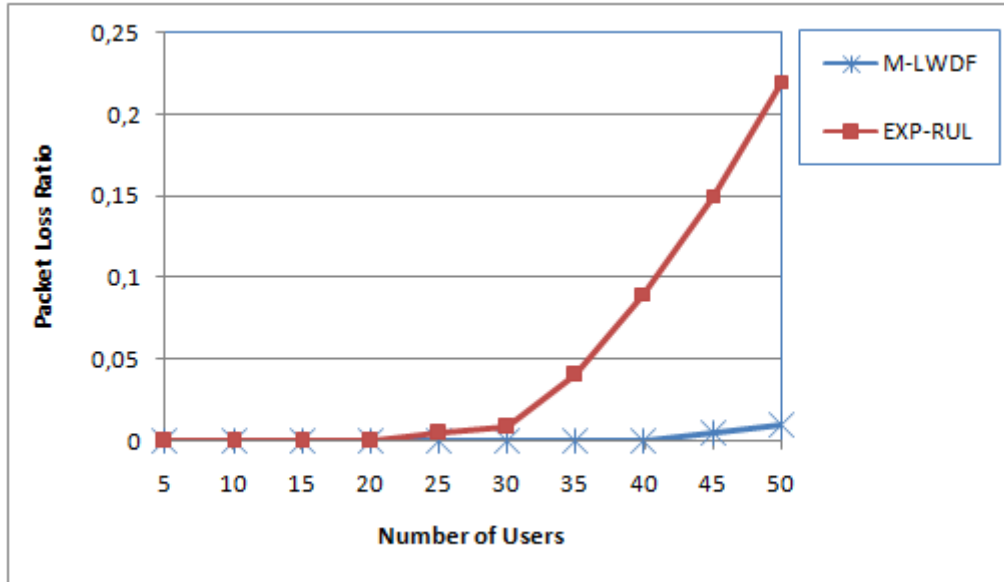


FIGURE 3.3 – PLR pour les NRT

Le graphe ci-dessus représente les variations du PLR au fur et à mesure que le nombre d'utilisateurs augmente. Le PLR diminue de 21% quand nous utilisons le M-LDWF comparé au EXP-Rule pour 50 utilisateurs.

## - Indicateur d'équité

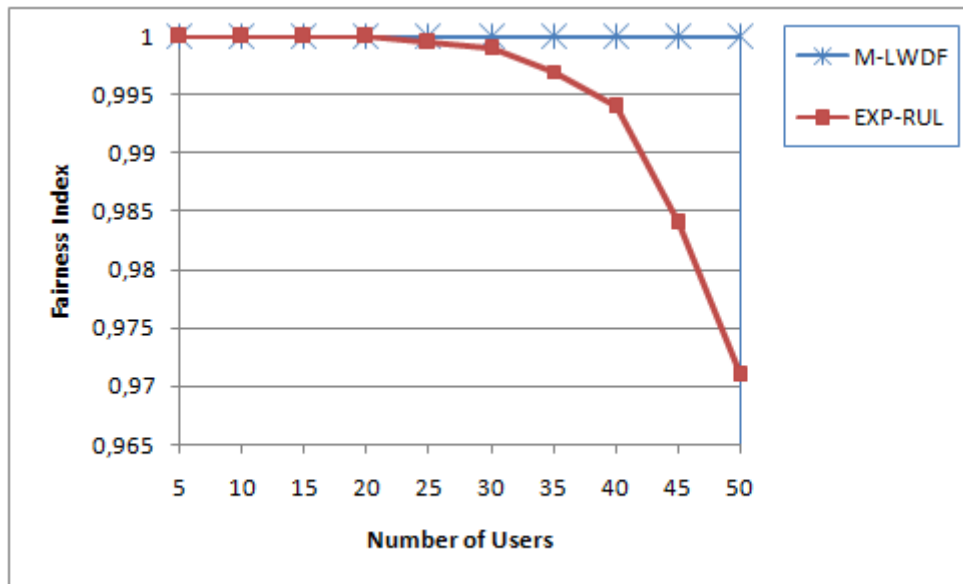


FIGURE 3.4 – Indicateur d'équité pour les NRT

Le graphe ci-dessus représente les variations du retard au fur et à mesure que le nombre d'utilisateurs augmente. La meilleure performance est représentée par le M-LWDF pour un partage équitable des ressources radios à 100% devant l'EXP-Rule qui offre un partage équitable des ressources à 97% pour 50 utilisateurs.

### Conclusions

De ce que nous avons vu, nous avons remarqué que l'algorithme EXP-Rule après avoir présenté de meilleures performances en qualité d'équité, de taux de perte de paquet et de retard, est plus compétent pour offrir la QoS demandée par les utilisateurs pour des services en temps réel.

En revanche, vu les résultats obtenus de l'algorithme M-LWDF, ces compétences sont mieux utilisées pour offrir la QoS demandée par les utilisateurs en non-temps réel.

## 3.3 Partie 2

### 3.3.1 Objectif

L'objectif de cette seconde partie de ce chapitre est d'évaluer et présenter les mesures effectuées du débit et le délai de transmission pour un trafic en RT qui concerne le trafic vidéo.

### 3.3.2 Choix du simulateur

Afin d'évaluer les performances du réseau LTE en matière de QoS, plusieurs simulateurs ont été mis en œuvre tel que : LTE-SIM, OPNET et NS-3. Nous avons fait le choix de travailler sur le network simulation NS-3 pour les raisons suivantes :

- La plate forme sur laquelle il s'exécute (Linux).
- Le type de licence d'utilisations (gratuit, open source).

NS-3 est un simulateur réseau à événements discret et à code source ouvert qui permet l'étude, la conception et la gestion des protocoles pour les réseaux informatiques. Il est écrit en C++ et python et il est orienté objet. Il peut être utilisé sur les plateformes Linux/Unix.

(En ce qui concerne l'installation du NS-3, voir l'annexe D).

### 3.3.3 Résultats et conclusion

#### Débit

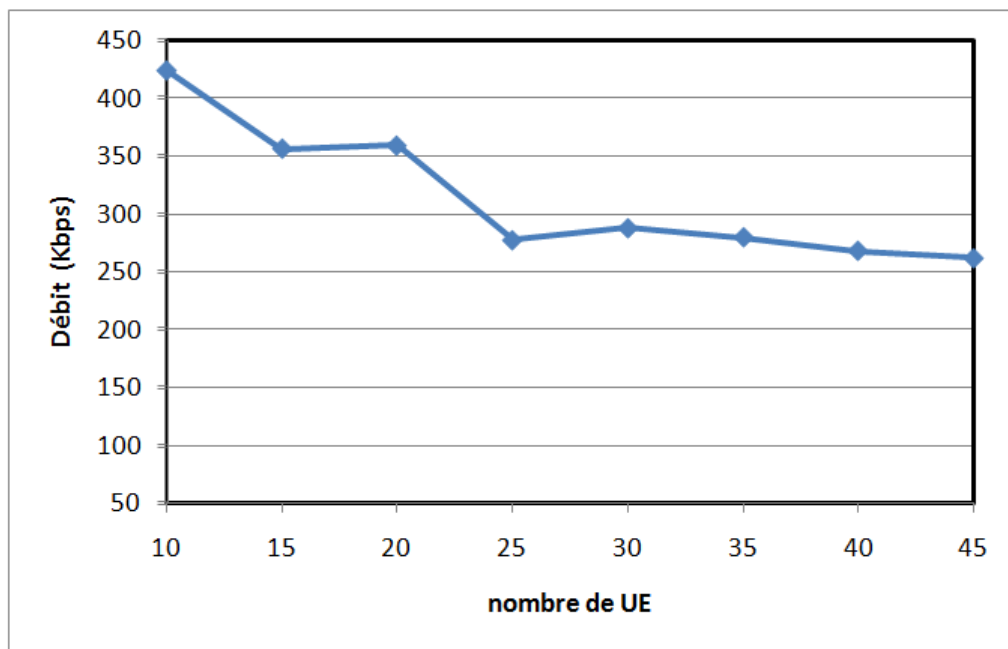


FIGURE 3.5 – Débit du trafic vidéo

Le graphe ci-dessus représente la variation du débit en fonction de l'augmentation du nombre d'utilisateurs. Nous remarquons que le débit diminue avec l'augmentation du nombre d'utilisateurs pour atteindre la valeur de  $261\text{Kbit/s}$  pour 45 utilisateurs.

### Délai de transmission

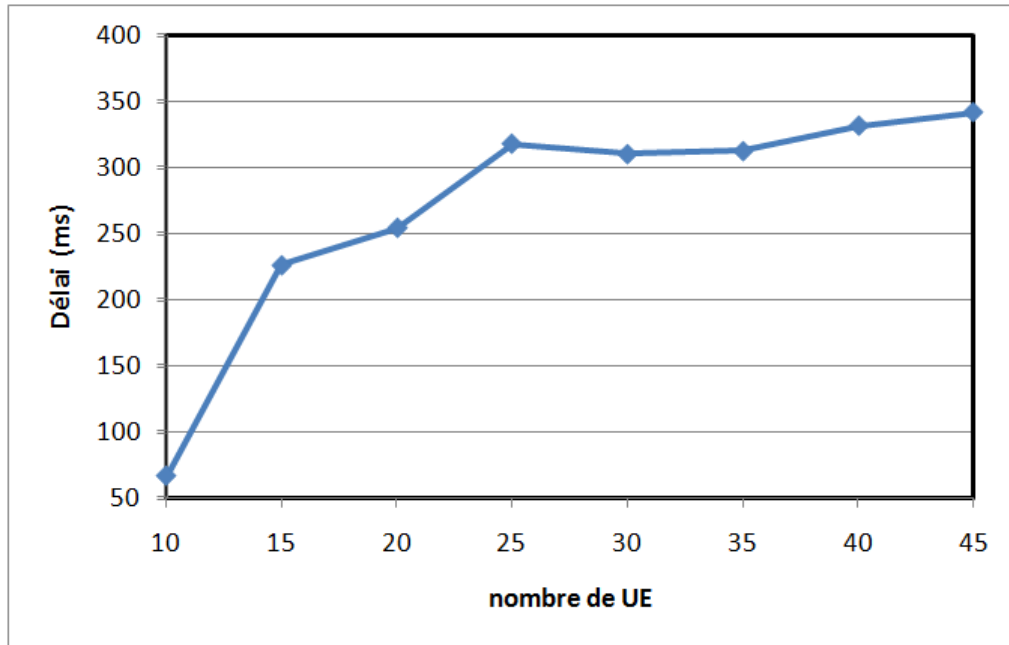


FIGURE 3.6 – Délai de transmission du trafic vidéo

Le graphe ci-dessus représente la variation du délai de transmission en fonction du nombre d'utilisateurs. Nous remarquons que le délai de transmission augmente avec l'augmentation du nombre d'utilisateurs.

### Conclusion

L'augmentation du nombre d'utilisateurs affecte considérablement le débit et le délai de transmission. En effet une augmentation 10 à 45 utilisateurs réduit presque de moitié la valeur du débit et augmente la valeur du délai de transmission jusqu'à 5 fois.

## 3.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les résultats obtenus de la mesure de la QoS de deux algorithmes ordonnanceurs en terme de taux de perte (PLR) et d'équité pour des services en RT et NRT. Nous avons aussi présenté les résultats que nous avons obtenu de la simulation dans la mesure de la QoS en terme de débit et de délai de transmission pour un service en RT.

## Conclusion Générale

---

La technologie Long Term Evolution est à présent la technologie la plus prometteuse dans les systèmes de télécommunications. Ce standard de réseaux mobiles cellulaires est connu pour ces performances en matière de débit élevé, de latence beaucoup moins importante que dans la génération précédente, une bande de fréquence flexible, une interopérabilité avec les réseaux et la fourniture d'une meilleure qualité de service aux utilisateurs.

LTE fournit des supports de qualité de service à des classes différentes de trafic (les services en temps-réels et les services en non-temps réels), tout en prenant compte de la QoS que requiert chaque classe.

Pour la bonne gestion des ressources radios, LTE met en évidence des algorithmes d'ordonnancement qui respectent le partage équitable des ressources radios disponibles, la priorisation de certains flux de données par rapport à d'autres tel que les flux de la voix, le respect des délais de transmission, la minimisation des pertes de données lors de la transmission.

Dans ce travail, nous avons présenté les résultats de deux parmi une multitude d'algorithmes ordonnanceurs qui sont l'EXP-Rule et le M-LWDF et nous avons constaté que l'EXP-Rule gère au mieux les services en temps-réels et que le M-LWDF gère au mieux les services en non-temps réels. D'un autre côté nous avons présenté les résultats que nous avons obtenu de la simulation sous le Network Simulator-3, d'un transfert de données dans un réseau LTE est nous avons évalué ce transfert en terme de débit et de délai de transmission, ceci à monter des résultats très prometteurs.

En perspectives, nous aurions aimé pouvoir voir les améliorations du réseau LTE par rapport à l'UMTS et comparer leurs performances, et voir les améliorations que le réseau LTE-Advanced à apporter par rapport au réseau LTE.

# Bibliographie



# Annexe A

## Les canaux physiques

C'est un canal de la couche physique qui fournit le moyen de transmettre par radio les données issues de la couche transport. Un canal physique va donc correspondre à un sous ensemble constitué d'éléments de la ressource radio disponible. Généralement, on lui associe certaines caractéristiques radios particulières. Les canaux physiques downlink : **PDSCH (Physical Downlink Shared Channel)** : sert à la transmission des canaux de transport DL-SCH, PCH.

**PBCH (Physical Broadcast Channel)** : sert à la transmission des canaux de transport BCH.

**PCFICH (Physical Control Format Indicator Channel)** : indique le nombre de symboles OFDM utilisés pour la transmission du PDCCH dans une sous-trame.

**PDCCH (Physical Downlink Control Channel)** : sert à la transmission d'information de contrôle, schéma de modulation, codage, allocation des ressources pour le DL-SCH et le PCH en downlink, allocation de ressources HARQ pour le UL-SCH en uplink, etc...

**PHICH (Physical Hybrid ARQ Indicator Channel)** : sert à la transmission des acquittements HARQ.

**MBSFN (Multicast/Broadcast for a Single Frequency Network)** : canal de broadcast pour du trafic usager, mais pas encore utilisé commercialement en Release 8 (le sera sur la release 10 normalement).

Les canaux physiques uplink :

**PUSCH (Physical Uplink Shared Channel)** : sert à la transmission du canal de transport UL-SCH.

**PUCCH (Physical Uplink Control Channel)** : sert à la transmission des acquittements HARQ et à l'allocation de ressources.

**PRACH (Physical Radom Access Channel)** : sert à la transmission du RACH.

## Les canaux logiques

Un canal logique est caractérisé par le type d'information qu'il transporte, et non pas par comment ces données vont être véhiculées.

Il existe 2 types de canaux logiques qui permettent de scinder véhiculer les informations de 2 grands types distincts, les informations dit du plan de contrôle et les informations dit du plan usage. Les informations du plan de contrôle sont toutes les informations échangées par réseau d'accès (interne, vers le mobile ou vers le coeur de réseau) permettant son fonctionnement propre (authentifier un mobile, établir un appel, etc.).

Les informations du plan usager sont toutes les informations échangées par l'utilisateur via le réseau d'accès.

Les canaux logiques fournis par la couche MAC sont :

**BCCH (Broadcast Control CHannel)** : c'est un canal logique de contrôle qui permet de diffuser les informations de base d'une cellule permettant l'accès, comme son identifiant, la largeur de bande à utiliser, la liste des cellules voisines LTE 3G ou GSM etc...

**PCCH (Paging Control CHannel)** : c'est un canal logique de contrôle qui permet de diffuser des notifications d'appel. Lorsque que quelqu'un cherche à joindre un mobile, un message de paging par le coeur de réseau vers le réseau d'accès. Toutes les cellules de la zone à laquelle le mobile est supposé appartenir vont alors diffuser l'information qu'on cherche à le joindre. Ce type d'information transite donc par ce canal logique.

**DCCH (Dedicated Control CHannel)** : c'est un canal logique de contrôle qui permet de véhiculer toute la signalisation d'appel quand un canal dédié au mobile existe. Par exemple, la reconfiguration d'une connexion ou un handover se font en utilisant ce canal

**DTCH (Dedicated Traffic CHannel)** : c'est un canal logique du plan usager qui permet de véhiculer toutes les informations usager. Par exemple, si vous être en train de regarder une vidéo, c'est par ce canal que les informations vont transiter.

## Les canaux de transport

Un canal de transport se distingue d'un autre par la manière dont les données vont être transportés sur la couche physique.

On retrouve principalement les canaux suivants :

**BCH (Broadcast CHannel) :** le BCH porte exclusivement le BCCH et sert donc à la diffusion du Master Information Block (MIB). Ce message broadcasté contient toutes les informations nécessaires pour que le mobile puisse reconnaître le réseau d'accès et s'attacher sur la cellule.

**DL-SCH (DownLink Shared CHannel) :** pour la transmission de données dédiées (contrôle ou usager) ou d'informations cellules non basiques (comme la liste des cellules voisines) en lien descendant. Ce canal va donc porter des canaux logiques DCCH, DTCH, CCCH ou BCCH.

**PCH (Paging CHannel) :** pour diffuser les informations de paging sur la cellule et donc porte le canal logique PCCH.

**RACH (Random Access CHannel) :** ce canal sert uniquement à gérer l'accès initial du mobile ou lors d'un handover sur une cellule.

**UL-SCH (UpLink Shared CHannel) :** pour la transmission de données dédiées (contrôle ou usager) en uplink. Ce canal va donc porter des canaux logiques DCCH, DTCH, ou CCCH [27].

# Annexe B

## Calcul du débit

Le calcul du débit maximal se fait sur un canal de largeur maximale (20 MHz).

Pour cette largeur de bande, 10% sont retirés afin d'éviter les transmission en hors bande.

$(20 - 10\%)/15 = 1200$  (nombre de sous porteuses totales).

Sachant qu'un RB contient 12 sous-porteuses, donc pour 1200 sous-porteuses correspond 100 RB en un TTI et en 1s nous comptons 1000 RB, 14 symboles OFDMA et en utilisant la modulation 64QAM nous avons la formule :  $1000 * 1200 * 14 * 6 = 100,8 \text{ Mbit/s}$ .

de ce résultat on extrait 7.7% (reference symbol overhead) et 7.1% (control overhead), on obtient 86.44 Mbit/s.

en utilisant la technologie MIMO, ça permet de doubler le débit et d'obtenir un débit maximal de 173 Mbit/s.

# Annexe C

## Installation de NS-3

Pour procéder à l'installation du NS-3, nous devons avoir une interface Linux, pour cela nous avons choisi de l'installer sur une machine virtuel et ceci en procédant de la manière suivante :

- Installation et configuration de Virtuelbox.
- Installation de Linux à partir du site web ([www.Ubuntu.com](http://www.Ubuntu.com)).
- Téléchargement et mise en route de NS-3 à partir du site web ([www.nsnam.org](http://www.nsnam.org)).

Une fois NS-3 télécharger, nous devons telecharger et installer les packages suivants pour le faire fonctionner :

# = Commentaire explicatif de la commande

# Afficher le contenu de l'emplacement actuel pour pouvoir utiliser le raccourci de la touche tabulation qui permet de remplir le nom du fichier ou repertoire automatiquement :

ls

# Accéder au repertoire Bureau/ où il y a le paquetage de NS-3 précédemment téléchargé : cd Bureau/

# Mettre à jour Linux Ubuntu pour pouvoir passer à la prochaine étape sans risque d'erreur. Pour ce faire, il est nécessaire d'utiliser le mode root grace à "sudo" puis taper le mot de passe root : sudo apt-get update

# Installer les dépendances nécessaires au bon fonctionnement de NS-3 :  
sudo apt-get install gcc g++python python-dev mercurial bzip2 gdb valgrind gsl-bin libgsl0-dev libgsl0ldbl flex bison tcpdump sqlite3 libsqlite3-dev libxml2 libxml2-dev libgtk2.0-0 libgtk2.0-dev uncrustify doxygen graphviz imagemagick texlive texlive-latex-extra texlive-generic-extra texlive-generic-recommended texinfo dia texlive texlive-latex-extra texlive-extra-utils texlive-generic-recommended texi2html python-pygraphviz python-kiwi python-pygoocanvas libgoocanvas-dev python-pygccxml

## Annexe C

---

```
# Par mesure supplémentaire, il est préférable d'installer le gestionnaire de paque-
tage "Synaptic" puis le lancer afin de vérifier si les dependances sont bien à jours : sudo
apt-get install synaptic sudo synaptic
```

```
# Extraire le paquetage de NS-3 précédemment téléchargé : tar -xvf ns-allinone-
3.23.tar.bz2
```

```
ls
```

```
# Accéder au repertoire décompressé : cd ns-allinone-3.23/
```

```
ls
```

```
# Compiler (construire) NS-3 grace au scripte "build.py" : ./build.py --enable-examples
--enable-tests
```

```
sudo synaptic
```

### **Modélisation mathématique de l'ordonnancement**

On considère un système LTE où il y a  $N$  SBs (Scheduling Blocks est l'entité minimale de ressource allouée à un utilisateur, un SB représente deux Resource Block RB consécutifs, avec une puissance égale partagée sur tous les SBs, en plus il y a  $K$  utilisateurs et le débit minimal demandé par le  $k$ -ème utilisateur est  $R$  Mbit/s.

On définit un SB comme un ensemble de  $N_s$  symbole OFDM dans le domaine de temps TD et  $N_{sc}$  sous porteuse dans le domaine de fréquence FD, en plus en raison des signaux de contrôles et d'autres pilotes, seulement  $N_{sc}^d(s)$  des  $N_{sc}$  sous porteuses seront utilisées pour transmettre les données du  $s$ -ème symbole OFDM, avec  $s \in \{1, 2, \dots, N_s\}$  et que  $N_{sc}^d(s) \leq N_{sc}$ .

Supposant aussi  $j \in \{1, 2, \dots, J\}$  ;

$J$  : le nombre total de MCS (Modulation and Coding Scheme) supporté, alors soit  $R_j^{(c)}$  le code associé au MCS  $j$ ,  $M$  est la constellation du MCS  $j$  et  $T_s$  est la durée du symbole OFDM, alors le débit  $r(j)$  atteignable par un seul SB est :

de  $N_s$  symbole OFDM dans le domaine de temps TD et  $N_{sc}$  sous porteuse dans le domaine de fréquence FD, en plus, en raison des signaux de contrôles et d'autres pilotes, seulement  $N_{sc}^d(s)$  des  $N_{sc}$  sous porteuses seront utilisées pour transmettre les données du  $s$ -ème symbole OFDM,

avec  $s \in \{1, 2, \dots, N_s\}$  et que  $N_{sc}^d(s) \leq N_{sc}$ .

Supposant aussi  $j \in \{1, 2, \dots, J\}$  avec  $J$  : le nombre total de MCS (Modulation and Coding Scheme) supporté, alors soit  $R_j^{(c)}$  le code associé au MCS  $j$ ,  $M$  est la constellation du MCS  $j$  et  $T_s$  est la durée du symbole OFDM, alors le débit  $r(j)$  atteignable par un seul SB est :

$$r^{(j)} = \frac{R(c) \log_2(M_j)}{T_s N_s} \sum_{s=1}^{N_s} N_{sc}^{Ns}(s) \quad (1)$$

Maintenant, on définit  $g_{K,n}$  comme CQI (Channel Quality Indicator) de l'utilisateur  $k$  sur le  $n$ -ème SB. Le CQI du  $k$ -ème utilisateur sur les  $N$  SBs est  $g = [g_{K,1}, g_{K,2}, \dots, g_{K,N}]$  et pour tous les utilisateurs sur tous les BSs  $G = [g_1, g_2, \dots, g_K]$ .

Le CQI est défini suivant le schéma de modulation codage du canal.

Le  $g_{K,n}$  est renvoyé par l'utilisateur  $k$  à la station de base (eNB) pour que l'ordonnanceur détermine quel MCS doit être sélectionné pour le  $n$ -ème SB associé à l'utilisateur  $k$ .

Pour l'utilisateur  $k$ , La valeur maximale CQI sur tous les SBs est :

$$n^* = \arg \max_{n \in N} (g_{K,n}) \quad (2)$$

Par la suite, on définit  $q_{K, \max}(g_{K,n}^*) \in \{1, 2, \dots, J\}$  la plus grande valeur du MCS atteinte par l'utilisateur  $k$  sur le  $n$ -ème SB pour la valeur CQI  $g_{K,n}^*$ , c'est-à-dire

$$Q_{k,\max}(g_{k,n}) = \arg \max(R_j^{(c)} \log_2(M_j) | g_{k,n}^*) \quad (3)$$

Aussi il ne faut pas oublier le fait qu'un SB est alloué à un et un seul utilisateur, pour cela on définit  $\rho$  l'indicateur d'allocation de ressource pour l'utilisateur  $k$  sur le  $n$ -ème SB, si  $\rho_{k,n} = 1$  alors le SB  $n$  est alloué à l'utilisateur  $k$  et que  $\rho_{k',n} = 0$  pour tous  $k' \neq k$

Posons  $b_{k,j}$  le MCS choisi par l'utilisateur  $k$  sur tous les SBs qui lui sont alloués,  $b_{k,j} = 1$  veut dire que MCS  $j$  est choisi par l'utilisateur  $k$ .

Le débit atteint par l'utilisateur  $k$  sur une seule sous trame est :

$$R_k = \sum_{n=1}^N \rho_{k,n} \sum_{j=1}^{q_{k,\max}(g_{k,n})} b_{k,j} r^{(j)} \quad (4)$$

Donc, le problème d'allocation de ressources radio a pour but de maximiser le débit des utilisateurs sous les contraintes suivantes :

$$\text{Max} \sum_{k=1}^K r_k \rho_{k,n} b_{k,j} \quad (5)$$

$$\text{Sous contrainte : } r \geq R \quad \forall k \quad (6)$$

$$\rho_{k,n} = 1, \rho_{k',n} = 0 \quad \forall k \neq k' \quad (7)$$

$$\sum_i^{q_i, \max(g_i, n)} b_{k,j} = 1 \quad (8)$$

(4) est la fonction objectif qui vise à maximiser le débit, (5) est une fonction visant à assurer un débit minimal pour tous les utilisateurs.

Certaine QoS, (6) assure qu'un SB peut être attribué à un seul utilisateur, (7) tous les SBs d'un utilisateur emploient un seul MCS (contrainte sur les réseaux LTE).

### M-LWDF

A un instant  $t$ , l'algorithme choisit un utilisateur  $k$  pour l'ordonnancement via la formule suivante :

$$k = \max_i \alpha_i \frac{d_i(t)}{d_i} W_i(t)$$

C'est pratiquement la même formule de l'algorithme EXP-PF, sauf que  $\alpha_i = -\log(p_i) T_i$  avec :

$p_i$  : La probabilité que le délai ne soit pas respecté.

$T_i$  : Le délai que l'utilisateur  $i$  peut tolérer.



Cet algorithme s'adresse principalement au flux temps réel qui exige le respect des délais, il donne de bons résultats dans ce contexte, par contre pour les flux non temps réel, ce n'est vraiment pas un bon choix vu que le délai n'est vraiment pas un paramètre important.

### EXP-RULE

$$k = \max_i \exp\left(\frac{a_i W_i(t)}{1 + \sqrt{X}}\right) \frac{d_i(t)}{d_i^-}$$

$A_i$ =délai maximum pour le  $i^{\text{eme}}$  utilisateur.

## Bibliographie

---

- [1] G.Baudoin, Coll., “ radiocommunications numériques/1: principes modélisation et simulation”, Dunod, 2002.
- [2] K. AL AGHA, G. PUJOLLE, G. VIVIER, “ Réseaux de mobiles et réseaux sans fil”, Eyrolles, 2001.
- [3] S. Tabbane, “ réseau mobile”, HERMES 1997.
- [4] C. DEMOULIN, M. VAN DROOGENBROECK, “Principe de base du fonctionnement du réseau GSM”, Revue de l'AIM, pages 3.18, N04, 2004.
- [5] G. PUJOLLE, “ Les réseaux”, Eyrolles, 2003.
- [6] J. tisal, “ le réseau GSM évolutions GPRS, I-MODE et WAP”, DUNOD, 4<sup>ème</sup> édition, juillet 2003
- [7] E.TONYE, L.EWOUSSOUA, “Planification et ingénierie des réseaux télécoms”, thèse Master 2 en télécommunication, Université de Yaounde.
- [8] E.Muerisse, “ L’UMTS et le haut-débit mobile”, février 2007
- [9] H. Holma, A.Toskala, “ UMTS les réseaux mobiles de troisième génération”, Eyrolles 2<sup>ème</sup> édition, 2001.
- [10] y. Bouguen, E. Harouin, F. wolff, “ LTE et les réseaux 4G”, Eyrolles, 2012.
- [11] 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.
- [12] Document fournit par Algérie Télécom [setif].
- [13] I. F. Akyildiz, D.M. Gutierrez-Estevez , E. C. Reyes, “The evolution to 4G cellular systems: LTE-Advanced“, December 2010.
- [14] R. Moray, “LTE and the evolution to 4G wireless: Design and measurement challeng”, 2013.
- [15] [www.journaldugeek.4G.lte](http://www.journaldugeek.4G.lte)
- [16] F. pujol, “le LTE à travers le monde”, les cahiers de l’ARCEP, Mai 2013.
- [17] [www.nextinpact.com/news/82595-couverture-4g-ou-se-situefrance-par-rapport-aux-autres-pays-globe.htm](http://www.nextinpact.com/news/82595-couverture-4g-ou-se-situefrance-par-rapport-aux-autres-pays-globe.htm)
- [18] [www.silicon.fr/nokia-siemens-4glte-australie-100g-europe-77157.html](http://www.silicon.fr/nokia-siemens-4glte-australie-100g-europe-77157.html)

## Bibliographie

---

- [19] G. SEIDE, “Planification d’un réseau de quatrième génération à partir d’un réseau de troisième génération”, thèse présentée en vue de l’obtention du diplôme de maîtrise des sciences appliquées, Génie Informatique, Université de Montréal, 2011.
- [20] “Quality of Service (QoS) and Policy Management in Mobile Data Networks”, 915-2731-01 Rev. D, December 2013, ([www.ixiacom.com](http://www.ixiacom.com)).
- [21] J.Pons, “réseaux cellulaires évolution du système UMTS vers le système EPS”, Les sélections technique de l’ingénieur 2<sup>ème</sup> édition, Mai 2013.
- [22] C.Gessner, A.roessler, M.kottkamp, “LTE - Technology Introduction“, ROHDE & SCHWARZ, Julie 2012.
- [23] A.Basit, Syed “Dimensioning of LTE Network Description of Models and Tool, Coverage and Capacity Estimation of 3GPP Long Term Evolution Radio Interface”, Doctoral dissertation, Master Thesis, Helsinki University of Technology, February 2009.
- [24] F. Bendaoud, M. Abdennebi, F. Didi, “Survey On Scheduling and Radio Resources Allocation in Lte”, International Journal of Next-Generation Networks (IJNGN) Vol.6, No.1, March 2014.
- [25] F.Afroz, S. Barua, K. Sandrasegran “Performznce Analysis Of FLS, EXP, LOG and M-LWDF Packet Scheduling Algorithms In Downlink 3GPP LTE System”, International Journal of Wirless & Nework (IJWMN) Vol 6, NO.5, October 2014.
- [26] X. LAGRANGE, “ Principes de fonctionnement de l’interface radio LTE”, Les sélections techniques de l’ingénieur, Mai 2013, Référence Internet TE7374.
- [27] M. Coupechoux, P. Martins, “Vers les systèmes radio mobiles de 4ème génération”, (2012).

## **Résumé**

Poussé par la demande croissante de services à haut débit sans fil, Long Term Evolution (LTE) a émergé comme une solution prometteuse pour les communications mobiles. Dans plusieurs pays à travers le monde, la mise en œuvre du réseau LTE est entrain de se développer. Son lancement implique le réaménagement des stations existantes, la mise en place de stations de base supplémentaires et la création de nouveaux terminaux mobiles adaptés au LTE.

LTE comprend une architecture plate tout- IP, et une interface radio qui lui a permit 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 davantage d'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 tel que les services multimédia qui exige une certaine qualité de service (QOS).

## **Abstarct**

Driven by the growing demand for high-speed broadband wireless services, Long Term Evolution (LTE) technology has emerged as a competitive alternative to mobile communications solution. In several countries around the world, the implementation of LTE has started. Its launching implies the refitting of the existing stations, the installation of additional basic stations and the creation of new mobile terminals adapted to the LTE.

LTE offers an IP-based framework and a radio interface that provides high data rates between base stations and mobile terminals. That increases the line capacity and makes it possible to offer the same data rate to more users or to provide higher data rates to the same number of users. Moreover, the reduction of the interval of transmission of the data (latency) should improve considerably the reactivity of the terminal, its autonomy is some lengthened in spite of connection to a service of data to broad band such as the services multi-media which requires a certain quality of service (QOS).