

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

Université Mouloud Mammeri De Tizi-Ouzou



Faculté De Génie Electrique Et D'informatique
DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE

**Mémoire de Fin d'Etude
de MASTER ACADEMIQUE**
Spécialité : Réseaux et télécommunication

Présenté par
Mohamed BOUCHELKIA
Lounis AMEZIANI

Mémoire dirigé par **Djamal ALOUACHE** et co-dirigé par **Omar AIT MAMMEUR**

Thème

**La qualité de service dans les réseaux
4G LTE**

Mémoire soutenu publiquement le 10/ Juillet/ 2018 devant le jury composé de :

M Djamal ALOUACHE
MCB, UMMTO, Promoteur

M Fethi OUALOUCHE
MCB, UMMTO, Rapporteur

M^{me} Leila LAHDIR
MAA, UMMTO, Examinatrice

Année universitaire : 2017/2018

Remerciements

Au terme de ce modeste travail, nous adressons nos remerciements à toute personne ayant contribué de façon directe ou indirecte afin que nous puissions achever ce projet de fin d'étude.

Nous remercions profondément Monsieur ALOUACHE Djamal enseignant chercheur au sein du département d'électronique de Tizi-Ouzou pour son encadrement de qualité, les efforts qu'il a fourni en essayant de perfectionner notre travail, pour son aide et ses conseils précieux et sa sympathie.

Nos remerciements vont également à Monsieur AIT MAMMEUR Omar pour son encadrement au sein de l'opérateur MOBILIS et pour l'ensemble des informations qu'il a mis à notre disposition.

Nos remerciements sont également destinés aux membres du jury : à Madame LAHDIR Leila, à Monsieur OUALOUCHE Fethi pour avoir accepté d'examiner notre travail.

Enfin, nos remerciant nos familles et particulièrement nos parents de nous avoir soutenu et d'avoir tout mis en œuvre pour que nous puissions atteindre un stade avancé de réussite. Nous ne serons jamais assez reconnaissant envers eux.

Dédicaces

Je dédie ce travail à mes parents pour leur soutien et encouragement.

A mes cinq adorables sœurs.

A mon cousin Salah pour son aide durant tout mon cursus universitaire.

A MESSAOUDI Saïd pour son soutien morale et matériel.

A Lounis et à toute sa famille.

A toute la promotion de réseaux et télécommunication 2017/2018.

Et à tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin.

Mohamed

Je dédie ce mémoire à ma chère mère et à mon cher père.

A mes frères et sœurs.

A mes ami(e)s.

A toute la promotion de réseaux et télécommunication 2017/2018.

A toutes les personnes qui m'ont aidé durant tout mon cursus universitaire.

Lounis

Résumé

La qualité de service est définie comme un ensemble de paramètres dont leur amélioration conduit à la satisfaction des abonnés de l'opérateur. L'optimisation de la qualité de service d'un réseau mobile est l'étape qui suit le dimensionnement puis l'installation du réseau, cette étape consiste à améliorer les différents paramètres de la qualité de service (QoS) au niveau de la partie d'accès au réseau (RAN). Dans ce travail nous avons procédé à la mesure des différents paramètres à l'aide d'un drive test, ce dernier est la méthode de mesure que l'opérateur MOBILIS utilise, elle consiste à prendre des valeurs instantanées des valeurs des paramètres. Afin de décider si les valeurs mesurées sont acceptables ou non, il faut qu'elles soient segmentées en classes. Donc nous avons développé une application qui sert à segmenter ses valeurs en classes selon la qualité de mesure. Cette classification est faite selon deux normes, la norme utilisée par l'opérateur MOBILIS et la norme définie par le 3GPP.

Mots clé : 4G, quatrième génération, LTE, qualité de service, QoS, drive test, téléphonie mobile, réseaux mobiles,

Sommaire

Liste des tableaux

Liste de figures

Liste des acronymes

Introduction3

CHAPITRE I

I.1. Préambule	5
I.2.Le Réseau Téléphonique Commuté (RTC).....	5
I.2.1.Architecture du RTC	6
I.2.2.Structure technique des réseaux RTC	7
I.2.3. Principe de fonctionnement des réseaux RTC	7
I.3. Les réseaux téléphoniques Mobiles	9
I.3.1. La première génération des réseaux mobiles (1G).....	9
I.3.2. La deuxième génération des réseaux mobiles (2G)	10
I.3.2.1. Le réseau GSM	11
I.3.2.2. Le réseau GPRS.....	16
I.3.3.La troisième génération des réseaux mobiles (3G)	19
I.3.4. La quatrième génération des réseaux mobiles (4G)	22
I.4. Discussion	23

CHAPITRE II

II.1. Préambule.....	25
II.2. Le LTE (Long TermEvolution	25
II.3. Notions de plan usager et de plan de contrôle.....	26
II.4. But de l'introduction des réseaux LTE/EPC	27
II.5. Architecture des réseaux LTE/EPC	28
II.5.1. E-UTRAN	29

II.5.2. EPC (Evolved Packet Core)	30
II.6. IMS (IP Multimedia Subsystem)	34
II.7. Les principales différences entre les réseaux LTE/EPC et les réseaux 3G	35
II.8. Capacités des réseaux LTE/EPC	36
II.9. performances des réseaux LTE/EPC	37
II.10. L'interface radio du LTE	38
II.10.1. Les modes de duplexage et structure de trame LTE	38
II.10.2. Pile protocolaires des interfaces radio en LTE	40
II.11. codage et modulation.....	43
II.12. Le MIMO (Multiple Input Multiple Output.....	45
II.13. La transmission multi-porteuse en LTE.....	46
II.14. Discussion	50

CHAPITRE III

III.1. Préambule.....	52
III.2. La Qualité de service	52
III.2.1. La mobilité en LTE	54
III.2.1.1. mesures utilisées dans l'évaluation du handover	55
III.2.2. Flexibilité et déploiement du spectre	57
III.2.3. permanence de la connexion.....	58
III.3. But de la qualité de service en LTE/EPC.....	58
III.4. Les paramètres de la qualité de service.....	58
III.4.1. Le QCI (Qos Class Identifier)	58

III.4.2. La priorité d'allocation ou de rétention (ARP)	60
III.4.3. le débit garanti GBR.....	61
III.4.4. Le débit maximal ou MBR	62
III.4.5. la gigue	62
III.5. Application des paramètres de la QoS dans le réseau.....	63
III.6. Fonctions de la gestion de la QoS dans le réseau	63
III.7. DiffServ et IntServ.....	64
III.8. Discussion	65

CHAPITRE IV

IV.1 Préambule.....	67
IV.2 drive-tests.....	67
IV.2.1. Composants de drive-test	68
IV.2.2. Déroulement du drive test	69
IV.3. Normes de classification des paramètres mesurés lors des deux drives tests	70
IV.3.1. Classification des paramètres selon la norme de MOBILIS	70
IV.3.2. Classification des valeurs mesurées selon la norme de 3GPP.....	73
IV.4. Classification des valeurs des paramètres du drive test (Batna).....	74
IV.4.1. Classification des paramètres selon la norme MOBILIS.....	74
IV.4.2. Classification des paramètres selon la norme 3GPP.....	79
IV.5. Classification des valeurs des paramètres du drive test (Alger).....	83
IV.6. Les paramètres de la QoS prédéfinis au niveau de l'EPC.....	90
IV.7. Discussion.....	91
Conclusion	92

Bibliographie

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Comparaison des technologies GSM, UMTS Release 99, HSPA et HSPA+ Release 8.

Tableau II.1 : Caractéristiques des réseaux LTE/EPC.

Tableau II.2 : Les différents débits associés aux différentes techniques utilisées en LTE/EPC

Tableau III.1 : Les paramètres associés aux classes du QCI.

Tableau IV.1 : la classification des valeurs du RSRP et du RSRQ selon MOBILIS.

Tableau IV.2 : Classification des valeurs du SINR et du débit selon MOBILIS.

Tableau IV.3 : Classification des valeurs des paramètres selon le 3GPP.

Liste des figures

Figure I.1 : Architecture globale du réseau RTC.

Figure I.2 : Un motif élémentaire et un cluster dans un réseau.

Figure I.3 : Architecture globale d'un réseau GSM.

Figure I.4 : Architecture globale d'un réseau GPRS.

Figure II.1 : Architecture globale du réseau LTE/EPC

Figure II.2 : Architecture de l'UTRAN.

Figure II.3 : Architecture de l'E-UTRAN.

Figure II.4 : Les deux modèles d'eNodeB.

Figure II.5 : Structure de la trame de type 1.

Figure II.6 : Structure d'une trame type 2.

Figure II.7 : Piles protocolaires des réseaux UMTS et LTE.

Figure II.8 : Protocoles du plan usager et du plan de contrôle.

Figure II.9 : Relation entre le codage de canal, la modulation et l'adaptation de lien.

Figure II.10 : Les différentes constellations des modulations possibles en LTE.

Figure II.11 : Principe de génération d'un signal OFDM.

Figure II.12 : Principe d'un Modulateur OFDM.

Figure II.13 : Principe de l'accès aux ressources avec OFDMA.

Figure II.14 : Comparaison entre la Transmission des séquences avec OFDMA et SC-FDMA

Figure III.1 : Architecture de réseau de transfert inter MME.

Figure III.2 : Évolution de SINR en fonction de RSRQ.

Figure IV.1 : Les composants d'un test-drive.

Figure IV.2 : Les deux Parcours effectués lors des drives tests.

Figure IV.3 : Organigramme de teste de classification des valeurs du RSRP et du RSRQ.

Figure IV.4 : Organigramme de teste de classification des valeurs du RSRP et du RSRQ.

Figure IV.5 : Classification des valeurs des paramètres selon le 3GPP.

Figure IV.6 : Fichier DAT contenant les données à classifier.

Figure IV.7: Parcours du drive test de Batna projeté sur le plan de la région.

Figure IV.8: Classification des valeurs du RSRP mesurées selon MOBILIS.

Figure IV.9: Pourcentage des classes des valeurs mesurées lors du drive test.

Figure IV.10 : classification des valeurs du RSRQ mesurées selon MOBILIS.

Figure IV.11: pourcentage des classes des valeurs mesurées du RSRQ.

Figure IV.12: Classification des valeurs du débit mesurées selon MOBILIS.

Figure IV.13: Pourcentage des valeurs du débit mesurées lors du drive test.

Figure IV.14: Classification des valeurs du RSRP mesurées selon le 3GPP.

Figure IV.15 : Classification des valeurs du RSRQ mesurées selon le 3GPP.

Figure IV.16: Classification des valeurs du débit mesurées selon le 3GPP.

Figure IV.17: Parcours du drive test projeté sur le plan de la région.

Figure IV.18: Classification des valeurs du RSRP selon MOBILIS.

Figure IV.19 : Pourcentages des classes des valeurs du RSRP enregistrées le long du parcours.

Figure IV.20: Classification des valeurs mesurées du RSRQ selon MOBILIS.

Figure IV.21: Pourcentage des classes des valeurs du RSRQ enregistrées lors de drive test.

Figure IV.22: Classification des valeurs mesurées du SINR selon MOBILIS.

Figure IV.23: Pourcentages des classes des valeurs du SINR enregistrées lors de drive-test.

Figure IV.24 : Classification des valeurs du débit enregistrées en chaque point du parcours.

Figure IV.25 : Les paramètres de la QoS alloués à un UE donné.

Liste des acronymes

3GPP	3 rd Generation Partnership Project.
ARP	Allocation RetentionPriority.
AuC	Authenfication Center.
BG	Border Gateway
BSC	Base Station Controller
BSS	Base Station SubSystem
BTS	Base tranceiver Station
CAA	Commutateur à Autonomie d'Acheminement
CCU	Channel Codec Unit
CEPT	Conférence Européenne des administrations des Postes et Télécommunications
CDMA	Code Division Multiple Access
CL	Commutateur Local
CoS	Classe of Service
CS	Circuit Switsching
CSCF	Call Session Control Function
CTP	Commutateur de Transit Principal
CTS	Commutateur de Transit Secondaire
EDGE	Enhanced Data Rates for GSM Evolution
EIR	Equipment Identity Register
eMBMS	evolved Multimedia Broadcast Multicast Services
eNodeB	evolved Node B
EPC	Evolved Packet Core.
EPS	Evolved Packet System.
E-UTRAN	Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network
DiffServ	Differentiated Service
FDD	Frequency Division Duplex
FDMA	Frequency Division Multiple Access
FTP	File Transfer Protocol
GBR	Guaranteed Bit Rate
GGSN	Gateway GPRS Support Node
GMSC	Gateway Mobile Switching Center
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile

HARQ	Hybrid Automatic Repeat Request
HLR	Home Location Register
HSDPA	Hight Speed Downlink Packet Access
HSS	Home Subscriber Server
HSUPA	Hight Speed Uplink Packet Access
IDFT	Inverse Discrete Fourier Transform
IMEI	International Mobile Equipment Identity
IMT	International Mobile Telecommunications
IMS	IP multimedia subsystem
IntServ	Integrated Service
IUT	International Union of Telecommunication
LTE	Long Terme Evolution
MAC	Media Access Control
MBR	Maximum bit Rate
MIMO	Multiple Input Multiple Output
MME	Mobility Management Entity
MSC	Mobile Switching Center
NSS	Network SubSystem
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
OSS	Operation Support Subsystem
PCU	Power Control Unit
PDCP	Packet Data Convergence Protocol
PDN	Packet Data Network
PGW	Packet GateWay
PS	Packet Switching
PTP	Point To Point
QCI	Quality of service Class Identifier
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
QoE	Quality of Equipement
QoS	Quality of Service.
RLC	Radio Link Control
RNC	Radio Network Controller
RNIS	Réseau Numérique à Intégration de Service

RRC	Radio Resource Control
RRM	Radio Resource Management
RSRP	Reference Signal Received Power
RSRQ	Reference Signal Received Quality
RSSI	Received Signal Strength Indicator
RTC	Réseau Téléphonique Commuté
RTCP	Real Time Transport Control Protocol.
SAE	System Architecture Evolution
SCFDMA	Single-Carrier Frequency Division Multiple Access
SGSN	Serving GPRS Support Node
SGW	Serving GateWay
SINR	Signal-to-Noise-plus-Interference Ratio
SIP	Session Initiation Protocol
SISO	Single Input Single Output
STN	Switched Telecommunication Network
TDD	Time Division Duplex
TDMA	Time Division Multiple Access
UE	User Equipement
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
UWB	Ultra Wide Band
VLR	Visitor Location Register.
WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access
ZAA	Zone à Autonomie d'Acheminement
ZTP	Zone de Transit Principale
ZTS	Zone de Transit Secondaire

Introduction

Introduction

Les mutations technologiques des réseaux mobiles sans fil ont connu un essor sans précédent ces dernières années. La dernière génération des réseaux mobiles dite de quatrième génération (4G) apporte un véritable tournant dans le foisonnement et la disparité des générations précédentes [3]. En revanche, cette évolution a conduit à des problèmes de cohabitation et d'interopérabilité entre systèmes et de disponibilité des fréquences. D'autre part, ces réseaux mobiles doivent garantir des exigences de disponibilité, de continuité de service et de qualité de service (QoS). L'optimisation de ce dernier conduit à la satisfaction des abonnés, donc elle représente un défi majeur pour les opérateurs afin d'acquérir des parts du marché.

En effet, La qualité de service dans les réseaux est l'étape qui suit le dimensionnement et l'installation des réseaux. Elle sert donc à la vérification de plusieurs paramètres du signal radio fréquence. Ensuite l'opérateur prend des mesures nécessaires afin de remédier aux erreurs liées au dimensionnement du réseau pour atteindre les valeurs théoriques maximales fixées par le 3GPP. [35]

Afin de vérifier les paramètres de qualité de service, les opérateurs utilisent plusieurs méthodes, parmi ces méthodes on peut citer : les enquêtes sur la perception des services auprès des abonnés, les applications à base mobile de l'abonnés, analyse des données brutes par l'opérateur et les drive tests, cette dernière représente la méthode la plus coûteuse mais la plus fiable et offre des mesures temporelles et spatiales.

Dans le cadre de ce mémoire, nous allons étudier les techniques de mesures de la qualité de service avec drive test dans les réseaux 4G MOBILIS basées sur la mesure des paramètres de la qualité du signal radio fréquence.

Le choix de la mesure par drive test nous est imposé par l'opérateur. En effet, l'opérateur MOBILIS utilise la méthode du drive test pour l'ensemble des équipements d'ERICSSON.

Le travail que nous présenterons dans ce mémoire à été organisé en quatre chapitres :

Dans le premier chapitre nous décrirons les différentes générations des réseaux mobiles et leur évolution.

Dans le second chapitre, nous allons présenter la technologie et l'architecture de la dernière génération 4G/LTE.

Dans le troisième chapitre, nous allons décrire les différents paramètres de Qualité de Service et les principaux paramètres utilisés dans les réseaux mobiles 4G.

Dans le quatrième chapitre, nous exposerons le détail de la technique que nous avons utilisé ainsi que les résultats obtenus et leurs interprétations.

CHAPITRE I

Évolution des réseaux téléphoniques

I.1. Préambule :

En 1854, l'inventeur français Charles Bourseul fut le premier à imaginer un système de transmission électrique de la parole.[1] En 1877, l'américain Alexander Graham Bell construisit le premier téléphone capable de transmettre la voix humaine, tout en respectant sa qualité et son timbre, ce qui a donné une toute première idée à la naissance du premier réseau téléphonique appelé RTC.[1]

En France, un grand plan de développement des télécommunications a été mis en œuvre durant les années 1970, conduisant à un équipement rapide. Les recherches menées au Centre national d'étude des télécommunications (CNET) permirent ainsi la mise en place du premier central entièrement électronique du monde. France Télécom décida d'ouvrir son réseau numérique aux abonnés avec intégration de services (RNIS), commercialisé sous le nom de Numéris. Ce réseau permet d'améliorer certains services comme la télécopie ou l'interconnexion d'ordinateurs. [1]

I.2. Le Réseau Téléphonique Commuté (RTC) :

Le Réseau Téléphonique Commuté RTC, C'est le plus vieux système de téléphonie utilisé. Connu plus brièvement sous RTC (en anglais STN : Switched Telephone Network), est le réseau téléphonique utilisé dans la vie de tous les jours et qui nous donne accès à de multiples fonctions. En effet, outre le fait de pouvoir transmettre la voix, le RTC nous permet d'utiliser de multiples services tel que la transmission et réception de fax, l'utilisation d'un minitel, l'accès à Internet etc. Il représente donc l'un des protocoles de discussion utilisé sur la paire de cuivre boucle locale.

Dans le cas d'un réseau construit par un opérateur public, on parle parfois de RTCP (en anglais PSTN : Public Switched Telephone Network).

I.2.1. Architecture du RTC :

Dans un réseau RTC on distingue:

- **Zone à Autonomie d'Acheminement (ZAA):** cette zone, la plus basse de la hiérarchie, comporte un ou plusieurs Commutateurs à Autonomie d'Acheminement (CAA) qui eux-mêmes desservent des Commutateurs Locaux (CL). Les commutateurs locaux ne sont que de simples concentrateurs de lignes auxquels sont raccordés les abonnés finals.

- **Zone de Transit Secondaire (ZTS):** cette zone comporte des Commutateurs de Transit Secondaires (CTS). Il n'y a pas d'abonnés reliés aux CTS. Ils assurent le brassage des circuits lorsqu'un CAA (Commutateur à Autonomie d'Acheminement) ne peut atteindre le CAA destinataire directement (réseau imparfaitement maillé).

- **Zone de Transit Principal (ZTP):** cette zone assure la commutation des liaisons longues distances. Chaque ZTP comprend un Commutateur de Transit Principal (CTP), l'un des commutateurs de transit principal (CTP) est relié au commutateur international de transit.

L'architecture du RTC est illustrée dans la figure I.1.

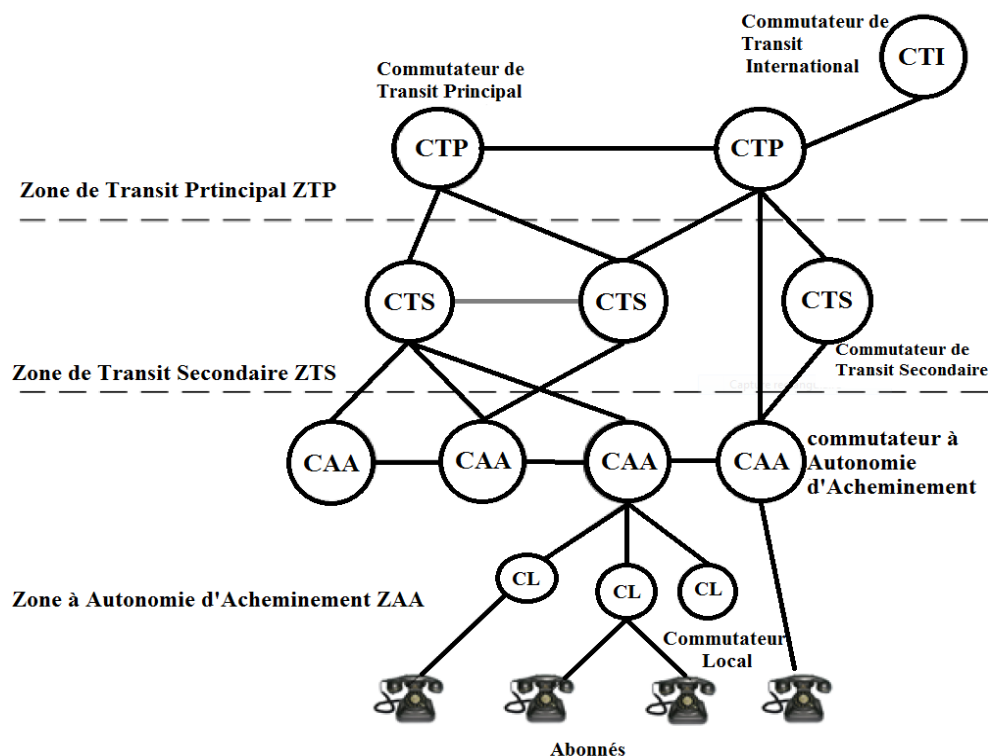


Figure I.1: Architecture Globale du réseau RTC. [2]

I.2.2. Structure technique des réseaux RTC :

On distingue deux grandes parties dans ce réseau :

- **Le réseau capillaire ou de distribution:** c'est le raccordement depuis chez l'abonné à un point d'entrée du réseau. Cette partie du réseau est analogique et elle comporte les Points de Concentration (PC), les Sous Répartiteurs (SR) jusqu'aux répartiteurs Généraux (RG).

- **Le réseau de transit:** effectue pour sa part le transport des communications entre les nœuds de transit (concentrateurs / commutateurs). Cette portion du réseau est actuellement numérique.

La numérisation offre plusieurs avantages. Puisqu'il ne s'agit que de 0 et de 1, la qualité du signal est préservée, quelle que soit la distance entre les convertisseurs (analogique numérique et numérique analogique). Ce n'est pas le cas des communications analogiques où le signal est pollué à chaque manipulation.

La gestion générale du réseau discerne trois fonctions :

La distribution: celle-ci comprend essentiellement la liaison d'abonné ou boucle locale (paire métallique torsadée) qui relie l'installation de l'abonné au centre de transmission de rattachement.

La commutation: c'est la fonction essentielle du réseau, elle consiste à mettre en relation deux abonnés, maintenir la liaison pendant tout l'échange et libérer les ressources à la fin de celui-ci. C'est le réseau qui détermine les paramètres de taxation et impute le coût de la communication à l'appelant

La transmission: c'est la partie support de télécommunication du réseau, cette fonction est remplie soit par un système filaire cuivre (en voie de disparition), de la fibre optique ou des faisceaux hertziens. Aujourd'hui, le réseau est pratiquement intégralement numérisé, seule la liaison d'abonné reste analogique. [2]

I.2.3. Principe de fonctionnement des réseaux RTC :

Chaque client se voit attribuer un numéro personnel. Les équipements téléphoniques sont conçus pour pouvoir mettre en relation tous les abonnés:

- Soit en empruntant les lignes du réseau public RTC, ce sont des communications extérieures.

- Soit au sein d'une même entreprise, il s'agit ici de communications internes traitées par un autocommutateur privé. L'accès au réseau public se fait alors en composant un préfixe supplémentaire.

À l'origine, les opératrices connectaient manuellement la ligne de l'appelant à celle de l'appelé. Puis les commutateurs ont évolué. Passant de l'électrotechnique aux technologies électronique puis maintenant informatique, ils permettent des gains de productivité importants par l'automatisation de tâches répétitives et d'opérations standardisées.

Ces commutateurs constituent les différents points ou nœuds du Réseau Téléphonique Commuté ou RTC. Ils sont reliés par des artères de transmission de différents types : câbles coaxiaux, à fibres optiques, faisceaux hertziens, satellites. Le RTC assure la connexion momentanée, de deux installations terminales afin de mettre en relation deux usagers. Ce réseau est actuellement le plus utilisé par les particuliers pour se relier entre eux ou à Internet. Le RTC public est très étendu, il atteint tous les pays de la planète et compte plusieurs centaines de millions d'abonnés. Il y a plusieurs types de commutateurs, chacun ayant une fonction spécifique :

- Le Commutateur à Autonomie d'Acheminement (CAA) ou commutateur local qui permet de mettre en relation les clients d'une même zone géographique. Ces commutateurs traitent également les numéros d'urgence (15, 17, 18 et 112) en joignant le service local concerné.

- Un appel régional passe par le commutateur local qui envoie un signal au commutateur régional appelé Centre de Transit, qui permet d'écouler les communications téléphoniques d'un CAA à un autre CAA.

- Si le numéro composé est destiné à l'international, c'est un Centre de Transit International qui traite l'appel. [1]

I.3. Les réseaux téléphoniques Mobiles :

La commercialisation du premier réseau mobile fut annoncée en 1979 au Japon. Ce qui fait que l'histoire des réseaux mobiles est relativement récente. Jusque-là, l'état de l'art en matière d'électronique et de micro-ondes n'autorisait pas l'émission/réception radio avec un équipement portable. Les progrès majeurs réalisés dans ces domaines ont permis de réduire de manière drastique la taille des terminaux.

Le premier réseau mis en service était déjà basé sur le concept de motif cellulaire, concept défini au sein des Bell Labs au début des années 1970. Cette technique est une composante technologique clé des réseaux mobiles car elle permet de réutiliser les ressources du réseau d'accès radio sur plusieurs zones géographiques données appelées cellule. À une cellule est ainsi associée une ressource radio (une fréquence, un code...) qui ne pourra être réutilisée que par une cellule située suffisamment loin afin d'éviter tout conflit intercellulaire dans l'utilisation de la ressource. Conceptuellement, si une cellule permet d'écouler un certain nombre d'appels simultanés, le nombre total d'appels pouvant être supportés par le réseau peut être contrôlé en dimensionnant les cellules selon des tailles plus ou moins importantes.

Ainsi, la taille d'une cellule située en zone urbaine est habituellement inférieure à celle d'une cellule située en zone rurale. Les réseaux mobiles sont tous basés sur ce concept de cellule, c'est pourquoi ils sont aussi appelés réseaux cellulaires.

I.3.1. La première génération des réseaux mobiles (1G) :

La première génération de réseaux mobiles (1G) émerge au cours des années 1980 et est caractérisée par une multitude de technologies introduites en parallèle à travers le monde. On peut citer l'AMPS qui était utilisé aux États-Unis, le TACS qui était utilisé au Japon et au Royaume-Unis, le NMT aux pays scandinaves et le Radicom200 en France.

D'un point de vue technique, ces systèmes étaient basés sur un codage et une modulation de type analogique. Ils utilisaient une technique d'accès multiples appelée FDMA, associant une fréquence à un utilisateur. Par conséquent on trouve autant d'abonnés que de fréquences.

Tous les systèmes précédemment cités devaient fournir un service de téléphonie en mobilité mais ils ne parvinrent pas à franchir les frontières de leurs pays car il existe une

hétérogénéité entre les systèmes des différents pays qui implique l'incompatibilité des systèmes et l'impossibilité d'itinérance internationale, de plus cette génération de téléphonie mobile offre un service de télécommunication médiocre et très coûteux.

I.3.2. La deuxième génération des réseaux mobiles (2G):

La deuxième génération de réseaux mobiles (2G) est elle aussi marquée par le nombre de systèmes ayant été définis et déployés à travers le monde. On retrouve le GSM en Europe, le PDC au Japon et l'IS-95 aux États-Unis. Ces systèmes permettaient des transferts de données à faible débit. Les progrès technologiques réalisés dans la conception de circuits hyperfréquences et de dispositifs de traitement numérique du signal permirent une réduction drastique de la taille des terminaux, autorisant une réelle mobilité.

Le débit du réseau (2G) peut atteindre 118 Kbit/s en bande montante et 384 kb/s en bande descendante. Le progrès qu'apporte cette technologie par rapport à la précédente est qu'elle supporte la transmission de la voix ainsi que les données comme les messages textes courts plus connus sous le nom de SMS en utilisant les techniques TDMA et FDMA. La standardisation du réseau GSM a commencé en 1982 et il a été lancé en 1991.

La première amélioration principale apportée à la 2G est l'introduction de GPRS qui se base sur la transmission de données par paquets. Il fut également appelé 2.5G. Ensuite des améliorations supplémentaires sont apportées à ce réseau, comme l'EDGE qui fut appelé 2.75G. Les systèmes 2G ont pour principal point commun d'être basés sur des codages et des modulations de type numérique : le signal de parole est transformé en un train de bits avant d'être modulé et transmis sur l'interface radio.

De ces trois systèmes, le GSM est celui qui a rencontré le plus large succès. Il fut déployé dans un grand nombre de pays, permettant l'itinérance entre ces derniers. Ce succès fut rendu possible par une démarche de normalisation mise en place au niveau européen au début des années 1990. Le GSM devint ainsi le premier système déployé sur quasiment l'ensemble du globe. En 2012, on compte 212 pays possédant au moins un réseau GSM.

Par ailleurs, les réseaux GSM déployés à travers le monde couvrent plus de 90 % de la population mondiale. [3]

I.3.2.1. Le réseau GSM :

L'histoire de la téléphonie mobile (numérique) débute réellement en 1982. En effet, à cette date, le Groupe Spécial Mobile, appelé GSM, est créé par la Conférence Européenne des administrations des Postes et Télécommunications (CEPT) afin d'élaborer les normes de communications mobiles pour l'Europe dans la bande de fréquences de 890 à 915 [MHz] pour l'émission à partir des stations mobiles et 935 à 960 [MHz] pour l'émission à partir de stations fixes.[5]

Le GSM est un environnement complet et adéquat pour les communications téléphoniques de parole. En effet, il s'agit principalement d'un réseau commuté, c'est-à-dire de ressources allouées pour la totalité de la durée de la conversation. Rien ne fut mis en place pour les services de transmission de données, rassemblant l'interface radio mais aussi les interfaces entre le système radio et le système de commutation, d'un côté, et l'interface utilisateur, de l'autre. [4]

Le débit de transmission dans un réseau GSM peut atteindre 9.6 Kbit/s

A.1. Le concept cellulaire:

Le concept cellulaire est apparu pour remédier aux différents problèmes liés au nombre d'abonnés limité dans les réseaux de première génération ainsi que pour éviter des interférences entre les cellules adjacentes en utilisant des bandes de fréquence différentes. Le principe de ce système est de diviser le territoire en de petites zones, appelées cellules, et de partager les fréquences radio entre celles-ci. Ainsi, chaque cellule est constituée d'une station de base (reliée au Réseau Téléphonique Commuté, RTC)

Graphiquement, On représente une cellule par un hexagone car il a la forme géométrique la plus proche à un cercle, mais la forme réelle des cellules dépend de la nature du terrain, de sa topologie et la densité de constructions dans un périmètre donné.

Afin de pouvoir couvrir la totalité du territoire, la disposition des cellules est plus dense dans les zones urbaines, moins dense dans les zones périurbaine et encore moins dense dans les zones rurales. La taille des cellules aussi se diffère d'une zone à une autre, on trouve :

- des Pico-cell ; $4 \text{ m} < R < 200 \text{ m}$.
- des Micro-cell ; $200 \text{ m} < R < 2 \text{ Km}$.

- des Macro-cell ; $1 \text{ Km} < R < 30 \text{ Km}$.

On associe à chaque BTS un nombre de canaux de fréquence à bande étroite (124 canaux) et comme ces fréquences ne peuvent pas être utilisées dans les cellules adjacentes afin d'éviter les interférences, on définit des motifs aussi appelés clusters dans lesquels chaque fréquence est utilisée une seule fois, par contre, on peut retrouver la même fréquence dans un autre motif. La figue I.2 montre un tel motif et un ensemble de motifs.

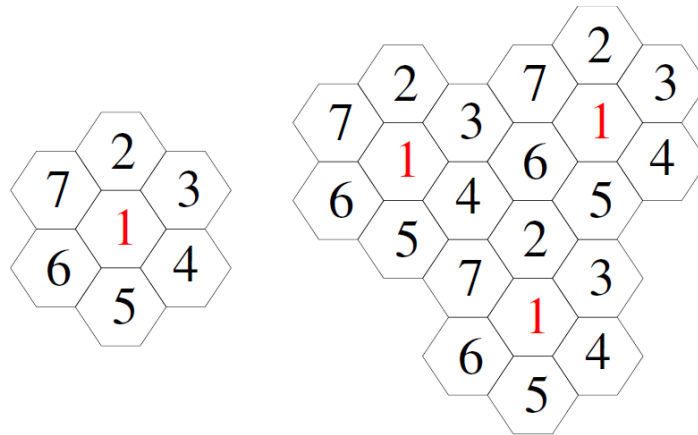


Figure I.2: un motif élémentaire (à gauche) et un cluster dans un réseau (à droite). [5]

A.2. Architecture Globale du réseau GSM :

L'architecture d'un réseau GSM peut être divisée en trois sous-systèmes :

A.2.1. Le sous-système radio (BSS) :

Il est constitué de plusieurs entités dont le mobile, les BTS et les BSC.

Le téléphone et la carte SIM sont les deux seuls éléments auxquels un utilisateur a directement accès. Ces deux éléments suffisent à réaliser l'ensemble des fonctionnalités nécessaires à la transmission et à la gestion des déplacements.

La BTS est l'élément central, que l'on pourrait définir comme un ensemble émetteur/récepteur pilotant une ou plusieurs cellules. Dans le réseau GSM, chaque cellule principale au centre de laquelle se situe une BTS peut-être divisée en plus petites cellules, grâce à des antennes directionnelles. Il est fréquent d'avoir des antennes tri-sectorielles, qui couvrent un peu plus de 120° . Ces antennes ont l'allure de paires de segments verticaux, disposées en triangle.

C'est la BTS qui fait le relais entre le mobile et le sous-système réseau. Comme le multiplexage temporel est limité à 8 time-slot (intervalles de temps), une BTS peut gérer tout au plus 8 connexions simultanées par cellule.

Le BSC gère une ou plusieurs BTS et communique avec elles, il remplit des fonctions au niveau de la communication ainsi que de l'exploitation.

Le contrôleur agit comme un concentrateur en transférant les signaux reçus par les différentes BTS qu'il contrôle vers une sortie unique.

Dans le même temps, le BSC remplit le rôle de relais pour les différents signaux d'alarme destinés au centre d'exploitation et de maintenance et gère les ressources radio pour la zone couverte par les différentes stations de base qui y sont connectées.

A.2.2. Le sous-système réseau ou d'acheminement (NSS) :

Les éléments du NSS prennent 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 itinérance. Le NSS est constitué de :

- . Centre de Commutation Mobile (MSC)
- . Registre de Localisation Principal (HLR) ou Centre d'Authentification (AuC)
- . Registre de Localisation des visiteurs (VLR)
- . Registre d'identité d'équipement (EIR)

La figure I.3 montre l'architecture globale du réseau GSM.

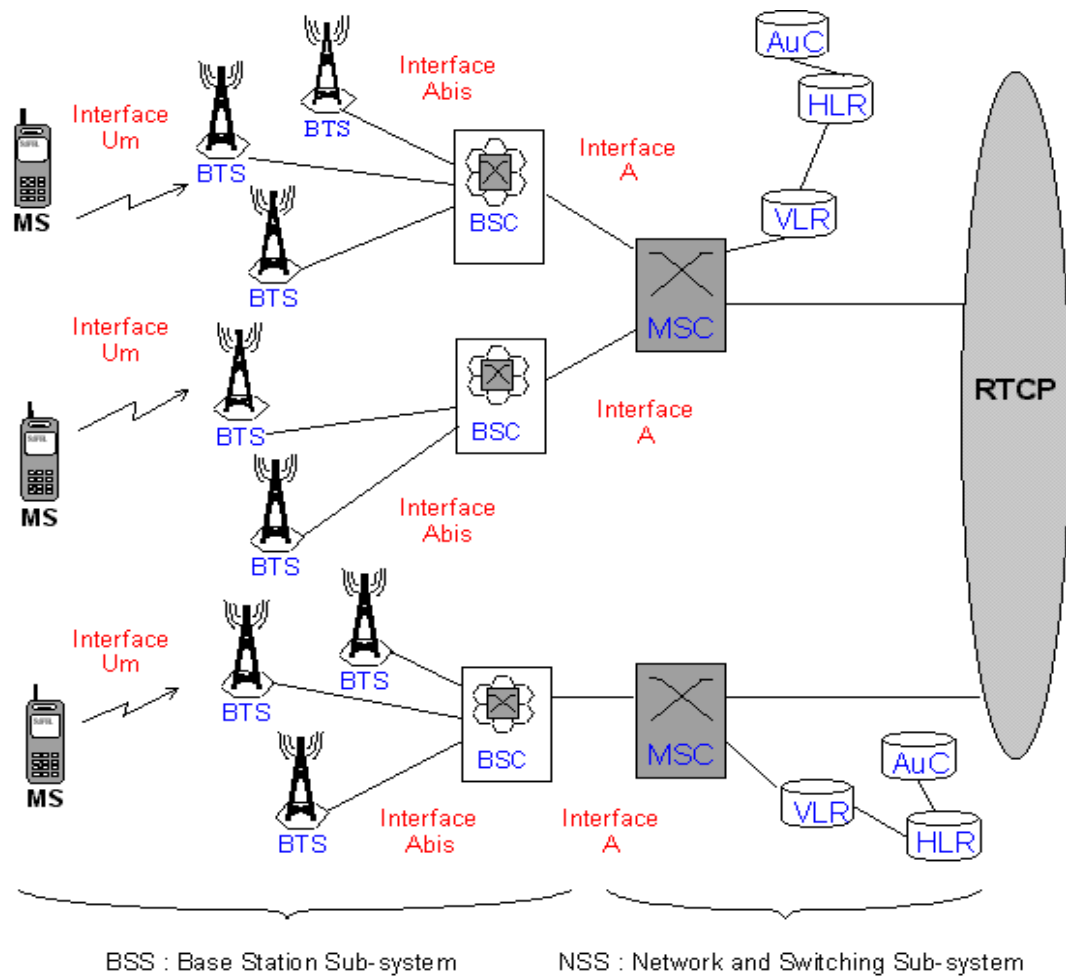


Figure I.3: Architecture globale d'un réseau GSM. [6]

- **Fonction du MSC**

Sa principale fonction est d'assurer l'interconnexion entre les abonnés mobiles et les abonnés du réseau commuté public (RTC) ou de son équivalent numérique, le réseau RNIS (ISDN en anglais). Il permet encore de mettre à jour les différentes bases de données (HLR et VLR) qui donnent toutes les informations concernant les abonnés et leur localisation dans le réseau.

Les commutateurs MSC d'un opérateur sont reliés entre eux pour la commutation interne des informations. Des MSC servant de passerelle (Gateway Mobile Switching Center, GMSC) sont placées en périphérie du réseau d'un opérateur de manière à assurer une interopérabilité entre réseaux d'opérateurs.

- **Fonction du HLR**

Il s'agit d'une base de données avec des informations essentielles pour les services de téléphonie mobile et avec un accès rapide de manière à garantir un temps d'établissement de connexion aussi court que possible. Le HLR contient :

- Toutes les informations relatives aux abonnés : le type d'abonnement, la clé d'authentification K_i qui n'est connue que par un seul HLR et d'une seule carte SIM, les services souscrits, le numéro de l'abonné (IMSI), etc.

- Un certain nombre de données dynamiques telles que la position de l'abonné dans le réseau. En fait, son VLR et l'état de son terminal (allumé, éteint, en communication ou libre). Ces données sont mise à jour par le centre de commutation mobile (MSC).

- **Fonction de l'AuC**

L'AuC remplit la fonction de la vérification de l'authenticité des abonnés afin d'éviter l'usurpation des identités, pour cela la norme GSM a prévu deux mécanismes :

- Le chiffrement des transmissions radio, c'est un chiffrement faible qui ne résiste pas vraiment à la cryptanalyse.

- L'authentification des utilisateurs du réseau au moyen d'une clé K_i , qui est à la fois présente dans la station mobile et dans le centre d'authentification. On utilise généralement l'algorithme de cryptage A5/1 qui est un algorithme de chiffrement par flot. [5]

- **Fonction du VLR**

Le VLR est une base de données contenant une copie de la majorité des données stockées dans le HLR avec lequel il communique lorsqu'un abonné entre dans la zone de couverture du centre de commutation mobile auquel il est rattaché. Il s'agit cependant de données temporaires qui existent seulement tant que le mobile de l'abonné est actif dans la zone particulière couverte par le registre VLR. Lorsque l'abonné quitte cette zone de couverture, ses données sont transmises à un autre VLR ; les données suivent l'abonné en quelque sorte. [6]

- **Fonction de l'EIR**

L'EIR a pour fonction l'enregistrement de l'IMEI de l'équipement, ce dernier représente l'identité de l'équipement et ne peut pas être modifié sans provoquer des altérations au terminal. Tant que cette opération se fait pour la vérification des équipements appartenant à d'autres opérateurs, un opérateur peut décider de refuser l'accès au réseau. Ce n'est pas tous les opérateurs qui implémentent une telle base de données.

A.2.3. Le sous-système d'exploitation et de maintenance (OSS) :

Cette partie du réseau regroupe trois activités principales de gestion : la gestion administrative, la gestion commerciale et la gestion technique.

Le réseau de maintenance technique s'intéresse au fonctionnement des éléments du réseau. Il gère notamment les alarmes, les pannes, la sécurité, . . . Ce réseau s'appuie sur un réseau de transfert de données, totalement dissocié du réseau de communication

GSM. [5]

I.3.2.2. Le réseau GPRS :

Le réseau GPRS connu sous le nom de 2.5G est tout d'abord un réseau IP. Il est donc constitué de routeurs IP. En plus de quelques modules introduits, le réseau GPRS est basé sur l'architecture du réseau GSM, sans apporter aucun changement à ce dernier.

La mise en place d'un réseau GPRS permet de proposer un transfert de données en mode paquet. Cette méthode est la plus adaptée à la transmission de données. En effet les ressources ne sont allouées à un abonné que lorsqu'il y a un échange de données.

Le débit de transfert dans un réseau GPRS peut atteindre 50 Kbits/s en pratique.

Afin d'assurer une meilleure mobilité, de nouvelles entités sont introduites :

- Le nœud de service SGSN.
- Le nœud de passerelle GGSN.
- Une troisième entité supplémentaire a été ajoutée, le BG qui joue un rôle de sécurité.

L'architecture du réseau GPRS est illustrée sur la figure I.4.

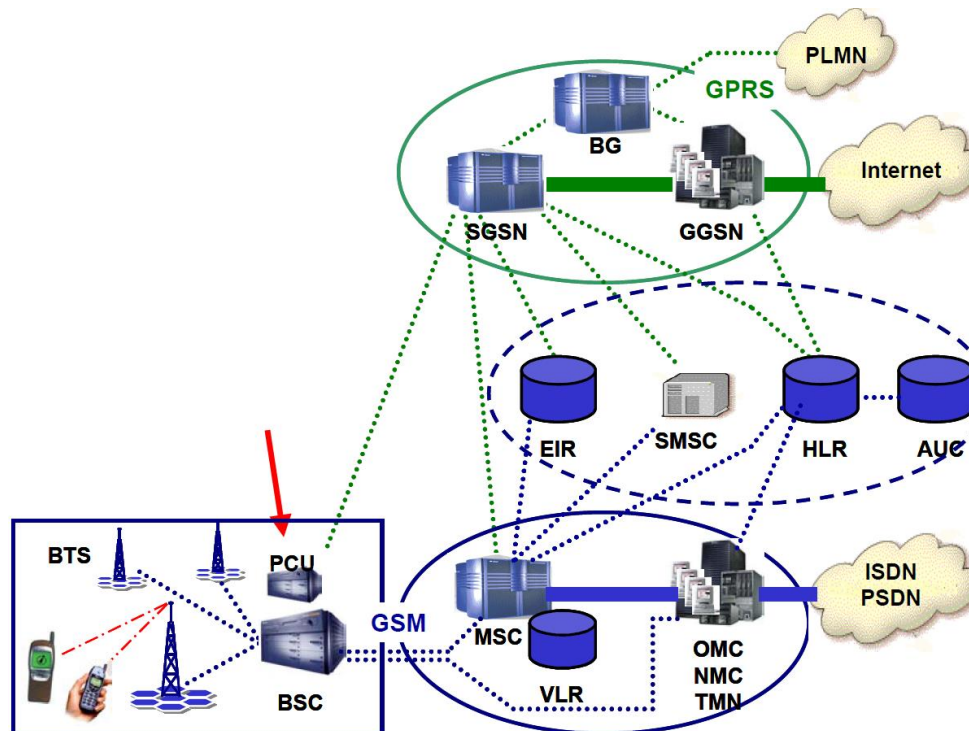


Figure I.4: Architecture globale d'un réseau GPRS. [5]

B.1. Les équipements du réseau GPRS :

B.1.1. Le nœud de service SGSN :

Le nœud de service appelé SGSN est relié au sous-système radio du réseau GSM. Il est donc en interconnexion avec tous les équipements GSM qui assurent la transmission radio : BTS, BSC, HLR, VLR...Le SGSN joue un rôle d'un contrôleur de terminaux connectés au réseau GPRS présents dans la zone de surveillance.

B.1.2. Le nœud de passerelle GGSN :

Le nœud de passerelle GGSN est relié à un ou plusieurs réseaux de données. Le GGSN est défini comme un routeur qui gère la transmission de paquets de données reçus et envoyés.

B.1.3. Le module de sécurité BG :

Le BG permet de connecter les réseaux GPRS via un réseau fédérateur et assure la sécurité pour la connexion entre ces réseaux.

Cet équipement n'est pas vraiment spécifié par les recommandations mais il joue un rôle d'interface avec les autres PLMN permettant ainsi de gérer les niveaux de sécurité entre les deux réseaux.

B.1.4. Le module PCU sur les BSC et le module CCU sur les BTS :

Dans un réseau GPRS la mise en place de nouvelles antennes afin de couvrir le territoire n'est pas nécessaire puisqu'il utilise les mêmes antennes que le réseau GSM, mais de nouveaux équipements sont ajoutés à la partie réseau du réseau GSM, notamment au niveau des BTS et des BSC :

- Ajout d'un module appelé CCU au niveau des BTS : cette entité permet la gestion des envois d'informations vers le SGSN.
- Ajout d'un module appelé PCU au niveau des BTS, MSC ou de SGSN : le PCU a pour fonction la gestion de l'échéancier de transmission (délais de transmission) et l'acquittement des blocs sur les canaux de données.

B.1.5. Le mobile GPRS :

Puisque le mobile d'un réseau GPRS doit avoir la possibilité de consulter de manière interactive des serveurs. Cela nécessite donc un débit plus important sur la voie descendante que sur la voie montante. Ce qui fait introduit le concept de multi-slot. En effet, contrairement au réseau GSM le terminal GPRS est en mesure d'envoyer et de recevoir des informations sur plusieurs intervalles de temps. Le nombre de ces intervalles peut varier de 2 jusqu'à 8 intervalles par canal, en fonction de la saturation ou de la disponibilité de la BTS. Le coût engendré par l'utilisation de l'ensemble de ces techniques est plus élevé, ce qui amène les opérateurs à proposer des terminaux GSM-GPRS capables de gérer des communications voie et data avec de tels débits.

B.2. Les apports du réseau GPRS :

Dans la première version du réseau GPRS, seul un service de transmission point à point (PTP) a été proposé, ensuite il a évolué et est devenu un réseau de données à part entière qui dispose d'un accès radio en utilisant une partie du réseau GSM. Ainsi, il permet de réaliser des transmissions point à multipoints (PTM).

Les débits prévus pour ce réseau permettent d'envisager des applications comme la consultation des sites web ou le transfert de fichiers en mode FTP.

La transmission de données par paquet sur la voie radio permet d'économiser les ressources radio. Un terminal peut émettre et recevoir des données sans qu'il monopolise un canal comme dans le cas du GSM. [7]

Un autre système intermédiaire qui fait partie de la deuxième génération se plaçant entre le GPRS et la troisième génération appelé EDGE et connu sous le nom de 2.75G. Il dispose de débits quatre fois supérieurs par rapport au débit du réseau GSM et permet un accès à internet. Ce système a été lancé aux États-Unis.

I.3.3. La troisième génération des réseaux mobiles (3G):

Cette génération des réseaux mobiles regroupe deux familles de technologies ayant connu un succès mondial : l'UMTS issu du GSM et largement déployé autour du globe, et le CDMA2000, issu de l'IS-95 qui est principalement déployé en Asie et en Amérique du nord. Dans ce qui suit nous nous concentrons sur l'UMTS car c'est la technologie qui a donné naissance au réseau LTE.

Le travail sur la troisième génération des réseaux mobiles a débuté en 1990 par l'IUT-T sous le nom de FPLMTS et est caractérisé par une volonté des industriels de télécommunication de définir une norme internationale dont les objectifs étaient d'offrir une itinérance globale aux utilisateurs, mais également de réduire les coûts unitaires des terminaux mobiles et des équipements de réseau grâce aux économies d'échelle. Ces entreprises, en particulier celles issues du monde GSM, se sont regroupés au sein d'un consortium appelé 3GPP. Cette démarche aboutit à la réalisation d'une première version de la norme UMTS, cette version est appelée UMTS Release 99 utilise la technologie W-CDMA Cette dernière est basée sur une technique d'accès multiples CDMA et supporte les deux schémas de duplexage FDD et TDD. [3]

La première ouverture d'un réseau 3G a été celle de NTT DoCoMo au Japon en octobre 2001. Ensuite sa normalisation s'est effectuée principalement sous le nom d'IMT 2000. La différence la plus importante avec la deuxième génération concerne l'introduction complète du mode paquet. En effet, Toutes les informations sont mises dans des paquets et transportées dans un réseau à transfert de paquets. L'augmentation des débits est assez importante puisqu'elle atteint 384 Kbit/s dans les services commercialisés lors de la

première génération de l'UMTS (3G) et 1.920 Mbit/s dans les nouvelles générations (HSDPA et HSUPA).

La troisième génération est caractérisée par l'utilisation des fréquences dans la bande des 2 GHz avec une bande passante d'environ 250 MHz, le codage numérique de la parole permettant un débit de 8Kbit/s, la compression de l'image animée avec la norme MPEG-2 ou MPEG-4 ainsi que l'utilisation de plusieurs types de modulations pour l'émission numérique du signal. L'accès au canal radio utilise les techniques FDMA, TDMA et CDMA. FDMA et TDMA sont déjà utilisées dans la génération précédente, mais avec l'inconvénient que la réutilisation des canaux radio dans des cellules connexes peut provoquer un brouillage ce qui fait que la méthode principale pour la 3G est le CDMA.

Le CDMA permet aux utilisateurs d'une même cellule de se partager un canal radio par des techniques d'étalement de spectre en allouant un code unique à chaque client, ce code étant utilisé pour étaler le signal dans une très grande bande passante, B , par rapport à la bande du signal utile, R . Plus le rapport B/R est important, plus le nombre d'utilisateurs potentiels augmente. L'avantage de cette méthode est la réutilisation des mêmes fréquences dans des cellules connexes.

Cette troisième génération de communication continue de se déployer et de s'améliorer. Tous les éléments nécessaires sont assemblés pour permettre une évolution rapide de ce domaine vers une quatrième génération. [8]

A. Les évolutions HSPA :

Afin de remédier aux problèmes liés aux limites de débit imposés par l'UMTS Release 99, les évolutions HSPA furent introduites :

- HSDPA : c'est une amélioration de débit au niveau de la voie descendante.
- HSUPA : c'est une amélioration de la voie au niveau de la voie montante.

Ces évolutions ont été définies par le 3GPP respectivement en release 5 (2002) et release 6 (2005) dans le but d'accroître les débits et de réduire la latence du système.

L'apport principal de l'évolution HSPA concerne le passage d'une commutation circuit sur l'interface radio, où des ressources radio sont réservées à chaque UE pendant toute la durée de la communication, à une commutation par paquets, où la station de base décide

dynamiquement du partage des ressources entre les UE actifs. Cette allocation dynamique des ressources est effectuée par une fonction d'ordonnancement (scheduling). La commutation par paquets optimise ainsi l'usage des ressources radio pour les services de données.

La modulation et le codage sont rendus adaptatifs afin de s'adapter aux conditions radio de l'UE au moment où il est servi, les débits instantanés étant accrus via l'utilisation de modulations à plus grand nombre d'états qu'en Release 99. La modulation 16QAM est introduite pour la voie descendante en complément de la modulation QPSK en vigueur en Release 99. De même, la modulation QPSK est introduite pour la voie montante en complément de la modulation BPSK utilisée en Release 99. Enfin, un nouveau mécanisme de retransmission rapide des paquets erronés, appelé HARQ défini entre l'UE et la station de base, afin de réduire la latence du système en cas de perte de paquets. Ces évolutions offrent aux utilisateurs des débits maximaux de 14,4 Mbit/s en voie descendante et de 5,8 Mbit/s en voie montante, ainsi qu'une latence réduite.

B. Les évolutions HSPA+ :

La mise sur le marché de terminaux attractifs comme les Smartphones et l'introduction de nouveaux services impliquant une connexion quasi-continue au réseau sont des facteurs qui ont mené à un essor brutal des usages et du trafic à écouler par les réseaux. Cependant, dans certains pays tels que le Japon et les États-Unis, la technologie UMTS et ses évolutions HSPA ont commencé à montrer leurs limites en termes de capacités.

Parmi les utilisateurs connectés au réseau 3G, quelques utilisateurs sont connectés continuellement. Cette augmentation du trafic implique un partage de ressources entre les utilisateurs, et dans la plupart des cas une réduction des débits qui leur sont délivrés ainsi qu'une dégradation de la qualité de service, ce qui cause un véritable problème aux opérateurs. Afin de répondre à ces contraintes le 3GPP a effectué deux améliorations consécutives :

- La définition d'évolutions du HSPA, appelées HSPA+ ;
- La définition du LTE.

Le HSPA+ a été normalisé par le 3GPP en release 7 (2007) et en release 8 (2008). Des améliorations importantes au niveau de la modulation ont été introduites, la modulation 64QAM en voie descendante est prise en charge ainsi que la modulation 16QAM en voie montante. En complément, une BTS peut transmettre des données à un terminal sur deux

porteuses simultanément en voie descendante grâce à une nouvelle technique introduite appelée DC-HSDPA. Ainsi, le spectre supportant la transmission des données est doublé (10 MHz), par conséquent, les débits fournis aux utilisateurs sont également doublés. La fonctionnalité MIMO est également introduite pour améliorer les débits en voie descendante. Les utilisateurs continuellement connectés sont mieux pris en compte via des fonctionnalités regroupées sous le terme de CPC. Les évolutions HSPA+ apportent ainsi des gains très significatifs en termes de débits, de capacité et de latence et renforcent la pérennité des réseaux 3G.

Le tableau suivant dresse une comparaison des technologies 3GPP hors LTE jusqu'à Release 8.

	GSM/GPRS/EDGE	UMTS release 99	HSPA	HSPA+ release 8
Débit maximal UL	118 Kbit/s	384 Kbit/s	5,8 Mbit/s	11,5 Mbit/s
Débit maximal DL	236 Kbit/s	384 Kbit/s	14,4 Mbit/s	42 Mbit/s
Latence	300 ms	250 ms	70 ms	30 ms
Largeur de canal	200 KHz	5 MHz	5 MHz	5 MHz avec possibilité de deux canaux simultanés
Technique d'accès multiple	FDMA/TDMA	CDMA	CDMA/TDMA	CDMA/TDMA
Modulation DL Modulation UL	GMSK 8PSK	QPSK BPSK	QPSK, 16QAM BPSK, QPSK	QPSK, 16QAM, 64QAM BPSK, QPSK, 16QAM
Bandes de fréquence usuelles	900/1800	900/2100	900/2100	900/2100

Tableau I.1: Comparaison des technologies GSM, UMTS Release 99, HSPA et HSPA+ Release8. [3]

I.3.4. La quatrième génération des réseaux mobiles (4G) :

La quatrième génération (4G LTE) a été envisagée dès novembre 2004 comme l'évolution à long terme de l'UMTS, lors d'un atelier organisé par le 3GPP au Canada. Elle se définit comme le très haut débit et présente une particularité par rapport aux réseaux mobiles qui le précèdent de ne proposer qu'un service de transmission de données en mode paquet (PS), dont la caractéristique principale est l'augmentation du débit maximal. [3]

La discussion sur l'accès multiple s'est rapidement conclue avec la découverte qu'il fallait quelque chose de nouveau au lieu de simplement étendre le WCDMA. Cette conclusion était le résultat de la vaste gamme d'exigences pour couvrir les différentes largeurs de bande et débits de données avec une complexité raisonnable. L'utilisation de l'accès multiple par répartition orthogonale des fréquences (OFDMA) dans la liaison descendante était évidente dès le début, et avait déjà été reflétée dans plusieurs des présentations de l'atelier original de LTE en 2004. Pour l'accès multiple ascendant, Access (SC-FDMA) est rapidement apparu comme le choix le plus favorable soutenu par de nombreux fournisseurs et opérateurs clé. À mesure que les débits de données augmentent, la latence doit baisser. L'exigence relative au temps d'aller-retour radio LTE a été fixée à 10 ms et délai d'accès inférieur à 300 ms. [9]

À l'instar de chaque nouvelle génération de réseau d'accès, le LTE a pour objectif de proposer une capacité accrue, une nouvelle d'accès à la ressource fréquentielle, de très hauts débits, une latence très réduite, une adaptation au spectre disponible ainsi qu'une simplicité d'exploitation du réseau.

Les exigences pour la technologie LTE ont porté également sur des gains de débit en comparaison au HSPA. Les objectifs de débit maximal définis pour le LTE sont les suivants:

- 100 Mbit/s en voie descendante pour une largeur de bande allouée de 20 MHz.
- 50 Mbit/s en voie montante pour une largeur de bande allouée de 20 MHz. [3]

I.4. Discussion :

Dans ce chapitre, nous avons résumé l'historique de l'évolution des réseaux de téléphonie mobile en partant du tout premier réseau de téléphonie mis en œuvre (RTC).

Ainsi, la mise en place du réseau GSM et son évolution vers le réseau GPRS sont les deux étapes les plus importantes dans l'évolution de la téléphonie mobile, car l'architecture de base des réseaux des générations suivantes n'a pas été trop modifiée. De nouveaux équipements sont ajoutés pour l'introduction de l'UMTS ensuite le LTE dans le but de remédier aux différents problèmes liés aux débits fournis, la latence et la complexité du réseau.

Dans le chapitre qui suit nous allons étudier profondément l'architecture du réseau LTE ainsi que les protocoles qu'il utilise.

CHAPITRE II

Étude des réseaux 4G

II.1. Préambule :

L'évolution des réseaux de troisième génération vers la quatrième génération inclue l'évolution de la partie d'accès radio qui est désignée par le terme LTE ainsi que l'évolution du réseau cœur désigné par le terme SAE ou EPC. Dans ce chapitre, nous ferons référence à l'architecture LTE/EPC. Notons que l'ensemble LTE/EPC est appelé EPS. Afin que le réseau puisse supporter les capacités des données par paquet qui provient des interfaces radio du réseau LTE, le réseau cœur EPC a été développé. Dans la suite de ce chapitre, nous allons présenter les fonctions essentielles des différents nœuds de la partie EPC ainsi qu'une analyse des fonctions du LTE.

II.2. Le LTE (Long Term Evolution) :

La technologie LTE s'appuie sur un réseau de transport à commutation de paquet IP. Cette technologie n'a prévu de mode d'acheminement pour la voix, autre que la VoIP, contrairement à la 3G qui transporte la voix en mode circuit.

Le LTE fait appel à des techniques d'antennes multiples déjà utilisés dans les réseaux sans fil WiFi, WiMAX et UWB, ainsi que de nouvelles techniques d'accès multiple (OFDMA et SC-FDMA).

L'objectif du LTE est de fournir une technologie d'accès radio à haut débit, à faible latence et à paquets optimisés, prenant en charge les déploiements flexibles de bande passante. Donc une nouvelle architecture réseau est conçue dans le but de prendre en charge le trafic à commutation de paquets avec une mobilité transparente, une qualité de service et une latence minimale.

Les attributs liés à l'interface radio du système LTE sont résumés dans le Tableau II.1. Le système prend en charge des largeurs de bande flexibles grâce aux techniques d'accès OFDMA et SC-FDMA. Outre le FDD (duplexage par répartition en fréquence) et le TDD (duplexage par répartition dans le temps), le FDD half-duplex est autorisé à prendre en charge des UEs à faible coût. Dans un fonctionnement FDD half-duplex, l'UE émet et reçoit dans des temps différents. Ceci évite le besoin d'un duplexeur coûteux dans l'UE. L'accès en liaison montante est basé sur un accès multiple par répartition en fréquence à porteuse unique (SC-FDMA), par contre, l'accès en liaison descendante est basé sur l'OFDMA.

Le système supporte un débit de 326 Mb/s dans la voie descendante avec une technique de multiplexage appelée MIMO (Multiple Input Multiple Output) dans la bande passante 20MHz. Puisque que cette technique n'est pas utilisée dans la première version de la technologie LTE,

les débits de la voie montante sont limités à 86 Mb/s dans la bande passante de 20 MHz. En plus des améliorations du débit, le système LTE fournit une efficacité spectrale cellulaire deux à quatre fois plus élevée que celle du système HSPA qui le précède. Des améliorations similaires sont observées dans le débit de bord de cellule tout en conservant les emplacements de sites identiques à ceux déployés pour HSPA. En termes de latence, l'interface radio LTE et le réseau fournissent une latence inférieure à 10 ms pour la transmission d'un paquet de la station à l'UE. [13]

Bande passante		1.25 MHz - 20 MHz
Duplexage		FDD, TDD, FDD half-duplex
Mobilité		350 km/h
Accès multiple	Voie descendante	OFDMA
	Voie montante	SC-FDMA
Débit de données maximal en 20 MHz	Voie descendante	173 Mbit/s pour MIMO 2×2 et 326 Mbit/s pour MIMO 4×4
	Voie montante	86 Mbit/s
Modulation		QPSK, 16-QAM et 64 QAM
Codage de canal		Code turbo
Autres techniques		Programmation sensible au canal, adaptation de lien, contrôle de puissance, ICIC et ARQ hybride

Tableau II.1: Caractéristiques des réseaux LTE/EPC. [13]

II.3. Notions de plan usager et de plan de contrôle :

Dans un système LTE/EPC on distingue deux types de données transitant dans le réseau : les données utilisateur, portées par le plan usager (user plan en anglais), et les données de signalisation transitant via le plan de contrôle (control plan en anglais).

Le plan usager d'une interface correspond à l'ensemble de protocoles et fonctions mis en œuvre sur cette interface pour le traitement des données en provenance ou à destination de l'utilisateur. Ces données peuvent être des appels voix, Internet, streaming vidéo, réseau privé,... etc.

Le plan de contrôle sert à contrôler le plan usager par l'établissement, la configuration, la relâche des connexions et l'échange d'informations et de contextes associés à l'UE. Il permet

ainsi d'établir le service et d'en assurer la continuité dans l'environnement du réseau mobile. Le plan de contrôle porte des messages en provenance ou à destination des UEs ainsi que d'autres messages échangés entre équipements.

Toutes les interfaces du réseau mobile ne portent pas nécessairement des données du plan usager ou du plan de contrôle, le HSS par exemple qui est une base de données relative aux abonnés ne porte pas des données du plan usager.

Lorsque les deux plans sont mis en œuvre sur une interface quelconque, ces deux plans sont matérialisés par des protocoles qui partagent un tronc commun et qui sont différents au niveau des couches protocolaires supérieures.

II.4. But de l'introduction de des réseaux LTE/EPC :

Le réseau LTE/EPC a pour objectif de répondre à nombreuses exigences qui nous ont conduits à des évolutions très importantes par rapport à l'architecture définie dans les réseaux 2G et 3G. Ces exigences sont :

- La migration des services circuit vers les services paquet, l'architecture LTE/EPC doit supporter uniquement des services paquet.
- Fournir une connectivité IP entre l'UE et le réseau de paquets de données PDN.
- L'architecture LTE/EPC doit pouvoir supporter un grand nombre d'utilisateurs actifs simultanés.
- Elle doit répondre aux exigences de la latence. La latence du plan de contrôle pour le passage d'un état de veille à un état actif doit être inférieure à 100ms. La latence du plan usager doit être inférieure à 5 ms dans des conditions de faible charge.
- Cette architecture doit assurer la continuité de la connexion sans interruption ainsi que la mobilité des utilisateurs.
- Permission d'une introduction rapide de nouveaux services.
- L'architecture LTE/EPC doit offrir une sécurité suffisante afin de protéger le réseau des usages malintentionnés et prendre en charge la mobilité vers les réseaux des générations précédentes.

Ce sont les principales exigences qui ont incité le 3GPP à introduire l'architecture EPS (LTE/EPC). [3]

II.5. Architecture des réseaux LTE/EPC :

La figure II.1 décrit l'architecture globale d'un réseau LTE/EPC, cette figure n'inclue pas seulement la partie EPC et LTE, mais aussi d'autres blocs, dans le but de montrer la relation entre eux. Pour plus de simplification, la figure montre seulement les interfaces de signalisation. Dans certains cas, les messages d'utilisateur et les messages de signalisation sont supportés par les interfaces (comme le S1, S2, ou l'interface 3G PS Gi), mais dans d'autres cas, les interfaces sont dédiées au plan de contrôle et supportent seulement les messages de signalisation (comme l'interface S6 et S7).

Les nouveaux modules spécifiques à l'EPS sont l'EPC (Evolved Packet Core) et l'E-UTRAN (Evolved-Universal Terrestrial Radio Access Network). D'autres modules de l'architecture classique UMTS sont aussi utilisés, comme l'UTRAN, le réseau de commutation de paquets (PS) et le réseau de commutation de circuits (CS) sont respectivement connectés au réseau IP public et au réseau téléphonique. L'IMS (IP Multimedia Subsystem) est situé en haut de l'EPC et donne accès aux réseaux IP public ou privé et au réseau téléphonique public via les différentes passerelles. Le HSS, gère les différentes informations relatives aux utilisateurs, il est présenté sur la figure comme un nœud central. [10]

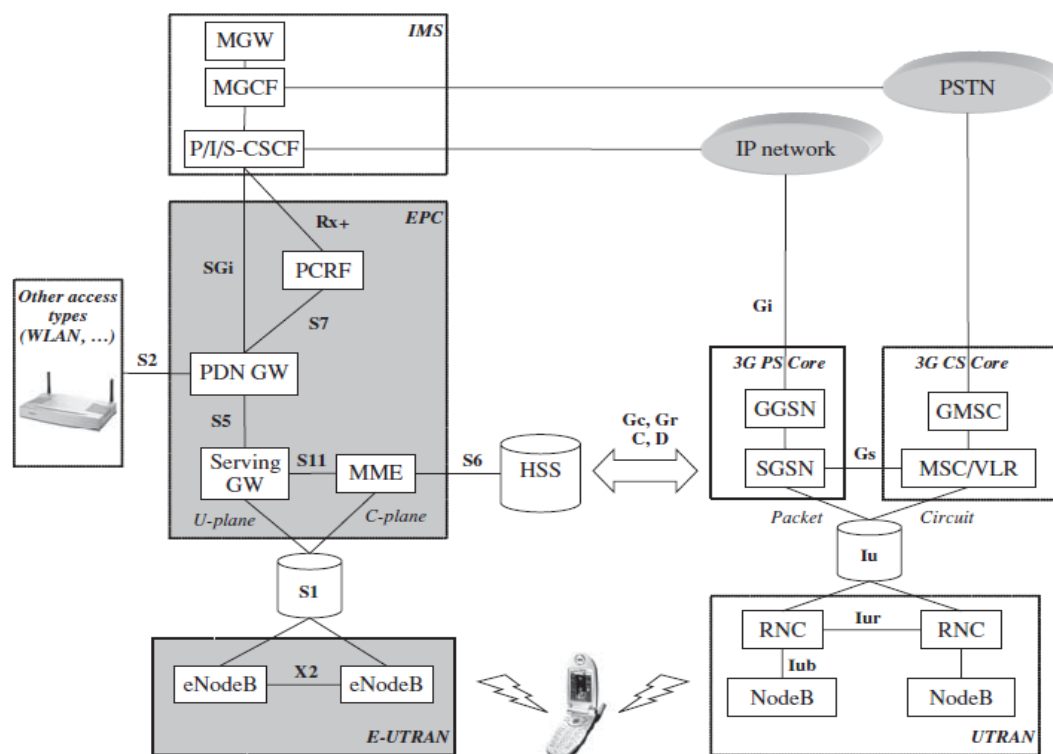


Figure II.1 : Architecture globale du réseau LTE/EPC. [10]

Des interfaces introduites à la figure précédente existent entre les nœuds de LTE/EPC :

- S1-MME entre MME et eNodeB.
- X2 entre deux eNodeBs.
- S1-U définie entre SGW et eNodeB.
- S5/S8 définie entre PGW et SGW.
- S6 définie entre HSS et MME.
- S11 définie entre MME et SGW.
- Gx définie entre PCRF et PGW. [3]

II.5.1. E-UTRAN (Evolved-Universal Terrestrial Radio Access Network) :

Apparu pour la première fois dans les premières releases du standard UMTS, l'architecture initiale de UTRAN a été très alignée avec les concepts du réseau d'accès du GSM, comme il est décrit dans la figure II.2, l'UTRAN est composé d'équipement radio connu sous le nom de NodeB qui est chargé de la transmission et la réception entre les interfaces radio, et d'un nœud spécifique s'appelant RNC (Radio Network Controller) chargé de la configuration des NodeBs et l'allocation des ressources radio. L'architecture générale de l'UMTS est basée sur l'architecture du réseau GSM, c'est-à-dire qu'un seul contrôleur RNC peut gérer un grand nombre de NodeBs, le nombre typique commercial est de quelques centaines de NodeBs.

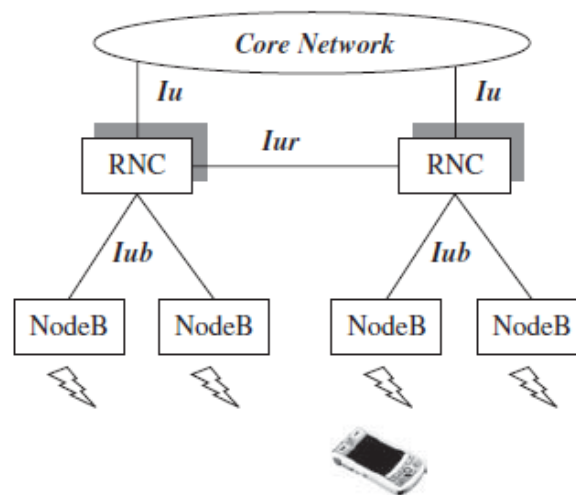


Figure II.2 : Architecture de l'UTRAN. [10]

Le RNC de la 3G hérité du BSC de la 2G a été supprimé dans l'E-UTRAN, ce dernier est donc composé d'un seul élément appelé eNodeB (evolved NodeB), cet élément est relié directement au réseau cœur en utilisant l'interface S1, par conséquent les fonctions supportées

par le RNC sont distribuées entre l'eNodeB et le réseau cœur MME ou l'entité SGW (Serving GateWay). La figure II.3 montre l'architecture de l'E-UTRAN.

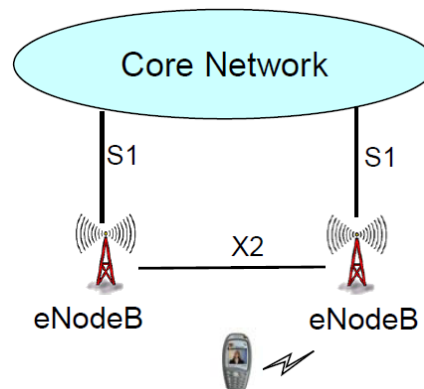


Figure II.3 : Architecture de l'E-UTRAN. [12]

Les eNodeBs sont reliés entre eux avec une nouvelle interface (X2) dans l'objectif de minimiser la perte de paquets due à la mobilité des utilisateurs. En effet, au fur et à mesure que le terminal se déplace sur le réseau d'accès des paquets non enregistrés stockés dans les anciennes files d'attente d'eNodeBs peuvent être transférés ou acheminés vers le nouvel eNodeB grâce à l'interface X2. Comme le montre la figure II.4, on peut trouver deux types différents d'eNodeB, omnidirectionnels et sectoriels.

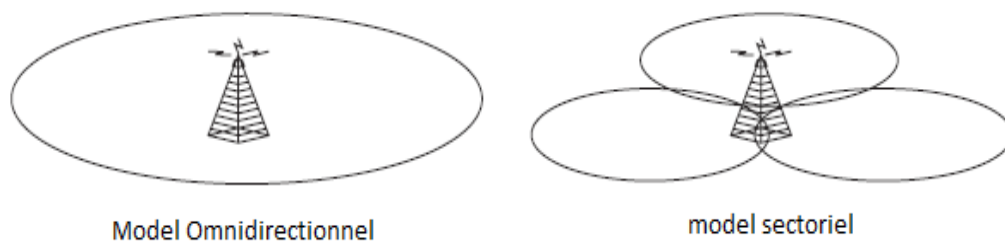


Figure II.4: Les deux modèles d'eNodeB. [10]

II.5.2. EPC (Evolved Packet Core Network) :

L'EPC est composé de plusieurs entités fonctionnelles:

- Le MME (Mobility Management Entity).
- The PCRF (Policy and Charging Rules Function).
- Le HSS (Home Subscriber Server)
- Le SGW (Serving Gateway).
- Le PDN Gateway (Packet Data Network). [10]

5.2.1. Le MME

Le MME est l'entité qui prend en charge toutes les fonctions du plan de contrôle liées à la gestion des abonnés et des sessions. Il est relié au HSS via l'interface S6. Il gère les fonctions de gestion de la mobilité et de la session listées ci-dessous: [11]

- **Signalisation EMM et ESM avec l'UE**

Les terminaux LTE disposent des protocoles EMM (EPS Mobility Management) et ESM (EPS Session Management) qui leur permettent de gérer leur mobilité (attachement, détachement, mise à jour de localisation) et leur session (établissement/libération de session de données) respectivement. Ces protocoles sont échangés entre l'UE et le MME

- **Authentication**

Le MME est responsable de l'authentification des UEs à partir des informations recueillies du HSS

- **Joignabilité de l'UE dans l'état ECM-IDLE (incluant paging)**

C'est l'entité MME qui est responsable du paging lorsque l'UE est dans l'état IDLE (en veille) et que des paquets à destination de l'UE sont reçus et mis en mémoire par le SGW.

- **Gestion de la liste de Tracking Area**

L'UE est informé des zones de localisation prises en charge par le MME, appelées Tracking Area. L'UE met à jour sa localisation lorsqu'il se retrouve dans une Tracking Area qui n'est pas prise en charge par son MME.

- **Sélection du SGW et du PGW**

C'est au MME de sélectionner le SGW et le PGW qui serviront à mettre en œuvre le Default Bearer au moment du rattachement de l'UE au réseau.

- **Sélection de MME lors du handover avec changement de MME**

Lorsque l'utilisateur est dans l'état ACTIF et qu'il se déplace d'une zone prise en charge par un MME à une autre zone qui est sous le contrôle d'un autre MME, alors il est nécessaire que le handover implique l'ancien et le nouveau MME.

- **Sélection du SGSN lors du handover avec les réseaux d'accès 2G et 3G**

Si l'utilisateur se déplace d'une zone LTE à une zone 2G/3G, c'est le MME qui sélectionnera le SGSN qui sera impliqué dans la mise en place du default bearer.

- **Roaming avec interaction avec le HSS nominal**

Lorsque l'utilisateur se rattache au réseau, le MME s'interface au HSS nominal afin de mettre à jour la localisation du mobile et obtenir le profil de l'utilisateur.

- **Fonctions de gestion du bearer**

C'est au MME d'établir pour le compte de l'utilisateur les porteurs par défaut (bearers) et porteurs dédiés nécessaires pour la prise en charge de ses communications.

- **Interception légale du trafic de signalisation**

L'entité MME reçoit toute la signalisation émise par l'UE et peut l'archiver à des fins de traçabilité.

5.2.2. PCRF

Le PCRF est un serveur qui déploie un ensemble de règles créées par un opérateur. Ces règles définissent la manière dont les ressources du réseau doivent être allouées aux abonnés et à l'application, ainsi que les conditions dans lesquelles elles sont allouées. Le PCRF communique avec le PGW via l'interface Gx pour gérer les informations relatives aux abonnés et au réseau conformément aux règles établies.

5.2.3. HSS

Le HSS est la base de données qui contient les différentes informations relatives aux abonnés au réseau EPS. Le HSS stocke, par exemple, l'emplacement de l'UE (au niveau du nœud MME); et les paramètres d'authentification. Le HSS est une évolution du registre de localisation HLR.

5.2.4. SGW

La SGW achemine la communication du plan d'utilisateur de l'UE vers la PGW. L'UE est attachée au même SGW pendant la session complète. La SGW a les responsabilités suivantes:

- **Ancrage de localisation pour la mobilité:**

La SGW agit comme un point d'ancrage local pour prendre en charge la mobilité des UEs entre les eNodeBs dans la zone de service du SGW.

- **Informations de routage réseau**

La SGW est chargée d'acheminer les données du plan de l'utilisateur vers la PGW correcte lorsque le terminal est connecté au réseau.

- **facturation pour les utilisateurs itinérants**

La SGW est chargée de facturer les utilisateurs itinérants, les utilisateurs sont connectés à un autre PGW. L'utilisateur est facturé pour le trafic selon le tarif applicable à un service particulier, un abonnement, etc.

- **Interception légitime**

Ces fonctions permettent aux organismes l'application de la loi d'intercepter ou d'écouter les communications par voie électronique, si elles sont autorisées par des mandats judiciaires ou réglementaires.

La SGW n'est modifiée que lorsque l'UE passe à une nouvelle zone de pool SGW alors que le PGW est normalement conservé tant que le terminal est connecté au réseau.

5.2.5. PGW

La PGW est la passerelle entre le réseau EPS interne et les réseaux IP externes, par exemple Internet ou un réseau local d'entreprise. Le terminal peut être connecté à plusieurs PGWs simultanément pour accéder à plusieurs réseaux de données par paquets. La PGW se charge de ce qui suit:

Contrôle de la politique de QoS

Pour simplifier la demande de bearer du point de vue de l'application; augmenter le contrôle de l'opérateur de ses ressources réseau et limiter les risques d'abus par les utilisateurs.

Le contrôle de politique et les fonctions de mise en application associent les flux de trafic des utilisateurs aux classes de QoS appropriées et exécutent la surveillance des tarifs pour empêcher les utilisateurs ou les flux de dépasser les limites de QoS spécifiées dans les contrats d'abonnement des utilisateurs. Le trafic de liaison descendante (DL) est régulé dans le PGW tandis que le trafic de liaison montante (UL) est des règles dans l'eNodeB.

Filtrage de paquets

Filtrage des paquets IP des réseaux IP externes.

Taxation des flux de service montants et descendants

La fonction de taxation est chargée de facturer l'utilisateur pour son trafic en fonction du tarif applicable à un service particulier, un abonnement, etc.

Interception légale

Le PGW est sur le chemin de signalisation pour l'établissement/la libération de bearer et sur le chemin du média (paquets de données échangés par l'UE). Il est donc un point stratégique pour l'interception légale des flux média et contrôle. [11]

II.6. IMS (IP Multimedia Subsystem) :

L'IMS est une plateforme générique offrant des services multimédias IP. IMS fournit des fonctions et des procédures communes pour le contrôle de la session, le contrôle de bearer, la politique et la facturation.

Du point de vue de l'architecture réseau, IMS doit être considéré comme un type d'accès au réseau cœur. Bien sûr, IMS peut être déployé sur l'accès UTRAN du réseau UMTS ainsi que sur le réseau 2G GPRS / EDGE. En raison de son orientation claire vers une prise en charge efficace de la transmission par paquets, Evolved UTRAN du réseau LTE ajoutera plus de valeur à IMS et permettra à des services plus exigeants en qualité d'être supportés de manière plus efficace. [10]

L'IMS est la seule architecture de service IP Multimédia, permettant l'accès à des serveurs d'application. Il permet d'établir des communications entre multiples terminaux/utilisateurs, et il permet d'intégrer des services temps-réel, pseudo temps-réel et non temps-réel dans une même session. De plus, il est possible de créer de nouveaux usages en utilisant des interactions entre ces services. [16]

La fonction CSCF (Call Session Control Function) joue un rôle clé dans l'architecture IMS, pour établir, terminer ou modifier des sessions IMS. La fonction CSCF est en fait un type spécifique de serveur SIP (Session Initiation Protocol). SIP est le protocole de base développé par l'IETF pour la gestion de sessions et de services multimédias IP. [10]

II.7. Les principales différences entre les réseaux LTE et les réseaux 3G :

Les normes LTE/EPC, définies par le consortium 3GPP sont dérivées des normes UMTS, mais apportent de nombreuses modifications et améliorations, particulièrement :

- Un débit descendant théorique allant jusqu'à 326,4 Mbit/s en mode MIMO 4×4.
- Un débit montant théorique allant jusqu'à 86,4 Mbit/s.
- Cinq classes de terminaux LTE ont été définies, elles supportent des débits allant de 10 Mbit/s (catégorie 1), jusqu'au débit maximal descendant prévu par la norme LTE (300 Mbit/s pour la catégorie 5). Tous les terminaux LTE doivent être compatibles avec les largeurs de bandes de fréquence allant de 1,4 à 20 MHz.
- Un débit de données trois à quatre fois plus important que celui de l'UMTS/HSPA.
- Une efficacité spectral trois fois plus élevée que la version de l'UMTS appelée HSPA.
 - Un temps de latence RTT (Round Trip Time) proche de 10 ms. par contre en HSPA et UMTS ce temps est entre 70 et 200 ms.
 - l'utilisation du codage OFDMA pour la liaison descendante et du SC-FDMA pour la liaison montante (au lieu du W-CDMA en UMTS).
 - des performances et des débits radios améliorés par l'utilisation de la technologie multi-antennes MIMO du côté équipement terrestre (eNodeB) et du côté terminal.
 - la possibilité d'utiliser une bande de fréquence allouée à un opérateur variant de 1,4 MHz à 20 MHz, permet une plus grande souplesse.
 - une large gamme de bandes de fréquences hertziennes supportées, autour de 800 MHz et de 2,6 GHz.
 - la prise en charge de plus de 200 terminaux actifs simultanément dans chaque cellule.
 - un bon support des terminaux en mouvement rapide. De bonnes performances ont été enregistrées jusqu'à 350 km/h, voire jusqu'à 500 km/h, en fonction des bandes de fréquence utilisées. [14]

Dans ce qui suit on va s'intéresser à l'étude détaillée de chacune de ces caractéristiques.

II.8. Capacités des réseaux LTE/EPC :

A. Les débits dans un réseau LTE/EPC :

Le but visé en débit de downlink et de l'uplink dans un réseau LTE/EPC est de 100 Mbit/s et 50 Mbit/s respectivement, quand on opère sur une bande de fréquence allouée de 20 MHz et en utilisant la technologie SISO (Single In Single Out). Ce qui fait que l'efficacité spectrale allouée dans la voie descendante est de 5Mbit/s/Hz et 2.5 Mbit/s/Hz dans la voie ascendante. En utilisant la technologie MIMO (Multiple In Multiple Out) on peut atteindre des débits de 326.4 en Downlink et 86.4 en Uplink en utilisant la modulation 64QAM (tableau II.2).

Débit de la voie descendante (avec une modulation 64 QAM)			
Configuration d'antenne	SISO	MIMO 2×2	MIMO 4×4
Débit (Mbps)	100	172.8	326.4
Débit de la voie montante (une seule antenne d'émission)			
Type de modulation	QPSK	16 QAM	64 QAM
Débit	50	57.6	68.4

Tableau II.2: Les différents débits associés aux différentes techniques utilisées en LTE/EPC. [Copyright]

Ces chiffres supposent un UE de référence comprenant :

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

Pour la liaison montante, le LTE prend en charge les opérations FDD et TDD. Évidemment, dans le cas du TDD, la transmission montante et descendante ne peut pas se produire simultanément. Ainsi, l'exigence de débit ne peut pas être satisfaite simultanément. Pour le FDD, en revanche, les spécifications LTE devraient permettre une réception et une transmission simultanées aux débits spécifiés ci-dessus.

B. La latence :

Les exigences de latence sont divisées en exigences du plan de contrôle et exigences du plan utilisateur.

• La latence du plan de contrôle :

Les exigences de latence du plan de contrôle concernent le délai de passage de différents états de terminal non actifs à un état actif dans lequel le terminal mobile peut envoyer et / ou recevoir des données. Il y a deux mesures: une mesure est exprimée en tant que temps de transition à partir d'un état campé, où l'exigence est de 100 ms; L'autre mesure est exprimée en tant que temps de transition d'un état en veille, où l'exigence est de 50 ms.

- **La latence du plan d'utilisateur :**

L'exigence de latence du plan utilisateur est exprimée en tant que temps nécessaire pour transmettre un petit paquet IP du terminal au nœud de bord RAN ou vice versa mesuré sur la couche IP. Le temps de transmission unidirectionnel ne doit pas dépasser 5 ms dans un réseau non chargé, c'est-à-dire qu'aucun autre terminal n'est présent dans la cellule.

En tant qu'exigence secondaire de l'exigence de latence du plan de contrôle, le LTE devrait prendre en charge au moins 200 terminaux mobiles à l'état actif lorsqu'ils fonctionnent dans 5 MHz. Dans les attributions plus larges que 5 MHz, au moins 400 terminaux devraient être pris en charge. Le nombre de terminaux inactifs dans une cellule n'est pas explicitement indiqué, mais devrait être significativement plus élevé.

II.9. performances des réseaux LTE/EPC :

Les objectifs visés par les différentes améliorations des performances des réseaux LTE concernent le nombre d'utilisateurs par cellule, l'efficacité spectrale, la mobilité, la couverture réseau et l'eMBMS (evolved Multimedia Broadcast Multicast Services).

- **La densité des utilisateurs**

L'exigence de nombre d'utilisateurs par cellule LTE est relié à deux points: à la moyenne et au cinquième percentile de la distribution de l'utilisateur (où 95% des utilisateurs ont de meilleures performances). Une cible d'efficacité du spectre a également été spécifiée, où, dans ce contexte, l'efficacité du spectre est définie comme le débit du système par cellule en bit/s/MHz /cellule.

- **La mobilité**

La mobilité dans un réseau signifie la vitesse maximale du mobile pour laquelle il peut toujours transmettre et recevoir de l'eNodeB. Les capacités maximales du LTE sont fournies aux mobiles qui se déplacent avec des vitesses de 0 à 15 km/h. pour les vitesses allant jusqu'à 120 km/h, le LTE devrait fournir des capacités plus élevées et pour les vitesses supérieures à 120 km/h, le système devrait être capable de maintenir la connexion à travers le réseau cellulaire. La vitesse maximale à gérer dans un système LTE est fixée à 350 km/h (voire jusqu'à 500 km/h en fonction de la bande de fréquence).

- **La couverture**

La couverture se concentre sur le rayon de la cellule c'est-à-dire la distance maximale entre le site cellulaire et un terminal mobile dans une cellule. L'exigence pour les scénarios non

perturbés par des interférences est de satisfaire le débit de l'utilisateur, l'efficacité du spectre et les exigences de mobilité pour les cellules ayant une portée de cellules allant jusqu'à 5 km. Pour les cellules ayant une gamme de cellules allant jusqu'à 30 km, une légère dégradation du débit de l'utilisateur est tolérée et une dégradation plus importante de l'efficacité du spectre est acceptable par rapport aux exigences. Cependant, les exigences de mobilité doivent être satisfaites. Des cellules de rayons allant jusqu'à 100 km ne devraient pas être exclues par les spécifications, mais aucune exigence de performance n'est énoncée dans ce cas.

- **eMBMS**

L'eMBMS concerne à la fois le mode multidiffusion et le mode monodiffusion.

En général, le LTE devrait fournir des services MBMS meilleurs que ce qui est possible avec la version 6. L'efficacité spectrale pour une diffusion est de 1 bit/s/Hz, correspondant à environ 16 canaux de télévision mobile utilisant de l'ordre de 300 kbit/s chacun dans une allocation de spectre de 5 MHz. En outre, il devrait être possible de fournir le service MBMS en tant que service unique sur un opérateur, ainsi que d'autres services non MBMS. La simultanéité des appels vocaux et des services MBMS devraient être possibles avec les spécifications LTE. [15]

II.10. L'interface radio du LTE :

II.10.1. Les modes de duplexage et structure de trame LTE :

Dans tous les réseaux mobiles, la transmission de l'UE à la base et la transmission de la base à l'UE sont séparées de façon à éviter toute interférence possible entre les bandes de fréquence des voies montantes et descendantes.

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

- le duplexage en fréquence ou Frequency Division Duplex (FDD).
- le duplexage en temps ou Time Division Duplex (TDD). [3]

En mode FDD, les canaux d'émission et de réception opèrent simultanément mais sur des fréquences différentes. En mode TDD, les canaux d'émission et de réception opèrent sur une même fréquence mais à des instants différents.

En LTE, chaque trame de type 1 dure 10 ms et est constituée de 20 Slot de longueur $T_{sf}=15360 \times T_s=0.5$ ms numérotés de 0 à 19. Chaque trame FDD est divisée en 10 sous-trames, chaque sous-trame est définie comme deux Slots consécutifs. Donc une sous-trame i est composée des slots $2i$ et $2i+1$. Dix sous-trame sont réservées à la voie montante et 10 sous-trame sont réservées à la voie descendante. [10]

T_s : unité du temps élémentaire en LTE, telle que ; $T_s = 1 / (\Delta f \times N) = 307200$.

N : Nombre d'échantillons ; $N=2048$.

Δf : Bande de fréquence allouée à la trame ; $\Delta f=15$ kHz.

Une trame de type 1 est illustrée sur la figure II.5.

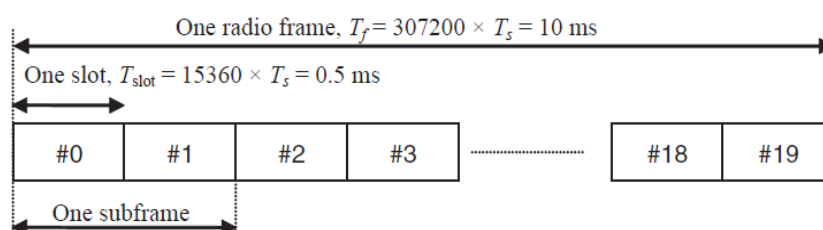


Figure II.5: Structure de la trame de type 1. [10]

Pour le TDD, une sous-trame paire est allouée soit à la transmission en voie descendante soit à la transmission en voie montante, à l'exception de la première trame paire qui est toujours allouée à la transmission en voie descendante.

Pour le TDD, il existe un second type de structure de trame, dans lequel chaque demi-trame de 5ms est divisée en sept sous-trames de 0.675 ms et trois champs spéciaux (DwPTS, GP et UpPTS) (figure II.6).

Le slot 0 et DwPTS sont réservés pour les transmissions DL. Le slot 1 et UpPTS sont réservés pour les transmissions UL. Chaque slot bénéficie d'un intervalle de temps qui peut être utilisé comme période de garde pendant la transition entre UL et DL et réciproquement. [10]

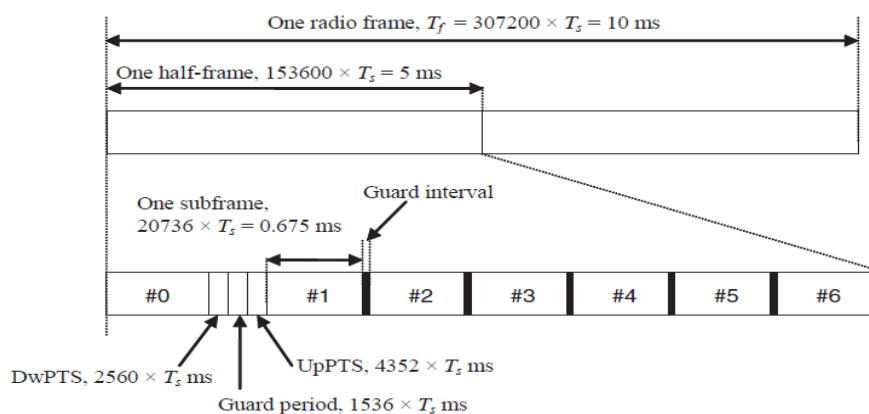


Figure II.6: Structure d'une trame type 2. [10]

II.10.2. Pile protocolaires des interfaces radio en LTE :

Le plan usager et le plan de contrôle sont matérialisés par des piles protocolaires qui partagent un tronc commun. Ces piles protocolaires se distinguent dans les interactions avec les couches supérieures. En LTE tout comme l'UMTS, on retrouve les mêmes couches. La seule différence réside dans la couche PDCP dont le rôle se limite à la compression des en-têtes en UMTS, d'où son utilisation n'est pas importante en UMTS. Par contre le protocole PDCP est indispensable en LTE car il joue un rôle important dans la sécurité et l'intégrité du réseau.

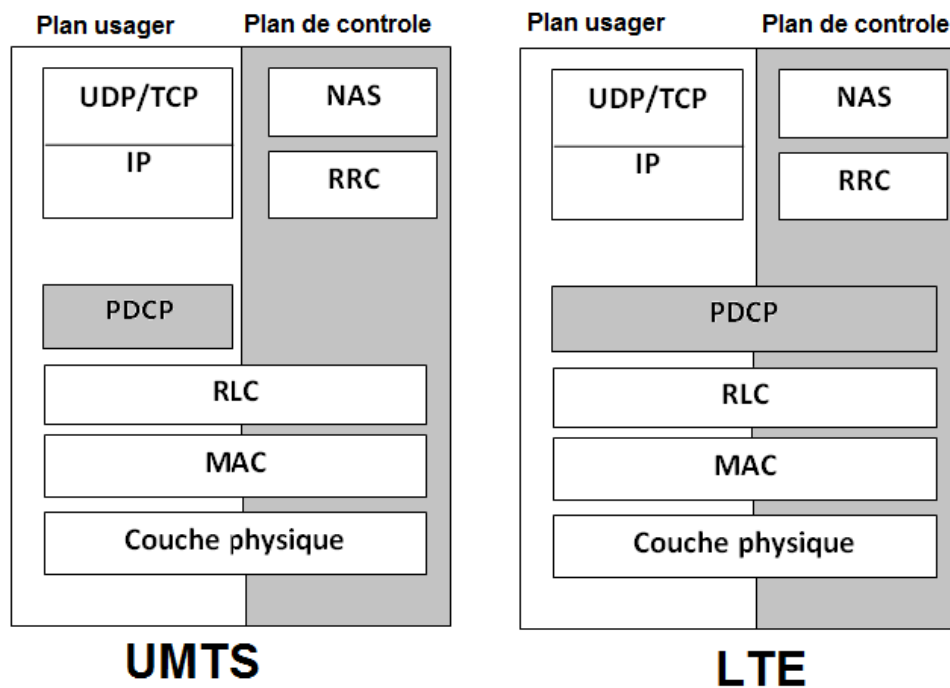


Figure II.7 : Piles protocolaires des réseaux UMTS et LTE. [Copyright]

Les couches physiques, MAC, RLC et PDCP appartiennent :

- Au plan de contrôle lorsqu'il s'agit des données de signalisation transmises par la couche RRC.
- Au plan usager lorsqu'il s'agit d'autres données (données transmises par la couche IP).

La figure II.8 illustre les piles protocolaires du plan usager et du plan de contrôle

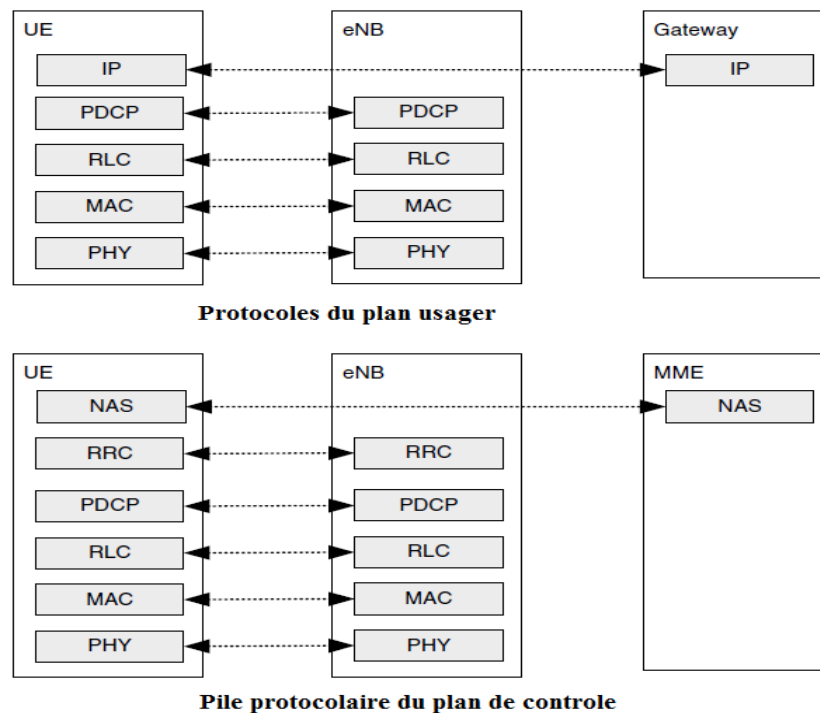


Figure II.8: Protocoles du plan usager et du plan de contrôle. [13]

- **La couche physique :**

La couche PHY, également appelée couche 1 ou layer 1 assure l'adaptation du signal au canal de transmission. La couche PHY assure des fonctions n'impliquant pas la transmission du signal mais nécessaires à son fonctionnement. D'un point de vue fonctionnel cette couche offre un service de transport à la couche MAC. Les fonctions que réalise la couche PHY sont :

- **Le codage de canal :** sert à introduire de la redondance dans les séquences binaires à transmettre afin de les protéger des erreurs de transmission diverses. [3]

- **La modulation :** est un processus servant à transformer le signal à une forme adaptée au canal de transmission en faisant varier l'un ou plusieurs paramètres du signal (la phase, la fréquence et l'amplitude). Autrement définie, c'est une association des bits à transmettre à des symboles de modulation capables d'imprimer une onde électromagnétique.

- **MIMO ou traitement spatiaux :** est une technique utilisée en LTE afin d'atteindre les débits exigés par l'introduction des réseaux LTE/EPC. La technique MIMO exploite le phénomène des trajets multiples qui était une source d'interférence auparavant. MIMO attribue donc des codes initiaux au symbole de la modulation et les transmet sur plusieurs antennes avant qu'ils n'atteignent l'UE sous des angles différents avec des différences du temps très petites. [16]

- **La modulation multi-porteuse** : c'est une association de multiples fréquences porteuses au signal à transmettre selon le principe de l'OFDM pour l'Uplink et du SC-FDMA pour le Downlink.

En réception, les fonctions inverses sont effectuées par la couche PHY, ainsi que les fonctions de lutte contre les interférences. La couche PHY assure aussi quelques fonctions de la couche MAC comme les mesures radio, la synchronisation, la détection de cellule et la signalisation de contrôle entre l'eNodeB et l'UE.

- **La couche 2 :**

La couche 2 de LTE se compose de trois sous-couches, MAC, RLC et le PDCP. Le point d'accès au service (SAP) entre la couche physique (PHY) et la sous-couche MAC fournit les canaux de transport tandis que le SAP entre les sous-couches MAC et RLC fournit les canaux logiques. La sous-couche MAC effectue un multiplexage de canaux logiques sur les canaux de transport. [10]

Les sous-couches RLC et MAC traitent les données du plan usager et les données du plan de contrôle selon les configurations. Par contre la couche PDCP est conçue pour les traiter différemment.

- **la sous-couche PDCP** : cette sous-couche joue un rôle dans le transfert et la sécurité des données, la compression des en-têtes, chiffrement des données et de la signalisation RRC, protection de l'intégrité de la signalisation RRC et détection et suppression des doublons.[3]

- **la sous-couche RLC** : la sous-couche RLC assure les fonctions de contrôle du lien de données : Transfert des PDU (unité de données par paquet) de la couche supérieure, correction d'erreur via ARQ, réorganisation des PDU de données RLC, détection des doublons, rétablissement de la RLC et la détection d'erreur de protocole et récupération. [17]

- **la sous-couche MAC** : Elle assure le mappage des données entre les canaux logiques et les canaux de transport en utilisant une fonction de multiplexage de RLC. La sous-couche MAC assure la mesure de trafic et de la correction d'erreur à l'aide de la méthode de retransmission HARQ (Hybrid Automatic Repeat Request). De plus la sous-couche MAC offre les services d'ordonnancement. [18]

- **La couche RRC :**

La couche RRC sert au contrôle de l'interface radio, elle est reliée aux quatre autres couches (PHY, RLC, MAC et PDCP) dont elle gère la configuration. Les fonctions de la couche RRC sont :

- La diffusion des informations du système.
- La procédure de la pagination.

- Elle prend les décisions de « handover » en se basant sur les informations d'UE sur les cellules voisines.

- L'allocation des identificateurs temporaires aux UE.
- Elle assure le transfert de la situation de « handover » entre deux eNodeB à l'UE.
- La configuration de la signalisation des porteurs radio pour la connexion RRC.
- Elle facilite les services MBMS (Multimedia Broadcast Multicast Service).

- **La couche NAS (Non Access Stratum) :**

La couche NAS correspond aux fonctionnalités liées à l'interface radio. Elle n'est cependant pas limitée au réseau d'accès et à la partie radio du terminal, car elle nécessite également un support spécifique du Packet Core. Les principales fonctionnalités supportées par NAS sont:

- La gestion des porteurs radio qui inclue l'attribution, l'établissement, la modification et la diffusion des supports radio.
- Le traitement des canaux radio incluant le codage de canal et la modulation.
- Le chiffrement des données et choix de l'algorithme de chiffrement.
- Gestion de handover.

II.11. codage et modulation:

Dans cette partie de ce chapitre nous allons décrire trois fonctions fondamentales de la chaîne de transmission de tout système de communication par paquets : le codage de canal, la modulation et l'adaptation de lien. La relation entre ces fonctions est présentée sur la figure II.9

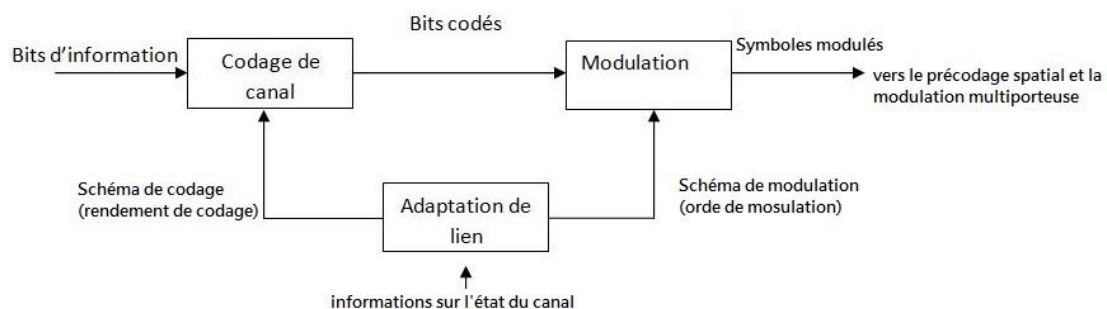


Figure II.9 : Relation entre le codage de canal, la modulation et l'adaptation de lien. [3]

A. codage de canal :

Le codage de canal sert à introduire de la redondance dans le signal à transmettre afin de protéger l'information, cela se fait en liant les bits à transmettre entre eux par une règle bien connue du récepteur. L'efficacité du codage de canal se mesure en calculant le rendement du codage qui est le rapport entre le nombre de bits en entrée du codeur et le nombre de bits délivrés par le codeur :

$$C = (\text{nombre de bits d'entrée} / \text{nombre de bits de sortie}). [3]$$

Plus ce rapport est faible plus l'information est redondante, donc protégée, mais la faiblesse de ce rapport affecte l'efficacité spectrale puisque le nombre de bits représentant l'information est faible, d'où les bits codés doivent être compressés. Donc un équilibre entre le codage de canal et la compression est nécessaire.

Les rôles du codage de canal dans les réseaux LTE/EPC sont : la détection d'erreurs dans les blocs des données reçues en utilisant des codes de contrôle par redondance cyclique (CRC) et la correction d'erreurs en utilisant des codes correcteurs d'erreurs (FEC).

B. La modulation :

La prochaine étape après le codage de canal c'est la modulation qui convertit les blocs de bits codés en symboles de modulation.

La modulation d'un signal sert à faire varier une de ses caractéristiques physiques (phase ou amplitude) dans le but d'augmenter la capacité de transfert du réseau. Les différents états possibles d'une modulation sont représentés par des constellations.

L'E-UTRAN emploie les modulations QPSK, 16QAM, 64QAM et 256QAM.

Notons que le niveau de protection de l'information dépend de l'ordre de la modulation utilisée. Pour la modulation 64QAM par exemple, les symboles de modulation sont peu déphasés les uns des autres, ce qui augmente le risque d'interférence inter-symboles, d'où la modulation 64QAM n'est utilisée qu'en voie descendante car la modulation multi-porteuses OFDMA utilisée en voie descendante est résistante aux interférences inter-symboles. Par contre, en voie montante les modulations utilisées sont : QPSK et 16QAM. [3]

Les différentes constellations des modulations possibles sont présentées sur la figure II.10.

- (a) : Modulation QPSK.
- (b) : Modulation 16QAM.
- (c) : Modulation 64QAM.

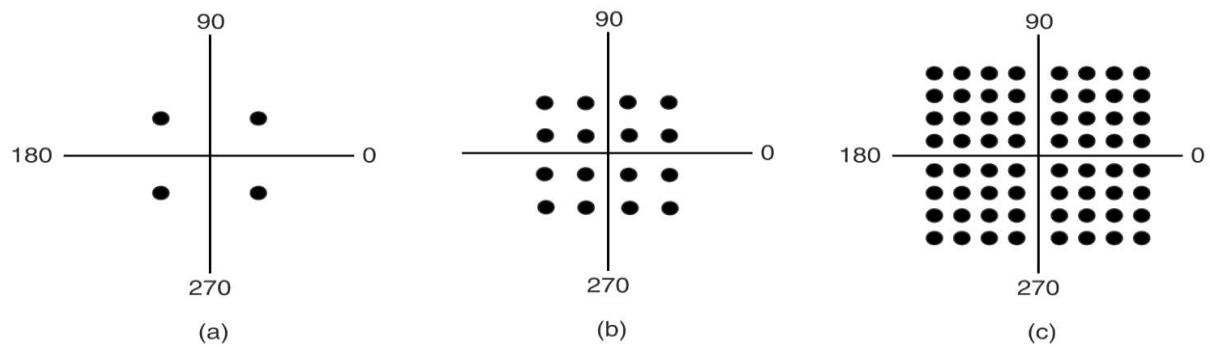


Figure II.10: Les différentes constellations des modulations possibles en LTE. [23]

Comme nous verrons dans ce qui suit, les symboles résultant de la modulation sont ensuite généralement pré-codés spatialement (Quand la technique MIMO est mise en œuvre) et modulés par une modulation multi-porteuses.

II.12. Le MIMO (Multiple Input Multiple Output) :

Le multiplexage spatial MIMO est utilisé dans les réseaux LTE afin de pouvoir effectuer des transmissions à des débits très hauts, cette technique se base sur la présence de plusieurs antennes à l'émetteur et au récepteur afin de pouvoir transmettre des flux de données indépendants sur les mêmes ressources temps-fréquence. La présence d'une multitude d'antennes de réception et d'émission présente plusieurs avantages et offre la possibilité d'accéder à quatre techniques de transmission qui ont pour but l'amélioration de débit de transmission :

- Émission de la même information par plusieurs antennes et son partage entre plusieurs UEs selon un codage dit, codage espace-temps.
- Concentration d'un spectre de signal d'information dans la direction du récepteur augmentant ainsi le débit de transmission.
- Multiplexage spatial mono-utilisateur (Single User ou SU-MIMO) permettant la transmission de plusieurs flux spatialement séparés vers un seul utilisateur. Ce qui améliore le débit dédié à cet utilisateur.
- Multiplexage spatial multiutilisateurs (Multi User ou MU-MIMO) permettant la transmission des flux spatialement multiplexés à plusieurs utilisateurs augmentant ainsi le débit global du réseau. [3]

II.13. La transmission multi-porteuse en LTE :

A. Principe de l'OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex) :

Les principes de l'OFDM ont été élaborés au début des années 1960 avec les systèmes militaires, mais cette technique n'a pas connu un grand succès à cause de l'indisponibilité des circuits électroniques nécessaires et des connaissances très étroites en traitement des signaux. Cette technologie est revenue dans les années 1980 pour l'application aux canaux à trajets multiples. L'idée de base de l'OFDM est, comme nous le verrons, de diffuser l'information sur beaucoup de sous-porteuses afin de créer des canaux à bande très étroite. Alors qu'un modulateur numérique basé sur la transformée de Fourier rapide (FFT) a été mis en évidence, la technique OFDM devient pratiquement intéressante. Depuis, la technologie OFDM est utilisée en DAB, DVB, les réseaux LAN haut débit, la technologie DSL et en WiMAX.

La technologie OFDM est donc une technique bien connue qui consiste à multiplexer sur des sous-porteuses de fréquence des informations à transmettre sur un canal de communication. De plus, les sous-porteuses sont orthogonales entre elles, du fait que la durée minimale d'information portée par chaque sous-porteuse est l'inverse de la valeur de la bande de modulation de la sous-porteuse (critère de Nyquist).

La figure II.11 illustre les principes généraux d'une transmission réalisée à l'aide de la technologie OFDM.

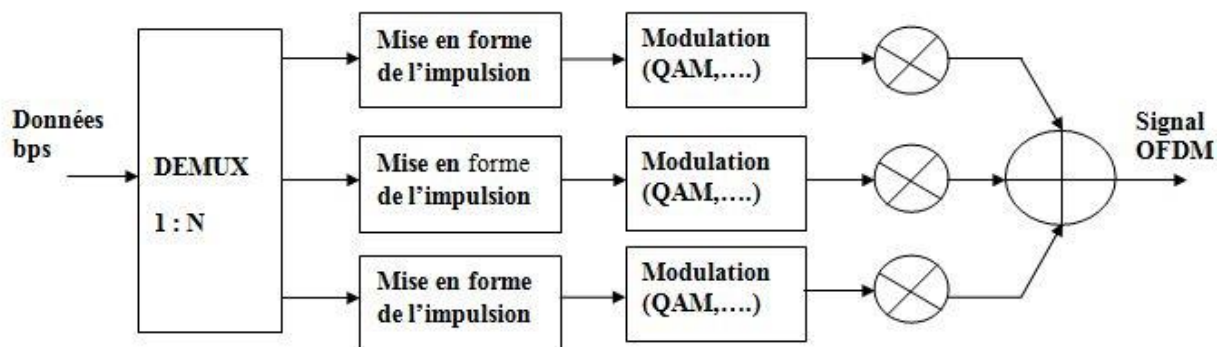


Figure II.11: Principe de génération d'un signal OFDM. [10]

Soit X_n une quantité d'information à transmettre à un utilisateur en série.

Le flux originel de débit R est multiplexé en N flux parallèle de débit R/N $X_0, X_1, \dots, X_{N-1}$, chacun de ces flux est constitué d'une succession d'éléments binaires. [10] On réalise la modulation OFDM à l'aide d'un modulateur OFDM (figure II.12) basé sur la transformée de Fourier discrète inverse IDFT des symboles de modulation pour passer d'un domaine

fréquentiel à un domaine temporel. Après le passage des symboles d'entrée $a_0, a_1, \dots, a_{N-1}$ en série dans un convertisseur Série/Parallèle on obtient des symboles en parallèle $a_0, a_1, \dots, a_{N-1}$. Une transformée de Fourier inverse est appliquée à ces derniers afin d'obtenir des symboles en parallèle représentant le signal dans le domaine temporel $d_0, d_1, \dots, d_{N-1}$, ces symboles sont émis sur les différentes sous-porteuses après un passage dans un convertisseur Parallèle/Série pour constituer des symboles OFDM qui sont ensuite mis en forme à l'aide des filtres ayant pour réponse impulsionnelle une fonction porte avant de subir autres traitements radiofréquences, puis envoyés à l'antenne correspondante.[3]

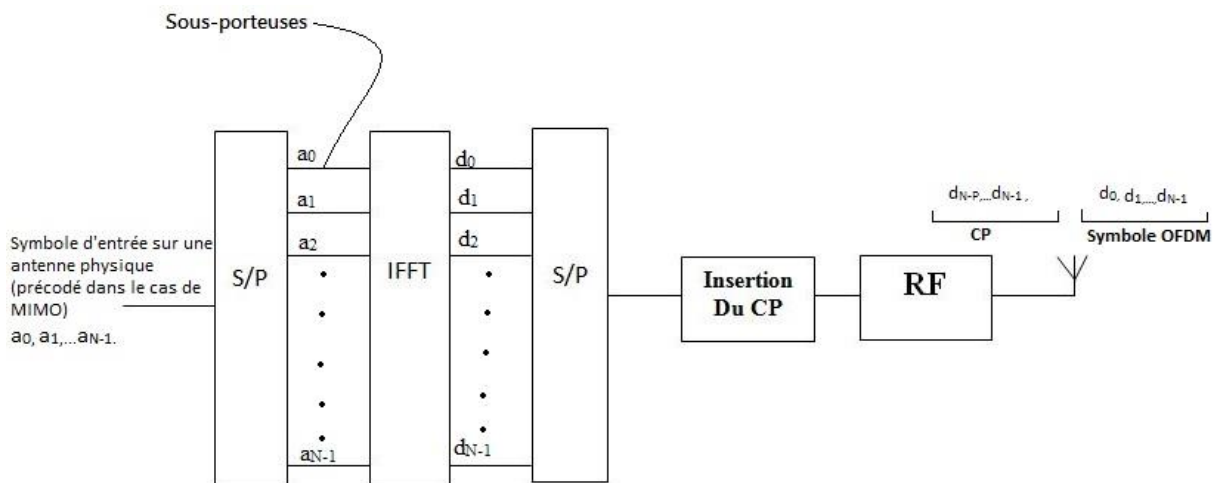


Figure II.12: Principe d'un Modulateur OFDM. [3]

B. OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access):

L'OFDMA est la technique d'accès choisie pour la transmission en voie descendante pour l'E-UTRAN. Cette technique est résistante à l'effet des trajets multiples, offre une meilleure efficacité spectrale que sa précédente WCDMA de l'UMTS, compatible avec la technologie MIMO et réduit la complexité liée à de nouvelles implémentations.

C'est une technique hybride entre l'OFDM, le TDMA et le FDMA. Dans un même symbole OFDM, plusieurs utilisateurs reçoivent des parties distinctes de la bande fréquentielle. Ces différentes parties s'appellent des sous-porteuses dont le nombre alloué à un UE est déterminé par l'OFDMA.

Dans les systèmes OFDM, il existe plusieurs processus d'accès multiples qui peuvent être utilisés pour distinguer les utilisateurs. L'un des plus simples consiste à répartir le signal numérique sur un grand nombre de sous-porteuses afin de transmettre les symboles issus de la modulation (QPSK par exemple) sur ces sous-porteuses. Ainsi, le débit global sera réparti entre les différents canaux, d'où les faibles débits sur les canaux et donc un temps d'émission des

symboles OFDM plus long ($66.7 \mu\text{s}$ dans le cas de LTE). Cette répartition permet d'éviter les interférences inter-symboles et le fading, en particulier quand il s'agit d'une transmission à longue portée. Donc chaque utilisateur est caractérisé par le choix d'une ressource dans le plan fréquence-temps. Le multiplexage de trafic est effectué en attribuant à chaque utilisateur des intervalles de fréquence-temps, en fonction de son débit de données. [10]

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 préfixe cyclique est ajouté au début des symboles émis. En LTE, deux longueurs différentes de préfixe cyclique 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 $4,7 \mu\text{s}$, et un préfixe cyclique étendu de $16,6 \mu\text{s}$ utilisé dans les très grandes cellules radio (ce préfixe représente de 7 à 25 % de la durée d'un symbole).

Comme on peut l'observer sur la figure II.13 les sous-porteuses sont alignées verticalement et les symboles OFDM sont alignés horizontalement. [21]

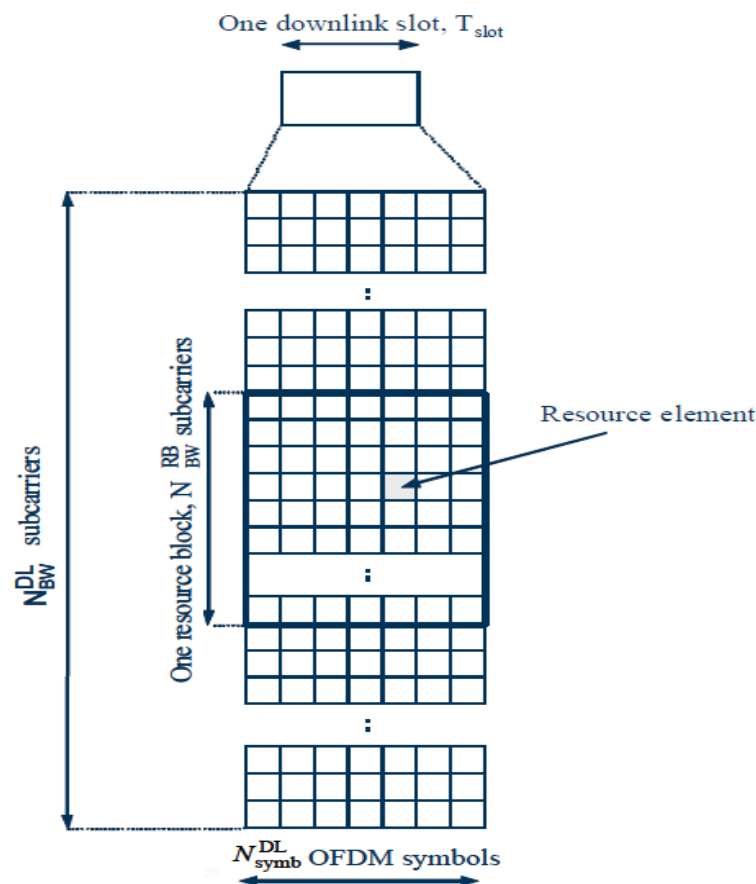


Figure II.13: Principe de l'accès aux ressources avec OFDMA. [19]

C. SC-FDMA (single-carrier frequency-division multiple access):

La technique d'accès SC-FDMA est une technique d'accès multiple par répartition en fréquence à porteuse unique, elle est adaptée pour la transmission radio en voie montante (de l'UE vers l'eNodeB). Cette technique apporte plusieurs avantages qui sont la résistance aux trajets multiples et la flexibilité d'ordonnancement fréquentiel.

La génération du signal SC-FDMA commence par un processus de pré-codage spécial, mais continue comme avec OFDMA (cité précédemment). La différence la plus évidente entre les deux schémas est que l'OFDMA transmet les quatre symboles de données QPSK en parallèle, un par sous-porteuse. SC-FDMA transmet les quatre symboles de données QPSK en série à quatre fois le débit, ce qui fait que la durée de transmission des symboles est égale à $1/N$, cette durée est égale à la durée de transmission des symboles en OFDMA, chaque symbole de données occupant une bande passante de $N \times 15$ kHz. Visuellement, le signal OFDMA est clairement multi-porteuses et le signal SC-FDMA ressemble plus à une porteuse unique, ce qui explique le "SC" dans son nom. Notez que les longueurs de symbole OFDMA et SC-FDMA sont les mêmes et égaux à $66,7 \mu\text{s}$; cependant, le symbole SC-FDMA contient N "sous-symboles" qui représentent les données de modulation. [20]

La figure II.14 donne une comparaison entre la transmission des séquences de symboles OFDMA et SC-FDMA.

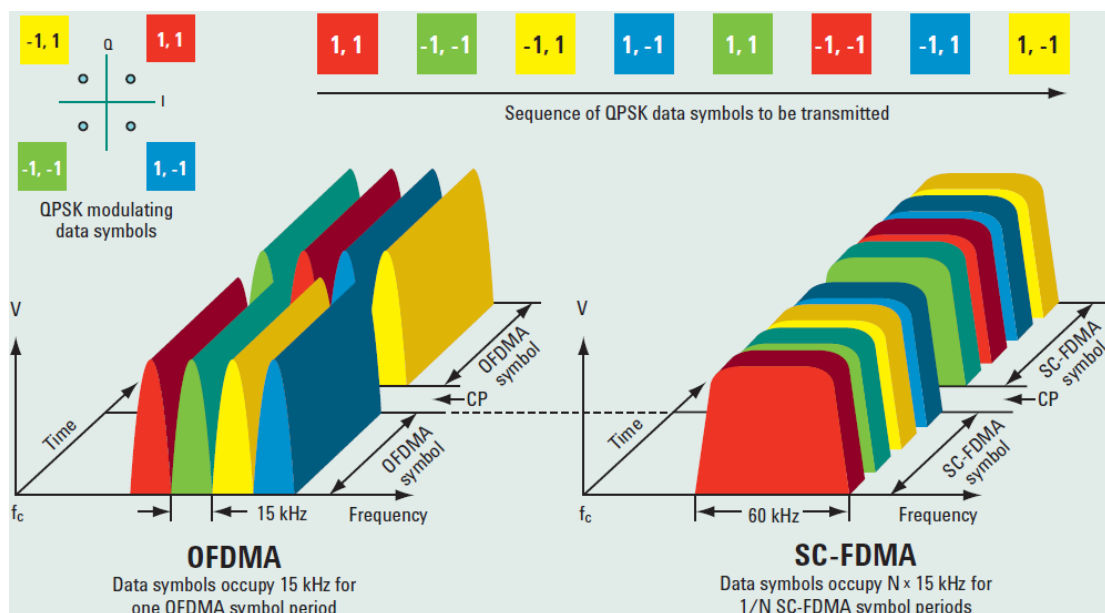


Figure II.14: Comparaison entre la Transmission des séquences avec OFDMA et SC-FDMA.[20]

II.14. Discussion :

Dans ce chapitre nous avons présenté les différents composants du réseau LTE ainsi que les différentes technologies qu'utilise le LTE qui ont été améliorée par la suite pour donner naissance au LTE-Advanced (vraie 4G).

Les réseaux LTE/EPC ont connu un grand succès avec le haut débit de la voie montante et descendante qu'ils offrent, des latences plus faibles, une flexibilité de déploiement du spectre...etc. grâce aux nouvelles techniques introduites comme les modulations OFDMA, SCFDMA, la technique MIMO...etc.

Dans le chapitre suivant, nous allons étudier les paramètres de la qualité de service dans les réseaux LTE/EPC ainsi que les facteurs influant sur la QoS.

CHAPITRE III

La qualité de service dans les réseaux 4G

III.1. Préambule :

L'objectif de tout réseau de télécommunication installé est d'offrir les meilleures performances aux abonnés. Ainsi, la qualité de service (Quality of Service QoS) est un enjeu majeur dans le domaine des télécommunications. Elle consiste à satisfaire au minimum les exigences des utilisateurs et au maximum, atteindre les valeurs théoriques des paramètres fixées par le 3GPP.

Pour des raisons commerciales, chaque opérateur mobile fixe comme objectif le regroupement du plus grand nombre d'abonnés possible sans altérer le bon fonctionnement de son réseau, pour ce faire, l'opérateur doit se préoccuper d'offrir une qualité de service convenable au nombre d'utilisateurs servi en essayant d'optimiser les paramètres de la QoS ainsi que d'assurer une couverture satisfaisante aux clients.

Dans ce chapitre, nous allons nous intéresser à l'étude des différents paramètres de la QoS ainsi qu'aux performances des réseaux LTE.

III.2. La Qualité de service :

La qualité de service est définie comme un ensemble de technologies mises en œuvre afin d'assurer les meilleures performances pour la transmission des données dans de bonnes conditions en respectant certaines valeurs minimales des attributs du réseau tels que la disponibilité, le débit, la latence, la gigue, le taux de perte en paquets...etc.

La qualité de service (QoS) correspond à la manipulation du trafic de sorte qu'un équipement réseau, tel qu'un routeur ou un commutateur, puisse transférer ce trafic conformément aux comportements requis de la part des applications à l'origine de ce trafic. En d'autres termes, la QoS permet à un équipement réseau de différencier le trafic et de lui appliquer différents comportements.

Les termes relatifs à la qualité de service sont définis dans la Recommandation E.880 du CCITT. [32]

Qualité de service: Comment l'abonné est satisfait du service global

Accessibilité: Pour pouvoir entrer en contact avec le réseau

Maintien de la connexion: Pour continuer la connexion avec le réseau jusqu'à ce que toutes les tâches soient terminées avec succès

Intégrité du service: Pour pouvoir effectuer un service et maintenir la qualité de la connexion à un niveau où l'information peut être échangée avec succès dans les plus brefs délais. [32]

La QoS peut être influencée par deux facteurs principaux : la congestion dans le réseau causée par la variation de la densité des abonnés connectés et la distribution des applications, ainsi que les variations des attributs de la transmission comme le débit minimum et le temps de transmission (latence). [24]

Avant de passer aux différents paramètres de la QoS, la connaissance de la notion de bearer nous est obligatoire. Le bearer est donc décrit par un ensemble de paramètres qui s'appliquent aux équipements qui le gèrent et que l'on peut regrouper en deux catégories : les paramètres de transport (les adresses IP, point de terminaison...) et les paramètres de la QoS (latence, débit, Taux d'erreur binaire...) auxquels nous allons nous intéresser. [3]

Les applications telles que la voix sur IP, la navigation sur le Web, la visiophonie et le streaming vidéo ont des besoins spécifiques en termes de qualité de service. Par conséquent, une caractéristique importante de tout réseau par paquets est de fournir un mécanisme QoS pour permettre la différenciation des flux de paquets en fonction des exigences de QoS. En LTE/EPC, les flux QoS appelés supports EPS sont établis entre l'UE et le P-GW. Un support radio transporte les paquets d'un support EPS entre un UE et un eNB. [13]

Certaines applications nécessitent un débit garanti par le réseau, On fait référence à un bearer GBR (Guaranteed Bit Rate), si le débit de l'application n'est pas garanti par le réseau, alors le bearer associé est non-GBR. La QoS des bearers est caractérisée par les paramètres suivants :

- La classe de la QoS ou QCI (QoS Class Identifier).
- La priorité d'allocation ou de rétention (ARP).
- Le débit garanti ou GBR (Guaranteed Bit Rate), dans certains cas.
- Le débit maximal ou MBR (Maximal Bit Rate).
- La gigue.

III.2.1. La mobilité en LTE :

La bonne gestion de la mobilité joue un grand rôle dans l'amélioration de la qualité de service et par conséquent la satisfaction des abonnés. Pour cela, nous avons intégré la mobilité dans la qualité de service.

Les réseaux mobiles doivent être disponibles à tout moment et en tout lieu. Pour cela les réseaux 4G ont été prévus pour fonctionner dans les zones urbaines denses ainsi que dans les zones rurales. Une cellule 4G peut couvrir 5km de diamètre dans les zones fortement peuplées et s'étendre jusqu'à 100 km dans les zones les plus reculées.

La mobilité peut être divisée en «mobilité intra-LTE» et «mobilité inter-LTE». En outre, la mobilité intra-LTE peut être divisée en « une mobilité dans une zone MME » et « une mobilité inter zones MME ».

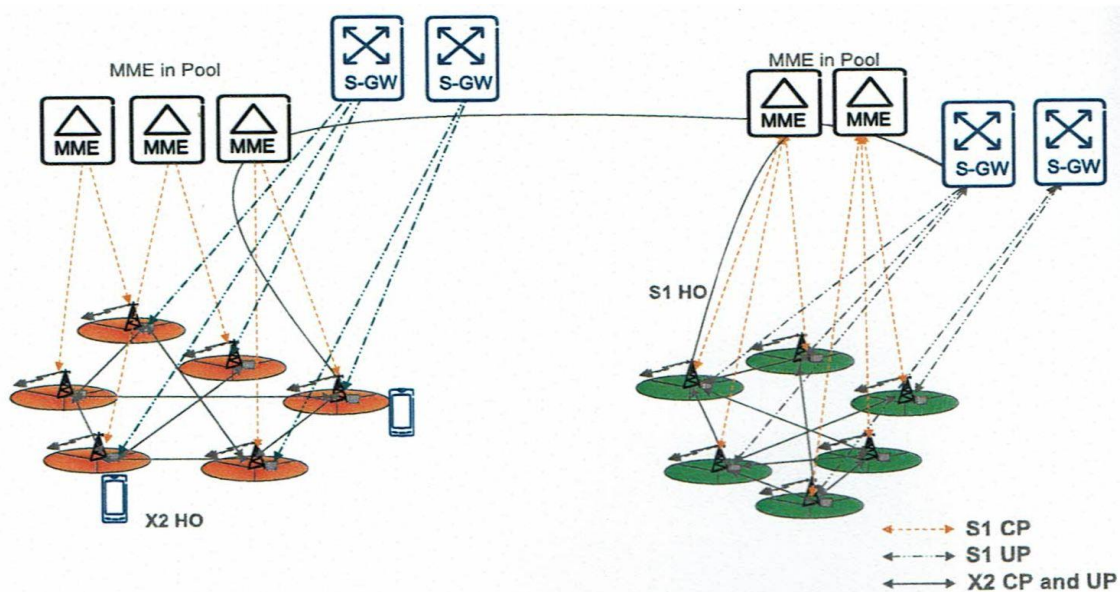


Figure III.1: Architecture de réseau de transfert inter MME. [22]

En LTE, les transferts intercellulaires sont des transferts assistés par l'UE et contrôlés par le réseau. Tant que l'UE se déplace entre les eNodeBs appartenant à la même zone où l'UE est enregistré, les transferts sont exécutés via l'interface X2. L'interface X2 peut être configurée via ANR (Automatic Neighbor Relation) ou manuellement via OSS.

Dans les cas où l'UE se déplace entre les eNodeBs appartenant aux différentes zones de regroupement, la procédure de transfert doit nécessairement être exécutée via l'interface S1. Dans de tels cas, le contexte UE doit être déplacé d'un nœud MME dans la première zone à un autre nœud MME dans la seconde zone.

III.2.1.1. mesures utilisées dans l'évaluation du handover :

La fonctionnalité de transfert intra-LTE est basée sur des mesures et des déclencheurs de couverture évalués par l'équipement de l'utilisateur. Les mesures de l'équipement de l'utilisateur sont signalées au service RBS qui prend la décision finale concernant le transfert intercellulaire.

Deux types de mesures sont utilisés dans le processus d'évaluation du transfert intra-LTE :

-RSRP (Reference Signal Received Power) qui représente la puissance moyenne mesurée par symbole de référence.

RSRP est la mesure la plus basique réalisée par la couche physique du l'UE, permettant d'obtenir une valeur moyenne de la puissance reçue du signal de référence (RS) émise par la station de base par RE (Resource Element). La mesure s'exprime en Watt ou en dBm. La valeur est comprise entre -140 dBm à -44 dBm.

La connaissance du RSRP absolu permet à l'UE de connaître la fiabilité de la cellule à partir de laquelle on estime l'atténuation apporté par le canal, ce qui conditionne la puissance optimale de fonctionnement du mobile pour interagir avec la station de base. [29]

Le RSRP est utilisé à la fois en mode de veille qu'en cours de communication. Le RSRP relatif est utilisé comme un paramètre de choix dans le cas de scénarios multi-cellules.

Ce signal est utilisé soit pour des raisons de handover ou pour définir la cellule de référence. Toutefois, pour le handover il est préférable de s'appuyer sur le RSRQ qui est un indicateur de la qualité de communication.

Le RSRP se calcule comme suite : [34]

$$RSRP \text{ (Watts)} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K P_{rs,k} \quad (\text{eq III.1})$$

$$RSRP \text{ (dB)} = 10 \log \left(\frac{1}{K} \sum_{k=1}^K P_{rs,k} \right)$$

Où $P_{rs,k}$ est la puissance estimée reçue par un $k^{\text{ème}}$ élément de ressource.

- **RSRQ** (Reference Signal Received Quality) qui fournit une indication de la qualité du signal de référence.

Malgré l'importance de la mesure de RSRP, celui-ci ne donne aucune information sur la qualité de la communication. Le LTE s'appuie alors sur la mesure du RSRQ, défini comme le rapport entre le RSRP et le RSSI (Received Signal StrengthIndicator). Le RSSI représente la puissance totale du signal reçu, cela englobe le signal transmis, le bruit et les interférences.

Mathématiquement le RSRQ est défini comme suite : [34]

$$RSRQ = N_{prb} \frac{RSRP}{RSSI} \quad (\text{eq III.2})$$

$$RSRQ = N_{prb} \frac{\frac{1}{K} \sum_{k=1}^K P_{rs,k}}{\sum_{n=1}^{N_{re}} P_n} \quad (\text{eq III.3})$$

N_{prb} est le nombre de ressources block physique.

$$N_{re} = 12 N_{prb}$$

Le RSRQ n'est utile que lors des communications, c'est à dire lors de l'état actif et la mesure du RSRQ est plus intéressante aux limites des cellules, positions pour lesquelles des décisions doivent être prises pour accomplir des Handovers et changer de cellule de références. Le RSRQ mesuré varie entre -19,5dB à -3dB par pas de 0.5dB.

Un autre signal (SINR) qui en relation avec le RSRQ mais qui n'est pas un signal de référence

SINR est une mesure de la qualité du signal qui influe directement sur le débit et donc sur la qualité de service. Le SINR n'est pas défini dans les spécifications 3GPP mais défini par le fournisseur UE. Il est défini comme :

- S (Signal) : Un indicateur de puissance des signaux utilisables mesurés. Les signaux de référence (RS) et le canal physique de liaison descendante (PDSCH) sont principalement impliqués.

- I (Interference): Un indicateur de puissance d'interférence moyenne. La puissance des signaux mesurés ou des signaux d'interférence de canal d'autres cellules dans le système actuel.

-N (Noise): Un indicateur du bruit de fond, qui est lié aux largeurs de bande de mesure et aux coefficients de bruit du récepteur. [31]

Le SINR se calcule comme suite : $\text{SINR} = \frac{S}{I+B}$ (eq III.4)

B étant la puissance du signal bruit et I étant la puissance des interférences.

$$\text{SINR} = \frac{1}{\frac{1}{12 \cdot \text{RSRQ}} - x} \quad \text{tel que } x = \frac{RE}{RB} \quad (\text{eq III.5})$$

La relation entre le SINR et le RSRQ est illustré par la figure III.2

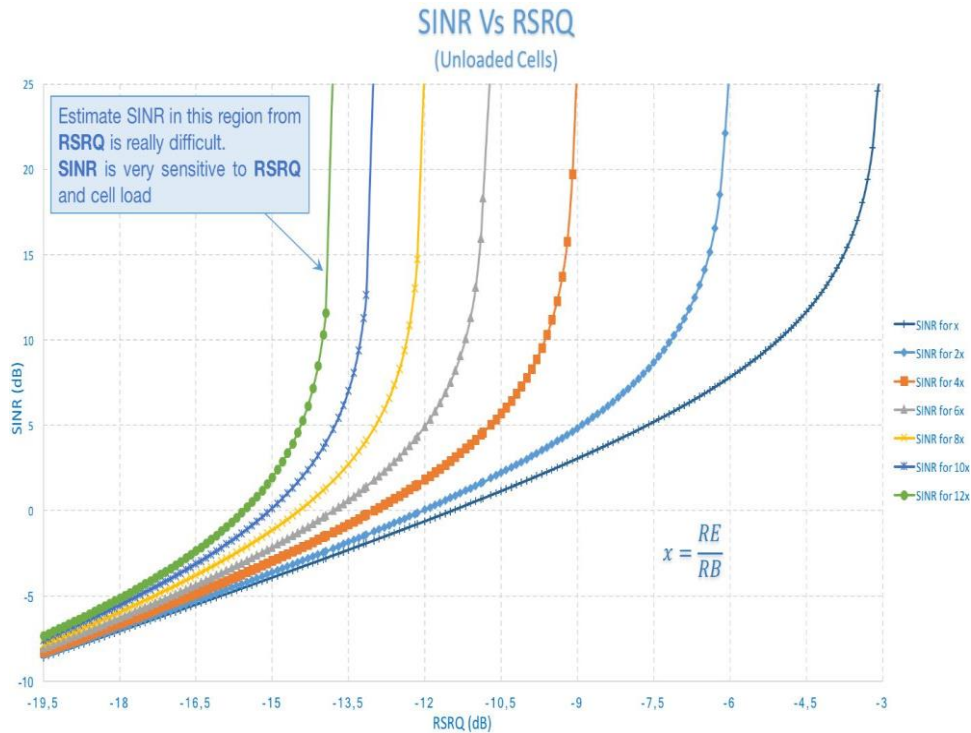


Figure III.2: Évolution de SINR en fonction de RSRQ. [31]

III.2.2. Flexibilité et déploiement du spectre :

La base des exigences en matière de flexibilité du spectre est la nécessité de déployer le LTE dans les bandes de fréquences IMT-2000 existantes, ce qui implique une coexistence avec les systèmes déjà déployés dans ces bandes (HSPA et GSM). Le LTE devrait prendre en charge les duplex à répartition en fréquence (FDD) et TDD (Time Division Duplex).

Un exemple de spectre est le spectre IMT-2000 à 2 GHz, c'est-à-dire la «bande centrale» des IMT-2000 comprend les bandes de fréquences appariées 1920-1980 MHz et 2110-2170 MHz destinées à l'accès radio FDD, et les deux bandes de fréquences 1910-1920 MHz et 2010-2025 MHz destinées à l'accès radioélectrique fondé sur TDD. [15]

III.2.3. permanence de la connexion :

Dans les réseaux LTE, un bearer par défaut (default bearer) est établi pour chaque UE. Ce type de bearer n'a pas de débit garanti par le réseau. Lors de la procédure d'enregistrement au réseau, une adresse IP est allouée à l'UE par la P-GW. Le bearer par défaut reste établi pendant la durée de la connectivité PDN et fournit à l'UE une connectivité IP permanente. Les valeurs de QCI et ARP du bearer par défaut sont définies par le MME, en fonction des données de souscription de l'utilisateur fournies par le HSS. Même si la connexion est permanente au niveau du réseau, il est nécessaire pour le terminal de passer rapidement de l'état IDLE à l'état ACTIF lorsqu'il s'agit d'envoyer ou recevoir du trafic. Selon les exigences au réseau, ce changement d'état doit se faire en moins de 100 ms. [33]

III.3. But de la qualité de service en LTE/EPC :

L'objectif des réseaux LTE est de fournir un accès haut débit aux utilisateurs dans une large zone, pour cela, des exigences applicables à ces réseaux ont été définies afin d'optimiser la qualité de service. Elles sont énumérées ci-dessous :

- Efficacité spectrale élevée pour offrir des débits de 300 Mbps pour un accès à faible mobilité.
- Paquet commuté optimisé.
- Délais de transit faible.
- La disponibilité de service.
- Taux de perte de paquets faible.

III.4. Les paramètres de la qualité de service :

Le profil QoS d'un bearer EPS comprend principalement l'identificateur de classe de qualité de service (QoS Class Identifier, QCI) et la priorité d'allocation et de rétention (ARP).

III.4.1. Le QCI (Qos Class Identifier) :

Le QCI est un paramètre défini pour les réseaux LTE/EPC afin de différencier les qualités de services entre les flux de services. Le 3GPP a identifié neuf QCI dont chacune est caractérisée par :

- Le type de ressource allouée (GBR/non-GBR).

- La priorité des paquets.
- La latence.
- Taux de perte en paquet ou taux d'erreur résiduel. [3]

III.4.1.1. Le type de ressource allouée (GBR/non-GBR) :

Pour un support EPS, avoir un type de ressource GBR signifie que la bande passante du support est garantie. Évidemment, un support EPS de type GBR a un "débit binaire garanti" associé. Seul un support EPS dédié peut être un support de type GBR et aucun support EPS par défaut ne peut être de type GBR. Le QCI d'un support EPS de type GBR peut aller de 1 à 4.

Pour un support EPS, avoir un type de ressource non-GBR signifie que le support est un support de type best-effort et que sa bande passante n'est pas garantie. Alors qu'un support EPS dédié peut être GBR ou non-GBR. Le QCI d'un support EPS non-GBR peut aller de 5 à 9. [25]

III.4.1.2. la priorité des paquets :

Afin d'arbitrer entre les différents modes de paquets, une gestion de priorité est installée soit au sein du réseau, soit à ses extrémités, tout dépend du type de paquet à traiter.

III.4.1.3. La latence :

Comme nous avons cité dans le deuxième chapitre, il existe deux types de latence, la latence du plan de contrôle et la latence du plan usager. La latence du plan de contrôle correspond au temps nécessaire à un UE de passer d'un état inactif à un état actif, par contre la latence du plan usager est définie par le temps moyen écoulé entre l'envoi d'un élément de données par un utilisateur, une requête ou une page web à charger et le moment où il reçoit la réponse du serveur. La latence se mesure donc par le temps d'aller-retour du terminal au serveur ensuite de serveur au terminal.

Le calcul de la latence du plan de contrôle se fait par la sommation des durées des différentes étapes pour qu'un UE passe d'un état de repos (idle) à un état actif.

III.4.1.4. Taux d'erreur résiduel (PELR):

Ce paramètre désigne le taux d'erreur sur la transmission des données au niveau de la couche 2, c'est le rapport entre le nombre de données traitées au sein du réseau et le nombre de données reçu par la sous-couche PDCP de l'UE dans la voie descendante. Ça s'applique

ainsi dans le sens montant. Le taux d'erreur entre l'eNodeB et PGW est négligeable, cependant, le PELR s'applique essentiellement à la partie radio du réseau.

Les différents paramètres associés à la classe de la qualité de service sont résumés dans le tableau III.1.

QCI	Type de ressource	Priorité	Latence	Taux d'erreur résiduel	Exemple d'utilisation
1	GBR	2	100 ms	10^{-2}	Voix
2		4	150 ms	10^{-3}	TV, Streaming vidéo
3		3	50 ms	10^{-3}	Jeu interactif
4		5	300 ms	10^{-6}	Vidéo à la demande
5	Non GBR	1	100 ms	10^{-6}	Signalisation IMS
6		6	300 ms	10^{-6}	Vidéo à la demande, services basés sur TCP.
7		7	100 ms	10^{-6}	Voix, streaming vidéo, jeu interactif.
8		8	300 ms	10^{-3}	Bearer EPS pour les abonnés premium.
9		9	300 ms	10^{-6}	Bearer EPS pour les abonnés non premium

Tableau III.1: Les paramètres associés aux classes du QCI. [3]

III.4.2. La priorité d'allocation ou de rétention (ARP) :

Dans une situation de congestion, l'établissement d'un bearer EPS peut être accepté ou refusé à un utilisateur, cette décision dépend du paramètre ARP qui est constitué des trois éléments suivants :

- Niveau de priorité (de 1 à 15, 1 étant le niveau de priorité le plus élevé).
- Capacité de préemption (oui/non).
- Vulnérabilité à la préemption (oui/non).

Le niveau de priorité assure dans une situation de limitation des ressources l'établissement des bearers de priorité plus haute. Dans le cas où les ressources sont très restreint l'ARP permet de libérer les bearers les moins important afin d'établir de nouveaux bearers d'une priorité plus haute. [3]

La capacité de préemption indique si l'établissement d'un bearer de plus haute priorité conduit à la relâche d'un bearer moins prioritaire ou non.

La vulnérabilité à la préemption indique si le bearer est susceptible d'être relâché ou non.

III.4.3. le débit garanti GBR :

Le GBR est le débit minimum assuré par le réseau à certains bearers EPS (bearer GBR). Ce qui signifie que le débit garanti à un utilisateur privilégié ne peut pas être inférieur au GBR. Les GBRs sont spécifiées différemment pour la liaison montante et la liaison descendante.

La valeur d'un GBR est prédéterminée et associée au bearer. Si le trafic acheminé par ce bearer GBR est conforme à la valeur associée au bearer, il n'y aura pas de pertes de paquet liées à la congestion sur les services utilisant ce bearer. [26]

Comme nous avons déjà cité, le débit dans un réseau LTE/EPC peut atteindre 326,4 Mbit/s dans un cas idéal en utilisant la technique MIMO 4x4, une modulation 64 QAM et une largeur de bande de 20 MHz, pour calculer ce débit nous procédons comme suite :

- Tout d'abord, nous calculons le nombre d'éléments de ressources (RE) dans une sous-trame avec une bande passante de 20 MHz: 12 sous-porteuses $\times$ 7 symboles OFDMA $\times$ 100 blocs de ressources $\times$ 2 emplacements = 16800 RE par sous-trame. Chaque RE peut porter un symbole de modulation.

- Deuxièmement, avec une modulation QAM 64, un symbole de modulation portera 6 bits. Le nombre total de bits dans une sous-trame (1 ms) sur un canal de 20 MHz est de 16800 symboles de modulation.

$16800 \times 6 \text{ bits} = 100800 \text{ bits}$. Le débit est donc de $100800 \text{ bits} / 1 \text{ ms} = 100,8 \text{ Mbps}$.

- Troisièmement, avec le MIMO 4x4, le débit de pointe atteint $100,8 \text{ Mbps} \times 4 = 403,2 \text{ Mbps}$.

- quatrièmement, si nous estimons 20 % de frais généraux consommés par les signaux de référence, signaux de synchronisation, codage...etc. Nous obtenons :

$403,2 \times 80 \% = 322,5 \text{ Mbps}$. C'est une valeur approximative à la valeur théorique qui dépend des frais généraux consommés par les différents signaux au sein du réseau.

III.4.4. Le débit maximal ou MBR :

Le paramètre MBR est utilisé pour un bearer de type GBR et désigne un seuil de débit autorisé sur un bearer EPS. Si un débit dépassant le MBR est détecté par un équipement, ce dernier effectue un lissage de débit en supprimant des paquets afin de respecter ce seuil. Ce lissage de trafic est réalisé par l'eNodeB dans le sens montant et par le PGW dans le sens descendant.

III.4.4.1 Les débits agrégés (UE-AMBR et APN-AMBR) :

Les bearers LTE qui sont classés comme non GBR sont programmés en fonction de l'AMBR pour l'abonné. Cela signifie que le total des ressources radio disponibles pour tous les bearers non GBR qu'un abonné actif ne peut pas dépasser l'AMBR.

Chaque nom de point d'accès (APN) est associé au débit binaire maximal d'agrégat (APN-AMBR). Il limite le débit global pouvant être fourni à tous les bearers non-GBR du même APN.

L'UE-AMBR désigne le débit maximal accordé à un UE pour l'ensemble de ses bearers non-GBR.

III.4.5. la gigue :

La gigue est définie comme la variation de latence des paquets, plus précisément, c'est la différence entre les délais des transmissions des paquets mis dans un même flux de paquets. La RFC 4689 définit la gigue comme la valeur absolue de la différence entre le délai d'acheminement de deux paquets reçus consécutifs appartenant au même flux. [28]

Les applications et les dispositifs destinés à l'utilisateur final sont conçus pour tolérer une certaine quantité de gigue. Ceci est réalisé en tamponnant le flux de données et en concevant des algorithmes de traitement pour compenser les petits changements de latence qui se produisent d'un paquet à l'autre.

Cette variation peut provenir de plusieurs sources comme le changement d'intensité de trafic sur les sorties des commutateurs, elle dépend aussi du volume de paquets à transmettre et du nombre d'équipement dans le réseau.

Compte tenu de la RFC 4689, le calcul de la gigue nécessite la mesure des quatre paramètres suivants:

- l'heure de transmission du premier paquet.
- l'heure de la réception du premier paquet
- l'heure de transmission du deuxième paquet.
- l'heure de la réception du deuxième paquet. [28]

III.5. Application des paramètres de la QoS dans le réseau :

La politique de l'opérateur et les caractéristiques des services de souscription de l'utilisateur enregistrées dans le HSS sont les deux éléments qui définissent les valeurs des paramètres de la QoS qui sont enregistrées au sein du réseau cœur EPC. Les valeurs de la qualité de service sont transférées à l'eNodeB par le MME sans modification par ce dernier. Contrairement à l'UMTS, en LTE il n'existe pas de négociation de qualité de service entre le MME et l'eNodeB. Si l'eNodeB ne peut pas assurer une QoS assurée pour un bearer, ce dernier ne sera pas établi.

Lors d'un appel, les paramètres de la QoS sont transmis aux différents nœuds du réseau par le HSS, chaque nœud reçoit quelques paramètres et seulement le GBR et le MBR qui sont transmis à tous les nœuds. L'UE reçoit ces paramètres sans qu'il puisse les modifier. Par contre, c'est l'eNodeB qui veille à atteindre le GBR et ne pas dépasser le MBR dans la voie montante et descendante.

Le rôle de l'UE dans la QoS est de veiller à ne pas dépasser l'APN-AMBR. Le PGW contrôle aussi l'APN-AMBR et supprime des paquets de données en cas de dépassement de ce débit agrégé.

III.6. Fonctions de la gestion de la QoS dans le réseau :

III.6.1 Fonctions de gestion de la QoS pour le plan de contrôle :

Gestionnaire de service : coordonne les fonctions du plan de contrôle pour établir, modifier et maintenir le service dont il est responsable. De plus, il fournit à toutes les fonctions de gestion de QoS du plan utilisateur les attributs appropriés.

La fonction de traduction : La traduction comprend la conversion entre des attributs des bearers et des attributs QoS du protocole de contrôle de service de réseau externe.

Le contrôle d'admission et de capacité : enregistre des informations sur toutes les ressources disponibles d'une entité de réseau et sur toutes les ressources allouées aux bearers.

Il détermine pour chaque demande ou modification de bearer si les ressources requises peuvent être fournies par cette entité et réserve ces ressources si elles sont allouées bearer. La fonction vérifie également la capacité de l'entité de réseau à fournir le service demandé.

Le contrôle d'abonnement : vérifie les droits d'administration de l'utilisateur pour utiliser le service demandé avec les attributs de QoS spécifiés.

III.6.2. Fonctions de gestion de la QoS pour le plan utilisateur :

Les fonctions de gestion de la qualité de service du plan utilisateur maintiennent le trafic de données de signalisation et d'utilisateur dans certaines limites, définies par des attributs de qualité de service spécifiques. Les bearers ayant des valeurs d'attribut QoS différentes doivent être pris en charge par les fonctions de gestion de la qualité de service. Ces fonctions assurent la fourniture de la QoS négociée pour un bearer.

La fonction de mappage : fournit à chaque unité de données le marquage spécifique requis pour recevoir la qualité de service prévue au transfert par bearer.

La fonction de classification : assigne des unités de données aux services établis d'un UE en fonction des attributs QoS associés si l'UE a plusieurs bearers.

Le Gestionnaire de ressources : distribue les ressources disponibles entre tous les services partageant la même ressource. Le gestionnaire de ressources distribue les ressources en fonction de la QoS requise.

Le conditionneur de trafic : assure la conformité entre la qualité de service négociée pour un service et le trafic de l'unité de données. Les unités de données ne correspondant pas aux attributs pertinents seront supprimées ou marquées comme ne correspondant pas, pour une suppression préférentielle en cas de congestion. [27]

III.7. DiffServ et IntServ :

DiffServ (Differentiated Services) est une architecture de contrôle du trafic réseau par classe pour que certains types de trafic soient prioritaires. Par exemple, le trafic vocal, qui nécessite un flux relativement ininterrompu de données, peut avoir priorité sur les autres types de trafic. Les services différenciés sont la méthode la plus avancée pour gérer le trafic en fonction de ce que l'on appelle la classe de service (CoS). Contrairement aux mécanismes antérieurs de marquage, les services différenciés évitent le simple marquage de priorité et dépendent d'instructions de règles ou de règles plus complexes pour déterminer comment

transférer un paquet réseau donné. Un champ de six bits, connu sous le nom de DSCP (Differentiated Services Code Point), dans l'en-tête IP (Internet Protocol) spécifie le comportement pour un flux de paquets donné.

IntServ (Integrated Service) est une approche permettant la gestion de la qualité de service dans un réseau IP qui se repose sur le protocole RSVP, et qui consiste à réserver toutes les ressources nécessaires au niveau des nœuds ensuite il fait transiter les flux.

III.8. Discussion :

Dans ce chapitre, nous avons reporté les différents paramètres de la QoS dans un réseau LTE/EPC, les différentes fonctions de gestion de la qualité de service ainsi que d'autres caractéristiques exigées au réseau pour son bon fonctionnement comme la mobilité et la permanence de la connexion.

Malgré les améliorations effectuées en LTE par rapport au HSPA, les exigences des abonnés en terme de qualité de service ne cessent de croître. Pour cela, des améliorations plus efficaces ont été apporté au niveau de la qualité de service dans les réseaux LTE-Advanced afin de répondre à ces exigences.

Dans le chapitre qui suit, nous allons procéder à l'étude pratique des différents paramètres de la QoS.

CHAPITRE IV

Mesure pratique des paramètres de la QoS

4.1. Préambule :

Dans ce chapitre, nous allons nous intéresser à l'étude pratique des différents paramètres de la QoS ainsi qu'aux différents signaux permettant l'analyse des performances du réseau LTE.

Les mesures de base de gestion des ressources radio (RRM) du réseau LTE sont

- Le SINR (Signal-to-Noise plus Interference Ratio).
- Le RSRP (Reference Signal Received Power).
- Le RSRQ (Reference Signal Received Quality).
- Le RSSI (Received Signal Strength Indicator).

Le SINR représente la qualité de canal, tandis que la connaissance de RSRP et RSRQ est nécessaire pour la prise de décision de transfert intercellulaire LTE (Handover). [30]

Plusieurs outils sont mis en œuvre au sein des opérateurs afin d'étudier les variations des paramètres liés à la qualité de service. Parmi ces outils on peut citer : Net Check, mesures à l'aide d'une application crowdsourcing ou par des drives tests qu'on va utiliser dans la suite de ce chapitre.

L'utilisation des drives tests dépend de l'opérateur dont la pratique a été effectuée, et puisque l'opérateur MOBILIS utilise des mesures par drives tests, nous avons eu l'opportunité de vérifier sur le terrain les différentes étapes suivies pour déterminer les variations de ces paramètres.

4.2 drive-tests :

Dans le réseau d'aujourd'hui avec les simulations modernes, les ingénieurs réseau peuvent modéliser mathématiquement comment un réseau fonctionnera. Bien que cela soit vrai dans une certaine mesure, il est également essentiel d'effectuer des tests car les paramètres réseau seront modifiés par l'environnement et altèrent la manière dont l'UE interagit avec le réseau.

En LTE, comme le reste des réseaux cellulaires, le drive test est une part du déploiement du réseau et de sa gestion depuis son installation. Il fournit une capture réelle précise de l'environnement radiofréquence dans un ensemble particulier de conditions de réseau et d'environnement.

Des paramètres de la QoS comme le GBR et le MBR sont fixés au niveau de réseau cœur (EPC) mais l'UE reçoit des valeurs réduites de ces performances. Cette réduction des performances est due à plusieurs facteurs (la distance par rapport à l'eNodeB, l'effet de fading,

les bruit au niveau du canal, les interférences diverses...etc.). Le principal avantage du drive test est qu'il mesure la couverture réseau réelle et les performances réelles telles qu'elles sont perçues par l'utilisateur.

Les objectifs visés par le drive test sont la correction des erreurs d'installation commises lors de déploiement du réseau et l'optimisation des performances du réseau et de la qualité de service.

4.2.1. Composants de drive test :

Les drives tests sont généralement basés sur deux composants de mesure, un téléphone mobile instrumenté (Sony Ericsson ou Sony dans notre cas) et des récepteurs de mesure. Le dispositif de mesure est contrôlé avec un logiciel d'enregistrement de données sur un ordinateur portable avec un GPS pour assurer la géolocalisation des données collectées. La collecte des données se fait en suivant un trajet bien précis à une vitesse uniforme.

Finalement, le téléphone mobile enregistre un « log file » qui sera ensuite analysé en utilisant des logiciels qui permettent de tracer le résultat sur des cartes numériques permettant la visualisation de l'environnement RF. Dans notre, nous allons utiliser l'application que nous avons développé.

La figure suivante présente les différents équipements utilisés lors du teste.



Figure IV.1: Les composants d'un drive test.

4.2.2. Déroutement du drive test :

Le drive test se fait en deux modes, connecté (actif) et idle (non actif). Et dans chacun des modes nous mesurons les paramètres radio en état statique et en état dynamique (UE en mobilité). Dans notre cas les mesures sont effectuées en mobilité et en mode actif.

Le teste des débits de la voie montante et descendante se fait en se connectant au serveur FTP (Filezilla) et en téléchargeant dix fichiers de grande taille du serveur FTP et en transférant dix fichiers de grande taille vers le serveur.

Le teste de la latence se fait en effectuant une commande ping depuis l'invite de commande de Windows vers l'adresse IP de serveur FTP. Le temps de réponse à la commande ping est la latence que nous souhaitons mesurer. Ce temps de réponse est enregistré dans un fichier log (journal) pour être ensuite visualisé.

A partir des temps de réponse à deux Pings consécutifs, nous pouvons calculer la gigue dans le réseau.

Nous avons effectué deux drives tests, l'un au niveau de Batna (Ngaous) et l'autre au niveau d'Alger (Bordj el kifan), puis nous avons développé une application que nous allons présenter dans ce qui suit. Cette application a pour but la classification des signaux mesurés lors des drives tests. Elle se base sur les données collectées par l'ordinateur lors du drive test et permet la visualisation du trajet parcouru et les valeurs associées à chaque point du parcours. Les figures IV.2.a et IV.2.b montrent les images satellitaires des parcours suivis lors des deux drives tests.

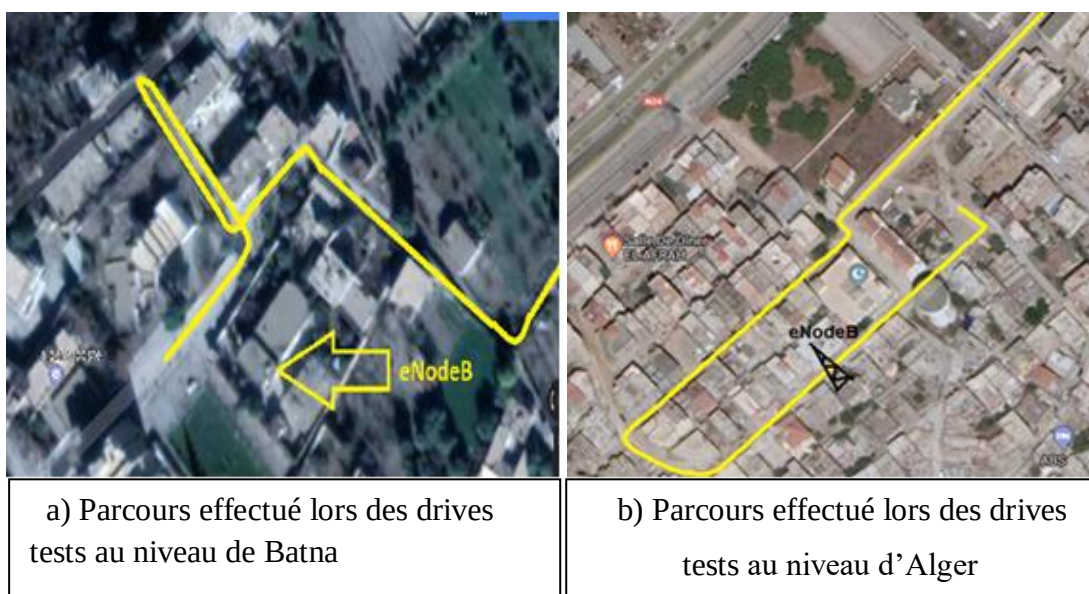


Figure IV.2: Les deux Parcours effectués lors des drives tests.

Le drive test nous reporte des résultats en mode veille et en mode actif, et comme en mode veille il n'y a que des messages de signalisation qui transitent entre l'UE et l'eNodeB, donc nous nous intéressons qu'aux tests faits en mode actif.

4.3. Normes de classification des paramètres mesurés lors des deux drives tests :

Le but de la segmentation des valeurs issues des drives tests en classes est de faciliter la lecture des données collectées et leur traitement. En effet, les mesures prélevées du drive test sont des valeurs instantanées et très nombreuses qui ne nous permettent pas d'évaluer les paramètres de qualité de service dans le réseau.

La classification des paramètres mesurés lors du drive test dépend de la norme de classification utilisée. En effet, dans notre travail, deux normes de classification sont prises en compte. La première classification est celle utilisée par l'opérateur MOBILIS et la deuxième est celle définie par l'organisme 3GPP.

4.3.1. Classification des valeurs mesurées selon la norme de MOBILIS :

La première classification des valeurs mesurées lors de drive test est basée sur la norme utilisée par l'opérateur MOBILIS. En effet, ce dernier utilise une échelle de cinq classes pour différencier entre les différentes valeurs du RSRP et du RSRQ mesurées, et une échelle de sept classes pour classer les valeurs du débit et du SINR. Les classes du RSRP et du RSRQ sont montrées par le Tableau IV.1

Qualité	valeur du RSRP (dBm)	Valeur du RSRQ (dB)
Excellente	[-80,-40]	[-5,0]
Bonne	[-95,-80[	[-8, -5[
Moyenne	[-100,-95[	[-11, -8[
Mauvaise	[-110, -100[	[-15, -11[
Pas de signal	[-140,-110[	[-40, -15[

Tableau IV.1: Classification des valeurs du RSRP et du RSRQ selon MOBILIS.

Afin de clarifier le fonctionnement de l'application de classification, un organigramme de teste nous est indispensable pour simplifier l'explication et la compréhension du programme de l'application. La figure IV.3 représente l'organigramme de teste de classification des valeurs de RSRP et du RSRQ.

Dans les organigrammes suivants, P est la valeur du paramètre à classifier et $V_1, V_2, V_3, V_4, V_5, V_6, V_7$ et V_8 sont les bornes des classes.

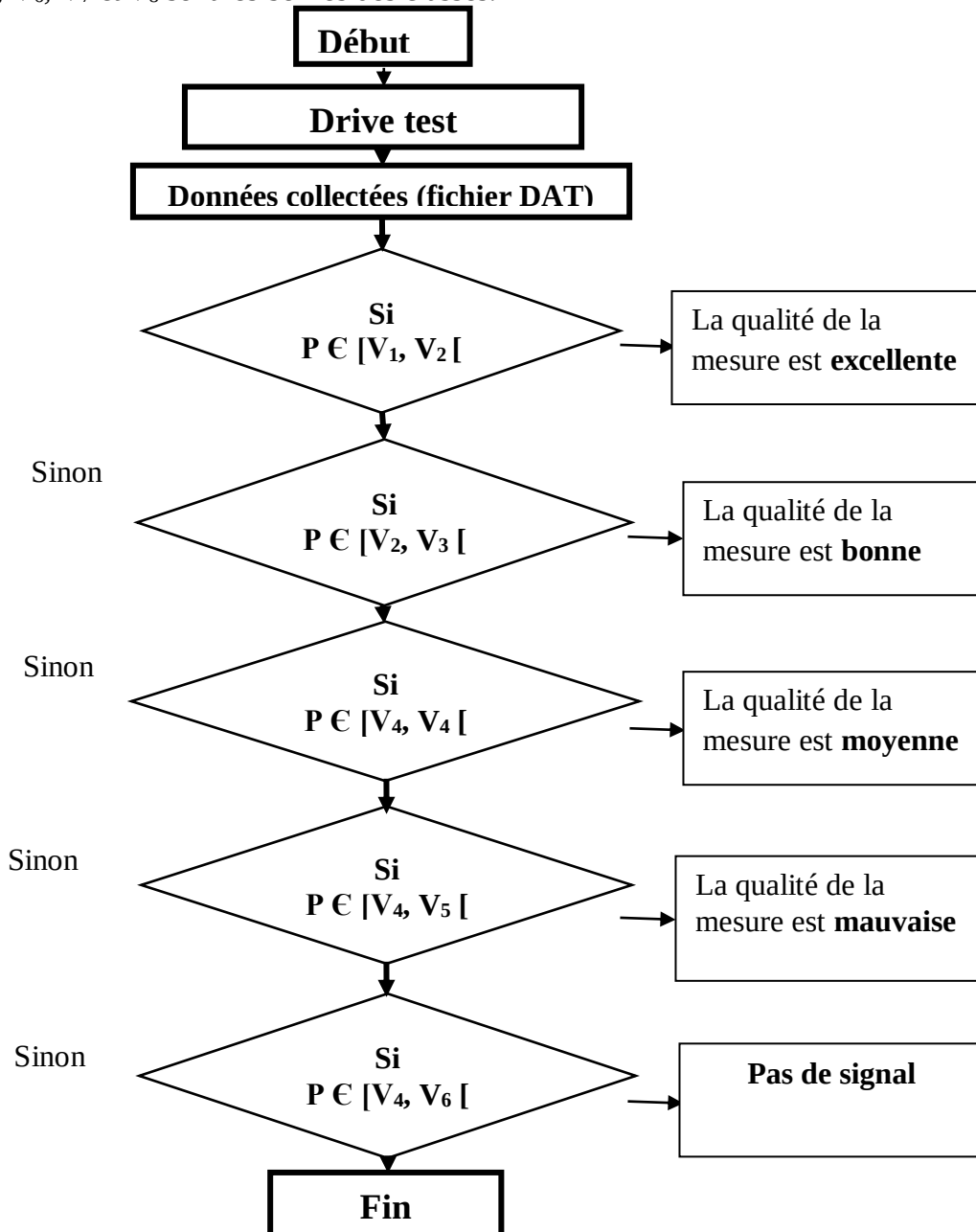


Figure IV.3 : Organigramme de test de classification des valeurs du RSRP et du RSRQ.

La classification du débit et du SINR selon MOBILIS sont illustrées sur le tableau IV.2.

Qualité	Valeur du SINR (dB)	Valeur du débit (Kbit/s)
Excellente	[30,50]	[50000,110000]
Bonne	[25,30[	[30000,50000[
Assez bonne	[20,25[	[20000,30000[
Moyenne	[15,20[	[15000,20000[
Mauvaise	[10,15[	[5000,15000[
Médiocre	[3,10[	[500,50000[
Pas de signal	[-20,3[	[0,500[

Tableau IV.2 : Classification des valeurs du SINR et du débit selon MOBILIS.

La figure suivante représente l'organigramme de test de classification du SINR et du débit selon la norme utilisée par MOBILIS.

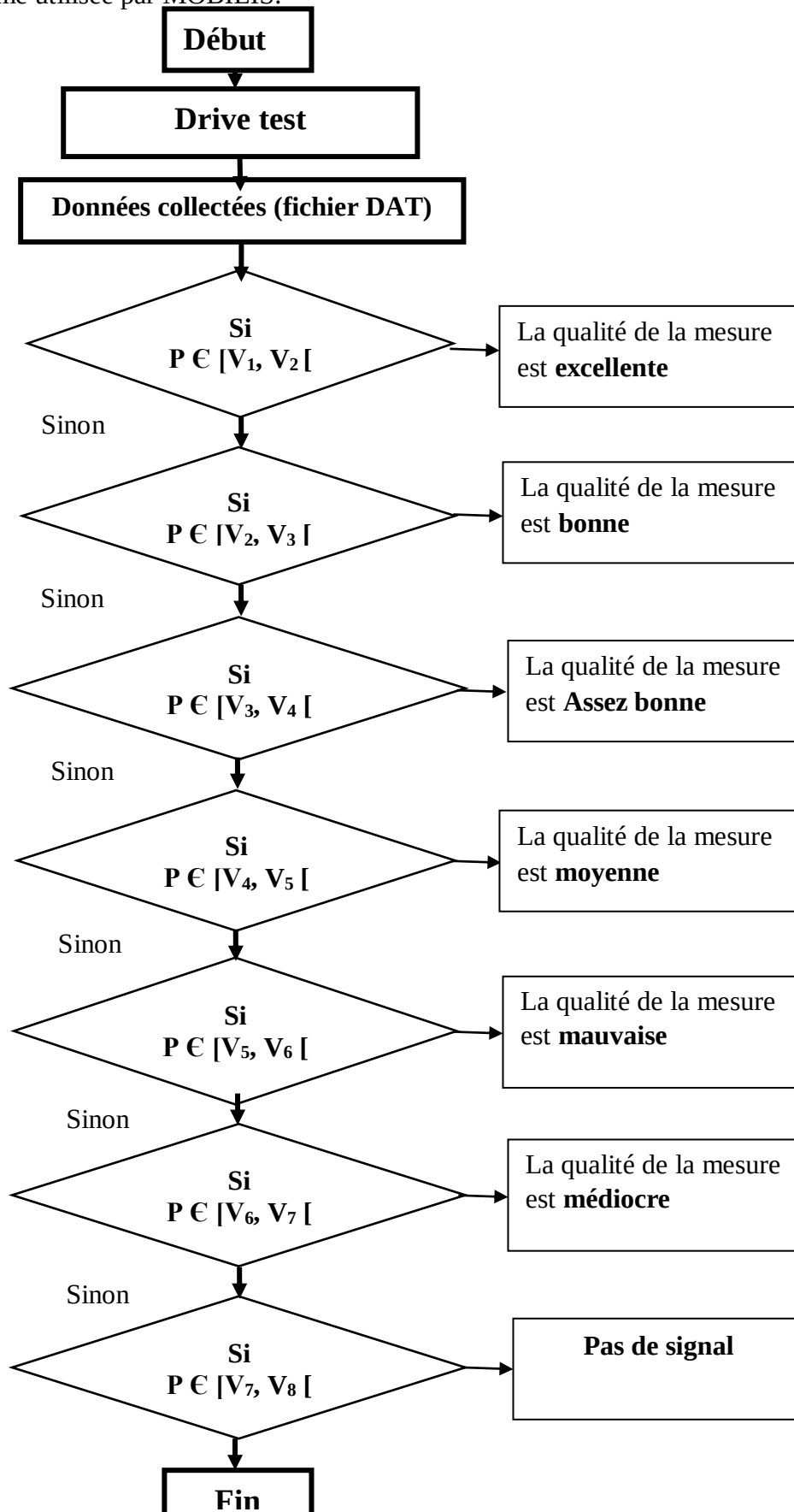


Figure IV.4 : Organigramme de test de classification des valeurs du SINR et du débit.

4.3.2. Classification des valeurs mesurées selon la norme de 3GPP :

Le 3GPP segmente les valeurs des paramètres de la QoS en quatre classes selon la qualité de la mesure. Le tableau suivant représente la classification des paramètres RSRP, RSRQ, SINR et du débit selon la norme de classification définie par le 3GPP

Qualité	RSRP (dBm)	RSRQ (dB)	SINR (dB)	Débit (Kbit/s)
Excellentes	[-80, -40]	[-10,0]	[20,50[	[30000,100000]
Bonnes	[-90,-80[	[-15,-10[	[13,20[	[15000,30000[
Moyennes	[-90,-100[	[-20,-15[	[0 à 13[	[5000,15000[
Mauvaises	[-140,-100[	[-40,-20[	[-20,0[	[0,5000[

Tableau IV.3 : Classification des valeurs des paramètres selon le 3GPP.

L'organigramme de classification des valeurs selon le 3GPP est illustré sur la figure suivante.

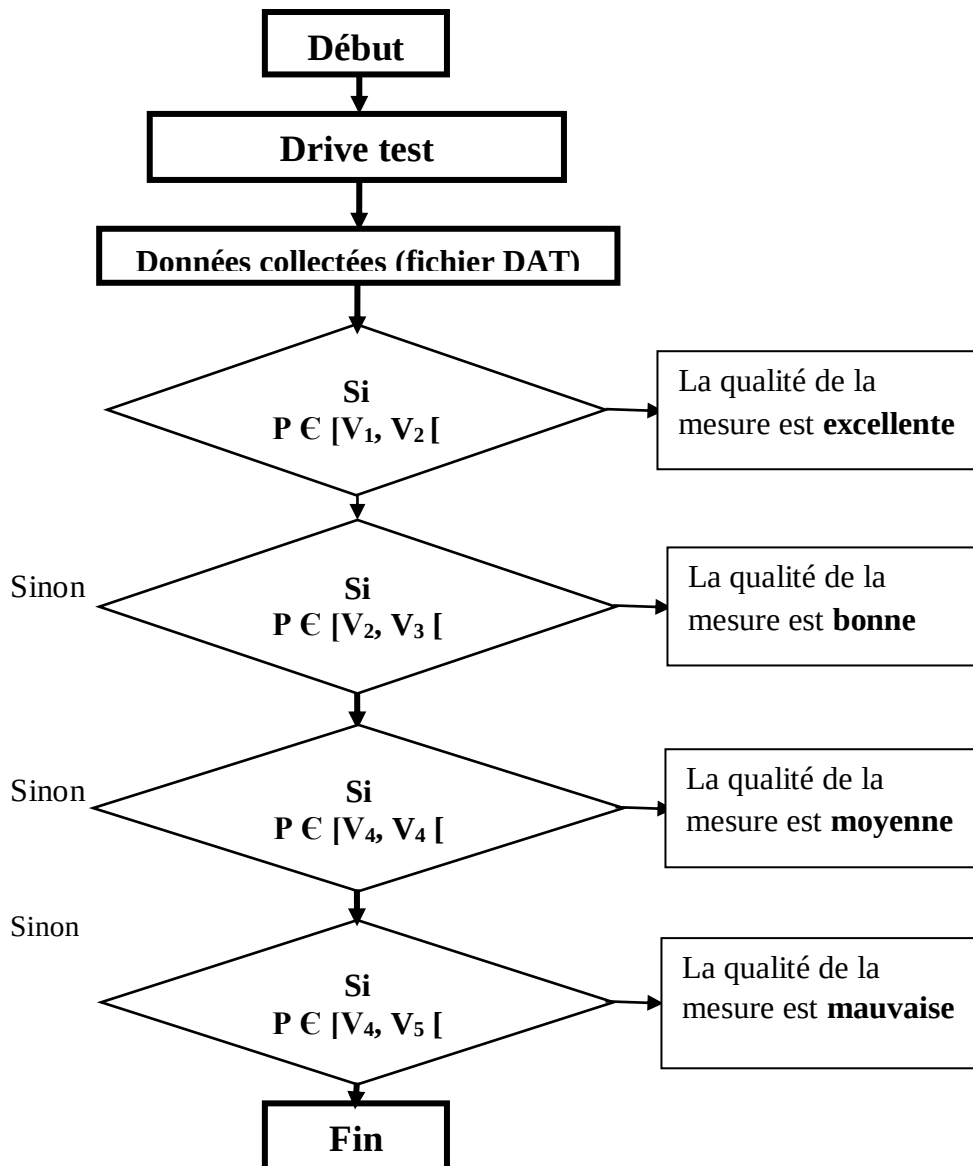
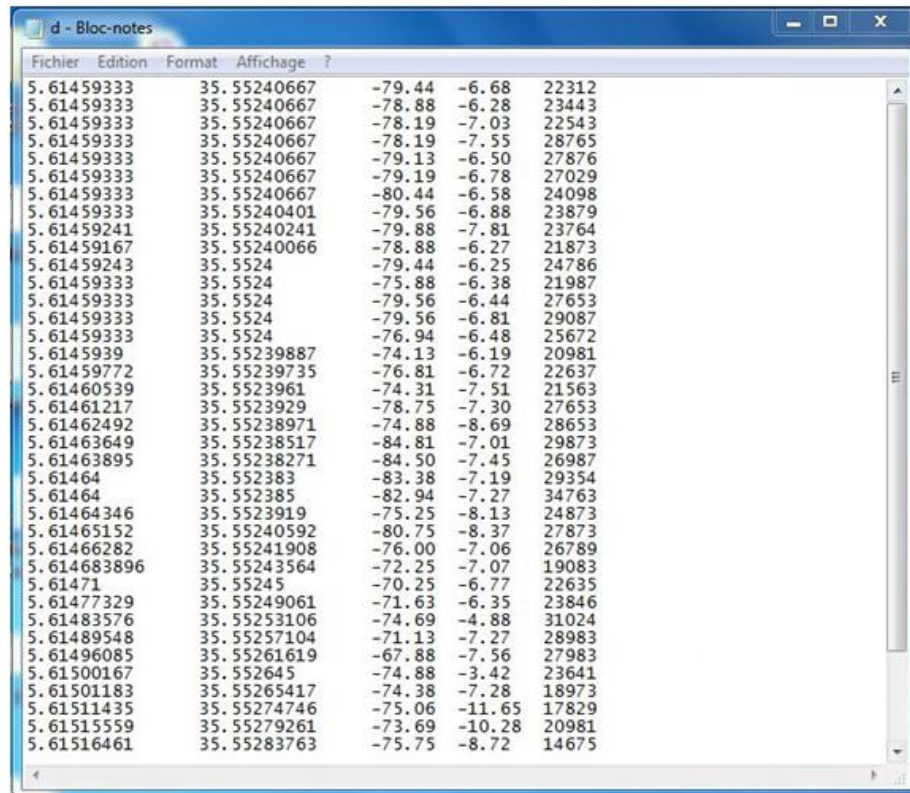


Figure IV.5 : Classification des valeurs des paramètres selon le 3GPP.

4.4. Classification des valeurs des paramètres du drive test (Batna):

A la fin de la mesure par drive test nous avons récupéré un fichier d'extension CSV contenant les coordonnées spatiales (longitude et altitude) de tous les points où des valeurs de mesure sont prises à l'aide du GPS. Ces données sont organisées ensuite dans un fichier DAT qui sert à créer une matrice de dimensions (133 coordonnées $\times$ 5 paramètres). La figure IV.6 représente le contenu du fichier DAT.



5.61459333	35.55240667	-79.44	-6.68	22312
5.61459333	35.55240667	-78.88	-6.28	23443
5.61459333	35.55240667	-78.19	-7.03	22543
5.61459333	35.55240667	-78.19	-7.55	28765
5.61459333	35.55240667	-79.13	-6.50	27876
5.61459333	35.55240667	-79.19	-6.78	27029
5.61459333	35.55240667	-80.44	-6.58	24098
5.61459333	35.55240401	-79.56	-6.88	23879
5.61459241	35.55240241	-79.88	-7.81	23764
5.61459167	35.55240066	-78.88	-6.27	21873
5.61459243	35.5524	-79.44	-6.25	24786
5.61459333	35.5524	-75.88	-6.38	21987
5.61459333	35.5524	-79.56	-6.44	27653
5.61459333	35.5524	-79.56	-6.81	29087
5.61459333	35.5524	-76.94	-6.48	25672
5.6145939	35.55239887	-74.13	-6.19	20981
5.61459772	35.55239735	-76.81	-6.72	22637
5.61460539	35.5523961	-74.31	-7.51	21563
5.61461217	35.5523929	-78.75	-7.30	27653
5.61462492	35.55238971	-74.88	-8.69	28653
5.61463649	35.55238517	-84.81	-7.01	29873
5.61463895	35.55238271	-84.50	-7.45	26987
5.61464	35.552383	-83.38	-7.19	29354
5.61464	35.552385	-82.94	-7.27	34763
5.61464346	35.5523919	-75.25	-8.13	24873
5.61465152	35.55240592	-80.75	-8.37	27873
5.61466282	35.55241908	-76.00	-7.06	26789
5.614683896	35.55243564	-72.25	-7.07	19083
5.61471	35.55245	-70.25	-6.77	22635
5.61477329	35.55249061	-71.63	-6.35	23846
5.61483576	35.55253106	-74.69	-4.88	31024
5.61489548	35.55257104	-71.13	-7.27	28983
5.61496085	35.55261619	-67.88	-7.56	27983
5.61500167	35.552645	-74.88	-3.42	23641
5.61501183	35.55265417	-74.38	-7.28	18973
5.61511435	35.55274746	-75.06	-11.65	17829
5.61515559	35.55279261	-73.69	-10.28	20981
5.61516461	35.55283763	-75.75	-8.72	14675

Figure IV.6 : Fichier DAT contenant les données à classer.

Les valeurs contenues dans la matrice sont les valeurs du RSRP, RSRQ et du débit (colonne1, colonne2, colonne3).

4.4.1. Classification des paramètres selon la norme MOBILIS :

Le drive test a été effectué au niveau de la région de Ngaous à Batna sur un parcours de 460 m avec une vitesse uniforme entre 20 Km/h et 40 Km/h.

La figure suivante représente le parcours du drive test projeté sur le plan de la région.

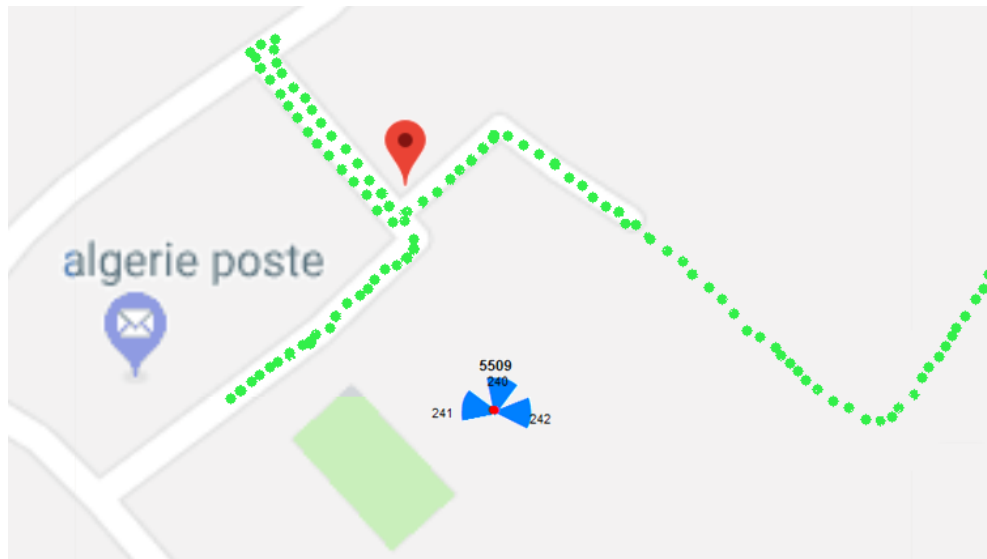


Figure IV.7: Parcours du drive test de Batna projeté sur le plan de la région.

4.4.1.1. Classification des valeurs du RSRP :

L'application de classification nous a permis de visualiser le parcours effectué lors du drive test grâce aux coordonnées géographiques (longitude, altitude) et les valeurs du RSRP mesurées en chacun des points du parcours. La figure IV.8 montre les classes des valeurs du RSRP mesurées en chaque point du parcours.

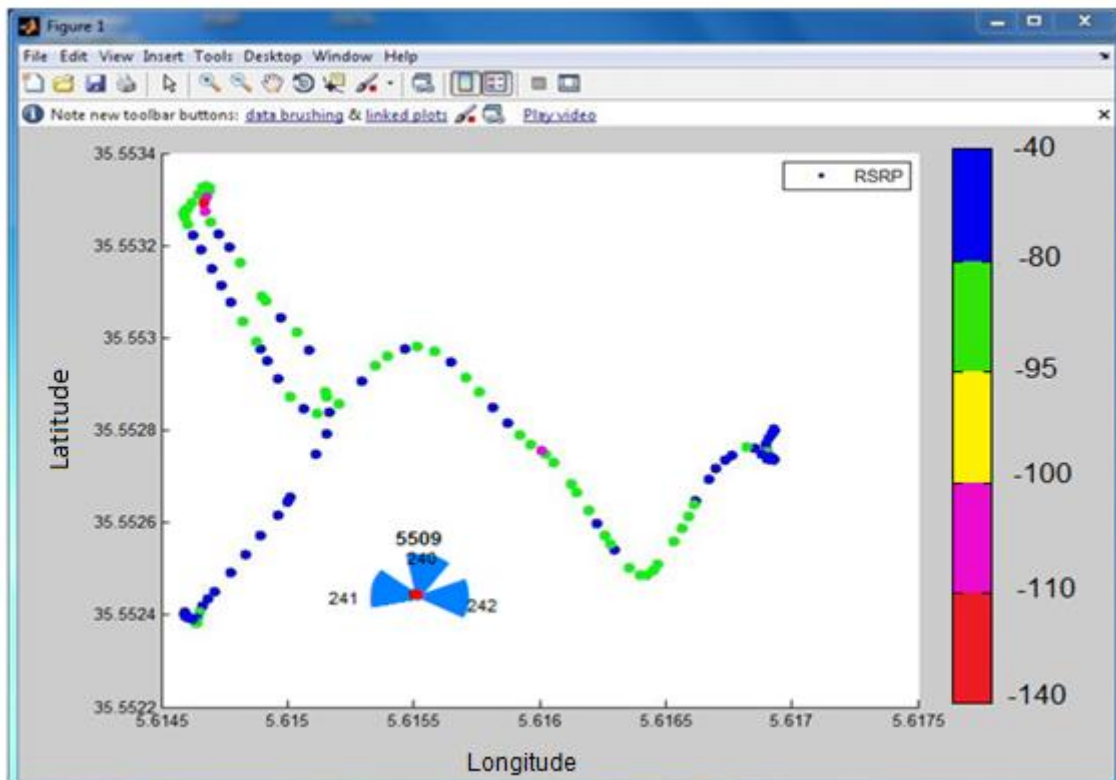
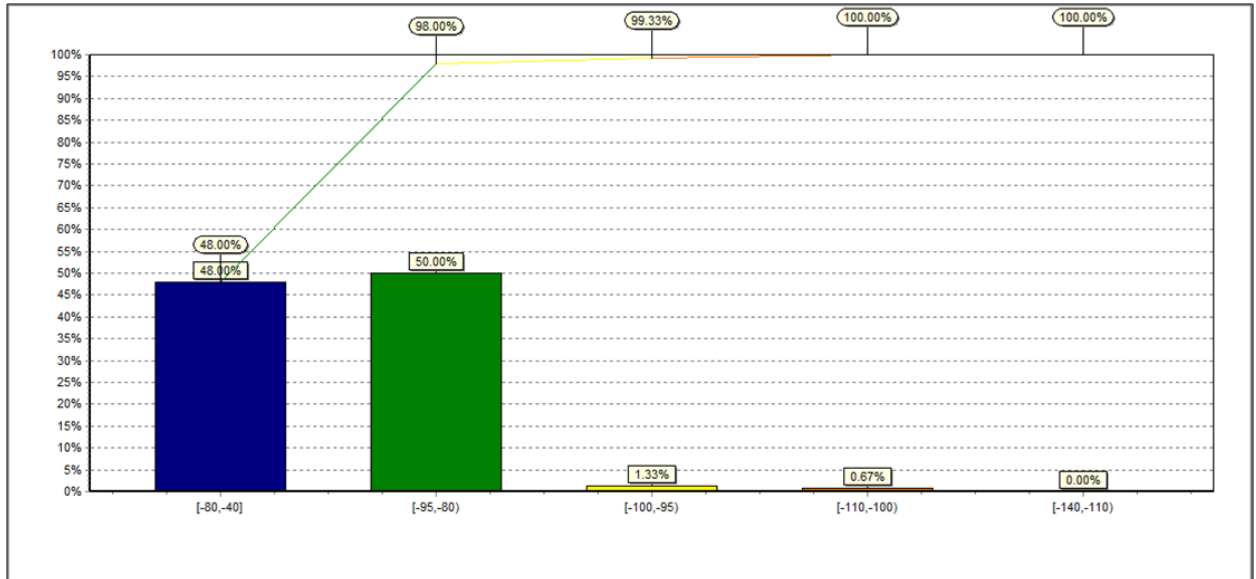


Figure IV.8: Classification des valeurs du RSRP mesurées selon MOBILIS.

Pour que les valeurs mesurées du RSRP soient acceptables, il faut que 90% des valeurs soient supérieures à -95 dBm.

Les pourcentages des classes des valeurs mesurées sont illustrés sur la figure suivante.

**Figure IV.9:** Pourcentage des classes des valeurs mesurées lors du drive test.

Sur la figure IV.6, nous remarquons que 98% des valeurs de RSRP sont supérieures à -95 dBm. C'est-à-dire que la puissance moyenne reçue par l'UE de l'eNodeB est suffisamment forte pour que l'UE interagisse avec l'eNodeB sans aucune altération.

4.4.1.2. Classification des valeurs du RSRQ :

Les valeurs du RSRQ issues du drive test sont classifiées à l'aide de notre application de classification et présentées sur la figure IV.10.

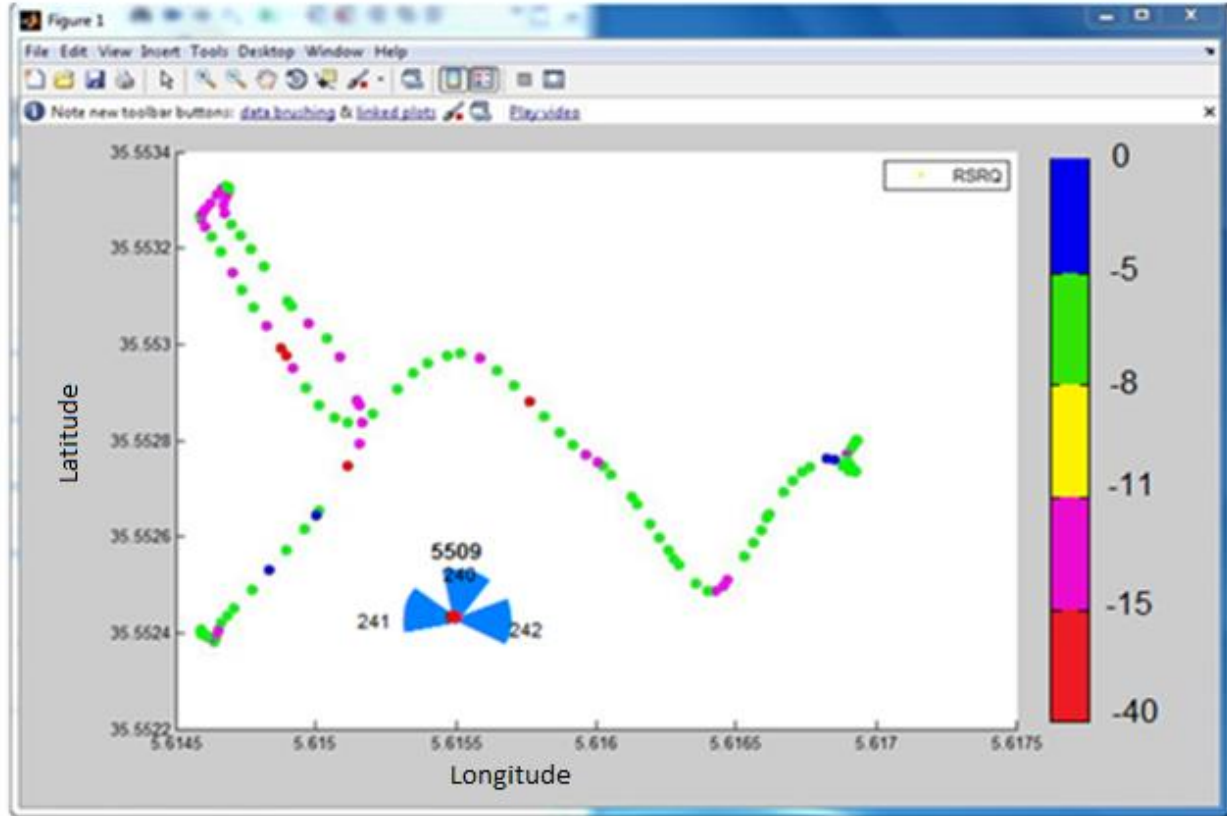


Figure IV.10 : classification des valeurs du RSRQ mesurées selon MOBILIS.

Les pourcentages des classes des valeurs mesurées sont illustrés sur la figure suivante.

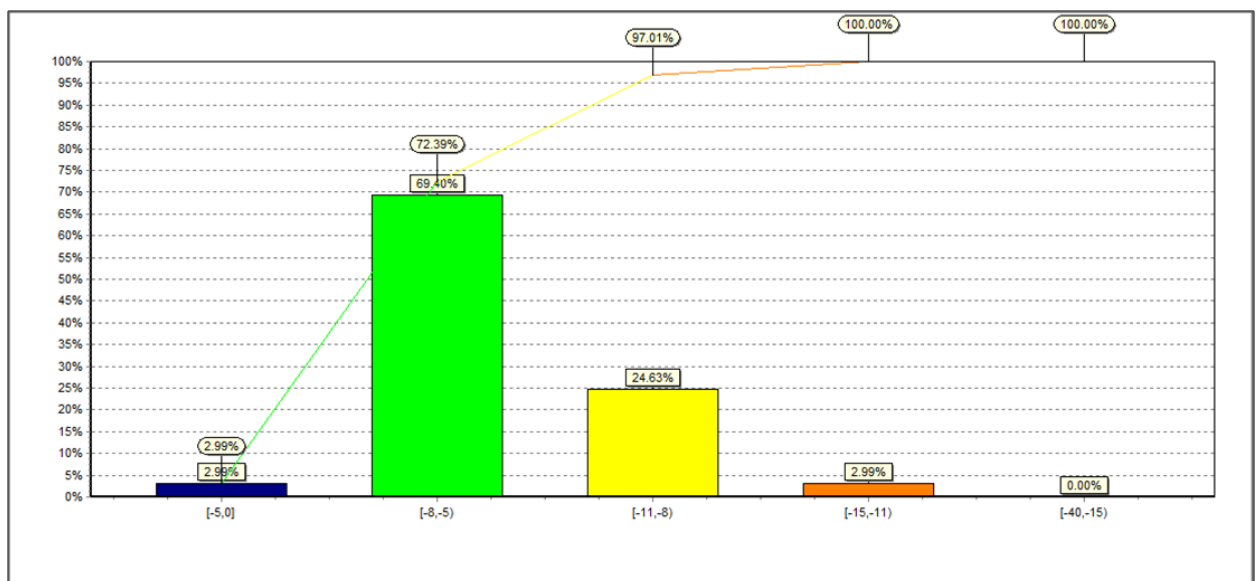


Figure IV.11: pourcentage des classes des valeurs mesurées du RSRQ.

Pour que les valeurs mesurées du RSRQ soient jugées acceptables par l'opérateur, il faut que 90% des valeurs mesurées soient supérieures à -11dB.

Dans cette mesure, seulement 97,01% des valeurs sont supérieures à -11 dB. Donc la qualité de communication entre les UEs de la cellule et l'eNodeB est excellente.

Les faibles valeurs de RSRQ mesurées sont dues aux interférences et aux différents signaux bruit présents dans la cellule.

4.4.1.4. Classification des valeurs du débit :

Les valeurs mesurées du débit reçu par un UE dans cette cellule sont issues du drive test, classifiées selon la norme de classification de l'opérateur et présentées sur la figure IV.12.

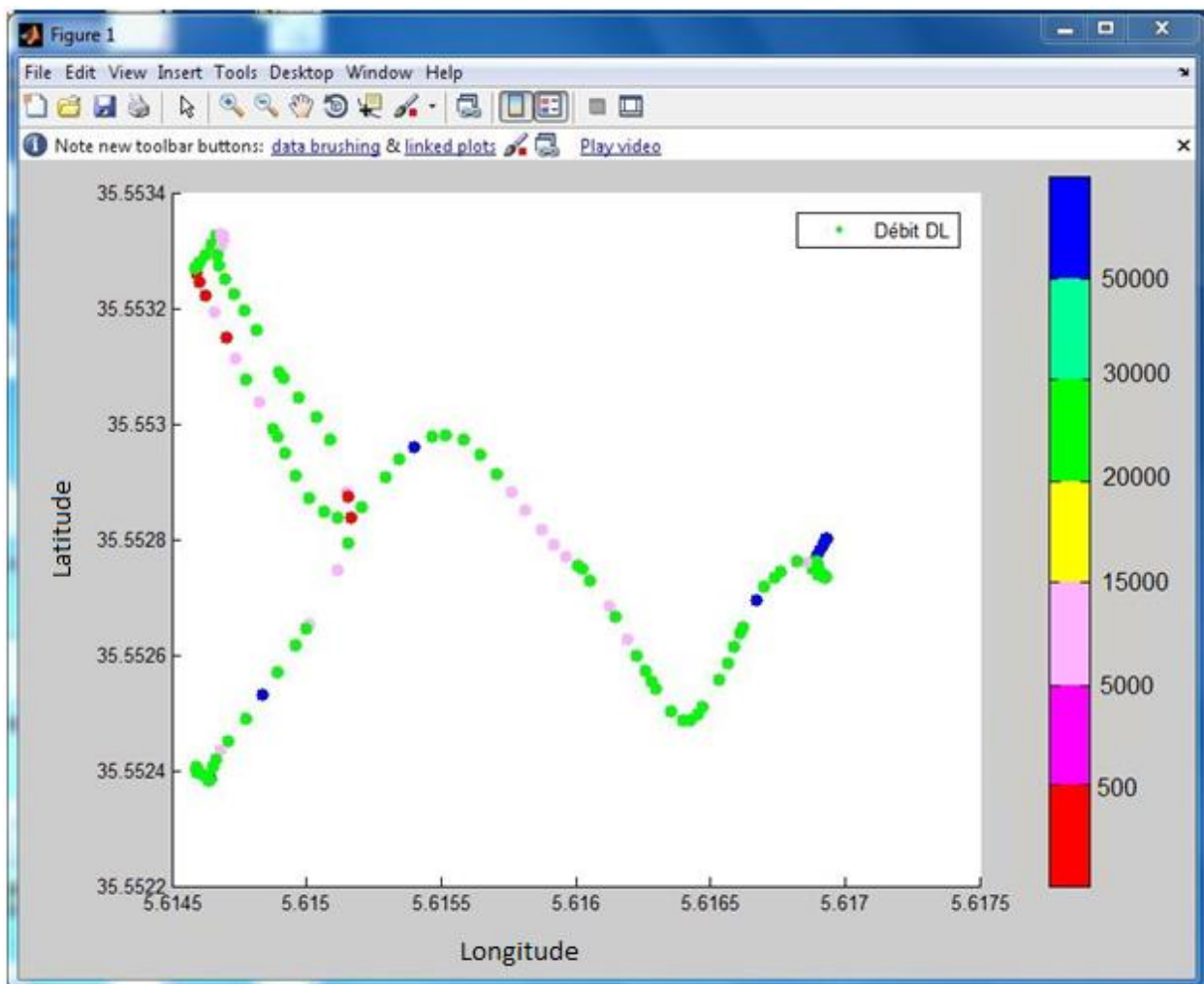


Figure IV.12: Classification des valeurs du débit mesurées selon MOBILIS.

Les pourcentages des classes des valeurs du débit mesurées sont illustrés sur la figure IV.13.

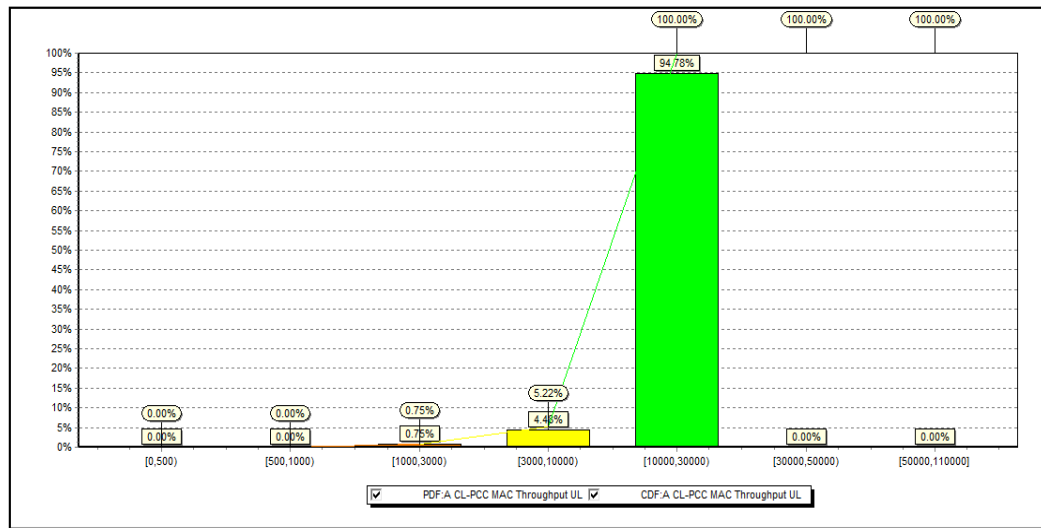


Figure IV.13: Pourcentage des valeurs du débit mesurées lors du drive test.

Pour que les débits reçus par les UEs de la cellule soient acceptables par l'opérateur, il faut que le débit moyen dans la cellule soit supérieur à 18 Mbps. Dans notre cas le débit moyen dans la cellule est $D=24,395$ Mbps. Donc la valeur du débit moyen dans cette cellule est assez importante.

4.4.2. Classification des paramètres selon la norme de 3GPP :

Le 3GPP segmente les valeurs du RSRP, RSRQ en quatre classes selon la qualité comme il est montré sur le tableau IV.3. Dans ce qui suit nous allons présenter une classification du RSRP, RSRQ, SINR et du débit selon la norme définie par le 3GPP.

4.4.2.1. Classification des valeurs du RSRP :

La classification des valeurs du RSRP mesurées lors du drive test selon le 3GPP est illustrée sur la figure IV.14.

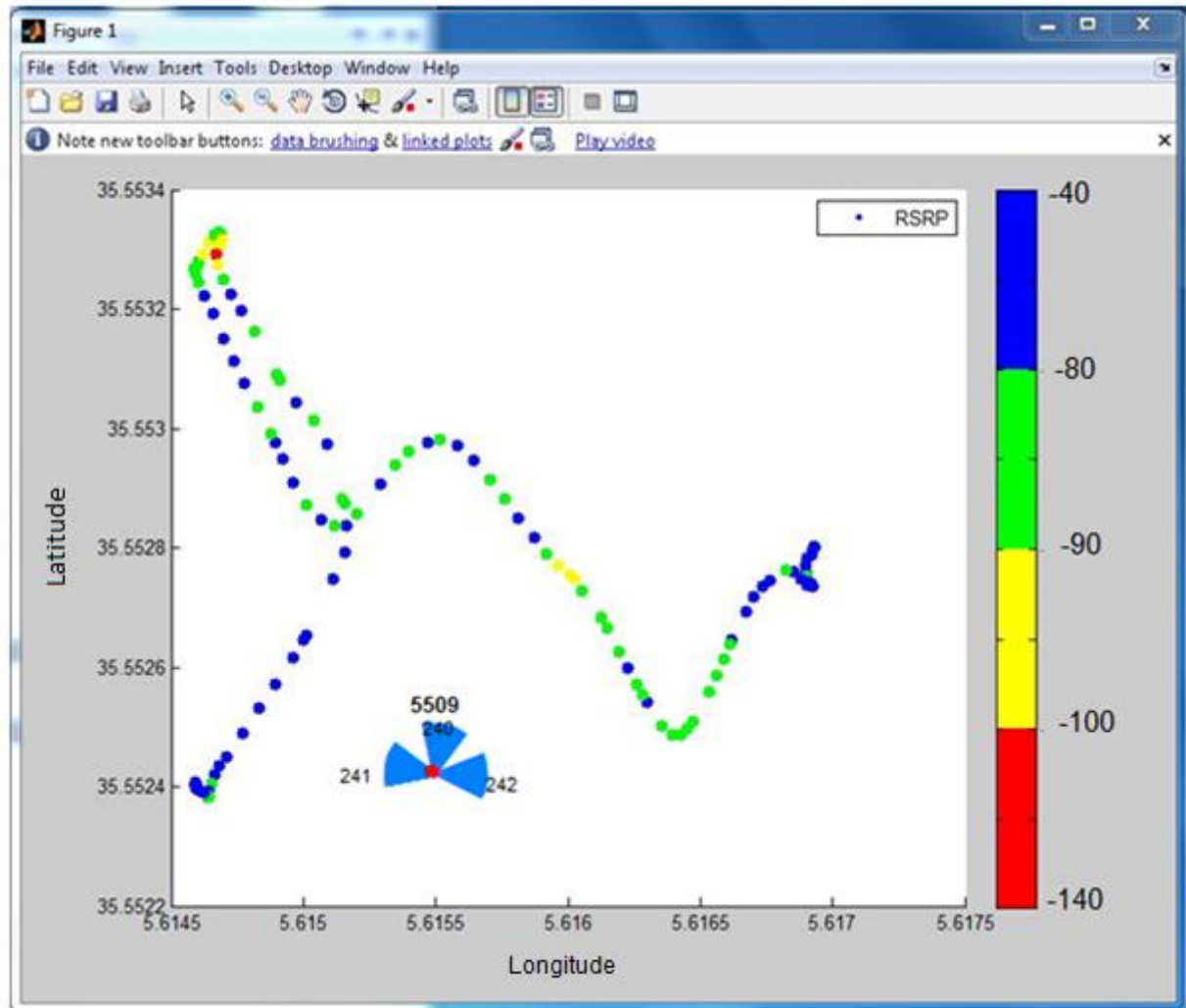


Figure IV.14: Classification des valeurs du RSRP mesurées selon le 3GPP.

Si nous comparons la classification des valeurs du RSRP selon la norme de MOBILIS et selon la norme de 3GPP, nous remarquons que la différence entre les deux résultats est imperceptible. Toutefois, la norme utilisée par l'opérateur MOBILIS est la plus détaillée (plus segmentée).

4.4.2.2. Classification des valeurs du RSRQ :

La classification des valeurs du RSRQ mesurées lors de drive test selon le 3GPP est illustrée sur la figure IV.15.

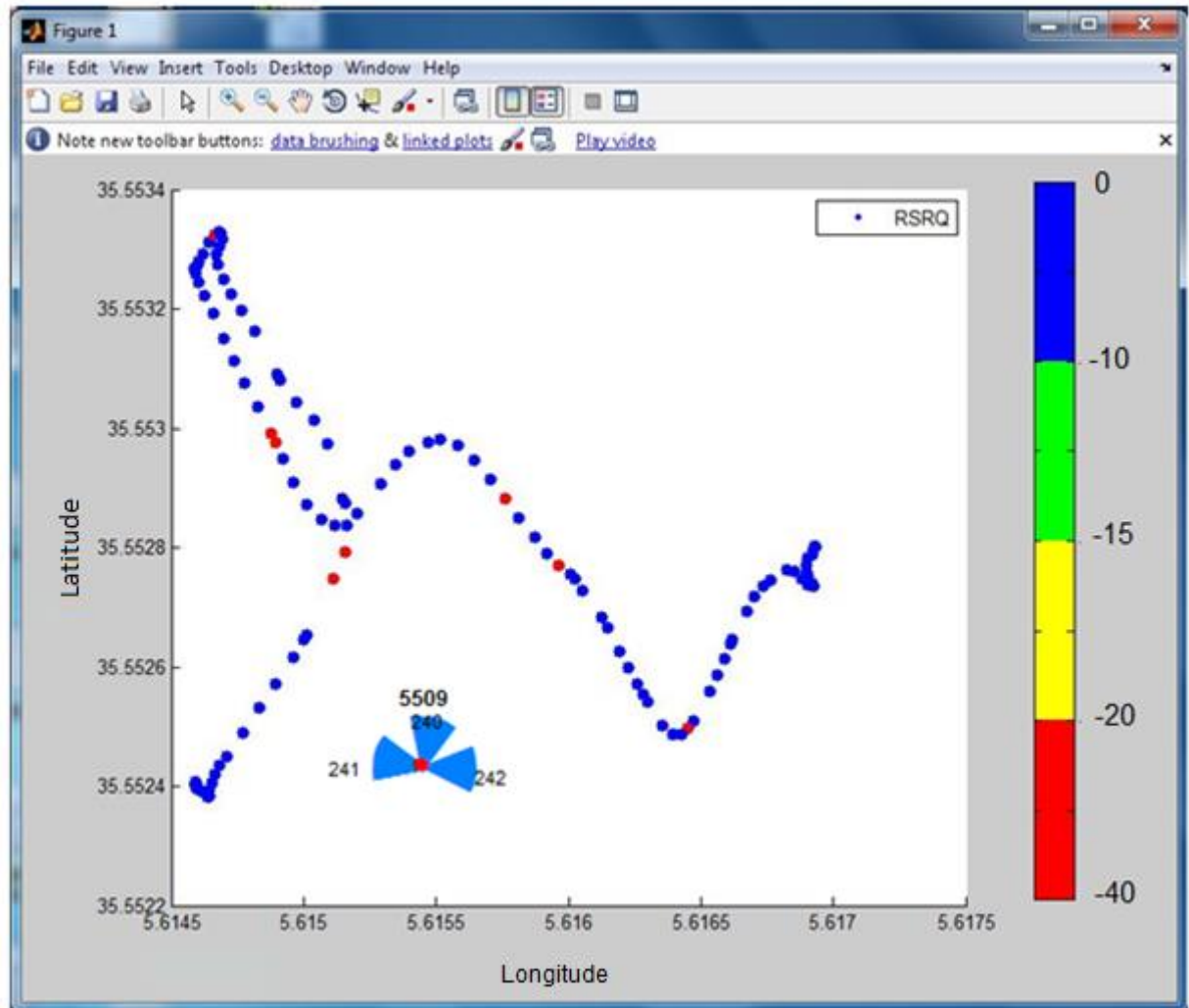


Figure IV.15 : Classification des valeurs du RSRQ mesurées selon le 3GPP.

Selon la classification des valeurs du RSRQ par le 3GPP, les valeurs que nous avons mesurées lors de ce drive test sont soit meilleures soit inacceptables. Par contre la classification définie par MOBILIS donne plus d'informations sur la qualité de la mesure.

4.4.2.3. Classification des valeurs du débit :

La classification des valeurs du débit selon la norme de classification définie par le 3GPP est illustrée sur la figure IV.16.

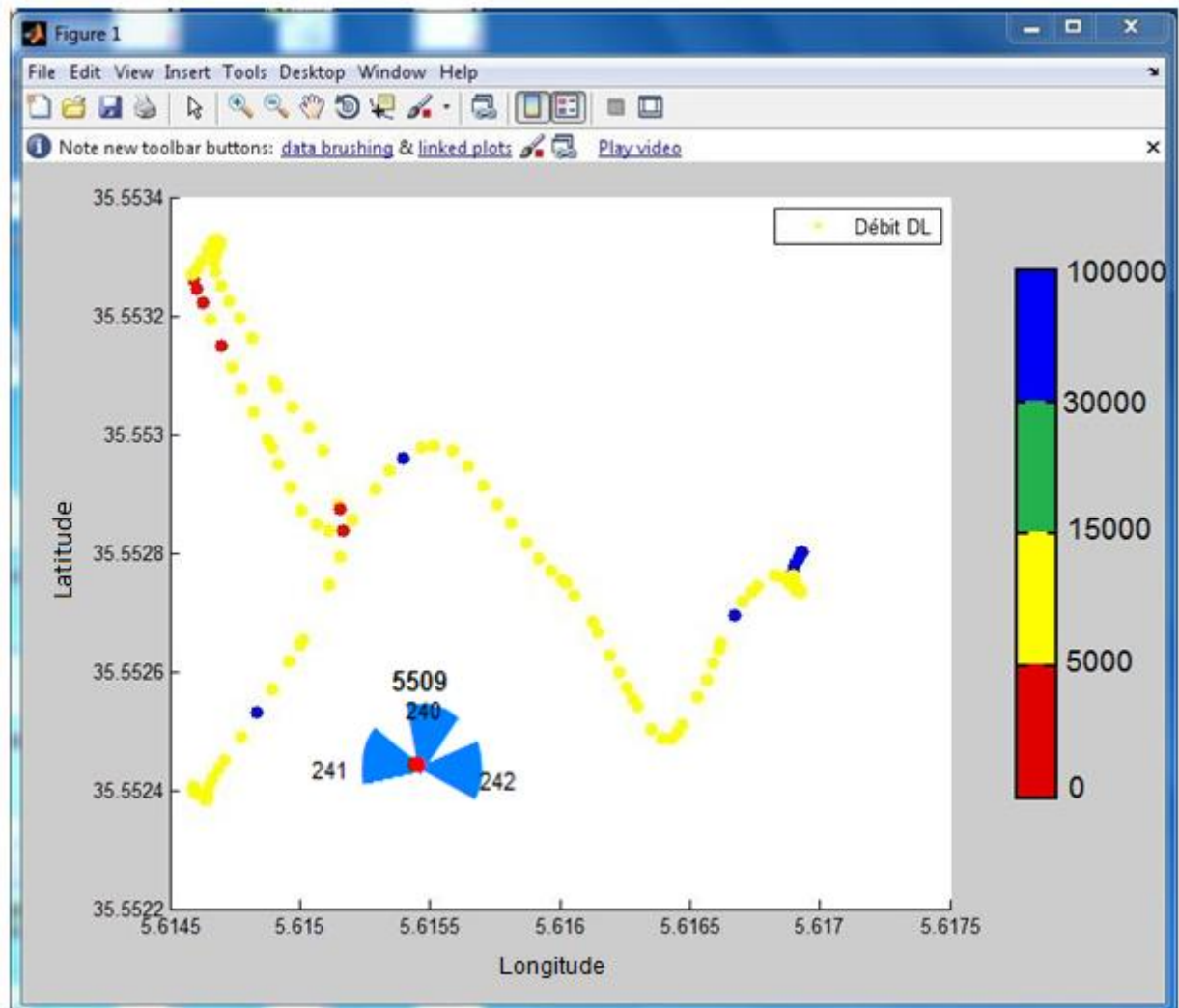


Figure IV.16: Classification des valeurs du débit mesurées selon le 3GPP.

Selon la segmentation des valeurs du débit par le 3GPP, la qualité de la mesure effectuée lors de drive test dans ce site est moyenne. Nous remarquons seulement cinq point où les valeurs enregistrées sont inacceptables, ceci est dû soit aux défauts de couverture soit aux bruits présents sur ces point du parcours.

En résumé, lors de ce drive test nous avons enregistré des valeurs du RSRP de bonne qualité, un débit acceptable égale à 24,935 Mbit/s, mais les valeurs du RSRQ que nous avons enregistré sont mauvaises et doivent être améliorées en éliminant les sources des signaux interférant la communication des UEs avec l'eNodeB.

D'un côté, les valeurs du RSRP mesurées indiquent que l'UE reçoit un signal de référence puissant, d'un autre côté, les valeurs mesurées du RSRQ indiquent que la qualité de ce signal est médiocre et ne permet pas un attachement permanent de l'UE à l'eNode, donc l'UE tente un transfert intercellulaire dès qu'il mesure un signal de référence de meilleure qualité reçu d'une autre cellule.

4.5. Classification des valeurs des paramètres du drive test (Alger):

Ce drive test a été effectué sur un parcours de 540 m avec une vitesse variable de 20 Km/h à 40 Km/h. La figure suivante représente les différents points du parcours du teste projeté sur le plan de la région.

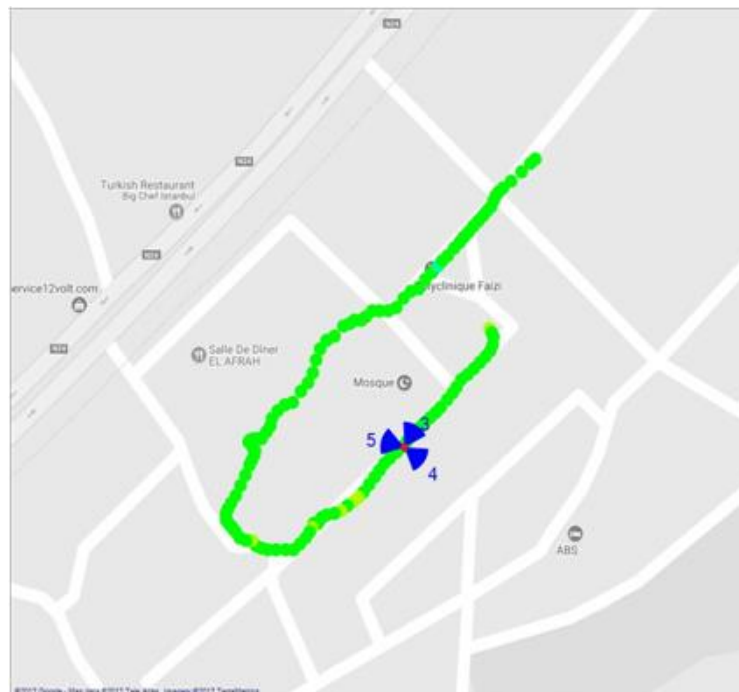


Figure IV.17: Parcours du drive test projeté sur le plan de la région.

Ce teste a été fait pour la première fois depuis l'installation du réseau dans ce site suite à de nombreuses réclamations des abonnés qui se connectent à l'eNodeB de cette cellule. Ces réclamations sont dues principalement à la réduction du débit et des temps de réponse (latence) importants.

Dans ce qui suit, nous allons nous intéresser à la classification des valeurs mesurées selon la norme que l'opérateur utilise. D'après le premier test, nous constatons que la segmentation des valeurs en un grand nombre de classes offre plus d'information et rend la mesure plus détaillée.

4.5.1. Classification des valeurs du RSRP :

Nous avons effectué les mesures des signaux RSRP, RSRQ et SINR en mode actif le 07 juin 2018 avec un drive test autour de la cellule citée ci-dessus. La figure IV.18 représente une mesure du RSRP en mode actif, les valeurs mesurées de ce signal ont été classifiées à l'aide de l'application que nous avons développée. Les différentes classes de mesure sont présentées dans la figure. Ces classes sont définies par l'opérateur.

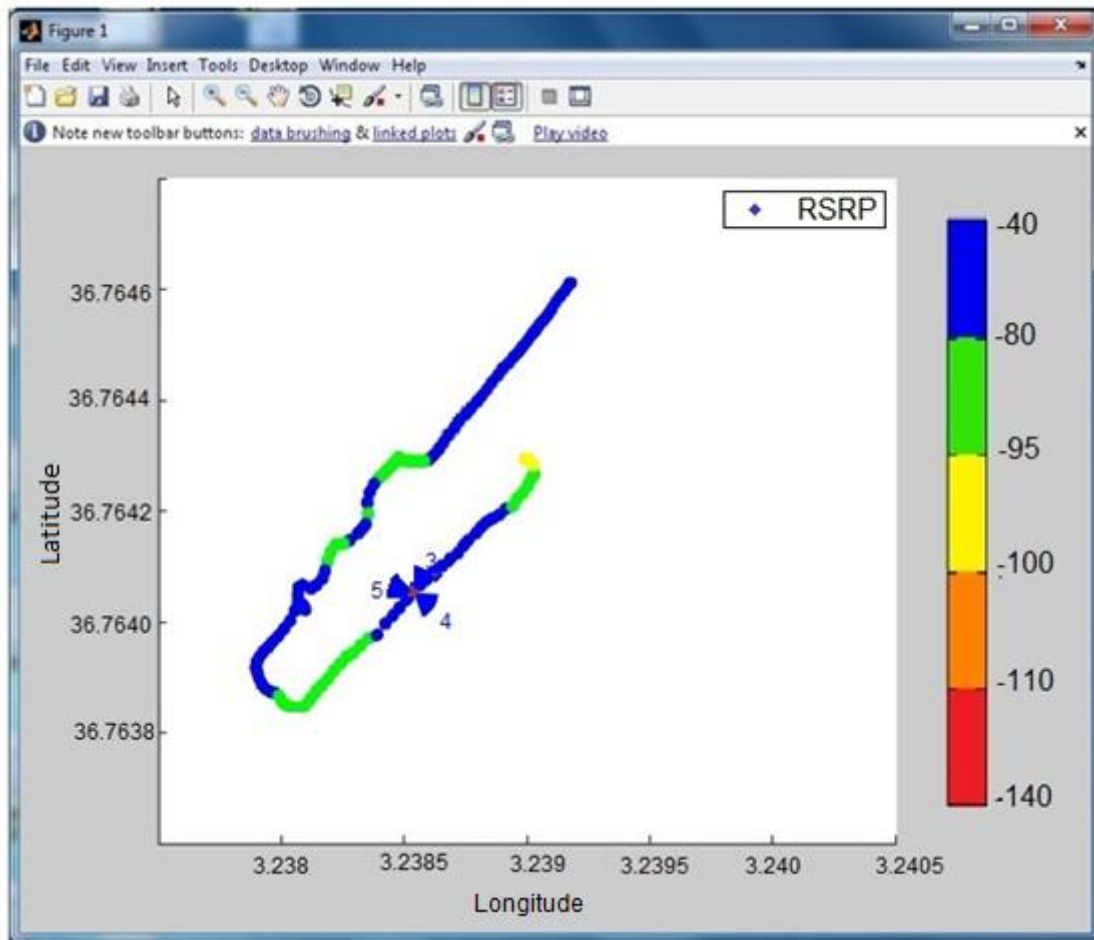


Figure IV.18: Classification des valeurs du RSRP selon MOBILIS.

Afin de déterminer la qualité de la mesure du RSRP, chaque opérateur définit un seuil inférieur qui ne doit pas être dépassé. L'opérateur MOBILIS a défini une norme au RSRP telle que 90% des valeurs mesurées du RSRP doivent être supérieures à -95 dBm.

Les pourcentages des classes des valeurs mesurées du RSRP sont représentés sur la figure suivante.

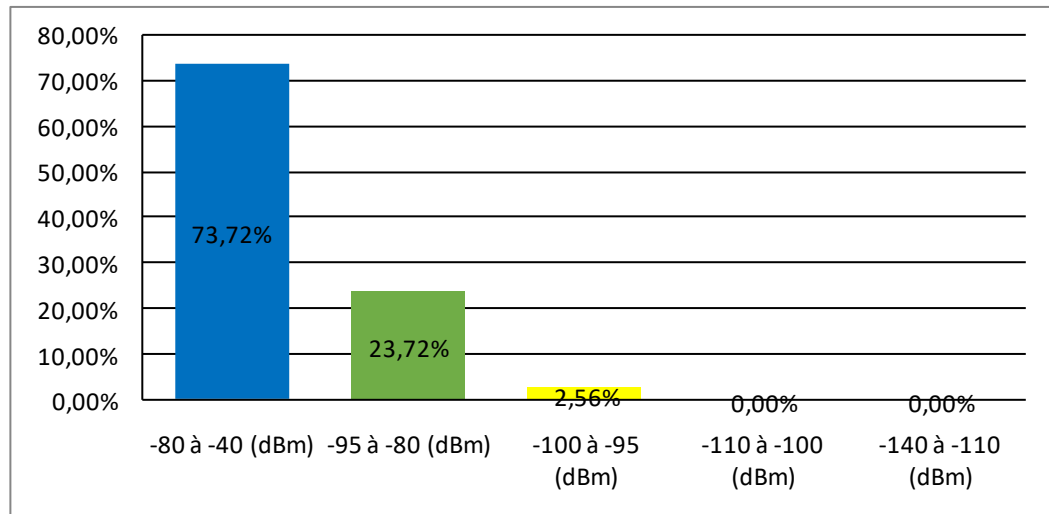


Figure IV.19 : Pourcentages des classes des valeurs du RSRP enregistrées le long du parcours.

Sur la figure IV.19, Nous remarquons que plus de 90% des valeurs de RSRP sont supérieures à -95 dBm. C'est-à-dire que la puissance moyenne reçue par l'UE de l'eNodeB est suffisamment forte pour que l'UE interagisse avec l'eNodeB sans aucune altération.

Dans des conditions radiofréquences idéales, toutes les valeurs du RSRP sont supérieures à -80 dBm. Dans notre cas, 73% des valeurs sont supérieures à -80 dBm. Cette réduction dans le taux de valeurs est dû aux conditions RF (bruit, interférences...).

4.5.2. Classification des valeurs du RSRQ :

La figure IV.20 représente les valeurs du RSRQ issues du drive test. Ces valeurs sont organisées en classes selon la norme utilisée par l'opérateur.

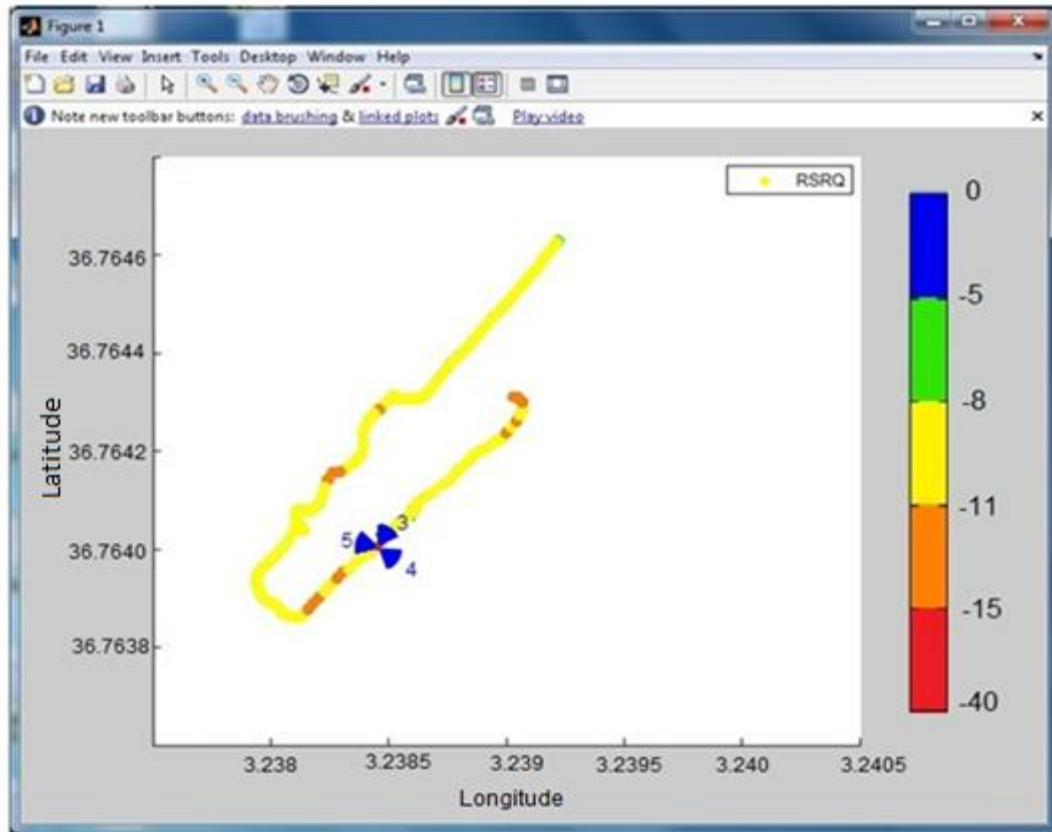


Figure IV.20: Classification des valeurs mesurées du RSRQ selon MOBILIS.

La figure IV.21 représente les pourcentages des classes des valeurs mesurées du RSRQ.

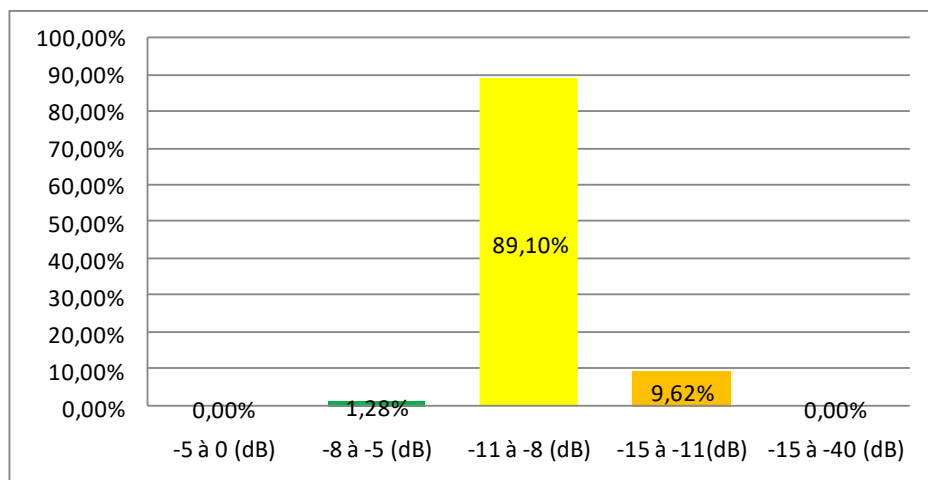


Figure IV.21: Pourcentage des classes des valeurs du RSRQ enregistrées lors de drive test.

Pour que la mesure du RSRQ soit jugée acceptable, Il faut que 90% des valeurs mesurées soient supérieures à -11 dB.

Sur la figure IV.21, on remarque que plus de 90% (90,38%) des valeurs de RSRQ sont supérieures à -11 dB. C'est-à-dire que la qualité de la communication entre l'UE et l'eNodeB est acceptable. Dans un cas idéal où les conditions radiofréquences sont excellentes, toutes les valeurs du RSRQ doivent être supérieures à -5 dB. Dans le cas que nous avons étudié, les valeurs sont atténuées à cause de bruit sur le canal, des interférences...etc.

4.5.3. Classification des valeurs du SINR :

La figure IV.22 représente les valeurs du SINR issues du drive test. Ces valeurs sont organisées en classes selon la norme utilisée par l'opérateur.

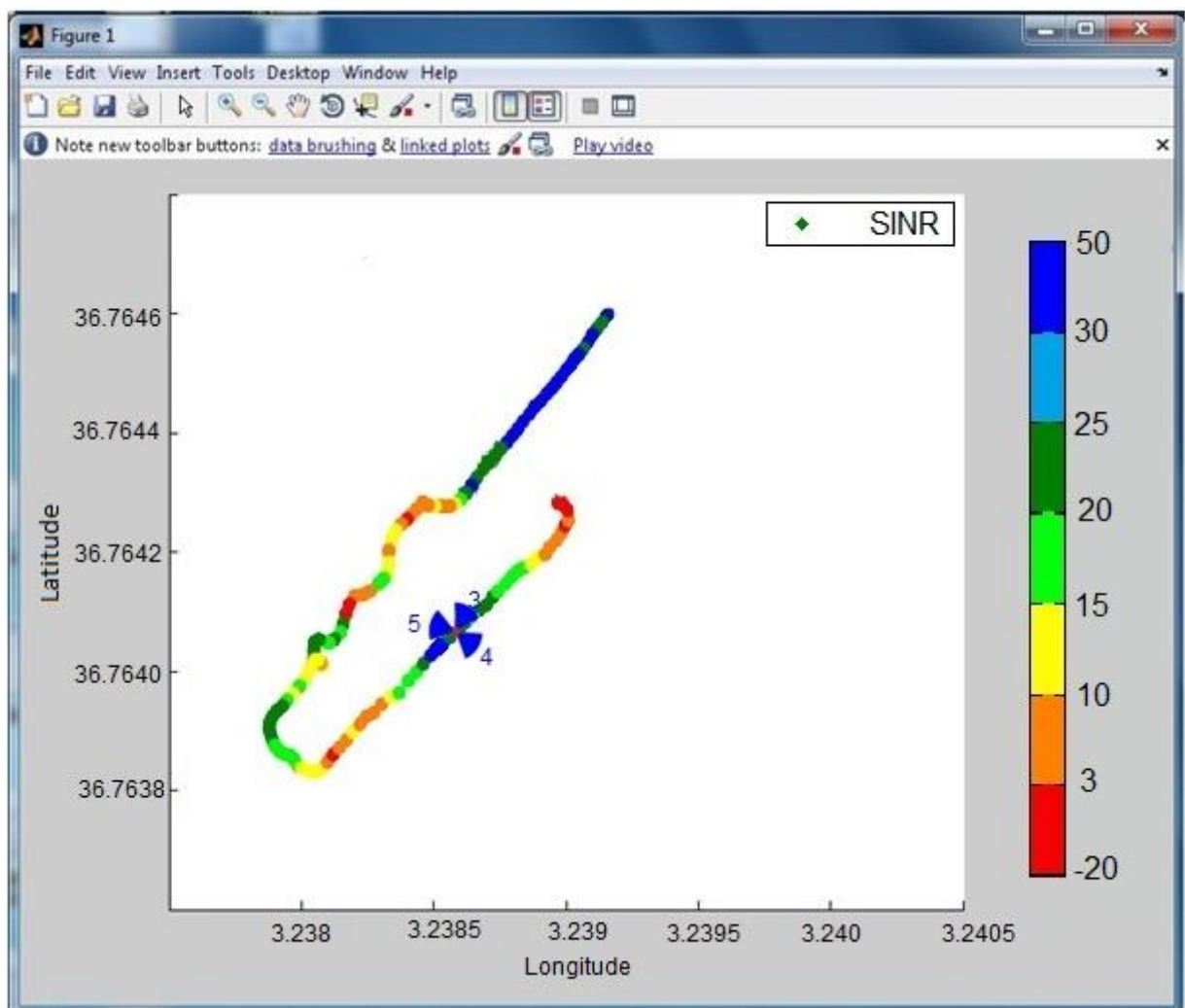


Figure IV.22: Classification des valeurs mesurées du SINR selon MOBILIS.

La figure IV.23 représente les pourcentages des classes des valeurs mesurées du SINR

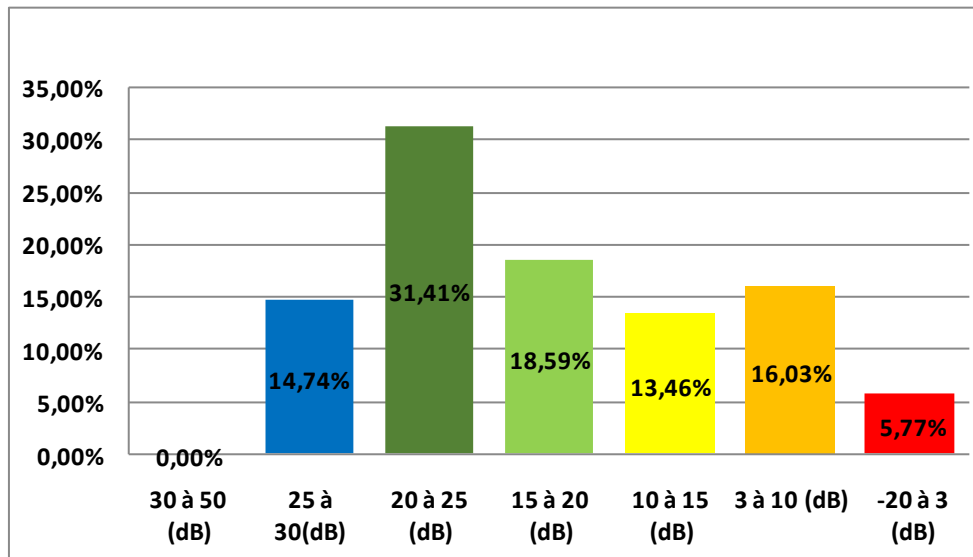


Figure IV.23: Pourcentages des classes des valeurs du SINR enregistrées lors de drive-test.

Pour que la valeur moyenne de SINR soit acceptable au niveau du réseau, il faut que plus de 80% des valeurs mesurées soient supérieures à 10 dB.

Sur la figure IV.23, on remarque que moins de 80% des valeurs mesurées (seulement 78,2%) sont supérieures à 10 dB, d'où on conclue que la communication entre l'UE et l'eNB est bruitée. Ce bruit est dû aux différentes interférences, l'effet des trajets multiples...etc.

En faisant une comparaison entre les trois signaux ; RSRP, RSRQ et SINR, on observe que les variations de leurs valeurs se produisent aux mêmes endroits du parcours. C'est-à-dire que les trois signaux sont proportionnels entre eux en moyenne (voir eq III.2 et eq III.5).

4.5.4. Classification des valeurs du débit :

La classification des valeurs du débit mesurées pendant le drive test selon la norme de classification utilisée par l'opérateur est illustrée sur la figure IV.24

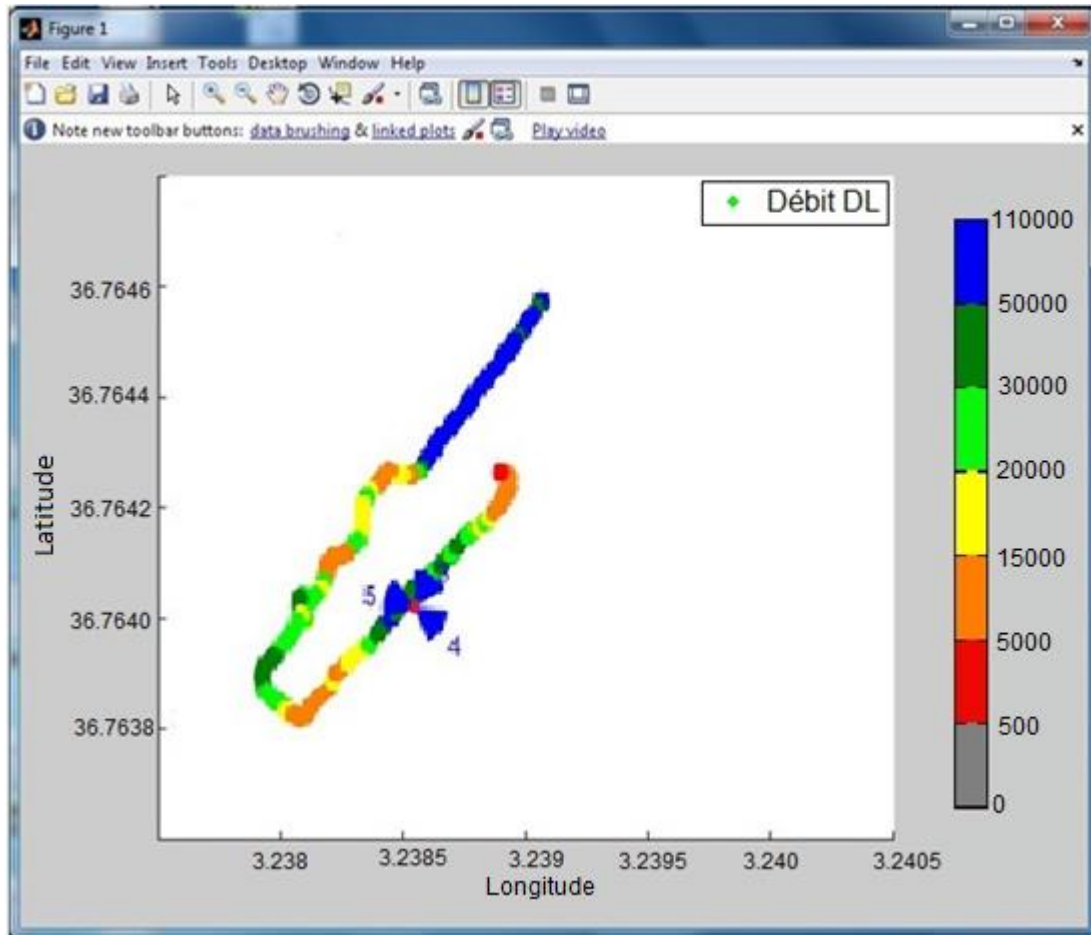


Figure IV.24 : Classification des valeurs du débit enregistrées en chaque point du parcours.

Le débit moyen dans cette cellule est de 29.66 Mbit/s, ce qui signifie que la qualité du débit dans cette cellule est bonne.

En comparant la figure IV.24 à la figure IV.23, nous remarquons que les valeurs du débit varient proportionnellement avec la variation des valeurs du SINR. Donc le débit pouvant être offert à un UE dépend directement de son SINR. Sous l'hypothèse d'un canal fixe et d'une interférence gaussienne, le débit maximal pouvant être atteint pour un SINR donné est établi par la formule de Shannon, Ou B est la largeur de bande de la transmission (en Hz). [3]

$$C(\text{SINR}, B) = B \cdot \log_2(1 + \text{SINR}) \text{ (en bit/s).}$$

4.6. Les paramètres de la QoS prédéfinis au niveau de l'EPC :

Au niveau de la partie EPC du réseau 4G et plus précisément au niveau du MME, des paramètres de la qualité de service sont définies pour chaque service et pour chaque utilisateur. Les principaux paramètres de la QoS sont : le GBR, MBR (UE-AMBR et APN-AMBR), ARP et QCI.

À l'aide d'une application d'accès à distance au MME, nous pouvons visualiser les différents paramètres définis pour un abonné donné en saisissant la commande suivante sur l'ordinateur connecté au MME :

gshget_subscriber_imsi 603467210192890 -dl 2

La commande nous donne les informations suivantes :

```

CSG Membership Status      :
ULI Timestamp              : 2018-06-07 01:15:19
UE Time Zone
  time offset              : GMT + 1 hour(s) 0 minute(s)
  daylight saving time     : 0 hour(s) adjustments
Subscribed Aggregated maximum bit rate
  uplink (kbps)            : 256000
  downlink (kbps)         : 256000
UE Aggregated maximum bit rate
  uplink (kbps)            : 255
  downlink (kbps)         : 256
Quality of service
  allocation/retention
    priority level         : 2
    pre-emption capability : disabled
    pre-emption vulnerability : enabled
  class identifier         : QCI9
APN Aggregated maximum bit rate
  uplink (kbps)            : 256000
  downlink (kbps)         : 256000

```

Figure IV.25 : Les paramètres de la QoS alloués à un UE donné.

Sur la figure IV.25, on remarque que l'abonné utilise un bearer non GBR car c'est un abonné non premium, c'est la raison pour laquelle le GBR ne figure pas parmi les paramètres prédéfinis à cet utilisateur. Les paramètres alloués à l'utilisateur portant l'IMSI 603467210192890 sont :

QCI = 9

Niveau de priorité = 2

UE-AMBR = 256 Mbps en voie descendante et 255 Mbps en voie montante.

APN-AMBR = 256 Mbps en voie descendante et en voie montante.

Capacité de préemption : non

Vulnérabilité à la préemption : oui

Les paramètres alloués à l'utilisateur au niveau de l'EPC ne sont reçus par le terminal de l'utilisateur que dans le cas où les conditions radiofréquences sont idéales. C'est pour cela qu'un drive test doit être effectué dans chaque secteur afin de définir les performances exactes telles qu'elles sont perçues par les terminaux.

4.7. Discussion :

Dans notre travail nous avons réalisé une classification des valeurs des mesures résultantes de deux drives tests distincts grâce à une application que nous avons développée afin de vérifier la relation entre le RSRP, RSRQ et SINR et d'évaluer l'effet de la variation du SINR sur le débit, si les valeurs du SINR atteintes sont meilleures, les valeurs du débit seront également meilleures. Le SINR, le RSRQ et RSRP sont proportionnels entre eux en moyenne bien qu'ils expriment des mesures différentes.

A noter aussi que les décisions du handover sont prises selon les valeurs mesurées du RSRP et du RSRQ qui représentent respectivement la puissance et la qualité des signaux de référence. Malgré la prise en considération de la valeur du RSRP mais la valeur du RSRQ est prioritaire dans la prise de décision de transfert intercellulaire.

Conclusion

Le travail qui nous a été confié par MOBILIS (filiale d'Algérie Telecom) consistait, en l'étude et à la mesure des paramètres du signal radiofréquence de deux micro cellules sectorielles pour évaluer et classer efficacement la qualité de service dans un milieu fortement bruité et de forte mobilité afin de corriger les erreurs de couverture et de dimensionnement dans le but d'atteindre des valeurs acceptables.

Dans le cadre de ce mémoire, nous avons étudié les techniques de mesures de la qualité de service dans les réseaux 4G basées sur la mesure avec drive test des paramètres tels que : le RSRP, RSRQ, SINR et le débit de la voie descendante.

Cette étude menée conformément au cahier de charge technique de MOBILIS de deux cellules urbaines sectorielles sises à bordj el kifan wilya d'Alger et à Ngaous wilaya de Batna.

Les mesures des signaux (RSRP, RSRQ et SINR) par drive test nous ont permis de présenter une image globale sur les conditions radiofréquences qui influent sur le débit du réseau dans une cellule. En effet, le débit global de la cellule varie proportionnellement avec le SINR, ce dernier a son tour est proportionnel à la puissance du signal reçu par l'eNodeB et il est atténué par le bruit et les interférences dans la cellule. D'où, nous concluons que l'augmentation des puissances des signaux de bruit et d'interférences conduit à une dégradation du débit dans la cellule. Ces signaux gênant proviennent du phénomène de trajet multiple, des interférences intercellulaires...etc. pour un débit meilleur, un équilibre entre le signal d'information et le signal de bruit doit exister, c'est-à-dire que dans un milieu bruité, on doit augmenter la puissance du signal d'information ou réduire la puissance du bruit et des interférences en éliminant les sources des signaux gênant.

Nous avons vu que le RSRQ et le RSRP sont des signaux qui fournissent des informations sur la qualité de signal de référence reçu et de sa puissance. Ces signaux sont linéaires entre eux. Toutefois, l'UE se base sur la valeur de RSRQ pour prendre des décisions de handover car il se peut qu'un UE reçoive un signal de faible puissance mais d'une qualité assez bonne pour maintenir la communication avec l'eNodeB, ou reçoit un signal de haute puissance mais d'une qualité insuffisante pour le maintien la communication.

La variation du RSRP et du RSRQ dépend du nombre de ressources block allouées à l'utilisateur (eq 3.2). En augmentant le nombre de ressources block, les valeurs des ces deux signaux seront améliorées.

Bibliographie

[1]: Philippe ESCOLANO, cours de téléphonie fixe (RTC), université d'Aix Marseille, département d'électronique.

[2]: W.ABBESSI & A.GUEDDANA, « Le Réseau Téléphonique Commuté RTC », Institut Supérieur Des Arts Multimédias De La Manouba, Tunisie, 2011/2012.

[3]: Yannick Bouguen, Éric Hardouin et François-Xavier Wolff « LTE et les réseaux 4G », Groupe Eyrolles, 2012, ISBN : 978-2-212-12990-8

[4]: GUY PUJOLLE, « Les Réseaux », Groupe Eyrolles, 2006 ISBN : 2-212-11987-9.

[5]: Cédric DEMOULIN, Marc VAN DROOGENBROECK « PRINCIPES DE BASE DU FONCTIONNEMENT DU RÉSEAU GSM », Département d'Électricité, Électronique et Informatique (Institut Montefiore) Sart Tilman, B-4000 Liège, Belgique

[6]: <http://www.teletopix.org/gsm/what-is-hlr-and-vlr-and-its-function-in-gsm/>, date de visite 28/03/2018

[7]: Stéphane GIRODON, rapport de stage - DESS MATI - IAE Aix en Provence 2001-2002

[8]: GUY PUJOLLE, « Les Réseaux », Groupe Eyrolles, édition 2008 ISBN : 978-2-212-11757-8

[9]: Harri Holma et Antti Toskala, « LTE for UMTS: OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access » John Wiley & Sons edition 2009, Ltd. ISBN: 978-0-470-99401-6

[10]: Pierre Lescuyer et Thierry Lucidarme EVOLVED PACKET SYSTEM (EPS), THE LTE AND SAE EVOLUTION OF 3G UMTS. ISBN 978-0-470-05976-0 (HB).

[11]: JIANGZHOU WANG « High-Speed Wireless Communications », Ultra-wideband, 3G Long Term Evolution, and 4G Mobile Systems. ISBN-13 978-0-511-43854-7.

[12]: EFFORT <http://www.efort.com> «Voix sur LTE (VoLTE) Impacts sur l'accès LTE ». Copyright EFORT 2013

[13]: FAROOQ KHAN «LTE for 4G Mobile Broadband, Air Interface Technologies and Performance », Cambridge University Press 2009, ISBN-13 978-0-511-51666-5.

[14]: [https://fr.wikipedia.org/wiki/LTE_\(réseaux_mobiles\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/LTE_(réseaux_mobiles)), consulté le 23/04/2018.

[15]: Erik Dahlman, Stefan Parkvall, Johan Sköld et Per Beming « 3G EVOLUTION: HSPA AND LTE » deuxième édition 2008, FOR MOBILE BROADBAND, ISBN: 978-0-12-374538-5.

[16]: <http://www.radio-electronics.com/info/cellular telecomms/lte-long-term-evolution/lte-mimo.php>. Par Ian Pool (ingénieur en électronique), date de consultation: 28/04/2018.

[17]: 3GPP LTE Radio Link Control (RLC) Sub Layer© 2009 EventHelix.com Inc.

[18]: AMAZIT ABDELGHANI, mémoire de fin d'étude présenté à l'université du Québec intitulé : « impact des interférences de la couche physique sur la couche mac dans la technologie LTE ».

[19]: [ftp://195.238.226.35/Information/presentations/presentations_2010/2010_06_India/3GP P LTE Radio Physical Layer \(India\).pdf](ftp://195.238.226.35/Information/presentations/presentations_2010/2010_06_India/3GP%20LTE%20Radio%20Physical%20Layer%20(India).pdf), date de consultation: 01/05/2018

[20]: 3GPP LTE: "Introducing Single-Carrier FDMA", Moray RumneyBSc, C. Eng, MIET Lead Technologist, Agilent Technologies, moray_rumney@agilent.com.

[21]: Mémoire Pour l'obtention du diplôme de MASTER en Télécommunication Option : Réseaux Mobiles et Services (RMS) Présenté par Melle BOUCHENTOUF Hadjer Mr BOUDGHENE STAMBOULI Riyad THEME ETUDE DES PERFORMANCES DES RESEAUX 4G (LTE)

[22]: ERICSSON AB 2016. LTE L16 Air Interface, STUDENT BOOK LZT 1381620 R2A.

[23]: Dr. Mark Humphrys. School of Computing. Dublin City University
"http://computing.dcu.ie/~humphrys/Notes/Networks/physical.phone.html".

[24]: ERICSON AB 2016. LTE L16 Radio Network Functionality, Student Book L2T 1381622 R2A,

[25]: Dr. Michelle M. Do « LTE QoS (Part 2) - LTE QoS Parameters (QCI, ARP, GBR, MBR and AMBR) » 2013. <https://www.netmanias.com/en/post/blog/5933/lte-qos/lte-qos-part-2-lte-qos-parameters-qci-arp-gbr-mbr-and-ambr>

[26]: Stefania Sesia, Issam Toufik et Matthew Baker « LTE - The UMTS Long Term Evolution » de la théorie à la pratique. Deuxième édition. John Wiley & Sons.

[27]: 3GPP TS 23.107 V14.0.0 (2017-03), Technical Specification Group Services and System Aspects; « Quality of Service (QoS) concept and architecture ».

[28]: M. Shinagawa, "Jitter analysis of high-speed sampling systems", VLSI Circuits Dig. Tech. Paper, 1989.

[29]: Frédéric Launay. Enseignant chercheur à l'Université de Poitiers depuis 2004 « RSRP et RSRQ : définition » Posté le 27 août 2013

[30]: International Journal of Wireless & Mobile Networks (IJWMN) Vol. 7, No. 4, August 2015 « SINR, RSRP, RSSI AND RSRQ MEASUREMENTS IN LONG TERM EVOLUTION NETWORKS »

[31]: <https://www.laroccasolutions.com/164-rsrq-to-sinr/>. Date de consultation: 09/06/2018

[32]: Ericsson « LTE Protocols and Procedures » STUDENT BOOK L2T 123 8958 R1A.

[33]: BOUCHENTOUF Hadjer Et BOUDGHENE STAMBOULI Riyad « ETUDE DES PERFORMANCES DES RESEAUX 4G (LTE) », Université de Tlemcen, 2012 – 2013.

[34]: J Salo revue: « Mobility Parameter Planning for 3GPP LTE: Basic Concepts and Intra-Layer Mobility » 16 juin 2013

[35]: Sonia BEN REJEB, thèse de doctorat « Gestion de la QoS dans un Réseau Radio Mobile Multimédia », L'ECOLE SUPERIEURE DE COMMUNICATION DE TUNIS (SUPCOM), le 28 Février 2006.