

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA-BOUMERDES



Faculté de Technologie

Département Ingénierie des Systèmes Electriques

Mémoire de Master

Présenté par

KABLI Dihia

BENYAMINA Bouchra

Filière : Télécommunications

Spécialité : Réseaux et Télécommunications

Étude et implémentation de la VoLTE (Voice over LTE) sur les réseaux 4G

Soutenu le 01/07/2024 devant le jury composé de :

BELHABCHIA	Malik	Pr	UMBB	Président
MESSAOUDI	Noureddine	Pr	UMBB	Examineur
BAICHE	Karim	MCA	UMBB	Encadreur
MERAIHI	Yassine	Pr	UMBB	Co-encadreur
GARET	Malek	Ingénieur	Djezzy	Co-encadreur

Année Universitaire : 2023/2024

Remerciements

En tout premier lieu, nous exprimons notre profonde reconnaissance à Dieu, le Tout-Puissant, pour nous avoir accordé la force nécessaire pour surmonter les obstacles d'affronter les défis.
Ce mémoire n'aurait pu voir le jour sans Sa bénédiction.

Nous tenons à adresser nos plus sincères remerciements à notre promoteur **MERAIHI Yassine** pour son encadrement et son soutien indéfectible tout au long de la réalisation de ce travail. Nous exprimons également notre gratitude envers **M. Samir TAKH** pour nous avoir offert l'opportunité enrichissante d'effectuer ce stage, pour son accompagnement précieux et sa confiance en notre capacité à contribuer au sein de l'entreprise. Nous remercions également notre co-encadreur, **M. Malek GARET**, pour ses conseils avisés et son soutien précieux tout au long de cette expérience enrichissante.

Nous souhaitons également exprimer notre reconnaissance envers toute l'équipe de **Djezzy** pour leur précieuse collaboration dans ce projet.

Nous tenons également à exprimer notre gratitude envers les membres du jury qui ont accepté d'évaluer notre travail avec bienveillance.

Nos remerciements vont également à tous nos enseignants à **l'Université de Boumerdès** pour leur enseignement de qualité qui a contribué à notre formation universitaire.

Enfin, nous adressons nos plus vifs remerciements à tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce modeste mémoire.

Dédicace

Je remercie Allah le Tout-Puissant de m'avoir donné la force et le courage pour accomplir ce travail.

À mes chers parents,

Aucune dédicace ne saurait exprimer pleinement mon respect, mon amour éternel et ma profonde considération pour les sacrifices que vous avez consentis pour mon éducation et mon bien-être. Je vous suis reconnaissant pour tout le soutien et l'affection que vous m'avez prodiguée depuis mon enfance. Que Dieu vous accorde santé, bonheur et longue vie.

À mes chers frères, Amar, Sofiane, Islam,

À ma chère sœur Zohra, ainsi qu'à son époux Sofiane et à leurs chères princesses Maya et Maria, et mon porte-bonheur le petit prince Mohamed Aghiles,

Merci infiniment pour votre aide précieuse et votre soutien indéfectible à chaque étape de ma vie, je vous souhaite une vie remplie de bonheur et de succès. Que Dieu, le Tout-Puissant, vous protège et veille sur vous.

À mes tantes et mes oncles,

À mes amis,

À toutes les personnes qui m'ont apporté leur savoir, leurs connaissances et leur expérience, ainsi qu'à tous ceux qui m'aiment et que j'aime, je vous adresse ma sincère reconnaissance.

Dihia

Dédicace

À mes chers parents,

En ce jour si important, je tiens à exprimer ma plus profonde gratitude pour votre amour, votre soutien et votre encouragement constant tout au long de mon parcours éducatif. Votre foi en moi m'a toujours donné la force et la motivation pour atteindre mes objectifs. Chaque succès que je célèbre aujourd'hui est le fruit de vos sacrifices, de vos encouragements et de vos précieux conseils. Vous avez été mes piliers dans les moments difficiles et mes plus grands supporters dans les moments de triomphe. Je vous dédie ce moment avec tout mon amour et ma reconnaissance infinie. Sans vous, rien de tout cela n'aurait été possible.

À mes chers frères Ahmed et Zakaria *et ma chère sœur* Youssra, qui sont ma force et ma fierté, et pour leur aide durant tout mon cursus universitaire.

À ma chère cousine,

Ma deuxième sœur et ma compagne, Selma.

À mes oncles et tantes,

À tous mes amis,

Merci pour tous les moments qu'on a partagés ensemble.

A toutes les personnes Qui m'ont apporté leur savoir, leurs connaissances et leur expérience

Bouchra

Résumé

La Quatrième Génération Long Terme Evolution (4G LTE) est une technologie de la téléphonie mobile qui a apporté de profonds changements et investissements techniques pour les opérateurs des réseaux mobiles. Son objectif majeur est d'améliorer le support des services de données via une capacité accrue, un accroissement des débits ainsi qu'une diminution de la latence.

La technologie 4G LTE s'appuie sur un réseau de transport à commutation de paquet IP. Elle n'a pas prévu de mode d'acheminement pour la voix, autre que la VoIP, donc en effectuant ou recevant un appel voix, l'utilisateur bascule du réseau de donnée 4G vers les réseaux 3G/2G afin d'effectuer l'appel. La Voix sur LTE (VoLTE) a émergé comme une solution clé pour améliorer la qualité des services QoS lors de l'émission et la réception des appels vocaux nationaux et internationaux sur un réseau 4G. Cette amélioration est rendue possible grâce aux nouvelles infrastructures réseau IMS (Internet protocole Multimedia Subsystem) dédiées aux appels vocaux sur IP.

Le but de ce projet consiste à implémenter et paramétrer la VoLTE sur un réseau LTE de l'opérateur Djezzy. Cela permet une meilleure qualité de service, des connexions plus rapides pour les appels et une expérience globalement améliorée pour les utilisateurs de téléphones mobiles.

Mots-clés : Réseaux 4G/3G/2G, VoIP, QoS, VoLTE, IMS, LTE.

Abstract

Fourth Generation Long Term Evolution (4G LTE) is a mobile telephony technology that has brought profound changes and technical investments for mobile network operators. Its main objective is to improve the support of data services through increased capacity, increased speeds and reduced latency.

4G LTE technology relies on an IP packet-switched transport network. It has not provided a delivery mode for voice, other than VoIP, so by making or receiving a voice call, the user switches from the 4G data network to 3G/2G networks in order to carry out the call. Voice over LTE (VoLTE) has emerged as a key solution to improve the quality of QoS services when transmitting and receiving domestic and international voice calls over a 4G network. This improvement made possible thanks to the new IMS (Internet protocol Multimedia Subsystem) network infrastructures dedicated to voice calls over IP.

The goal of this project is to implement and configure VoLTE on an LTE network of the operator Djazzy. This allows for better quality of service, faster connections for calls and an overall improved experience for mobile phone users.

Keywords : Networks 4G/3G/2G, VoIP, QoS, VoLTE, IMS, LTE.

م

ملخص

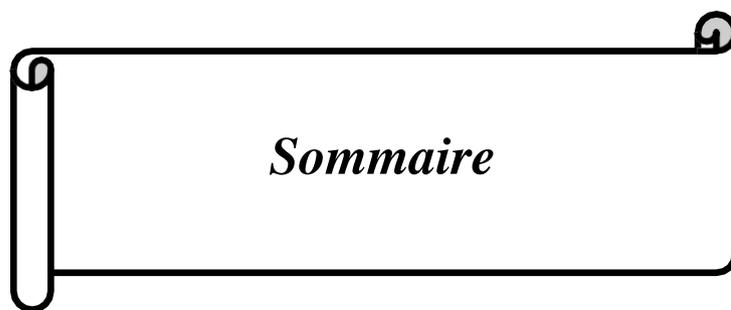
الجيل الرابع من التطور طويل المدى (4G LTE) ثورة تقنية في عالم الاتصالات المتنقلة شهد قطاع الاتصالات المتنقلة نقلة نوعية مع ظهور تقنية الجيل الرابع للتطور طويل المدى (LTE 4G) والتي جلبت معها استثمارات تقنية ضخمة من قبل مشغلي الشبكات. تهدف هذه التكنولوجيا بشكل أساسي إلى تعزيز دعم خدمات البيانات من خلال زيادة السعة وتحسين سرعة النقل وتقليل زمن الانتظار.

شبكات 4G LTE بنية تحتية متطورة لخدمات البيانات تعتمد تقنية 4G LTE على شبكة نقل تعتمد على تبادل الحزم عبر بروتوكول الإنترنت (IP). ونظرًا لعدم وجود آلية توجيه مخصصة للصوت في هذه الشبكات، باستثناء تقنية Voice over IP (VoIP)، فإن المستخدم عند إجراء أو استقبال مكالمات صوتية يتم تحويله تلقائيًا من شبكة البيانات 4G إلى شبكات 3G/2G لإتمام المكالمات.

VoLTE جودة اتصال فائقة لمكالمات الصوت على شبكات 4G برزت تقنية Voice over LTE (VoLTE) كحل رئيسي لتحسين جودة الخدمة (QoS) عند إجراء واستقبال المكالمات الصوتية المحلية والدولية على شبكة 4G. وتتحقق هذه التحسينات بفضل البنية التحتية الجديدة لشبكة IMS (نظام فرعي متعدد الوسائط عبر بروتوكول الإنترنت) المخصصة لمكالمات الصوت عبر IP.

مشروع VoLTE مع Djazzy تجربة مستخدم مميزة على شبكات الجيل الرابع يهدف هذا المشروع إلى تنفيذ وتكوين تقنية VoLTE على شبكة LTE التابعة لمشغل الهاتف المحمول Djazzy. سيؤدي ذلك إلى تحسين جودة الخدمة بشكل ملحوظ، وتوفير سرعة اتصال أسرع للمكالمات، وتجربة مستخدم إجمالية أفضل لمستخدمي الهواتف المحمولة.

كلمات مفتاحية: شبكات 4G/3G/2G, VoIP, QoS, VoLTE, IMS, LTE.



Sommaire

Sommaire

Remercient	
Dédicace	
Résumé	I
Sommaire	II
Liste des abréviations.	VII
Liste des tableaux	XII
Liste des figures	XIII
Introduction générale	1

Chapitre 1 Généralités sur le réseau LTE

1.1	Introduction	2
1.2	Définition de la 4G/LTE	2
1.3	Objectifs de la 4G/LTE	2
1.4	Caractéristiques des réseaux 4G/LTE	2
1.5.	Architecture de la 4G/LTE	5
1.5.1.	Réseau d'accès radio (e-UTRAN)	5
1.5.2.	Réseau cœur (EPC)	6
1.6.	Techniques d'accès dans un réseau LTE	7
1.6.1.	Duplexage	7
1.6.2.	Multiplexage	8
1.6.2.1	OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing)	8
1.6.2.2.	OFDMA (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing Access) :	9
1.6.2.3.	SC-FDMA (Single-Carrier Frequency-Division Multiple Access) :	9
1.7.	La modulation dans le réseau 4G/LTE	10
1.8.	Structure de la trame LTE	10
1.8.1.	La synchronisation	11
1.8.2.	Planification de PCI (PhysicalCell ID)	11

1.9. Présentation du Handover	12
1.9.1. Les types de Handover	12
1.9.1.1. Hard Handover	12
1.9.1.2. Soft Handover.....	12
1.10. La technologie MIMO	13
1.11. Conclusion.....	13
 Chapitre 2 Qualité de service voix dans les réseaux 3G/4G	
2.1 Introduction.....	14
2.2 Définition de la QOS (Quality of Service)	14
2.3 Les avantages de la QOS	14
2.4 Paramètres de la QOS.....	15
2.5 Les classes de services.....	16
2.6 La QoS du réseau UMTS.....	16
2.6.1 Classification des services.....	16
2.7 QoS voix dans LTE	16
2.7.1 Les porteurs (bearers).....	16
2.7.1.1 Paramètres QOS des porteurs (bearers).....	16
2.7.2 Les indicateurs de performance KPI.....	16
2.7.3 Les principaux KPI dans LTE	16
2.7.3.1 KPI d'accessibilité (Accessibility)	16
2.7.3.2 KPI de rétention (Retainability).....	16
2.7.3.3 KPI de Mobilité (Mobilité).....	16
2.7.3.4 KPI d'intégrité (Integrity).....	16
2.7.3.5 KPI de disponibilité (Availability).....	16
2.7.3.6 KPI d'utilisation (Utilisation).....	16
2.8 Système Codec Voice LTE	16
2.8.1 Services vocaux améliorés (EVS).....	16
2.9 Les outils utilisés pour mesurer la QOS	16

2.9.1 Le drive test	16
2.9.1.1 Les outils d'un drive test	16
2.9.2 PRS (Performance Reporting System).....	16
2.10. Conclusion.....	16

Chapitre 3 Implémentation de la VoLTE (IMS et SRVCC)

3.1 Introduction.....	25
3.2 Solutions pour la voix sur LTE (VoLTE).....	25
3.2.1 CS Fallback (CSFB).....	25
3.2.2 VOLTE (Voice over LTE)	26
3.2.2.1 Les avantages de l'option VoLTE.....	27
3.3 IMS (Sous-système multimédia IP).....	27
3.3.1 L'architecture IMS.....	28
3.3.2 Protocole de L'IMS.....	30
3.3.2.1 Protocole SIP	30
3.3.2.2 Protocole Diameter.....	31
3.4 SRVCC (Single Radio Voice Call Continuity).....	31
3.4.1 Architecture de réseau SRVCC	32
3.5 Description de logiciel U2020	33
3.6 Architecture de réseau IMS pour Djezzy.....	35
3.7 Fonctionnalités de la VoLTE	35
3. 8 Processus d'activer la VoLTE.....	36
2.9. Conclusion.....	36

Chapitre 4 Analyses et résultats

4.1 Introduction.....	37
4.2 Procédure de Drive Test	37
4.3 GENEX Probe.....	37
4.3.1 Interface du GENEX Probe.....	38
4.3.2 Analyse de GENEX Assistant	39

4.4 Description de l'application utilisée	39
4.4.1 PHU Smart (Probe Handset Unit Smart)	39
4.5 Scenario suivi pour les tests	39
4.5.1 Le premier test	39
4.5.1.1 Résultats des KPI d'accessibilité	39
4.5.1.2 Résultats des KPI de rétention	39
4.5.1.3 Résultat du temps de latence.....	39
4.5.2 Le deuxième test	39
4.5.2.1 Résultats des KPI d'accessibilité	39
4.5.2.2 Résultats des KPI de rétention	39
4.5.2.3 Résultat du temps de latence.....	39
4.5.3 Le troisième test.....	39
4.5.3.1 Résultats des KPI d'accessibilité	39
4.5.3.2 Résultats des KPI de rétention (retainability).....	39
4.5.3.3 Résultat du temps de latence.....	39
4.6 Comparaison des résultats.....	39
Tableau 4. 1 : Des résultats du délai moyen de configuration d'appel.....	39
4.6.1 Résultat de la qualité vocale MOS.....	39
4.7 Application réalisée pour Djezzy	39
2.8. Conclusion.....	39
Conclusion générale	50
Références Bibliographie.....	51
Présentation de la société.....	54

Liste des abréviations

1G	Première Génération
2G	Deuxième Génération
3G	Troisième Génération
3GPP	Génération Partner Ship Project
4G	Quatrième Génération
A	
AAA	Authentication Autorisation and Accounting
AAC	Advanced Audio Coding
AMBR	Aggregate Maximum Bit Rate
AMR	Adaptive Multi-Rate
API	Application Programming Interface
ARP	Allocation Retention Priority
AS	Application Server
AVP	Attribute Value Pair
B	
BGCF	Breakout Gateway Control Function
BLER	Block Error Rate
BS	Base Station
BSS	Base Station Subsystem
C	
CDMA2000	Code Division Multiple Access 2000
CN	Core Network
CS	Circuit Switch
CSCB	Circuit Switched Cellular Backhaul
CSFB	Circuit Switched Fall Back
CSSR	Call Setup Success Rate
CSCF	Call Session Control Function
D	
DC	Direct Current
DES	Data Encryption Standard
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
DL	Down Link

Liste des abréviations

DRNS	Dual Radio Network System
DSCP	Differentiated Services Code Point
E	
ECN	Explicit Congestion Notification
E-CSCF	Emergency Call Session Control Function
eNodeB	Evolved Node B
EPC	Evolved Packet Core
EPS	Evolved Packet System
E-UTRA	Evolved UMTS Terrestrial Radio Access
E-UTRAN	Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network
EVC	Enhanced Voice Service
F	
FDD	Frequency Division Duplexing
FDMA	Frequency Division Multiple Access
G	
GAN	Generic Access Network
GBR	Guaranteed Bit Rate
GERAN	GSM EDGE Radio Access Network
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile communication
GSMA	GSM Association
H	
HD	High Definition
HDR	High Dynamic Range
HSDPA	High Speed Downlink Packet Access
HSPA	High-Speed Packet Access
HSS	Home Subscriber Server
I	
I-CSCF	Interrogating Call Session Control Function
IETF	Internet Engineering Task Force
IMS	IP Multimedia Subsystem
IM-SSF	IP Multimedia Service Switching Function

Liste des abréviations

IMT-A	International Mobile Telecommunication Advanced
IP	Internet Protocol
IPTV	Internet Protocol Television
ITU	International Telecommunication Union
K	
KPI	Key Performance Indicator
L	
LTE	Long Terme Evolution
M	
MBR	Maximum Bit Rate
MGCF	Media Gateway Control Function
MGW	Media GateWay
MIMO	Multiple Input Multiple Output
MME	Mobility Management Entity
MOS	Mean Opinion Score
MRF	Multimedia Resource Function
MRFC	Multimedia Resource Function Controller
MRFP	Multimedia Resource Function Processor
N	
NGMN	Next Generation Mobile Networks
NB	Narrow Band
O	
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
OSS	Operations Support System
P	
PCC	Policy and Charging Control
PCEF	Policy and Charging Enforcement Function
PCI	Physical Cell Identifier
PCRF	Policy & Charging Rules Function
P-CSCF	Proxy Call Session Control Function
PDN	Packet Data Network
PHB	Per-Hop Behavior

Liste des abréviations

P-GW	Packet Data Network Gateway
PRB	Physical Resource Block
PS	Packet Switching
PSS	Primary Synchronization Signal
PSTN	Public Switched Telephone Network
Q	
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QCI	QoS Class Identifier
QOS	Quality Of Service
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
R	
RAB	Radio Access Bearer
RAT	Remote Administration Tool
RNIS	Réseau Numérique à Intégration de Services
RRC	Radio Resource Control
RTCP	Réseau Téléphonique Commuté Public
RTP	Real time Transport Protocol
RTT	Radio Transmission Technologie
S	
SAI	Satellite Air Interface
SAP	Service Access Point
SAR	Specific Absorption Rate
SC	Service Center
SC-FDMA	Single Carrier Frequency Division Multiple Access
S-CSCF	Services Call Session Control Function
SCTP	Stream Control Transmission Protocol
SDP	Software Defined Networking
S-GW	Serving Gateway
SIP	Session Initiation Protocol
SMS	Short Message Service
SMTP	Simple Mail Transport Protocol
SRVCC	Single Radio Voice Call Continuity
T	

Liste des abréviations

TDD	Time Division Duplexing
TDMA	Time Division Multiple Access
TrGW	Transition GateWay
U	
UAR	User Authorization Request
UDP	User Datagram Protocol
UE	User Equipment
UIT	Union Internationale des Télécommunications
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System
UP	Up Link
URL	Uniform Resource Locator
UTRAN	UMTS Terrestrial Radio Access Network
V	
VOD	Video On Demand
VoIP	Voice over Internet Protocol
VoLTE	Voice over LTE
W	
WB	Wide Band
WCDMA	Wide Band Code Division Multiple Access
WiFi	Wireless Fidelity

Liste des tableaux

Tableau 2.1 : Caractéristiques de QCI.....	20
Tableau 2. 2 : Différents codecs de l'EVS	23
Tableau 4. 1 : Des résultats de délai moyen de configuration d'appel.....	44

Liste des figures

Chapitre 1 : Généralité sur le réseau 4G/LTE

Figure1. 1 : l'architecture d'un réseau 4G/LT.	4
Figure1. 2 : Les modulations TDD et FDD	7
Figure1. 3 : Exemple d'un spectre OFDM.....	7
Figure1. 4 : Différence entre les deux techniques OFDM et OFDMA	8
Figure1. 5 : SC-FDMA transmitter and receiver	9
Figure1. 6 : Diagramme de constellation.....	9
Figure1. 7 : Structure de la trame et bloc de ressource LTE	10
Figure1. 8 : Soft-Handover et Hard-Handover	12
Figure1. 9 : Schéma représentatif des systèmes SISO, SIMO, MISO et MIMO.....	12

Chapitre 2 : Qualité de service (QoS) voix dans les réseaux 3G/4G

Figure2. 1 : La Qos dans UMTS	17
Figure2. 2 : Les porteurs au sein des interfaces	19

Chapitre 3 : Implémentation de la VoLTE (IMS et SRVCC)

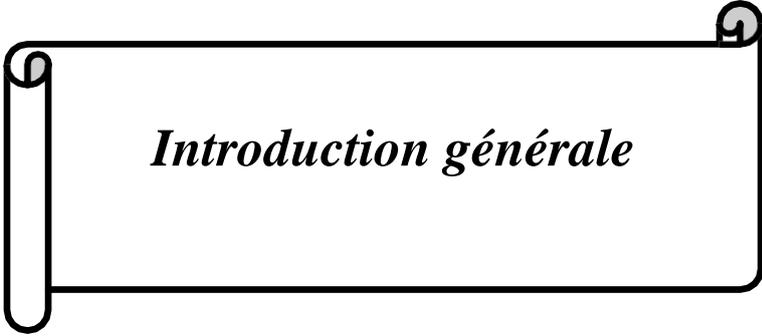
Figure3. 1 : Schéma de CSFB.....	26
Figure3. 2 : Schéma de VoLTE	27
Figure3. 3 : Architecture des réseaux IMS	28
Figure3. 4 : Architecture SIP	31
Figure3. 5 : Architecture réseau SRVCC	32
Figure4.6 : L'interface en mode command.....	34
Figure3.7 : l'interface en mode script.....	34
Figure3. 8 : Architecture de réseau IMS adoptée par l'opérateur Djezzy.....	35

Chapitre 4 : Analyses et résultats

Figure 4. 1 : Equipement réel pour le Drive Test.....	37
Figure 4. 2 : Interface de GENEX Probe.....	38
Figure 4. 3 : PHU Smart... ..	39
Figure 4. 4 : Les Différents champs de PHU Smart.....	40
Figure 4. 5 : Les résultats d'appel vocal 2G	41
Figure 4. 6 : Les résultats d'appel vocal 3G... ..	42
Figure 4. 7 : Un appel voix entre deux mobiles équipés de la VoLTE	43
Figure 4. 8 : Les résultats d'appel vocal 4G... ..	43

Liste des figures

Figure 4. 9 : Des graphes des résultats du délai moyen de configuration d'appel.....	44
Figure 4. 10 : Résultats de la qualité vocale MOS pour la 3G.....	45
Figure 4. 11 : Résultats de la qualité vocale MOS pour la VoLTE.....	45
Figure 4. 1 2 : La partie de calcule de débit pour la technologie FDD	47
Figure 4. 13 : La partie de calcule de débit pour la technologie TDD	47
Figure 4. 14 : Deuxième partie de l'application	48
Figure4.15 : les graphes obtenus	48



Introduction générale

Introduction générale

Les réseaux mobiles et sans fil ont connu un développement continu à travers plusieurs générations depuis leur introduction. La première génération (1G) utilisait des transmissions analogiques, puis sont apparues successivement la deuxième génération (2G) (GSM/GPRS/EDGE), marquant la transition vers le numérique, et la troisième génération (3G) (UMTS/HSPA/HSPA+/DC-HSPA+), permettant des échanges simultanés voix-données avec un débit adapté aux besoins des applications multimédias, et la 4G/LTE, offrant des débits bien supérieurs à ceux de la 3G.

La technologie 4G/LTE représente une progression significative dans les communications sans fil mobiles, offrant une amélioration spectrale qui permet un transfert de données à haut débit, une portée étendue, une capacité d'appel par cellule accrue par rapport à l'UMTS, et une latence réduite.

La 4G/LTE, repose sur un réseau de transport utilisant la commutation de paquets IP, contrairement à la 3G, qui achemine la voix en mode circuit, la LTE ne propose pas des méthodes d'acheminement spécifiques pour la voix en dehors de la VoIP. Les nouvelles technologies se concentrent désormais sur l'optimisation de la qualité des services (QoS) vocaux offrant une meilleure qualité sonore pour les rendre plus fonctionnels.

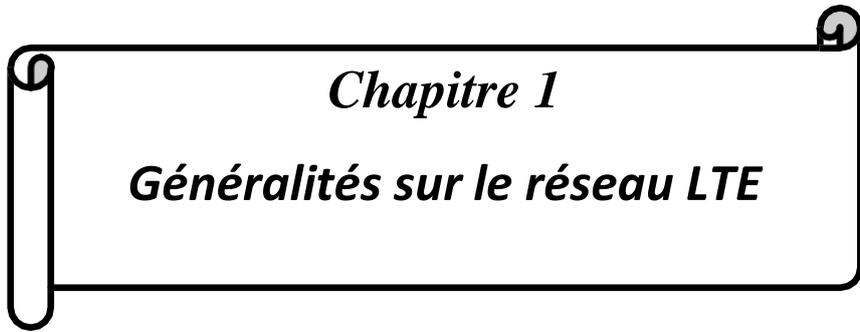
La VoLTE (Voice over LTE) émerge comme une solution contribuant à l'amélioration de la QoS, offrant ainsi une expérience vocale améliorée. Ceci est rendu possible grâce aux nouvelles infrastructures réseau IMS (IP Multimedia Subsystem) dédiées aux appels vocaux sur IP.

Le but de ce projet consiste à implémenter et paramétrer la VoLTE. Cette solution permet de passer des appels vocaux sur un réseau LTE.

Pour cela nous avons divisé notre travail en quatre chapitres :

Le premier chapitre présente des généralités sur le réseau 4G/LTE. Le deuxième chapitre se concentre sur la qualité de service voix dans les réseaux 3G/4G. Le troisième chapitre décrit une implémentation de la technologie VoLTE, le réseau IMS avec ses différents blocs, et aborde la fonction complémentaire SRVCC. Enfin, le dernier chapitre analyse les résultats des tests, comparant la qualité vocale entre les différents réseaux et la technologie VoLTE.

Ce mémoire se termine par une conclusion générale.



Chapitre 1
Généralités sur le réseau LTE

1.1 Introduction

La technologie LTE est perçue comme la quatrième phase de l'évolution des réseaux d'accès mobiles, ou 4G, ce qui en fait une révolution et non pas une simple évolution de l'UMTS. La technologie LTE, comme toute nouvelle génération de réseau d'accès, a pour objectif de fournir une capacité plus élevée et utilise une nouvelle méthode d'accès à la ressource fréquentielle.

Dans ce chapitre, nous effectuons une étude approfondie de la 4G. Nous commençons par définir ses objectifs, puis nous abordons ses caractéristiques, son architecture, ses techniques d'accès et son structure de trame. De plus, nous examinons le processus de handover, crucial pour la continuité du service, ainsi que la technologie MIMO, qui joue un rôle essentiel dans l'amélioration des performances et de l'efficacité du réseau LTE.

1.2 Définition de la 4G/LTE

La 4G LTE est la génération dans les réseaux mobiles qui succède à la 3G, promettant une connectivité améliorée en mobilité. Elle intègre diverses technologies telles que le Bluetooth, l'UWB, le WiFi, l'UMTS et le WiMAX. Les débits espérés oscillent entre 20 et 100 Mb/s sur de longues distances et en mouvement, et jusqu'à 1 Gb/s sur de courtes distances pour des stations fixes. La 4G assure une convergence avec les réseaux radio basés sur le protocole IP, ainsi qu'une connectivité fluide indépendamment de la couverture.

1.3 Objectifs de la 4G/LTE

Les objectifs principaux de la norme 4G /LTE sont :

- Répondre à une demande croissante en échanges de données, offrant une connectivité internet plus rapide et plus fiable que les réseaux 3G ;
- Améliorer les vitesses de téléchargement, passant de 100 Mbit/s en déplacement à 1 Gbit/s en stationnaire, comparé aux 2 à 15 Mbit/s de la 3G ;
- Cette évolution repose sur une combinaison de technologies radio, offrant des débits élevés et une qualité de service optimale ;
- Permet une connexion mobile très haut débit pour répondre aux besoins professionnels et personnels toujours plus exigeants ;
- La 4G fonctionne dans une variété de fréquences propres à la zone géographique couverte, offrant des capacités importantes pour l'acheminement du trafic en zones urbaines denses.

1.4 Caractéristiques des réseaux 4G/LTE

La 4G est caractérisée par :

Débit sur l'interface radio : 100 Mbit/s en téléchargement et 50 Mbit/s en téléversement. L'interface radio eUTRAN doit soutenir un débit instantané maximal de 100 Mbit/s en téléchargement (du réseau vers le terminal), avec une allocation de bande passante de 20 MHz en aval, et un débit instantané maximal de 50 Mbit/s en téléversement (du terminal vers le réseau), avec une allocation de bande passante similaire.

Connexion permanente : basée sur le principe des accès haut débit, assurant une connectivité constante pour l'accès à internet. Bien que la connexion reste permanente au niveau du réseau, le terminal doit passer de l'état IDLE à l'état ACTIF lors de l'envoi ou de la réception de trafic, et ce changement d'état s'effectue en moins de 100 ms.

Mobilité : assurée à des vitesses comprises entre 120 et 350 km/h. Le handover peut s'effectuer même lorsque l'utilisateur se déplace à grande vitesse. La LTE ne prend en charge que le hard handover et non le soft handover.

Latence : c'est la capacité à réagir rapidement à des demandes d'utilisateurs ou de service.

Flexibilité fréquentielle : La technologie LTE démontre une agilité en termes de fréquence en utilisant des porteuses de diverses largeurs pour s'ajuster à différentes allocations spectrales. Il exploite des bandes de fréquences allant de 1,4 MHz à 20 MHz dans les deux sens.

Capacité : La technologie LTE a considérablement augmenté la capacité en permettant d'atteindre jusqu'à 400 utilisateurs par cellule, particulièrement avec des largeurs de bande plus importantes. En comparaison, la technologie UMTS se limitait à un minimum de 200 utilisateurs par cellule

Efficacité du spectre : La LTE présente une efficacité spectrale de 5 bits/s/Hz en téléchargement et de 2,5 bits/s/Hz en téléversement.

Méthode de duplexage : La LTE utilise le Frequency Division Duplexing (FDD) et le Time Division Duplexing (TDD).

Technologies d'accès : L'Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA) est utilisé pour le sens descendant, tandis que le Single Carrier Frequency Division Multiple Access (SC-FDMA) est employé pour le sens montant.

Orthogonalité du DownLink et UpLink : Les liaisons montante et descendante des utilisateurs sont orthogonales entre elles, évitant ainsi toute interférence intracellulaire.

Coexistence et Interfonctionnement avec la 3G : Le handover entre E-UTRAN (LTE) et UTRAN (3G) doit s'effectuer en moins de 300 ms pour les services temps-réel et 500 ms pour les services non temps-réel. Étant donné que, initialement, peu de zones seront

couvertes par la LTE, l'opérateur doit veiller à ce que le handover entre la LTE et la 2G/3G reste toujours possible.

Technologie d'antenne : La LTE exploite la technologie d'antenne Multiple Input Multiple Output (MIMO) [1].

1.5. Architecture de la 4G/LTE

- **L'appareil LTE (UE)** : Pour vous connecter au réseau LTE, vous devez utiliser un appareil compatible avec cette technologie, comme des smartphones, des tablettes ou des clés-modems USB, qui sont équipés de fonctionnalités spécifiques. Ces fonctionnalités sont améliorées par la vitesse accrue de la LTE et les débits maximaux fournis par le type d'antenne intégré à l'appareil. De plus, tout terminal doit être en mesure de supporter les six largeurs de bande spectrales, allant de 1,4 à 20 MHz. En outre, une carte SIM LTE est nécessaire.

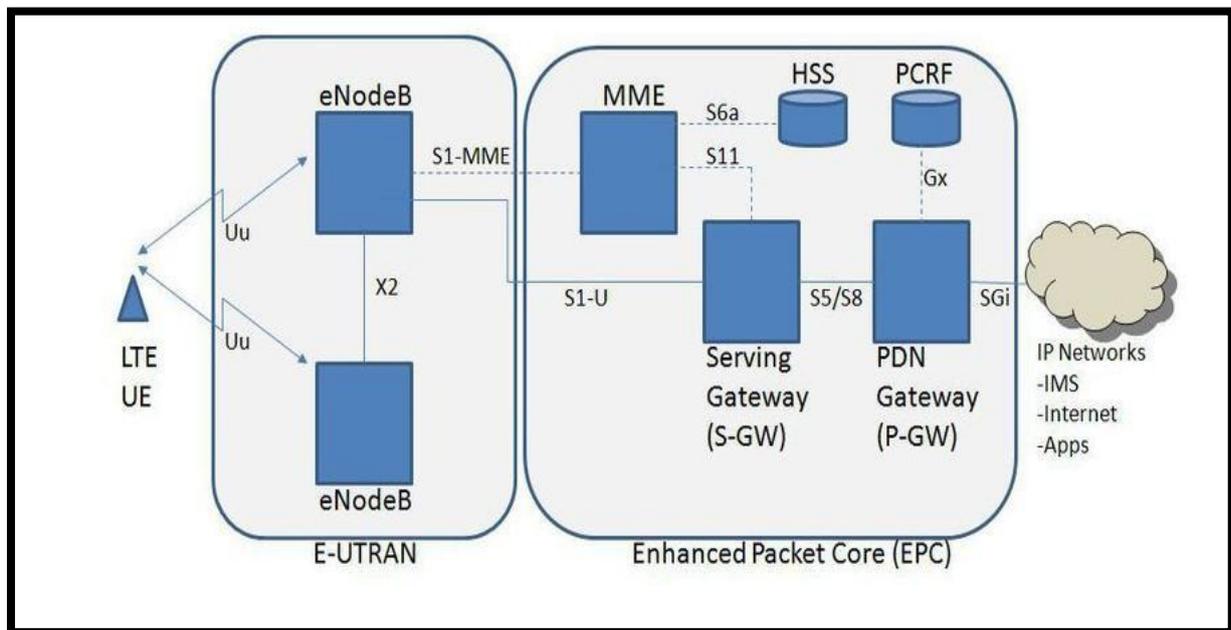


Figure1. 1 : l'architecture d'un réseau 4G/LTE [2]

L'architecture de la 4G LTE repose sur deux composants principaux : le réseau d'accès radio et le réseau cœur.

1.5.1. Réseau d'accès radio (e-UTRAN)

Le réseau d'accès radio de la 4G LTE, appelé e-UTRAN (evolved UMTS Terrestrial Network), se distingue par sa simplification par rapport aux réseaux 2G (BSS) et 3G (UTRAN). Cela est réalisé grâce à l'intégration des stations de base appelées "eNodeB", connectées par des fibres optiques et des liens IP (lien X2). De plus, les fonctions de contrôle,

auparavant gérées par les RNC (Radio Network Controller) des réseaux 3G UMTS, sont désormais intégrées aux eNodeB. Cette composante assure la gestion des ressources radio, la gestion de la porteuse, la compression, la sécurité et la connectivité vers le réseau cœur évolué.

1.5.2. Réseau cœur (EPC)

Le réseau cœur de la 4G, appelé EPC (Evolved Packet Core), est entièrement basé sur la technologie IP, assurant une commutation de paquets. Contrairement aux réseaux précédents, la 4G ne propose plus de mode commuté pour les communications voix, utilisant plutôt la voix sur IP (VoLTE) pour les appels vocaux. L'EPC sépare les équipements en deux rôles distincts : ceux pour acheminer les données utilisateurs et ceux pour gérer les données de contrôle propres au fonctionnement du réseau mobile 4G. Cette architecture permet une meilleure gestion du trafic, une qualité de service améliorée et une transition vers des services innovants tout en offrant des débits plus élevés et une connectivité plus efficace pour les utilisateurs mobiles.

- **MME (Mobility Manager Entity) :** L'entité MME assume les fonctions fondamentales de signalisation pour connecter un terminal mobile au réseau. Elle rassemble les données essentielles pour authentifier les utilisateurs lors de leur entrée dans le système, en utilisant les informations du HSS. Par le biais de ses fonctions de contrôle, elle gère les sessions des utilisateurs authentifiés et supervise la mobilité, notamment en coordonnant la signalisation pour les transitions inter-SGW et en négociant la qualité de service. De plus, le MME gère la diffusion des messages de paging lorsque l'UE ne peut pas recevoir les paquets qui lui sont adressés, et met à jour les paramètres de localisation des mobiles se trouvant dans des zones non couvertes par le MME.
- **La passerelle S-GW (Serving Gateway) :** Cette passerelle est conçue pour gérer les données des utilisateurs et joue un rôle crucial dans le routage et la transmission des paquets de données entre les stations de base e-UTRAN et le cœur de réseau. Les échanges de paquets sont dirigés par le SGW vers le PDN-GW via l'interface S5. Le SGW est connecté à l'e-UTRAN via l'interface S1-U, agissant ainsi comme un relais entre l'utilisateur et l'EPC. Il fonctionne comme une ancre locale pour la mobilité entre les stations de base eNodeB et facilite la transition entre les systèmes mobiles de différentes générations, tels que LTE et UMTS.
- **P-GW (Packet Data Network Gateway ou PDN Gateway) :** Le PDN-GW est le nœud responsable de connecter l'utilisateur mobile aux différents réseaux PDN. Il joue le rôle

de routeur par défaut pour les requêtes des utilisateurs. Le PDN-GW attribue des adresses IP à chaque terminal mobile, filtre les paquets et enregistre les octets échangés.

- **HSS (Home Subscriber Server)** : Le HSS représente une évolution du HLR. Il conserve des données d'abonnement essentielles pour le contrôle des appels et la gestion des sessions par le MME, en plus des informations d'authentification des utilisateurs, il stocke les données d'abonnement pour divers réseaux, tels que GSM, GPRS, 3G, LTE et IMS.
- **PCRF (Policy and Charging Rules Function)** : Le PCRF accomplit principalement deux fonctions importantes. Tout d'abord, il prend en charge la gestion de la qualité de service nécessaire pour le réseau, en attribuant les transporteurs appropriés en conséquence. Ensuite, il s'occupe principalement de la tarification en gérant les politiques de facturation applicables, qui sont ensuite prises en compte par le PDN-GW en fonction des actions de l'utilisateur [3].

1.6. Techniques d'accès dans un réseau LTE

1.6.1. Duplexage

Le duplexage concerne la manière dont les transmissions sont séparées entre la voie descendante et la voie montante. La voie descendante, également connue sous le nom de Downlink (DL), implique la transmission de la station de base vers l'UE. La voie montante, également appelée Uplink (UL), concerne la transmission de l'UE vers la station de base. Deux modes principaux de duplexage, tous deux gérés par l'interface radio du LTE, sont utilisés [5] :

- **Le mode FDD** : La technologie FDD (Frequency Division Duplex) définit une méthode de duplexage pour les communications sans fil, où l'envoi et la réception de données s'effectuent à des fréquences distinctes. Autrement dit, la fréquence de la porteuse du signal varie selon la direction de la liaison, montante ou descendante. Cette approche permet une transmission et une réception simultanées, offrant ainsi un avantage majeur par rapport aux autres méthodes de duplexage. [4]
- **Le mode TDD** : La technologie TDD, ou duplexage en temps (Time Division Duplex) se caractérise par l'utilisation d'une fréquence porteuse commune pour les voies montante et descendante, avec un partage s'effectuant dans le domaine temporel. Certains intervalles de temps de transmission sont alloués à la voie montante, tandis que les autres sont réservés à la voie descendante. Un temps de garde est nécessaire pour les changements de direction de transmission, permettant notamment aux équipements de

passer de l'émission à la réception. Dans le contexte du LTE, l'intervalle de temps élémentaire dédié à l'un des sens de transmission est appelé la sous-trame [5].

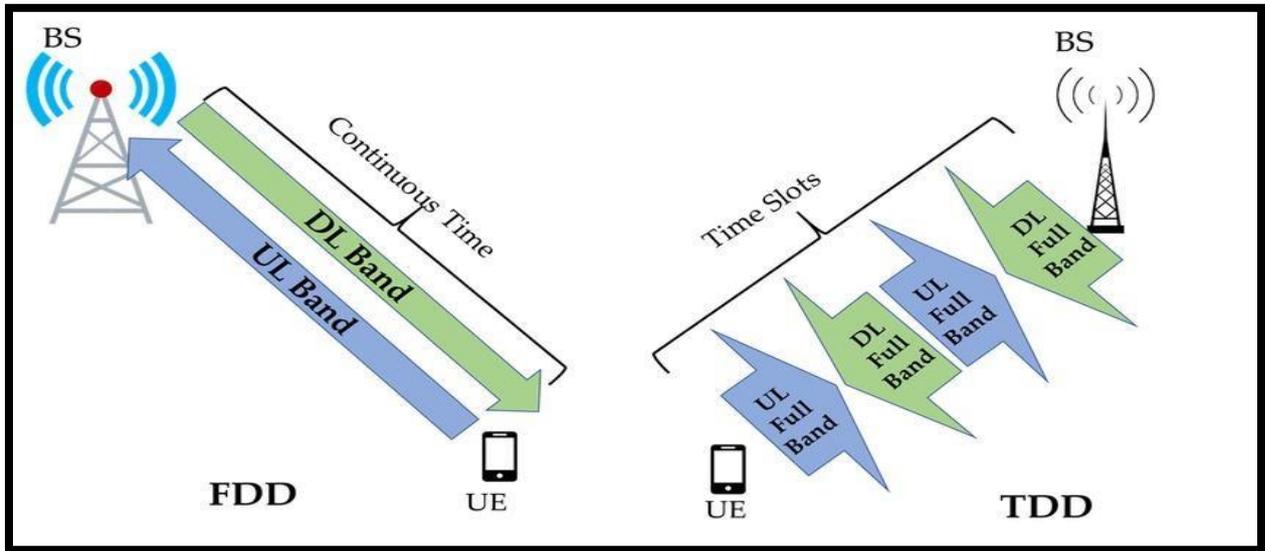


Figure1. 2 : Les modulations TDD et FDD [6]

1.6.2. Multiplexage

1.6.2.1 OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing)

L'OFDM est un principe de multiplexage qui consiste à répartir un signal numérique que l'on veut transmettre sur un grand nombre de sous-porteuses. Cette technique vise à rapprocher au maximum les fréquences des sous-porteuses afin de transmettre un maximum d'informations dans une portion de fréquence déterminée. Dans l'OFDM, les sous-porteuses sont orthogonales entre elles, ce qui signifie que les signaux des sous-porteuses se chevauchent, leur orthogonalité garantit qu'ils n'interfèrent pas les uns avec les autres [5].

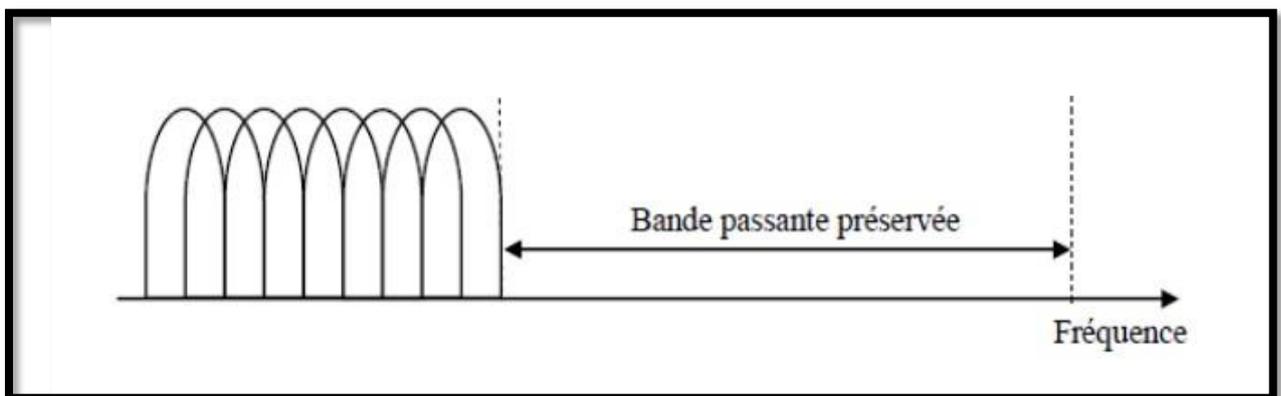


Figure1. 3 : Exemple d'un spectre OFDM [5]

Dans un système OFDM, l'orthogonalité signifie que les spectres des sous-porteuses sont nuls au maximum de chaque spectre d'une sous-porteuse, tandis que les spectres des autres

sous-porteuses se recouvrent mais restent orthogonaux entre eux. L'interférence entre porteuses (IEP) survient lorsque l'orthogonalité est perdue, généralement due à la présence de symboles de données d'une sous-porteuse sur les sous-porteuses adjacentes.

1.6.2.2. OFDMA (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing Access) :

Est une technique qui dérive de l'OFDM en utilisant le même principe de division de la bande passante en plusieurs sous-porteuses.

Le principe de l'OFDMA consiste à répartir le signal numérique que l'on veut transmettre sur un grand nombre de sous-porteuses. Cela permet d'obtenir, pour un débit global constant, un débit plus faible sur chaque canal, entraînant ainsi un temps d'émission plus long pour chaque symbole ($66,7 \mu\text{s}$ pour le LTE). Cette approche vise à limiter les problèmes d'interférences inter-symboles et de fading associés aux "chemins multiples de propagation" présents dans les liaisons radio de moyenne et longue portée.

Le symbole OFDMA est subdivisé en des sous-canaux logiques, permettant l'attribution dynamique des ressources radio aux utilisateurs. Cette subdivision facilite la prise en charge de l'accès multiple et offre une meilleure adaptation aux techniques avancées des antennes [5].

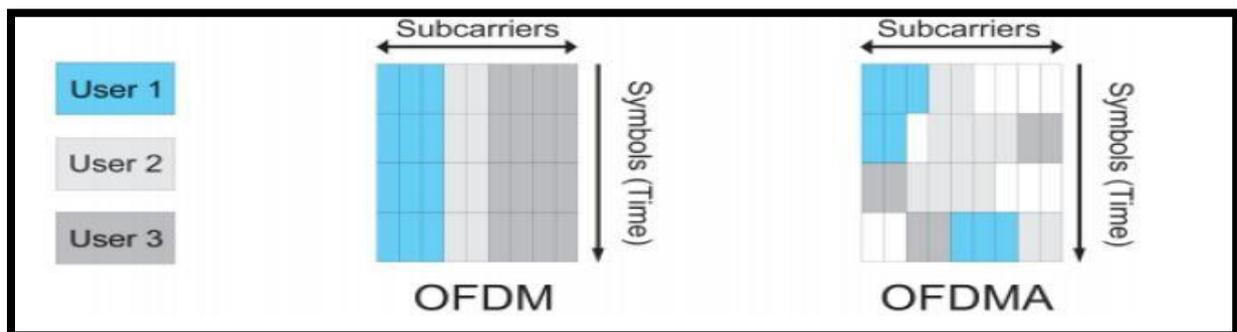


Figure1. 4 : Différence entre les deux techniques OFDM et OFDMA [7]

1.6.2.3. SC-FDMA (Single-Carrier Frequency-Division Multiple Access) :

C'est une technologie de codage radio numérique adoptée spécifiquement pour les liaisons montantes (du terminal vers la station de base) dans certaines normes 3GPP, en particulier pour la composante radio (eUTRAN) des réseaux mobiles LTE. Cette méthode de codage a été choisie pour réduire la consommation électrique du terminal, contribuant ainsi à prolonger l'autonomie de sa batterie.

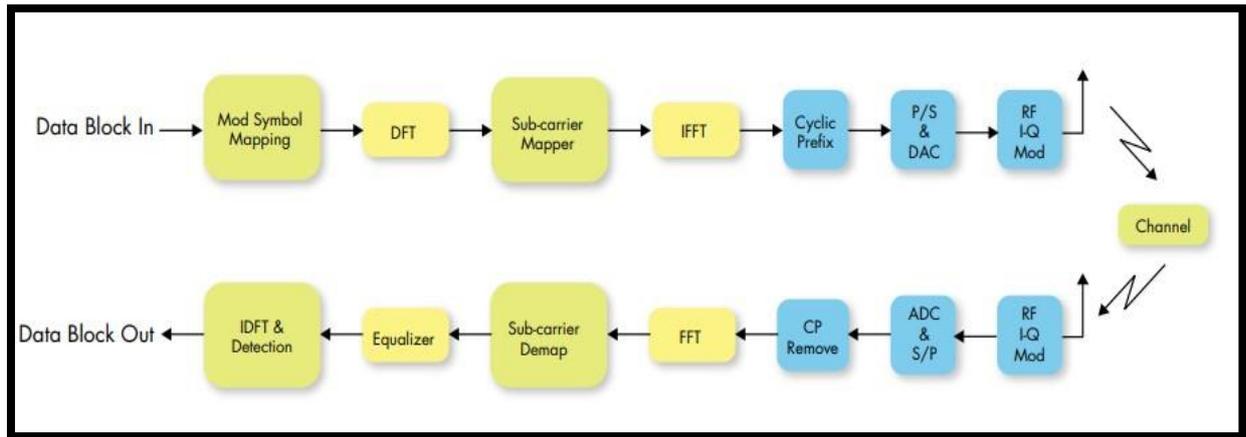


Figure1. 5 : SC-FDMA transmitter and receiver [8]

1.7. La modulation dans le réseau 4G/LTE

La modulation convertit les blocs de bits encodés en symboles de modulation, altérant une caractéristique physique du signal, telle que la phase ou l'amplitude, pour optimiser le transfert de données sur le réseau. Les états de modulation sont représentés par des constellations. Dans le cadre de l'E-UTRAN, diverses modulations sont utilisées, notamment QPSK, 16QAM, 64QAM et 256QAM. Le niveau de protection des données varie selon la modulation employée. Par exemple, avec la modulation 64QAM, les symboles de modulation étant étroitement espacés, le risque d'interférence inter-symboles est accru. Ainsi, la modulation 64QAM est généralement appliquée en voie descendante, où la modulation multi-porteuse OFDMA est utilisée pour contrer les interférences inter-symboles. En revanche, en voie montante, les modulations QPSK et 16QAM sont préférées.[9]

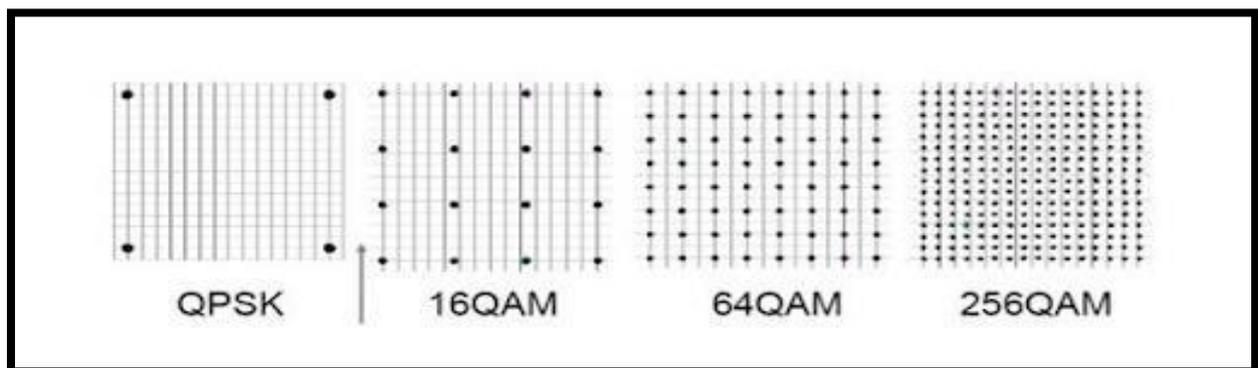


Figure1. 6 : Diagramme de constellation

1.8. Structure de la trame LTE

Dans le système LTE, le partage entre la voie montante et la voie descendante s'effectue soit dans le domaine fréquentiel en mode FDD, soit dans le domaine temporel en mode TDD. Les transmissions en voie descendante (DL) sont structurées en trames radios pour les deux

modes TDD et FDD. La durée d'une trame radio est de 10 ms. Chaque trame radio est temporellement divisée en dix sous-trames de 1 ms, chacune composée de deux slots de 0.5 ms. Chaque slot inclut un nombre de symboles OFDM dépendant du type de préfixe cyclique utilisé. Le préfixe cyclique, inséré au début de chaque symbole OFDM, vise à atténuer l'interférence entre les symboles. Le système LTE propose deux types de préfixes cycliques : normal et étendu, dont la durée varie en fonction des applications et services ciblés. [5]

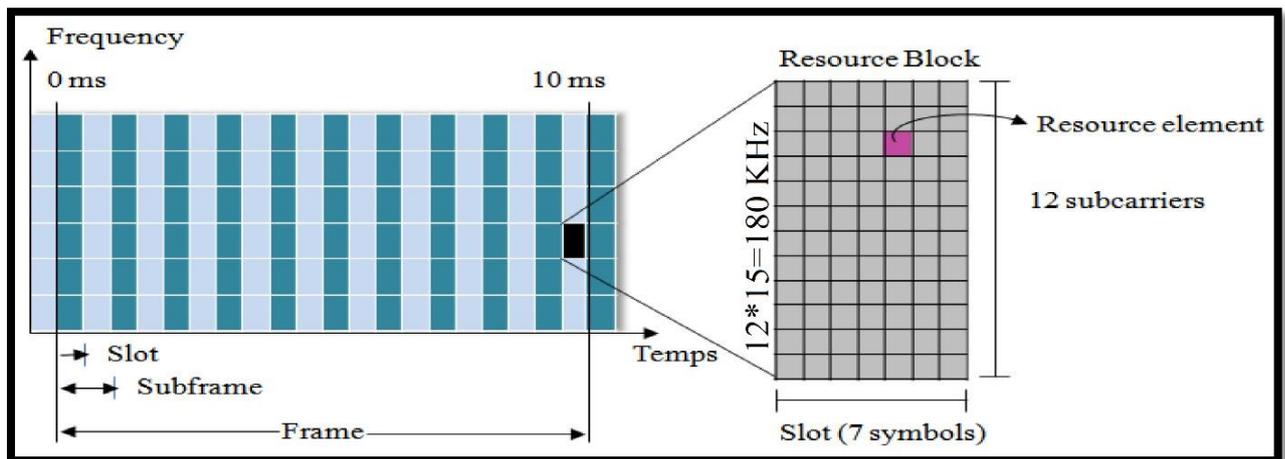


Figure1. 7 : Structure de la trame et bloc de ressource LTE [10]

Dans le domaine fréquentiel, chaque slot est structuré en blocs de ressources élémentaires (Physical Resource Block - PRB). Un bloc PRB comprend 12 sous-porteuses espacées de 15 kHz, occupant ainsi une bande de 180 kHz, et 7 symboles OFDM. Le nombre de PRBs dépend de la largeur de bande du canal de transmission.

1.8.1. La synchronisation :

La synchronisation s'opère dans la première sous-trame et se répète dans la sixième sous-trame. Elle repose sur deux signaux : le PSS (Primary Synchronisation Signal) et le SSS (Secondary Synchronisation Signal), émis à une fréquence de 1,4 MHz.

Le PSS contient 64 bits (de 0 à 63) répartis en trois séquences (0, 1, 2) utilisées pour programmer les cellules. Chaque cellule est programmée avec une seule séquence (0, 1 ou 2). Le SSS, quant à lui, contient 168 bits (de 0 à 167). Ces signaux se distinguent par leur orthogonalité.

1.8.2. Planification de PCI (PhysicalCell ID) :

Le PCI est l'un des identifiants de cellules les plus cruciaux dans le réseau LTE. Il sert à repérer les signaux de synchronisation PSS et SSS.

Pour calculer le PCI de chaque cellule, on utilise la formule suivante : $PCI = PSS + 3 * SSS$.

1.9. Présentation du Handover

Le Handover, également appelé transfert intercellulaire, est un mécanisme fondamental dans les réseaux cellulaires mobiles (tels que le GSM, le CDMA, l'UMTS ou le LTE). Il englobe toutes les opérations requises pour permettre à un téléphone mobile ou un smartphone de changer de cellule radio sans perturber la conversation ou le transfert de données. Un service d'itinérance peut être ajouté à ce processus, qui se produit lorsque la station mobile quitte une cellule gérée par un opérateur pour une autre appartenant à un opérateur différent, que la conversation soit en cours ou non. Le Handover offre à un terminal mobile la possibilité de maintenir la communication en cours pendant un déplacement qui implique le changement de cellule. Quand le signal entre un téléphone et une station de base (BTS) diminue, le logiciel du téléphone recherche une autre station de base disponible dans une autre cellule qui assurera la continuité de la communication dans les meilleures conditions. Par définition, le Handover consiste en un transfert automatique intercellulaire ou intracellulaire, dans le but d'éviter les interruptions de communication en bordure de cellule et de réduire considérablement l'interférence créée dans le réseau. [11]

1.9.1. Les types de Handover :

1.9.1.1. Hard Handover :

Le hard Handover se produit lorsqu'un canal radio de la cellule source est libéré avant que le canal dans la cellule cible ne soit activé. La liaison avec la cellule source est donc interrompue avant ou au même moment que la liaison avec la cellule cible. On nomme cette méthode Break-Before-Make (rompre avant de faire). Dans cette situation, il est primordial de réduire au minimum la durée d'interruption de la communication. Les réseaux mobiles GSM et les réseaux 4G LTE utilisent ce genre de Handover, avec une interruption de quelques dizaines de millisecondes. En général, on utilise le mécanisme du Hard Handover lors de déplacements relativement lents ou moyens. Lors du Handover, ce processus oblige la station mobile à rompre la connexion avec l'ancienne station de base avant de se connecter à la nouvelle station de base. Il n'est possible de communiquer avec une seule station de base à la fois dans cette situation. [11]

1.9.1.2. Soft Handover

Un soft Handover se produit lorsque le canal de la cellule source est conservé pendant un certain temps pendant que la liaison avec la cellule cible est en cours. Dans cette situation, la connexion avec la cellule cible est créée avant que le lien avec la cellule source ne soit rompu. Cette approche est connue sous le nom Make-Before-Break (Faire avant de rompre). Les

réseaux 3G UMTS utilisent ce genre de Handover en utilisant le code de brouillage (le "C" de W-CDMA), qui permet d'identifier et de recevoir en même temps depuis plusieurs cellules radio. Lors d'une soft Handover, le terminal mobile se situe dans la zone de couverture commune à deux stations de base, ce qui génère un état de diversité macro. Les terminaux mobiles communiquent avec les stations de base en utilisant deux canaux radio simultanément, chacun dédié à une station de base spécifique [11].

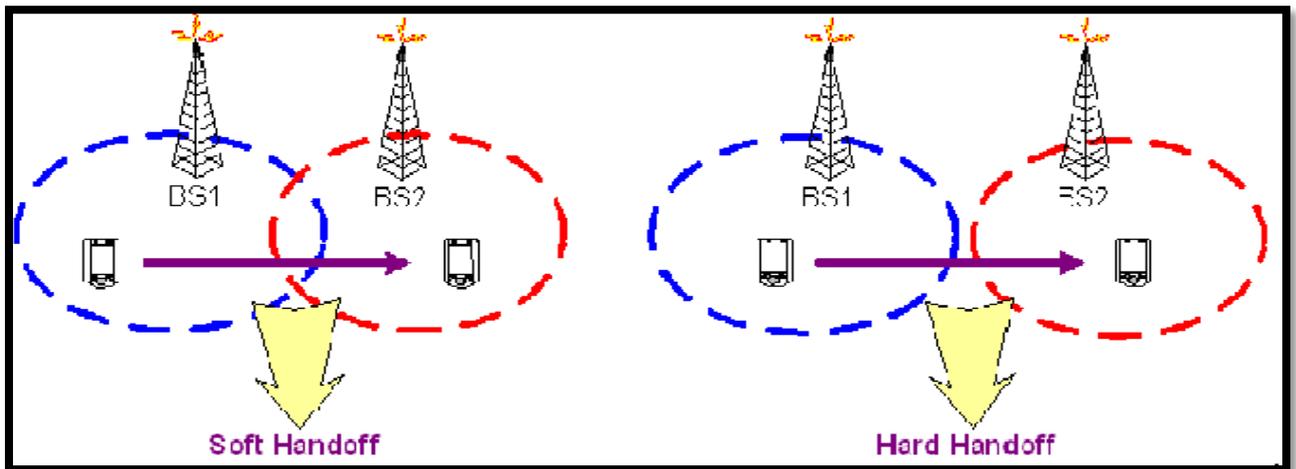


Figure1. 8 : Soft-Handover et Hard-Handover [12]

1.10. La technologie MIMO

La technologie MIMO utilise plusieurs antennes pour transmettre et recevoir des signaux. Son but est d'augmenter le débit, d'optimiser l'utilisation du spectre et de réduire les interruptions de connexion radio. Elle fonctionne en transmettant des signaux simultanément sur différentes antennes dans un même canal, et en simulant la réception sur plusieurs canaux différents avec un nombre spécifique d'antennes et des traitements appropriés [13].

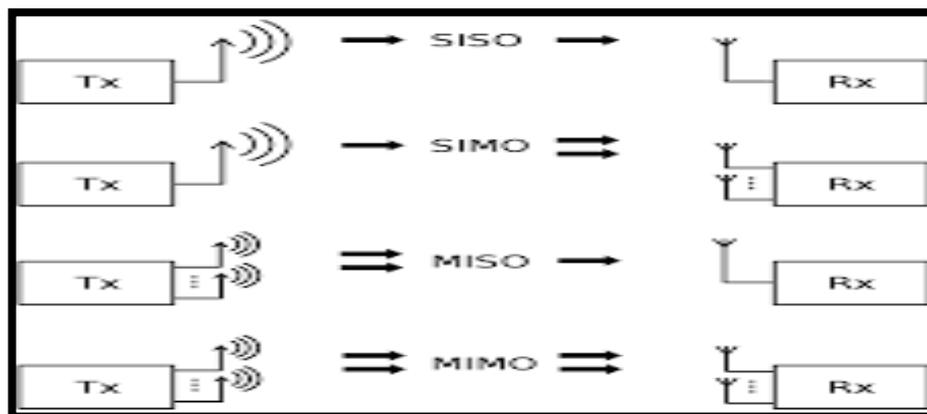


Figure1. 9 : Schéma représentatif des systèmes SISO, SIMO, MISO et MIMO [14]

La mise en place d'une telle structure permet à LTE d'atteindre des hauts débits et une grande capacité. Les systèmes MIMO exploitent les techniques de :

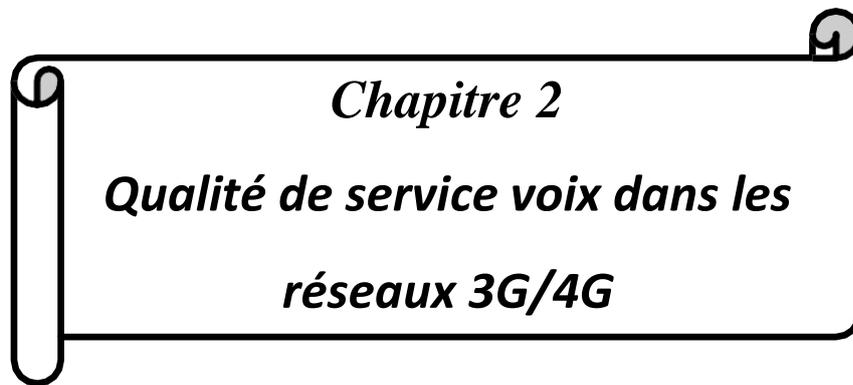
Diversité d'espace : Diversité d'antenne.

Diversité fréquentielle : Cette technique demande l'envoi du même signal sur des fréquences différentes.

Diversité temporelle : Lorsque on sépare l'envoi du même signal par le temps cohérence du canal

1.11. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons offert une vue d'ensemble du réseau 4G LTE en mettant en avant ses objectifs, ses caractéristiques et son architecture. Nous avons également exploré en détail les techniques d'accès, les modulations, la structure de la trame, ainsi que le Handover et la technologie MIMO dans le cadre du réseau 4G LTE. Nous allons étudier dans le deuxième chapitre la qualité de service dans les réseaux 3G/4G.



Chapitre 2
Qualité de service voix dans les
réseaux 3G/4G

2.1 Introduction

Le but de tout réseau est d'assurer des performances optimales afin de garantir que la qualité de service (QoS) satisfait au moins aux attentes minimales des utilisateurs. Pour un opérateur, l'objectif principal est d'attirer un nombre important d'abonnés, de les satisfaire et de gagner leur confiance. Cela nécessite une attention particulière à l'amélioration constante du réseau et des performances de la QoS, notamment en termes de latence, de débit, et autres paramètres clés.

Dans ce chapitre, nous entreprendrons une analyse approfondie de la Qualité de Service (QoS), en explorant ses multiples facettes, telles que la classification des services, les critères de qualité, les indicateurs de performance clés (KPI), ainsi que les systèmes de codecs Voice LTE. Nous examinerons également les outils utilisés pour mesurer la QoS, permettant ainsi une compréhension plus complète de son importance et de son impact dans les réseaux de communication modernes.

2.2 Définition de la QoS (Quality of Service)

Dans le domaine des télécommunications, la QoS (Quality of Service) fait référence à la capacité d'un réseau à répondre aux exigences de prestation d'un service de télécommunication spécifique, notamment en termes d'accessibilité, de disponibilité, de continuité et d'intégrité.

La QoS implique l'utilisation de mécanismes ou de technologies pour gérer le trafic sur un réseau, garantissant ainsi les performances des applications critiques avec une capacité réseau limitée, elle englobe toute technologie visant à optimiser la transmission des données tout en minimisant la perte de paquets, la latence et la variation de délai (jitter) sur un réseau.

2.3 Les avantages de la QoS

L'avantage principal de la QoS est la garantie de disponibilité des applications réseau, une transmission sécurisée des données, une utilisation efficace de la bande passante existante sans nécessité de mise à niveau coûteuse de l'infrastructure.

En outre :

- La QoS assure l'accès des applications critiques aux ressources nécessaires.
- Gestion optimale du trafic.
- Réduction des coûts en évitant l'achat d'une nouvelle infrastructure par l'entreprise.
- Amélioration de l'expérience client.

2.4 Paramètres de la QoS

La qualité de service (QoS) peut être évaluée quantitativement en utilisant divers paramètres, notamment :

- **La perte de paquets**

Cela se produit lorsque les canaux réseau sont surchargés, entraînant la perte de paquets par les routeurs et les commutateurs. Cela se manifeste par des décalages et des interruptions lors d'appels vocaux ou vidéo, ainsi que par la perte de paquets lorsque le nombre de paquets en attente d'envoi est trop élevé.

- **La gigue**

La gigue survient en cas de congestion du réseau, de dérive temporelle ou de changement de routage, se traduisant par des variations de délai des paquets au sein d'un même flux. Une forte gigue peut dégrader la qualité de la connexion, notamment lors de la visualisation de vidéos en ligne ou du streaming en direct. Les services vocaux et vidéo, en particulier, sont sensibles à la gigue car elle perturbe la continuité des flux audio ou vidéo.

- **La latence**

La latence, définie comme le délai entre l'envoi et la réception d'un paquet, englobe à la fois le temps de propagation et de transmission dans le réseau. Il est crucial que ce délai soit le plus court possible. Les différentes applications sur un réseau ont des exigences différentes en matière de latence : faibles pour la messagerie électronique ou le partage de fichiers, mais élevées pour les données voix, comme dans les appels VoIP où une latence élevée entraîne des échos et des distorsions sonores.

- **La bande passante**

La bande passante ou le débit, elle représente la capacité maximale de transmission de données d'un point à un autre sur une ligne de communication pendant un laps de temps donné. La gestion de la bande passante par la QoS implique la priorisation des applications en fonction de leurs besoins en ressources. Le débit est exprimé en bits par seconde.

- **La note d'opinion moyenne MOS**

MOS (Mean Opinion Score), mesure la qualité de la voix sur une échelle de un à cinq, la plus haute note reflétant la meilleure qualité (excellente).

2.5 Les classes de services

Les paramètres sont ensuite regroupés entre eux en fonction des besoins des applications et des services. Ces groupes forment alors des Classes de Services (Class of Services : CoS). A chaque classe, Chaque opérateur définit également ses propres classes de services avec des objectifs quantifiés différents.

Pendant, une classification des principales applications est fournie les standards ne définissent que quelques classes qui sont cités ci-dessous :

- **Voix** : Regroupe toutes les applications du type conversationnel (Voix, Visio, Conférence, ...) ayant pour contrainte forte des objectifs sur le délai et la gigue. Elles sont également sensibles au taux de perte bien qu'il ne soit pas possible de retransmettre les données et requièrent des débits assez faibles.
- **Vidéo** : Regroupe toutes les applications multimédia diffusées ou non (Vidéo à la Demande VoD, la télévision sur IP – IP TV, ...) ayant pour contrainte forte le taux de perte et le débit et dans une moindre mesure le délai et la gigue.
- **Donnée** : Regroupe toutes les applications de transfert de données ayant pour seule contrainte un taux de perte nul et qui s'accommodent d'un délai et d'une gigue quelconque. Un débit garanti caractérise cette classe sans toutefois en faire une contrainte stricte.
- **Défaut** : Désigne toutes les applications n'exigeant aucune garantie de QoS. Bien connu sous l'anglicisme « Best-Effort » c'est le mode de transport du protocole IP. [15]

2.6 La QoS du réseau UMTS

Dans la norme 3GPP, la qualité de service désigne la qualité d'un service telle qu'elle est perçue par l'utilisateur. Pour garantir cette qualité, les équipements utilisateur (UE) et le réseau UTRAN réalisent des mesures sur des paramètres spécifiques, assurant ainsi le bon fonctionnement du réseau UMTS. [16]

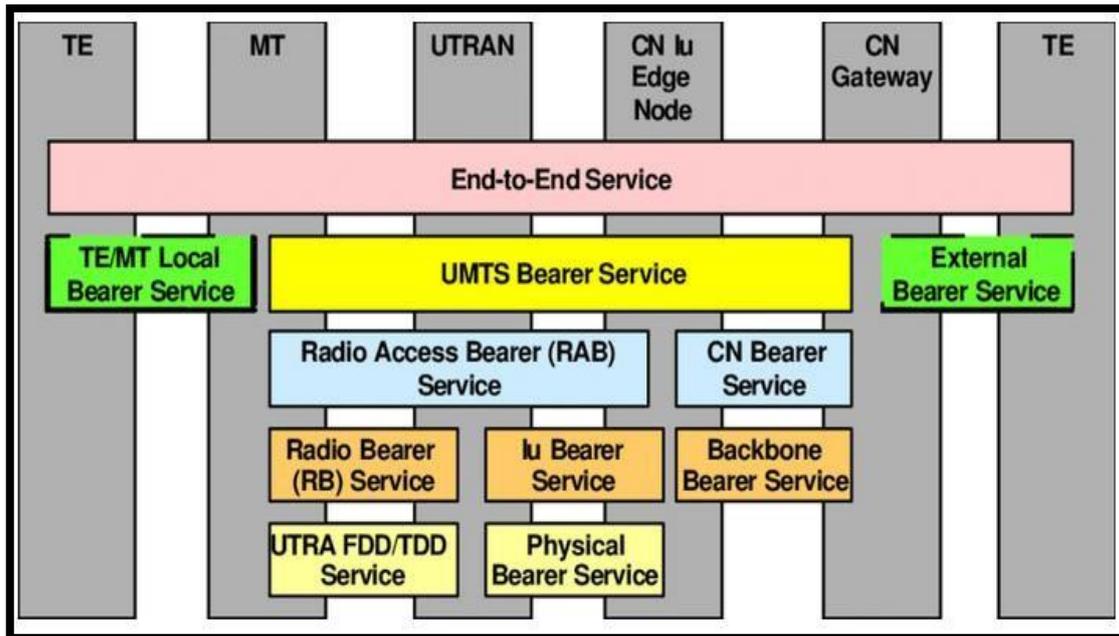


Figure 2.1: La Qos dans UMTS [17]

2.6.1 Classification des services

Les directives du 3GPP définissent quatre catégories de qualité de service (QoS) pour acheminer les applications multimédias dans l'UMTS. La distinction entre ces catégories repose principalement sur les exigences concernant le délai de transfert, le taux d'erreur binaire et la priorité de circulation.

- **Services conversationnel** : comme la téléphonie, représentent le principal exemple de cette catégorie. Ils peuvent également être appliqués à de nouvelles applications internet en temps réel axées sur la communication, telles que la voix sur IP. Cette classe requiert des contraintes rigoureuses à la fois sur le délai de transfert des paquets et sur leur variation.
- **Services streaming** : Les services de streaming sont destinés aux flux unidirectionnels tels que les diffusions vidéo ou audio. Ils ne sont pas soumis à des contraintes strictes en termes de délai de transfert, mais la variation du délai est un aspect crucial car elle est perceptible par l'utilisateur.
- **Services interactifs** : Ce type de service est dédié aux applications qui impliquent une interaction entre les deux extrémités de la communication, comme la navigation web. Ces applications sont de nature transactionnelle et nécessitent une certaine contrainte sur le délai de transfert des paquets car les utilisateurs attendent une réponse dans un laps de temps défini. Bien que cette contrainte ne soit pas aussi stricte que pour les

applications en temps réel, cette catégorie doit garantir un taux de perte de paquets suffisamment bas, car les applications qui en bénéficient sont très sensibles aux pertes.

Services background : Il s'agit de la catégorie la moins contraignante en ce qui concerne le délai de transfert. Les applications qui relèvent de cette catégorie sont celles pour lesquelles l'utilisateur n'attend pas une réception des paquets dans un laps de temps défini, comme les e-mails et les SMS. Cette classe est très vulnérable aux pertes de paquets. [18]

2.7 QoS voix dans LTE

2.7.1 Les porteurs (bearers)

Le concept de porteur (ou bearer) a été introduit dès la conception du système GSM pour attribuer efficacement les ressources aux besoins des abonnés et garantir la différenciation des services, notamment la qualité de service (QoS) pour la voix LTE.

Un porteur peut être considéré comme un canal entre deux entités du réseau qui communiquent entre elles sur une interface. Certaines caractéristiques de ce canal sont négociées lors de son établissement, permettant ainsi le transfert de données.

Ce concept de porteur est décliné sur différentes interfaces du réseau où les ressources doivent être optimisées, notamment :

- L'interface radio entre l'UE et l'eNodeB.
- L'interface S1 entre l'E-UTRAN et le réseau cœur.
- Les interfaces du réseau cœur.

Les porteurs sur ces interfaces forment un porteur agrégé entre l'UE et le réseau cœur, appelé porteur EPS. Comme si illustrée dans la figure suivante :

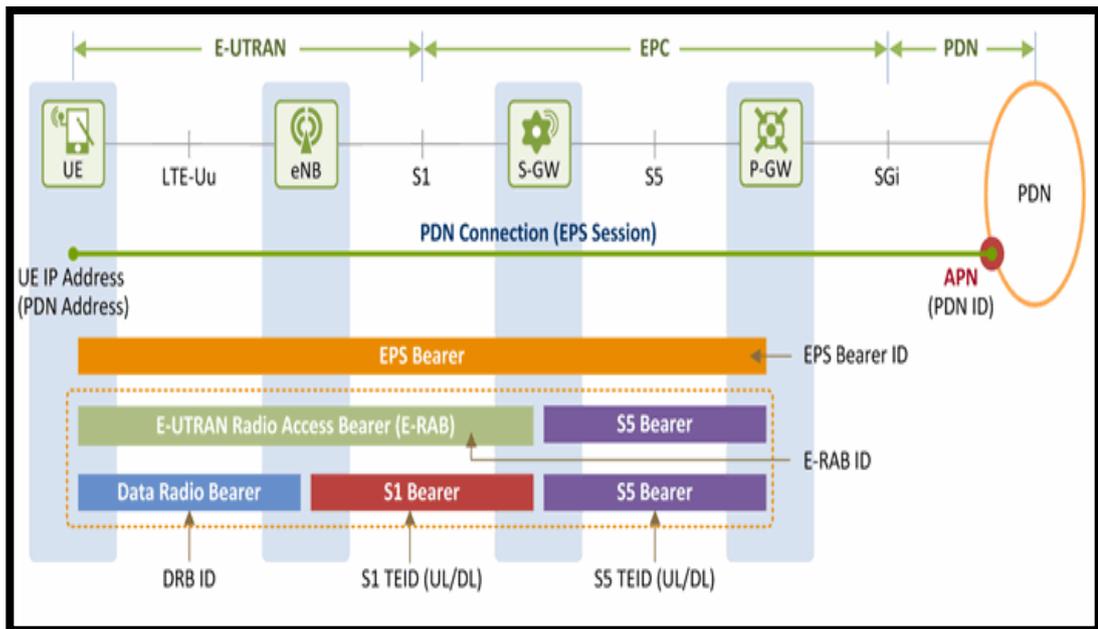


Figure 2. 2 : Les porteurs au sein des interfaces [19]

Le porteur EPS défini comme une connexion logique entre deux points de terminaison (PGW et UE) au sein de l'architecture LTE/EPS.

2.7.1.1 Paramètres QoS des porteurs (bearers)

La qualité de service (QoS) du bearer EPS comprend plusieurs paramètres qui seront énumérés comme suit :

Le QCI (QoS Class Identifier) : Défini dans le système LTE/EPC, il différencie les niveaux de service entre différents flux, les dispositifs utilisateur (UE) et les nœuds du réseau tels que l'eNodeB, la SGW et la P-GW déterminent le traitement des paquets de données en fonction de la valeur QCI associée à ce porteur.

Neuf QCI sont identifiés, chacun avec ses propres caractéristiques, notamment le type de ressource (GBR/non-GBR), la priorité, le délai de transmission et le taux d'erreur.

Tableau 2.1 : Caractéristiques de QCI [20]

QCI	Resource type	Priority	Packet delay budget	Packet error loss rate	Example services
1	GBR	2	100 ms	10^{-2}	Conversational voice
2		4	150 ms	10^{-3}	Conversational video (live streaming)
3		3	50 ms	10^{-3}	Real time gaming
4		5	300 ms	10^{-6}	Non-conversational video (buffered streaming)
5	Non-GBR	1	100 ms	10^{-3}	IMS signaling
6		6	300 ms	10^{-6}	Video (buffered streaming) TCP-based (e.g., www, e-mail, chat, ftp, p2p file sharing, progressive video, etc.)
7		7	100 ms	10^{-6}	Voice, Video (live streaming), Interactive gaming
8		8	300ms	10^{-3}	Video (buffered streaming) TCP-based (e.g., www, e-mail, chat, ftp, p2p file sharing, progressive video, etc.)
9		9		10^{-6}	

L'objectif des QC est de garantir une uniformité du niveau de qualité de service (QoS) sur l'ensemble du réseau, même dans un environnement où plusieurs fournisseurs d'infrastructure sont impliqués.

GBR (Garantie de Débit Binaire) et N-GBR (Non Garanti de Débit Binaire) : Pour un support EPS, le type de ressource GBR signifie que la bande passante est garantie, avec un débit binaire garanti associé comme paramètre de QoS. Seul un support EPS dédié peut être de type GBR, tandis qu'aucun support EPS par défaut ne peut l'être. Le QCI pour un support EPS de type GBR peut varier de 1 à 4. Pour un support EPS, le type de ressource non-GBR signifie qu'il est de type best-effort et que la bande passante n'est pas garantie. Tous les supports EPS par défaut sont de type non-GBR, tandis qu'un support EPS dédié peut être GBR ou non-GBR. Le QCI pour un support EPS non-GBR peut varier de 5 à 9. [21]

2.7.2 Les indicateurs de performance KPI

Les Indicateurs Clés de Performance (KPI), également connus sous l'acronyme anglais KPI (Key Performance Indicators), sont des mesures fournissant des informations sur les performances du réseau, ce qui permet d'optimiser son fonctionnement. Les KPI sont calculés à partir des données brutes recueillies au niveau des nœuds, des cellules ou des utilisateurs. Ils évaluent principalement le volume du trafic, la qualité des appels (dans le cas des réseaux incluant la voix) et la qualité de service globale du réseau. Leur rôle est de détecter les dysfonctionnements et les pannes dans le réseau en identifiant les cellules défaillantes. Chaque KPI est associé à un seuil, et si celui-ci est dépassé, une alerte est envoyée au système de supervision pour signaler un problème et en indiquer la localisation. [22]

2.7.3 Les principaux KPI dans LTE

Nous avons des catégories de KPI et des numéros de KPI de chaque catégorie. Dans le processus d'optimisation, nous devons vérifier la valeur du KPI pour surveiller et optimiser les performances du réseau radio afin de fournir une meilleure qualité d'abonné ou d'obtenir une meilleure utilisation des ressources réseau installées. Généralement, les KPI dans LTE peuvent être classés dans les sous-catégories suivantes :

2.7.3.1 KPI d'accessibilité (Accessibility)

Sont utilisés pour mesurer correctement si les services demandés par les utilisateurs sont accessibles dans des conditions données, ils font également référence à la qualité de la disponibilité lorsque les utilisateurs en ont besoin.

-Call Setup Success Rate

Taux de réussite de la configuration des appels, la configuration des appels KPI indique la probabilité de réussite de tous les services sur le réseau cellulaire ou radio

2.7.3.2 KPI de rétention (Retainability)

Sont utilisés pour mesurer la manière dont le réseau conserve la possession de l'utilisateur ou est capable de détenir et de fournir les services aux utilisateurs.

-Call Drop Rate

L'abandon des appels VoIP survient lorsque la libération VoIP ERAB n'est pas normale. Chaque ERAB est associé à des informations de QoS.

2.7.3.3 KPI de Mobilité (Mobilité)

Sont utilisés pour mesurer les performances du réseau qui peut gérer le mouvement des utilisateurs tout en conservant le service pour l'utilisateur, comme le handover.

2.7.3.4 KPI d'intégrité (Integrity)

Sont utilisés pour mesurer le caractère ou l'honnêteté du réseau envers son utilisateur, comme le débit et la latence pour lesquels les utilisateurs ont été servis.

2.7.3.5 KPI de disponibilité (Availability)

Ils sont utilisés pour mesurer la disponibilité du réseau, adaptée ou prête à être utilisée par les utilisateurs.

2.7.3.6 KPI d'utilisation (Utilisation)

Sont utilisés pour mesurer l'utilisation du réseau, si la capacité du réseau est atteinte par sa ressource. [23]

2.8 Système Codec Voice LTE

La 4G LTE est une technologie basée sur le protocole Internet (IP), les opérateurs de réseau LTE peuvent gérer la voix en utilisant des réseaux à commutation de circuits existants. Pour éviter cela, plusieurs codecs audio sont couramment utilisés dans les réseaux VoLTE pour transmettre des données vocales lors des appels VoLTE.

Le codec vocal est l'un des composants essentiels de la VoIP utilisé pour convertir les signaux analogiques en paquets numériques compressés, qui peuvent être envoyés sur Internet. Parmi eux, AMR-WB offre une haute qualité avec large bande passante, EVS est avancé avec une qualité élevée même à faible débit, Opus est polyvalent et adaptable, G.711 PCM offre une qualité élevée mais utilise plus de bande passante, G.722 fournit une meilleure qualité que G.711, et AMR-NB offre une qualité raisonnable avec une bande passante limitée. Les opérateurs choisissent les codecs en fonction d'un équilibre entre qualité de la parole et efficacité réseau. [24]

2.8.1 Services vocaux améliorés (EVS)

Les services vocaux améliorés (EVS), normalisés par 3GPP, sont un codec audio multi-débit prenant en charge une bande passante audio jusqu'à 20 kHz avec une utilisation prise en charge pour la parole et la musique conversationnelles. Ce codec offre une qualité vocale améliorée, de meilleurs taux de compression et des fonctionnalités réseau par rapport aux codecs 3GPP précédemment standardisés. Le logiciel de codec EVS a été conçu pour être intégré aux réseaux de communication mobile LTE et à commutation de paquets.

Tableau 2.2 : Différents codecs de l'EVS [25]

<i>Bandwidth</i>	<i>Bit Rates (kbps)</i>
<i>Narrowband (NB)</i>	5.9, 7.2, 8, 9.6, 13.2, 16.4, 24.4
<i>Wideband (WB)</i>	5.9, 7.2, 8, 9.6, 13.2, 13.2 channel-aware, 16.4, 24.4, 32, 48, 64, 96, 128 (6.6, 8.85, 12.65, 14.25, 15.86, 18.25, 19.85, 23.05, 23.85 for AMR-WB IO)
<i>Superwideband (SWB)</i>	9.6, 13.2, 13.2 channel-aware, 16.4, 24.4, 32, 48, 64, 96, 128
<i>Fullband (FB)</i>	16.4, 24.4, 32, 48, 64, 96, 128

EVS améliore la flexibilité et l'efficacité du codage en prenant en charge les codecs vocaux multi-débits, permettant aux opérateurs de choisir le taux de codage vocal qu'ils doivent prendre en charge en fonction de facteurs tels que la capacité des terminaux dans leurs réseaux existants. [26]

2.9 Les outils utilisés pour mesurer la QoS

Chaque opérateur mesure les indicateurs de performance (KPI) pour contrôler son réseau et garantir une meilleure qualité de service. Prenons l'exemple de Djezzy, qui utilise deux méthodes distinctes à cet effet le drive test et le PRS.

2.9.1 Le drive test

Le Drive test est un procédé de mesure et l'évaluation de la couverture, la capacité et la qualité des services (QoS) d'un réseau de radiotéléphonie mobile. La technique consiste à utiliser un véhicule à moteur contenant un appareil de mesure radio mobile qui permet de détecter et d'enregistrer une grande variété de paramètres physiques et virtuelles du service cellulaire mobile dans une zone géographique donnée.

En mesurant ce qu'un abonné du réseau sans fil éprouverait dans une zone spécifique, les opérateurs sans fil peuvent apporter des modifications destinées à leurs réseaux qui offrent une meilleure couverture et le service à leurs clients. Ces tests nécessitent un véhicule mobile équipé d'appareils de drive test. Ces équipements sont généralement des dispositifs électroniques hautement spécialisés qui interface avec les téléphones mobiles. Cela garantit mesures sont réalistes et comparables à l'expérience réelle de l'utilisateur. [27]

2.9.1.1 Les outils d'un drive test :

Pour faire un drive test nous aurions besoin de :

- Un ordinateur portable - ou un autre appareil similaire.
- Logiciel de collecte d'information installée
- Une clé de sécurité -Dongle- commun à ces types de logiciels.

- Au moins un téléphone mobile.
- Un GPS.
- Un scanner - facultatif.

Il est fréquent d'utiliser des adaptateurs et / ou concentrateurs qui permettent l'interconnexion correcte de tous les équipements. [28]

2.9.2 PRS (Performance Reporting System)

Le système PRS est une plateforme de surveillance et d'analyse des données de performance des réseaux mobiles. Il permet à plusieurs utilisateurs de gérer les rapports de performances des réseaux radio provenant de divers systèmes, fournisseurs et versions. Il offre ainsi une base de soutien essentielle pour la planification et l'exploitation des réseaux radio.

2.10. Conclusion

Au cours de ce deuxième chapitre, nous avons tout d'abord établi une définition générale de la QoS, ainsi que ses diverses classes et critères dans le réseau 4G LTE. Par la suite, nous avons exposé les principaux indicateurs de performance afin de mettre en évidence leur importance pour les opérateurs. Ensuite, nous avons présenté les systèmes de codecs Voice LTE. Nous avons également abordé la technique utilisée pour évaluer la QoS dans les réseaux mobiles, qui est le drive test.



Chapitre 3
Implémentation de la Vo LTE
(IMS et SRVCC)

3.1 Introduction

Le service téléphonique repose principalement sur deux fonctions essentielles : le transport de la voix et le traitement de la signalisation téléphonique. Pour désigner le transport de la voix via le réseau EPS dans le cadre de la fourniture du service téléphonique de la technologie 4G/LTE, le terme consacré est Voix sur LTE ou VoLTE. [29]

Dans ce chapitre, nous explorerons la VoLTE (Voice over LTE) en tant que solution clé pour les appels sur les réseaux LTE. Nous examinerons les avantages qu'elle offre par rapport aux méthodes traditionnelles, ainsi que les éléments fondamentaux de son infrastructure notamment l'IMS (IP Multimedia Subsystem) et ses protocoles associés. De plus, nous aborderons le service SRVCC (Single Radio Voice Call Continuity), avant d'expliquer les étapes nécessaires à l'activation de la VoLTE.

3.2 Solutions pour la voix sur LTE (VoLTE)

Lors de l'examen des possibilités de transport de la voix sur le système LTE, un certain nombre de solutions possibles ont été étudiées, un certain nombre d'alliances ont été créées pour promouvoir différentes manières de fournir ce service. Plusieurs systèmes ont été proposés, tels que CSFB, VoLTE. [30]

3.2.1 CS Fallback (CSFB)

CS Fallback (CSFB) constituera la technologie de transition permettant de garantir que les utilisateurs de smartphones LTE puissent bénéficier de services de données ultra-rapides ainsi que de services vocaux de haute qualité sur les réseaux 2G/3G. La Next Generation Mobile Networks Alliance (NGMN) a recommandé un CSFB basé sur des normes pour permettre aux abonnés itinérants non IMS d'utiliser à la fois les services de données LTE et les services vocaux dans les réseaux à commutation de circuits (CS). Avec CSFB, lorsqu'un smartphone LTE passe ou reçoit un appel vocal, il se connecte automatiquement au réseau 2G/3G. La session de données LTE en cours est également transférée vers le réseau 2G/3G. Une fois l'appel terminé, le smartphone revient au réseau LTE. Ce processus est transparent pour l'utilisateur final.

CSFB offre une capacité vocale LTE sans nécessiter de modifications significatives dans le réseau central mobile CS existant. L'interface S-GW permet le CSFB entre le réseau LTE et les deux autres réseaux. [31]

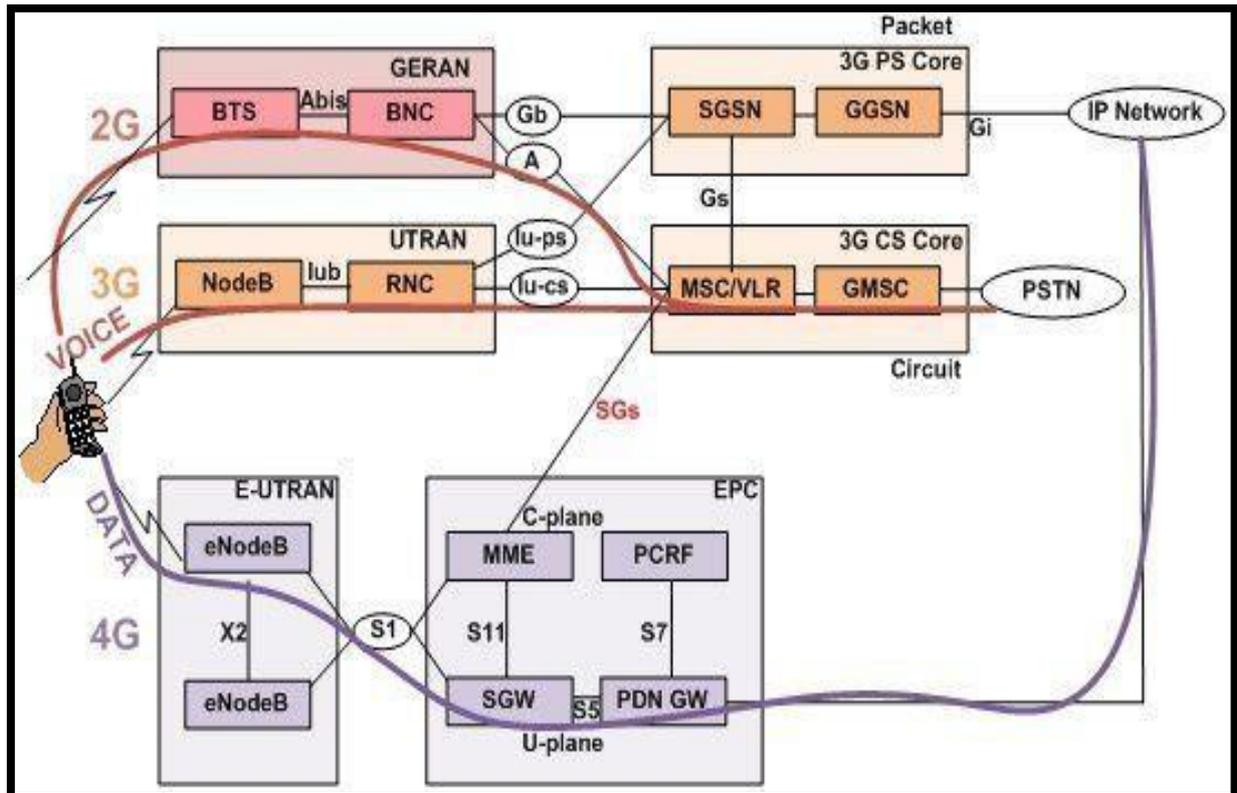


Figure 3.1 : Schéma de CSFB [32]

3.2.2 VOLTE (Voice over LTE)

VoLTE présente la solution cible à long terme, est une technologie mobile qui permet de maintenir une bonne qualité vocale pendant les appels depuis un téléphone portable. Il s'agit d'une technologie de transport de voix qui tire son nom de « Voice over LTE », est utilisée sur les réseaux mobiles 4G LTE. Elle assure aux utilisateurs une connexion à haut débit pendant leurs appels, quels que soient l'endroit où ils se trouvent. La VoLTE utilise la plateforme universel de réseau IMS pour gérer les sessions IP d'application multimédia. [33]

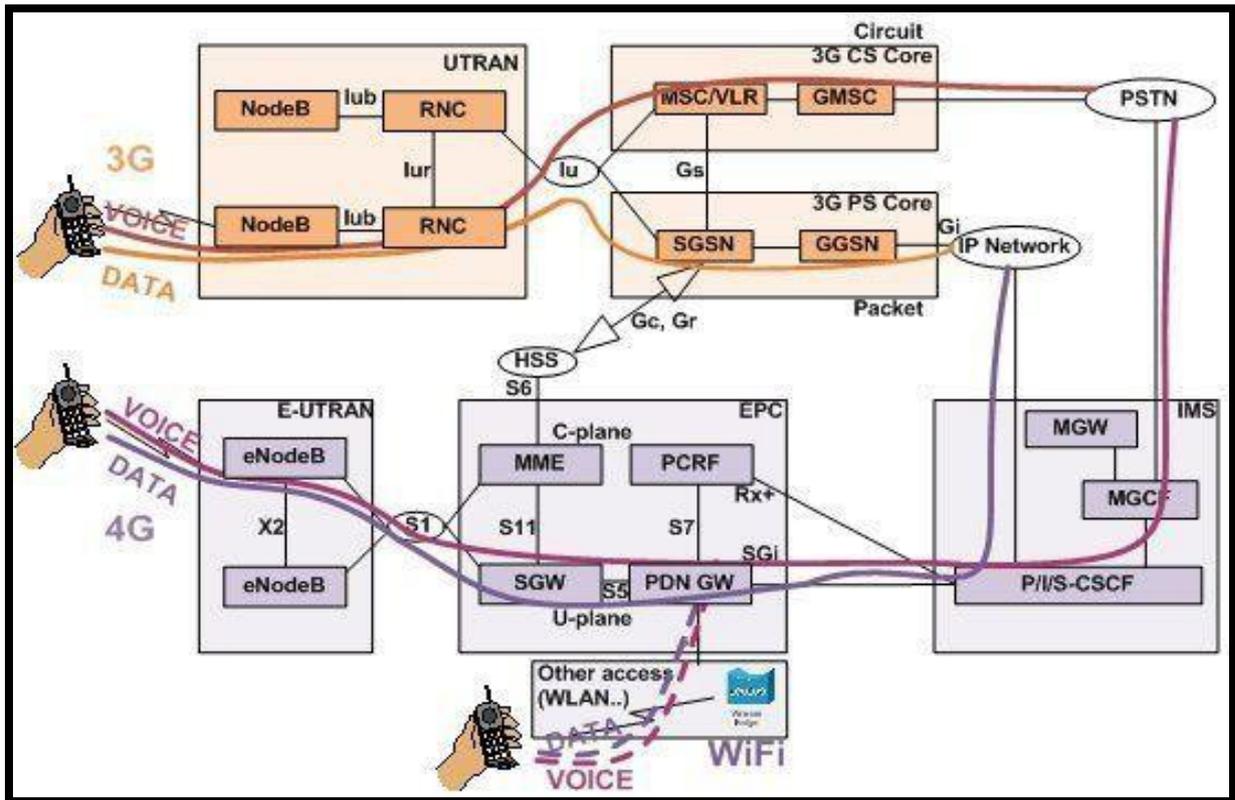


Figure 3.2 : Schéma de VoLTE [34]

3.2.2.1 Les avantages de l'option VoLTE

- Le déploiement rapide des appels vocaux.
- Qualité vocale élevée et bruit de fond réduit.
- Le téléphone reste sur le réseau 4G/LTE pendant les appels vocaux.
- Vous pouvez utiliser les services de données 4G/LTE, tels que la navigation sur le Web et le partage de connexion, tout en passant et en recevant simultanément des appels.
- Lorsque vous passez un appel sur le réseau LTE, vous n'utilisez pas de données supplémentaires, mais des minutes d'appel. Vous payez le service d'appel vocal, pas les données que vous utilisez. [35]

3.3 IMS (Sous-système multimédia IP)

La technologie IMS est définie comme la clé de la convergence vers le tout IP des réseaux et services télécoms. Elle devrait permettre aux opérateurs d'offrir des services IP fonctionnant sur téléphones mobiles. IMS est une architecture de service standardisée définie par le 3GPP, l'ETSI et l'IETF basée sur le protocole SIP pour l'initialisation de sessions multimédias, utilisé pour la visioconférence ou la voix sur IP. [36]

3.3.1 L'architecture IMS

L'IP Multimedia Subsystem (IMS), ayant une architecture normalisée, est de plus en plus utilisée par les opérateurs télécoms, en vue de fournir des services multimédias fixes et mobiles. L'architecture IMS repose sur le protocole SIP (Session Initiation Protocole). [37]

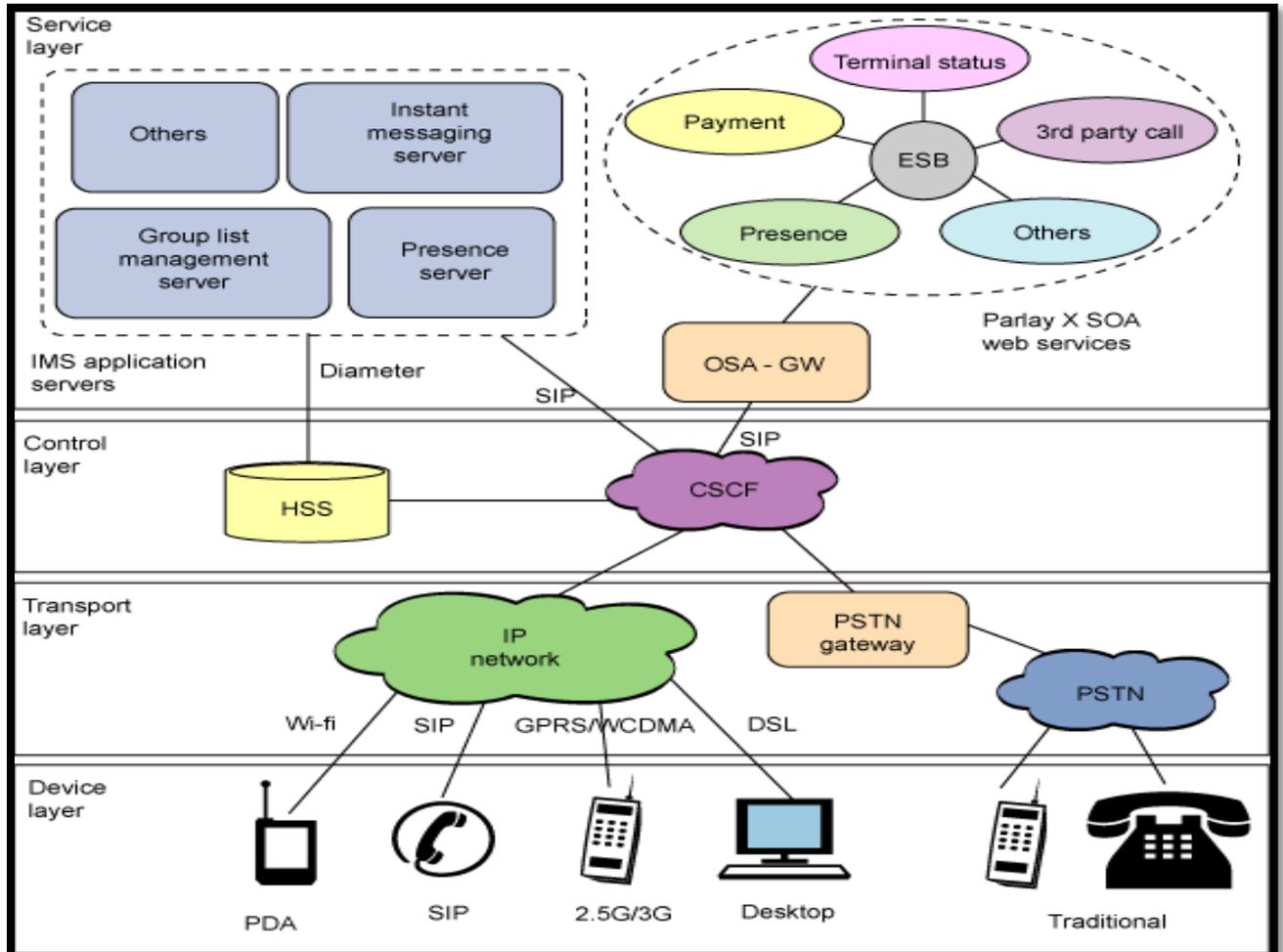


Figure3. 3 : Architecture des réseaux IMS [38]

L'IMS est une architecture centralisée divisée en plusieurs couches. Avant de pouvoir accéder aux plateformes de services, l'utilisateur doit s'authentifier auprès de l'opérateur. Pour cela le HSS (Home Subscriber Server) assure les fonctions d'authentification, de localisation, de proxy SIP. Le CSCF (Call Session Control Function) contrôle l'ouverture des sessions SIP et l'établissement des appels. On y trouve aussi les MGW (Media Gateway) et les MGCF (Media Gateway Control Function) qui vont permettre de s'interconnecter avec des réseaux RTC ainsi que le MRFC (Multimedia Resource Function Controller) qui contrôle les ressources utilisées par le client. [39]

La couche applicative

Elle est constituée de :

- **Un HSS (Home Subscriber Server)** : base de données stockant les informations relatives aux profils utilisateurs. Cet élément contient les données d'authentification des utilisateurs et donne des autorisations d'accès aux services en fonction des droits de l'utilisateur. Il fournit aussi des informations concernant l'emplacement d'un utilisateur.
- **Un ensemble d'AS** : ensemble de serveurs d'application hébergeant et proposant des services utilisateurs.

La couche de contrôle (le cœur de réseau)

Utilisé pour le contrôle de session et des médias. Ses composantes fonctionnelles sont les suivantes :

- **Les serveurs CSCF (Call Session Control Function)** : établissent, supervisent et relâchent les sessions multimédias. Ils gèrent également les services utilisateurs. Ils se découpent en trois éléments clés distincts :
 - **Un Proxy-CSCF (P-CSCF)** : point d'accès d'un terminal IMS utilisateur. Il peut prendre en compte un système PDF (Policy Decision Function) pour la qualité de service.
 - **Le Serving-CSCF (S-CSCF)** : nœud central au niveau signalisation, il permet d'effectuer le contrôle de session et peut récupérer ou mettre à jour les profils utilisateurs en communiquant avec le HSS via DIAMETER. Il invoque les serveurs d'applications liées aux services demandés. L'association utilisateur/S-CSCF est stockée dans le HSS.
 - **L'Interrogating-CSCF (I-CSCF)** : fournit une passerelle vers d'autres domaines IMS. Il est essentiellement utilisé pour cacher la topologie ou si plusieurs S-CSCF sont situés dans le même domaine.
- **Le MRF (Media Resource Function)** : composé d'un MRFC (Media Ressource Function Controller) et d'un MRFP (Media Ressource Function Processor), il fournit des fonctions liées à la manipulation de contenu multimédia.
- **Le BGCF (Breakout Gateway Control Function)** : utilisé pour passer d'un réseau IMS à un réseau de commutation de circuit.
- **Le MGCF (Media Gateway Controller Function)** : contrôle une MGW (Media Gateway) permettant la conversion de flux multimédia entre un réseau IP et d'autres réseaux. [40]

La couche de transport

La couche de transport, qui est responsable de l'acheminement du trafic voix ou données dans le coeur de réseau, selon le protocole utilisé. L'équipement important à ce niveau dans une architecture IMS est le Media Gateway (MGW) responsable de l'adaptation des protocoles de transport aux différents types de réseaux physiques disponibles (RTC, IP, ATM, ...). [41]

La couche Accès

La couche physique est une couche d'accès à l'architecture IMS. Elle définit la manière dont l'utilisateur se connecte au réseau. IMS permet un large choix de terminaux aux utilisateurs, comme les ordinateurs, les téléphones mobiles, les téléphones fixes numériques. Les téléphones analogiques traditionnels peuvent également se connecter via des passerelles pour les adresses IP. IMS offre aussi des niveaux d'abstraction, permettant aux utilisateurs de se connecter au réseau indépendamment de la couche d'accès. [42]

3.3.2 Protocole de L'IMS

Dans un réseau IMS, les protocoles jouent des rôles distincts tels que le transport de la signalisation (SIP) et l'authentification (via Diameter).

3.3.2.1 Protocole SIP

Le protocole SIP est un protocole de signalisation utilisé pour établir une « session » entre deux ou plus de participants, modifier cette session, et finalement terminer cette session. Son utilisation est devenue majeure dans le monde de la téléphonie IP.[43]

Le protocole SIP intervient à différentes phases de l'appel, telles que suit :

- Localisation de l'utilisateur : détermination du système terminal à utiliser pour la communication.
- Disponibilité de l'utilisateur : détermination de la volonté de l'appelé à -s'engager dans une communication.
- Capacités de l'utilisateur : détermination du support et des paramètres de support à utiliser.
- Etablissement de session : établissement des paramètres de session à la fois chez l'appelant et l'appelé.
- Gestion de session : comprend le transfert et la terminaison des sessions, la modification des paramètres de session, et l'invocation des services. [44]

3.3.2.1.1 Architecture de SIP

L'architecture de SIP est présentée sur la figure suivante :

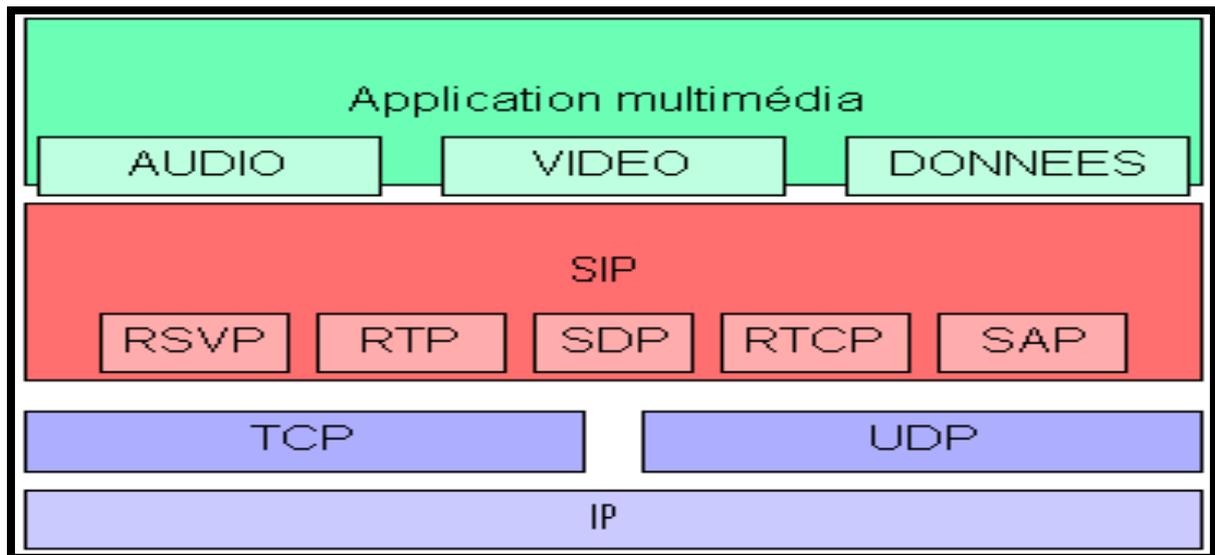


Figure 3.4 : Architecture SIP [45]

Chaque couche de l'architecture SIP est accompagnée de protocoles spécifiques, tels que :

- **RSVP (Resource Reservation Protocol)** : utilisé pour la réservation des ressources réseau sur IP avec une excellente qualité de service (QoS).
- **RTP (Real Time Transport Protocol)** : transport des données en temps réel avec une excellente QoS.
- **RTCP (Real Time Control Protocol)** : assure le contrôle du flux des données multimédia.
- **SAP (Session Announcement Protocol)** : annoncer si les sessions multimédia ouvertes sont en multicast,
- **SDP (Session Description Protocol)** : description des sessions multimédia. [46]

3.3.2.2 Protocole Diameter

Diameter est un protocole crucial utilisé dans les réseaux 3G, 4G, IMS et LTE, fournissant des fonctionnalités de messagerie AAA (Authentification, Autorisation, Comptabilité) pour l'authentification, l'autorisation et la mobilité des données. Ces services sont essentiels pour prendre des décisions concernant l'accès des utilisateurs aux services, définir le niveau de qualité de service (QoS) et établir les tarifs des services. [47]

3.4 SRVCC (Single Radio Voice Call Continuity)

SRVCC (Single Radio Voice Call Continuity) est une fonctionnalité des réseaux 4G qui permet le transfert transparent des appels vocaux en cours entre les réseaux 4G et les réseaux 2G/3G. Cette technologie est essentielle pour garantir la continuité des appels vocaux lorsque

les utilisateurs se déplacent entre différentes technologies de réseau, assurant ainsi une expérience utilisateur fluide, tout en maintenant les exigences de qualité de service (QoS). Cette fonctionnalité SRVCC est requise pour les réseaux 4G VoLTE qui ne fournissent pas une couverture RF (Radio Frequency) continue et les lacunes de couverture sont comblées par une couverture RF 2G/3G. [48]

3.4.1 Architecture de réseau SRVCC

Depuis la version 8 de 3GPP, SRVCC a évolué continuellement. Pour garantir l'interopérabilité des implémentations avec les réseaux existants. SRVCC assure la continuité du transfert PS vers CS entre les réseaux LTE et WCDMA/GSM et des réseaux LTE vers CDMA. Les directives de la GSMA recommandent l'architecture 3GPP Release 10 pour SRVCC, car elle réduit à la fois le délai d'interruption de la voix lors du transfert et le taux d'appels interrompus par rapport aux configurations antérieures.

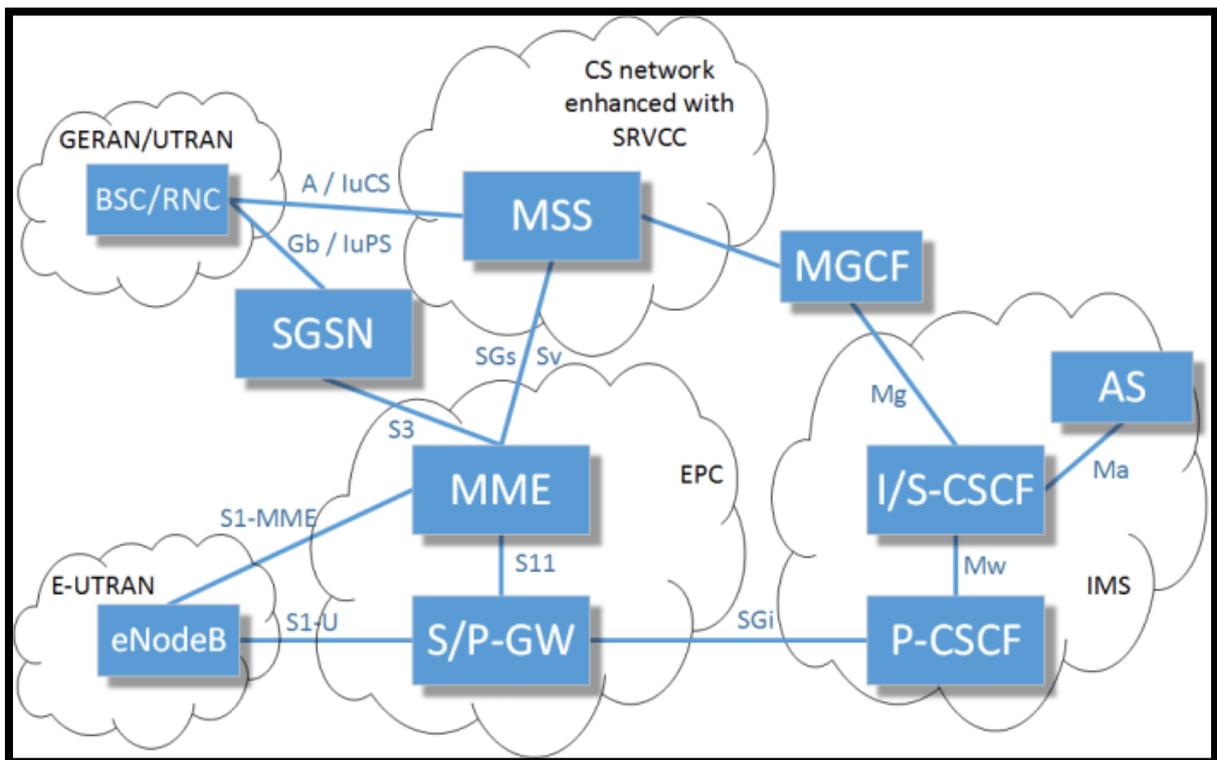


Figure 3.5 : Architecture de réseau SRVCC [49]

Le réseau contrôle et guide l'appareil utilisateur du LTE au 2G/3G lorsque l'utilisateur quitte la couverture LTE. Le mécanisme de transfert SRVCC est entièrement contrôlé par le réseau et les appels restent sous le contrôle du réseau central IMS, qui maintient l'accès aux services souscrits implémentés dans le moteur de service IMS/MMTel avant, pendant et après le transfert.

La configuration de la version 10 comprend tous les composants nécessaires pour gérer la signalisation à temps critique entre l'appareil de l'utilisateur et le réseau, et entre les éléments du réseau au sein du réseau de desserte, y compris les réseaux visités pendant l'itinérance. En conséquence, la signalisation suit le chemin le plus court possible et est aussi robuste que possible, minimisant le temps d'interruption de la voix provoquée par le passage du cœur PS au cœur CS, que l'appareil de l'utilisateur soit sur son réseau domestique ou en itinérance.[50]

3.5 Description de logiciel U2020

Le logiciel U2020 est un système de gestion des éléments (Element Management System, EMS) développé par Huawei, conçu pour administrer divers types d'éléments réseau (Network element, NE) ainsi que les services intégrés sur le réseau. Il répond aux exigences de gestion de réseau des opérateurs.

Les fonctionnalités fondamentales offertes par l'U2020 comprennent :

- Gestion de la topologie
- Gestion des incidents
- Gestion de la configuration (gestion des commandes MML)
- Gestion des performances
- Gestion de la sécurité

- **Gestion MML (Man-Machine Language)**

La gestion MML est un langage homme-machine permettant aux utilisateurs d'interagir avec les Network Elements (NE) afin de les opérer et de les maintenir. Pour simplifier la maintenance des NE, le système de gestion MML propose une interface permettant aux utilisateurs d'envoyer des commandes MML aux NE et de consulter les résultats obtenus. Cet outil est essentiel pour la gestion efficace des réseaux de télécommunications.

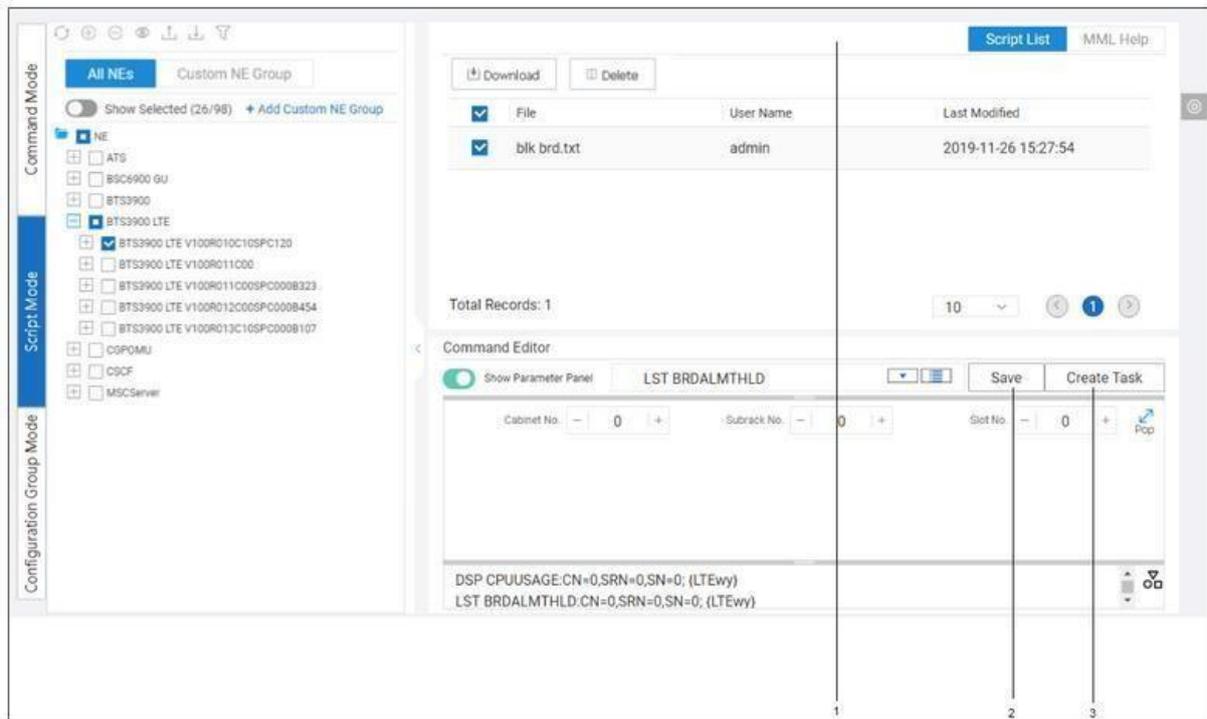


Figure 4.6 : L'interface en mode command

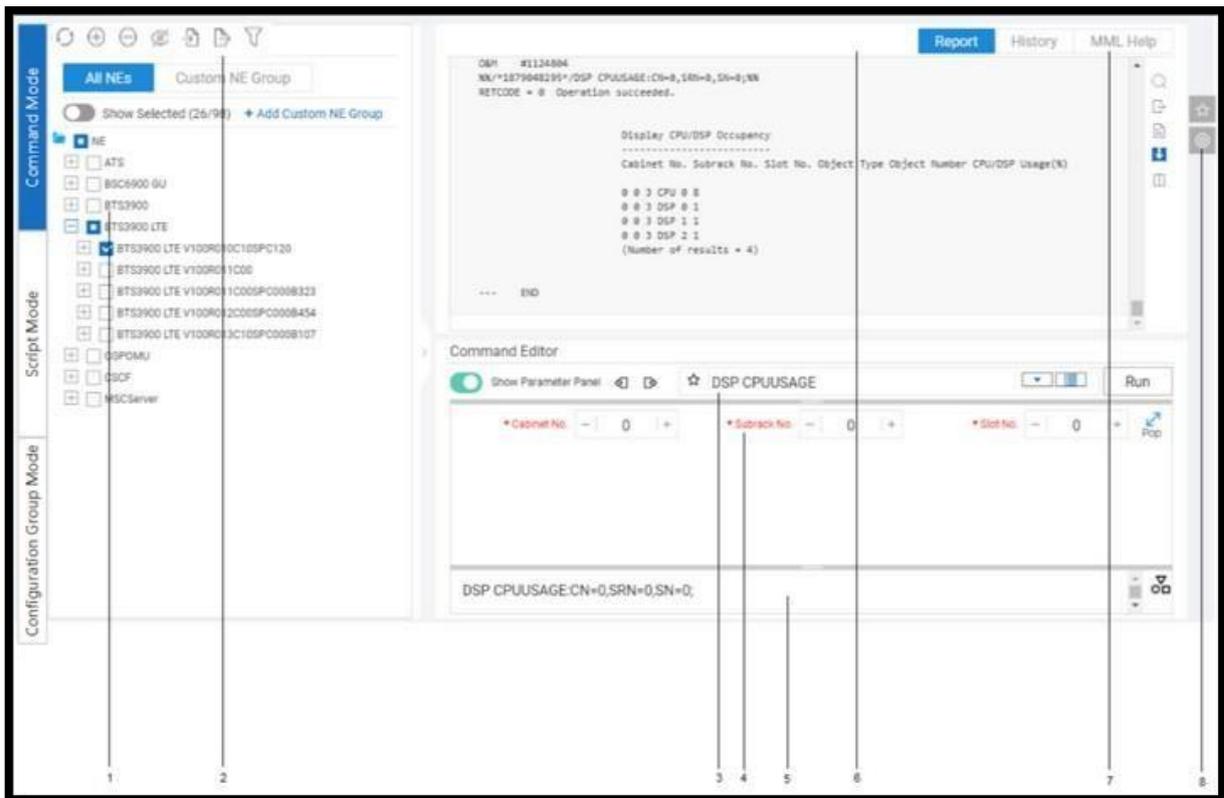


Figure 3.7 : l'interface en mode script

3.6 Architecture de réseau IMS de Djazzy

Dans la figure suivante, nous allons présenter l'architecture réelle du réseau IMS adoptée par l'opérateur Djazzy. La zone marquée en vert indique où l'opérateur Djazzy prévoit d'activer la VoLTE.

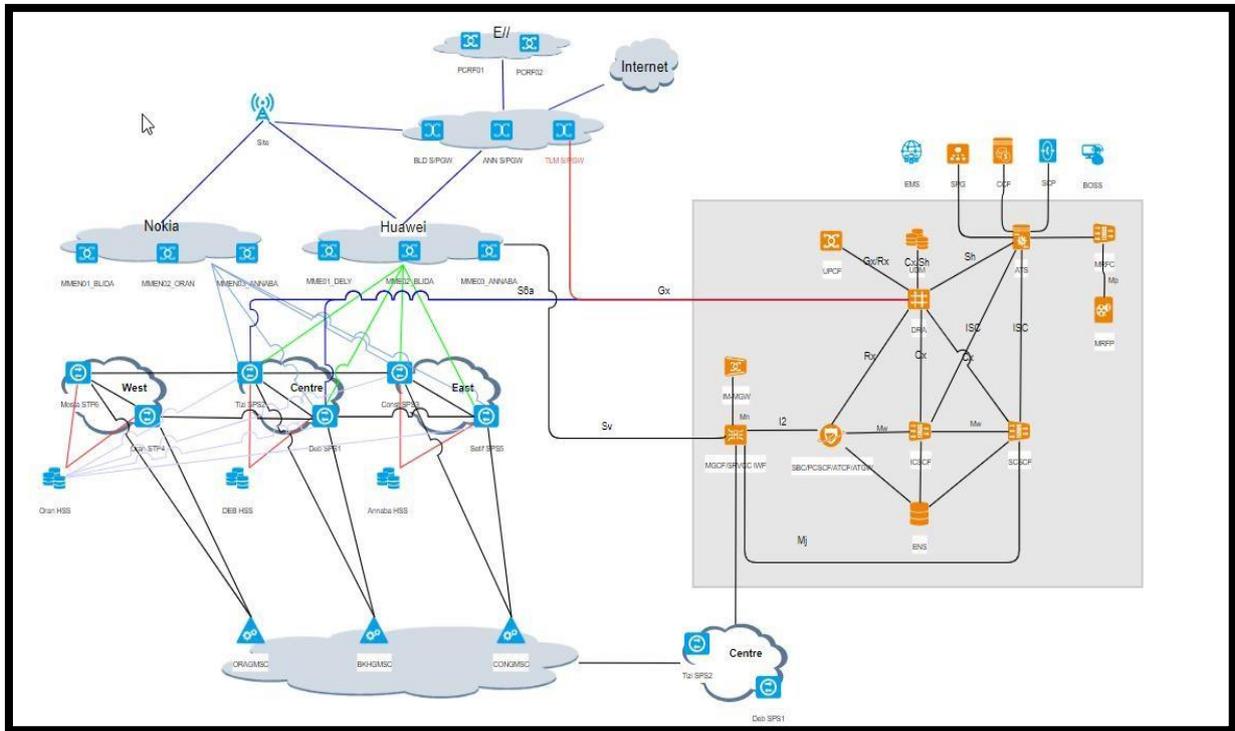


Figure 3.8 : Architecture de réseau IMS adoptée par l'opérateur Djazzy

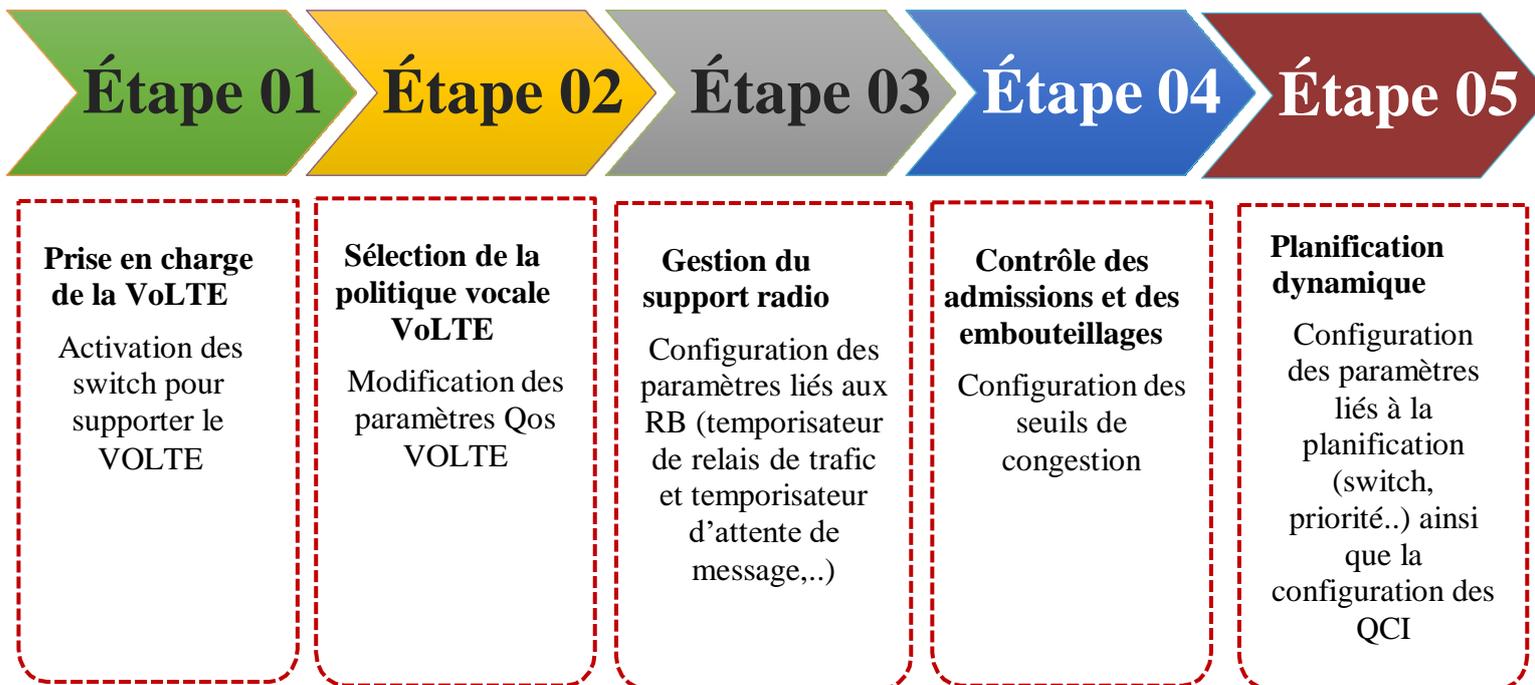
3.7 Fonctionnalités de la VoLTE et leurs Licence

- LBFD-081101 Eutran Voip Support
- Optimiza Parameters
- LBFD-081104 UL Compensation Scheduling
- Voice Characteristic Awareness Scheduling LOFD-081229/TDLOFD-081229
- VoLTE Coverage Enhancement LOFD-120204
- ROHC LOFD-001017/TDLOFD-001017
- TTI Bundling LOFD-001048/TDLOFD-001048
- VoLTE Rate Control LOFD-111207/TDLOFD-111207 EVS Rate Control LEOFD-121202
- Intra-eNodeB UL CoMP LOFD-001066 Intra-eNodeB UL CoMP Phase II LOFD-070222 TDLOFD-001066 Intra-eNodeB UL CoMP
- Inter-eNodeB VoLTE CoMP LOFD-081219
- Intra-eNodeB UL CoMP LOFD-001066 Intra-eNodeB UL CoMP Phase II LOFD-070222
- LBFD-081106 Voice-Specific AMC

- LOFD-00101502 Dynamic scheduling
- LBFD-002016 LBFD-002026 LBFD-081101 power control
- Automatic Congestion Handling LOFD-081205

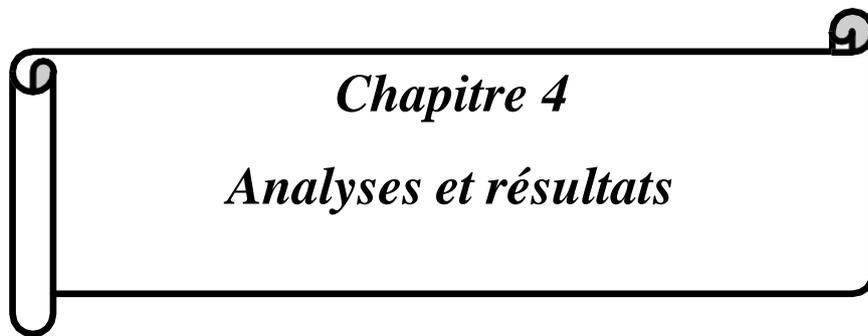
3. 8 Processus d'activer la VoLTE

Les étapes suivies par l'opérateur Djezzy pour activer la technologie VoLTE sont résumées dans le logigramme suivant :



2.9. Conclusion

Dans ce troisième chapitre, nous avons exploré diverses solutions pour la transmission vocale sur les réseaux LTE, notamment CS Fullback et VoLTE. Nous avons discuté des nombreux avantages de la VoLTE, ainsi que de la technologie IMS (IP Multimedia Subsystem), en détaillant son architecture et ses différents protocoles tels que SIP et Diameter. De plus, nous avons présenté le service SRVCC (Single Radio Voice Call Continuity) en mettant en lumière son architecture. Enfin, nous avons abordé les fonctionnalités clés de la VoLTE, ainsi que le processus d'activation de cette technologie.



Chapitre 4
Analyses et résultats

4.1 Introduction

Réaliser des tests de mesure suivis d'une analyse est une étape essentielle pour garantir une gestion optimale de la QoS. Afin d'améliorer cette dernière et de mieux répondre aux attentes et besoins des clients, il est indispensable de prendre des mesures appropriées.

Ce chapitre se concentrera sur la présentation de ces mesures, des outils utilisés, des étapes à suivre, puis sur l'analyse des résultats de mesure effectués et enfin sur la présentation de ces résultats ainsi que leur comparaison.

4.2 Procédure de Drive Test

Les campagnes de mesure Drive Test consistent en des équipes spéciales qui se déplacent sur le terrain avec le matériel requis et suivent un scénario défini par l'opérateur pour collecter des données de mesure. Le matériel utilisé comprend :

- Des stations mobiles de test (MS) connectées directement à un ordinateur par des câbles, permettant des mesures instantanées dans le réseau en mode Idle ou actif.
- Un système de localisation GPS pour les tests en extérieur.
- Le logiciel Tems Investigation pour automatiser l'acquisition et le stockage des données provenant des stations mobiles de test et des récepteurs GPS.
- L'équipement MOS, un boîtier connecté à l'ordinateur pour mesurer la qualité vocale des MS connectés.



Figure 4. 1 : Equipement réel pour le Drive Test

4.3 GENEX Probe

Le GENEX Probe est une application logicielle développée par Huawei GENEX, utilisée pour les tests de l'interface sans fil. Elle est conçue pour collecter des données de test à partir de diverses technologies de réseau, telles que GSM/GPRS/EDGE, WCDMA/HSPA/HSPA+, CDMA2000 1x/EV-DO, WiMAX et LTE. Le logiciel aide à évaluer les performances du réseau, à orienter l'optimisation du réseau et à corriger les erreurs. Elle enregistre les données

de test collectées sous forme de fichier de journal, qui peut être importée dans d'autres logiciels de traitement postérieur tels que GENEX Assistant pour une analyse plus approfondie. [51]

4.3.1 Interface du GENEX Probe :

Sur la figure ci-dessous, on peut voir l'interface du logiciel GENEX Probe, où on a ouvert les fenêtres qui nous intéressent pour visualiser les changements du réseau d'accès.

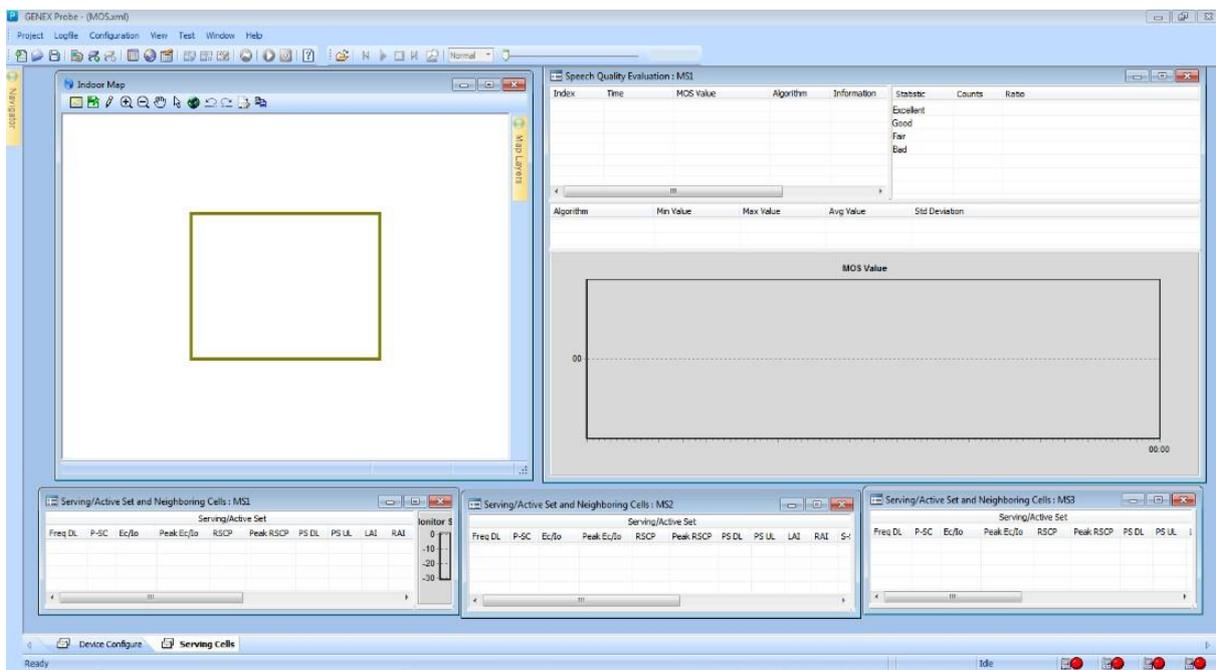


Figure 4.2 : Interface du GENEX Probe.

- **Fenêtre 1 (Indoor Map) :** permet de tracer le parcours suivi au cours du drive test indoor. Il existe deux méthodes de test : dynamique et statique. Le test dynamique implique de se déplacer dans la pièce pour mesurer le MOS en ajoutant des points manuellement sur la carte, tandis que le test statique consiste à mesurer le MOS en restant immobile à un seul endroit. Pour les tests en extérieur, il est nécessaire d'ouvrir la carte extérieure (Outdoor Map), qui localise le terminal d'essai dans le réseau radio grâce au GPS.

- **Fenêtre 2 (Speech quality evaluation) :** Cette fenêtre nous permet de voir la variation des valeurs du MOS en temps réel lors de l'appel avec le déplacement du MS dans le réseau, en précisant l'algorithme de mesure utilisé. Elle permet aussi de donner le pourcentage de la qualité perçue et la valeur moyenne du MOS.

- **Fenêtre 3 (Serving/active Set and Neighboring Cells):** Cette fenêtre permet de voir en temps réel, les caractéristiques radios du réseau, telles que : FreqDL , PCI ,RSRQ et RSRP.

4.3.2 Analyse de GENEX Assistant :

Le logiciel GENEX Assistant est un outil avancé de post-traitement des données de tests radio. Il est utilisé pour analyser et traiter les données de test, notamment celles provenant des drives tests et des données RNC ou eNodeB des interfaces radio du réseau. En plus de générer des rapports d'analyse, l'assistant aide les ingénieurs en planification et optimisation du réseau à mieux comprendre les performances du réseau et à analyser efficacement ses problèmes, ce qui améliore leur efficacité au travail.

4.4 Description de l'application utilisée

Pour effectuer nos tests, nous avons utilisé une application développée par Huawei appelée PHU Smart, disponible sur téléphone portable.



Figure 4.3 : Phu Smart

4.4.1 PHU Smart (Probe Handset UnitSmart)

Huawei PHU Smart est un outil de test conçu spécifiquement pour l'industrie des télécommunications. Il est utilisé pour évaluer les performances des réseaux en mesurant des aspects tels que la qualité du signal, la couverture et la capacité.

Compatibilité avec une variété de technologies sans fil, y compris les réseaux 2G, 3G et 4G,

L'outil PHU 8.1 est polyvalent. Il peut être employé pour divers types de tests, y compris les tests en voiture, en intérieur et portables. En outre, il offre des fonctionnalités d'analyse et de dépannage, fournissant des données détaillées et des rapports sur les performances du réseau.

L'outil PHU Smart, développé par Huawei, est un atout essentiel pour les opérateurs de réseau mobile. Il permet de résoudre une multitude de problèmes, notamment ceux liés à la qualité du signal et de la couverture, les taux de décrochage des appels, les performances du transfert intercellulaire, le débit de données, la latence, la qualité vocale, la performance du streaming vidéo, ainsi que la configuration et la performance du réseau.

Son interface conviviale le rend accessible à des ingénieurs et techniciens réseau de tous niveaux. De plus, sa portabilité en fait un outil pratique pour les tests sur le terrain dans des conditions réelles.

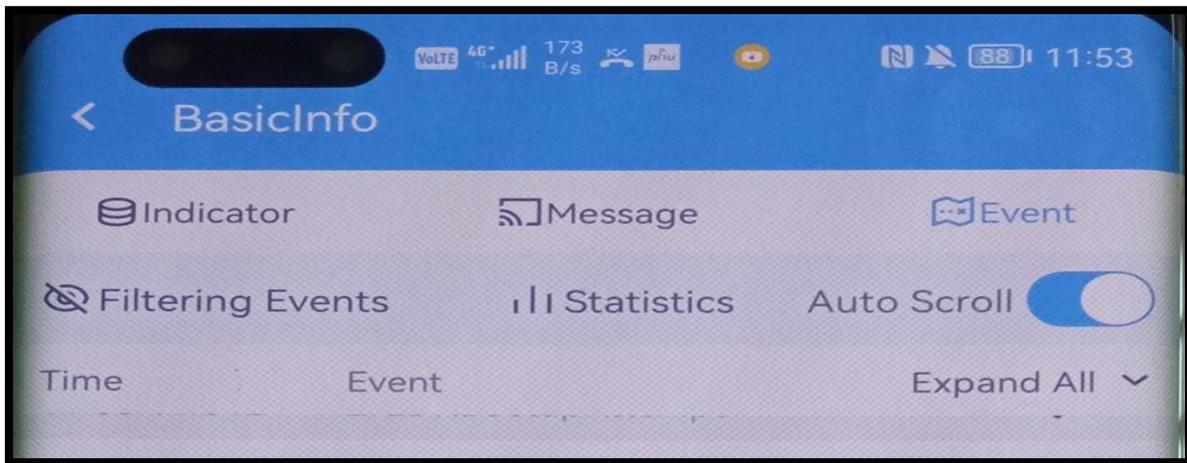


Figure 4.4 : Les différents champs de Phu Smart

Les champs importants dans PHU Smart sont les suivants :

- Indicator : permet de visualiser les différentes informations concernant les indicateurs de performance (KPI).
- Message : pour afficher les différents messages échangés entre le téléphone mobile et la station de base pendant l'appel.
- Event : pour observer les différents événements survenant dans le réseau pendant l'appel, tels que le handover, etc.

4.5 Scenario suivi pour les tests

Afin d'extraire et d'exploiter les données en vue de leur analyse, nous avons effectué des tests. Ce processus implique une séquence d'appels successifs entre deux téléphones mobiles équipés de cartes SIM compatibles VoLTE, appartenant au même opérateur, DJEZZY, dans notre cas.

4.5.1 Le premier test

Nous avons d'abord effectué le premier test, qui consistait à passer un appel vocal en GSM 2G. Nous avons réalisé cet appel à 3 reprises afin de mesurer le délai moyen d'établissement de l'appel. Voici ce que nous avons observé dans nos résultats :

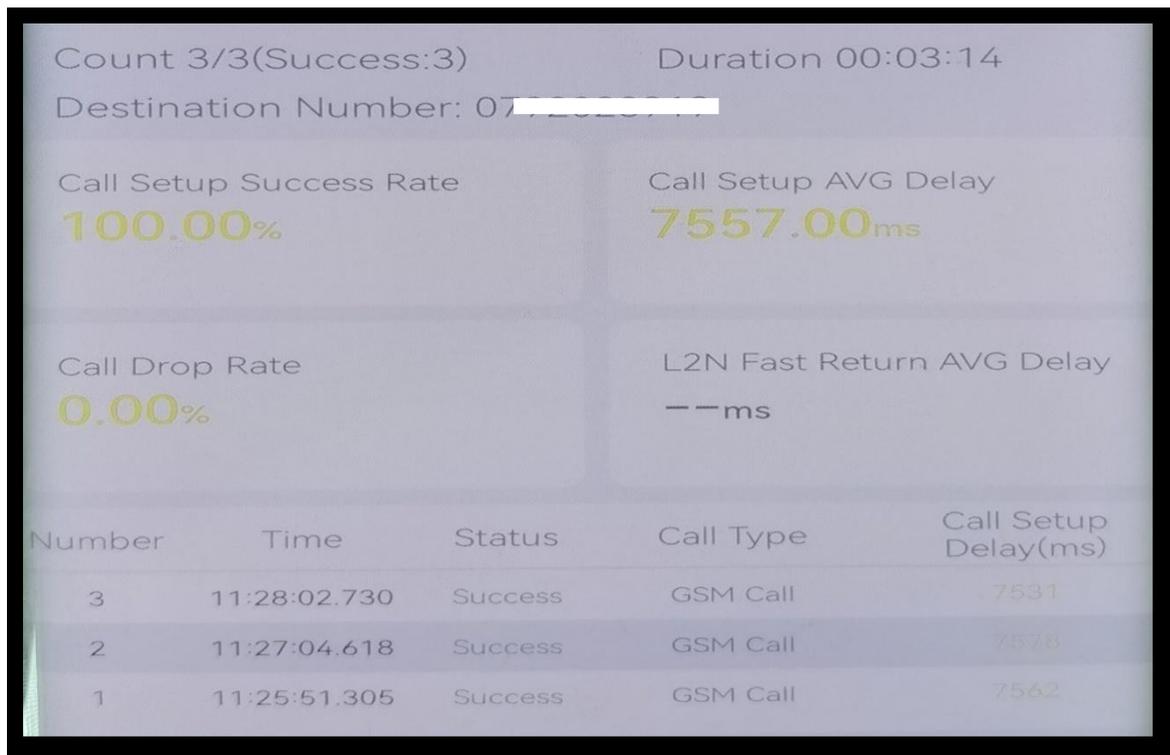


Figure 4. 5 : Les résultats d'appel vocal 2G

4.5.1.1 Résultats des KPI d'accessibilité

D'après les résultats obtenus, il est observé que le KPI de la catégorie d'accessibilité, à savoir le taux de réussite de l'établissement d'appel CSSR est de 100,00%. Cela suggère que toutes les tentatives d'appel ont été couronnées de succès.

4.5.1.2 Résultats des KPI de rétention

Nous constatons que le taux de perte d'appel CDR est nul durant les appels en 2G, ce qui signifie que les appels se déroulent de manière continue sans interruption.

4.5.1.3 Résultat du temps de latence

Nous remarquons que le délai moyen d'établissement d'appel (call setup AVG delay) pour les trois appels effectués en 2G est de 7557.00 ms, ce qui est considéré comme un temps très élevé.

4.5.2 Le deuxième test

Pour le deuxième test, lors duquel nous avons passé un appel vocal sans activer la VoLTE sur le téléphone portable, nous avons effectué cette procédure à trois reprises. Voilà ce que nous avons observé dans nos résultats :

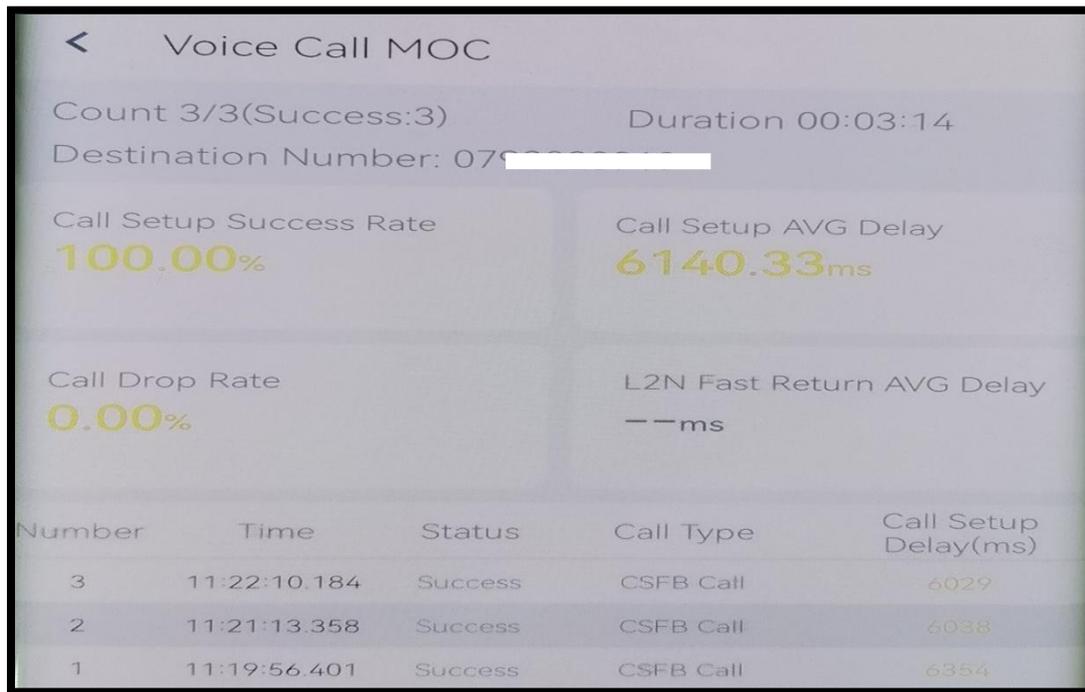


Figure 4.6 : Les résultats d'appel vocale 3G

4.5.2.1 Résultats des KPI d'accessibilité

D'après les résultats obtenus, il est observé que le KPI de la catégorie d'accessibilité, à savoir le taux de réussite de l'établissement d'appel CSSR est de 100,00%. Cela suggère que toutes les tentatives d'appel pour la technologie 3G ont été couronnées de succès.

4.5.2.2 Résultats des KPI de rétention

Vu que l'indicateur de taux de perte d'appels(CDR) est nul (0,00 %) durant l'appel en 3G, cela signifie que la communication téléphonique a été maintenue avec succès, sans interruption.

4.5.2.3 Résultat du temps de latence

En analysant les résultats du délai moyen d'établissement d'appel (call setup AVG delay) en 3G, qui est de 6140.33 ms entre les appels, il est évident que ce délai est excessivement élevé, ne répondant pas aux normes de qualité attendues par les opérateurs.

4.5.3 Le troisième test

Pour le troisième test, nous avons activé la technologie VoLTE sur les deux téléphones mobiles et effectué l'appel à trois reprises.

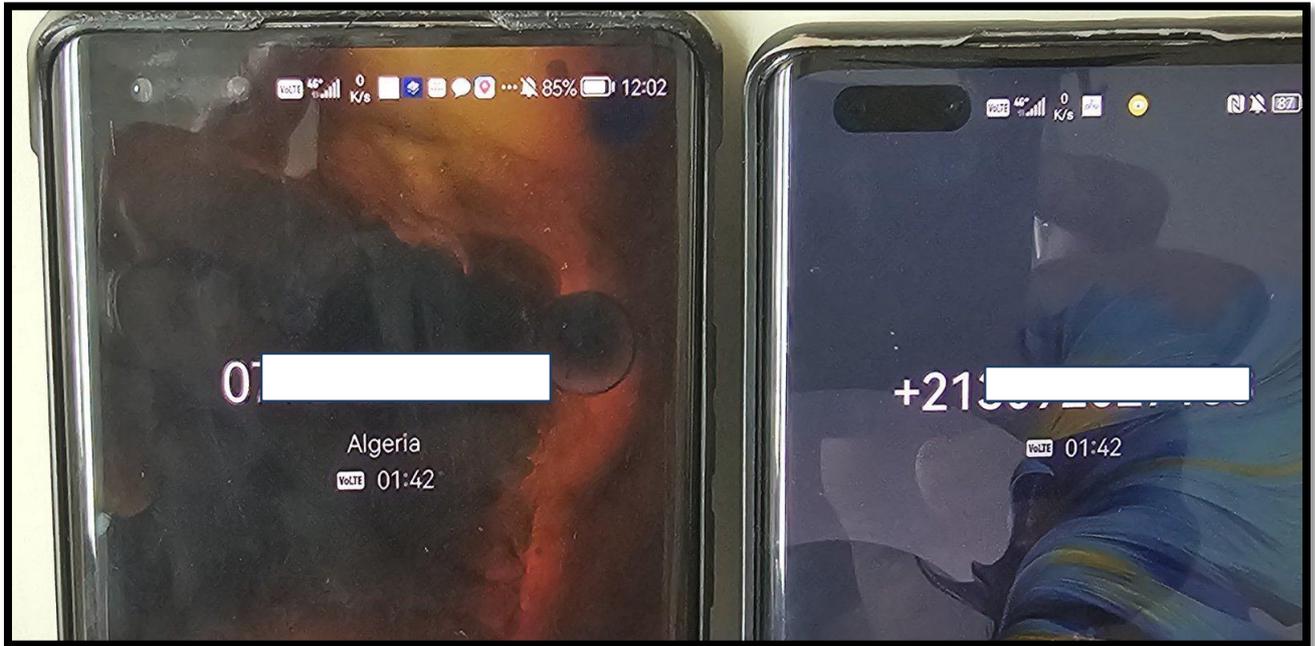


Figure 4.7 : Un appel voix entre deux mobiles équipés de la VOLT

Voici les résultats obtenus après l'établissement de l'appel :

Count 3/3(Success:2)		Duration 00:04:57		
Destination Number: 07[redacted]				
Call Setup Success Rate	100.00%	Call Setup AVG Delay	4008.00ms	
Call Drop Rate	0.00%	L2N Fast Return AVG Delay	--ms	
Number	Time	Status	Call Type	Call Setup Delay(ms)
3	11:15:00.621	Success	VoLTE Call	3893
2	11:12:53.405	Success	VoLTE Call	4100
1	11:12:32.866	Failure	Connection timeout	--

Figure 4.8 : Les résultats d'appel vocal 4G

4.5.3.1 Résultats des KPI d'accessibilité

D'après les résultats obtenus, il est observé que le KPI de la catégorie d'accessibilité, à savoir le taux de réussite de l'établissement d'appel CSSR est de 100,00%. Cela suggère que toutes les tentatives d'appel pour la technologie VoLTE ont été couronnées de succès."

4.5.3.2 Résultats des KPI de rétention

Nous constatons que le taux de décrochage d'appel CDR est nul durant les appels en 4G (VoLTE), ce qui signifie que les appels se déroulent de manière continue sans interruption, assurant ainsi la continuité des sessions.

4.5.3.3 Résultat du temps de latence

Nous remarquons que le délai moyen d'établissement d'appel (call setup AVG delay) pour deux appels effectués en activant la VoLTE est de 4008.33 ms, ce qui est considéré comme un temps très court

4.6 Comparaison des résultats

Tableau 4. 1 : Des résultats du délai moyen de configuration d'appel

Type d'appel	Le délai moyen de l'établissement de l'appel (ms)
2G	7557.00
3G	6140.33
4G (VOLTE)	4008.00

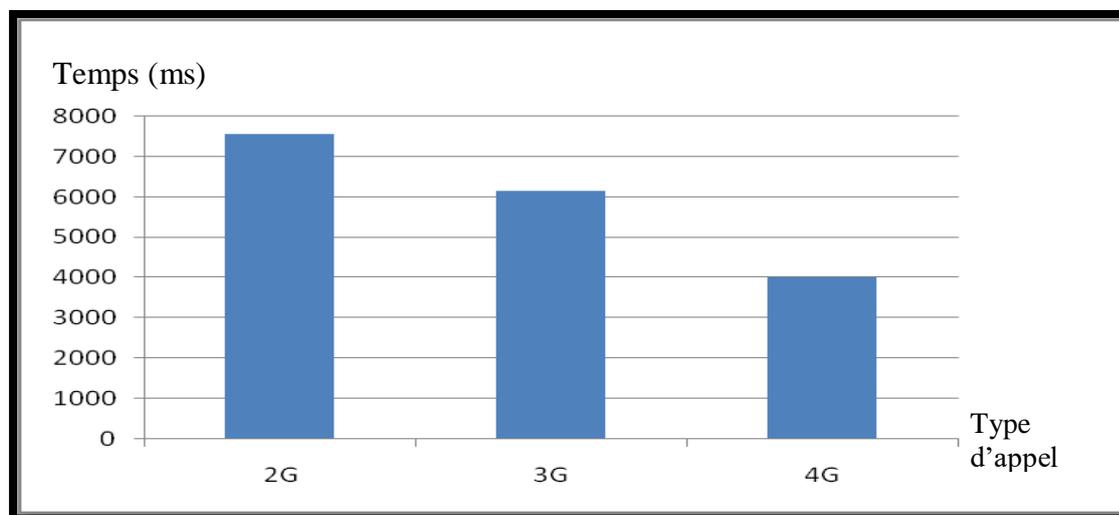


Figure 4.9 : Des graphes des résultats du délai moyen de configuration d'appel

Lorsque nous comparons les résultats du délai moyen de configuration d'appel (call setup AVG delay) entre la 2G, la 3G et la VoLTE, nous constatons une nette amélioration en faveur de la VoLTE. Le délai moyen passe de 7557,00 ms en 2G à 6140,33 ms en 3G, puis à 4008,00 ms en VoLTE. Cette diminution importante témoigne d'une amélioration significative de

l'expérience utilisateur en ce qui concerne le temps nécessaire pour établir une connexion d'appel. Ainsi, la VoLTE offre des performances de configuration d'appel plus rapides que la 3G.

4.6.1 Résultat de la qualité vocale MOS

Les figures 4.10 et 4.11 illustrent les mesure de la qualité vocale MOS pour les deux technologies 3G et 4G (VoLTE).

Element	PESQ P862.1 DL_MS1
Average	3.52
Maximum	4.11
Minimum	2.63
Standard Deviation	0.22
[0,1)	0(0.00%)
[1,2)	0(0.00%)
[2,3)	40(44.44%)
[3,4)	45(50.00%)
[4,5]	05(5.55%)
Sum Total	90

Figure 4.10 : Résultat de la qualité vocale MOS pour la 3G

Element	POLQA DL_MS3
Average	4.43
Maximum	4.71
Minimum	3.41
Standard Deviation	0.14
[0,1)	0(0.00%)
[1,2)	0(0.00%)
[2,3)	0(0.00%)
[3,4)	25(32.89%)
[4,5]	51(67.11%)
Sum Total	76

Figure 4.11 : Résultat de la qualité vocale MOS pour la VoLTE.

On observe que la qualité vocale pour le réseau 3G est de 3,52, considérée comme bonne, tandis qu'elle atteint 4,43 pour la 4G (VoLTE), la plaçant ainsi dans la gamme de l'excellence selon la norme MOS. Ces résultats révèlent une nette amélioration de la qualité vocale lors de la transition vers la technologie VoLTE. Il s'agit là d'une avancée importante et intéressante

pour l'opérateur qui vise à offrir une qualité auditive améliorée aux utilisateurs de leurs services vocaux.

4.7 Application réalisée pour Djezzy

Dans cette partie, nous présenterons l'application que nous avons développée pour Djezzy. Cette interface permettra, dans sa première partie, de calculer le débit théorique des technologies FDD et TDD, tandis que dans la deuxième partie, nous importerons des fichiers Excel contenant les données obtenues des drives tests que nous avons effectués, puis l'application les affichera sous forme de graphiques. Pour sa réalisation, nous avons opté pour le langage de programmation Python.

Loi de calcul avec FDD

$$\text{Débit DL} = \left(\frac{BW * 84 * Modulation}{0.0005 \text{ ms}} * MIMO \right) * 75\%$$

Équation 4.1 : Formule calcul de débit en technique FDD

Avec :

BW : Représente le nombre de RB utilisé selon la porteuse utilisée

MIMO : Représente le nombre d'émetteur et récepteur d'antenne.

Modulation : Représente le nombre de bit envoi sellant le type de modulation utiliser

Lois de calcul avec TDD

$$\text{Débit DL} = [MiMo * TBsize * (DL + DWPTS * \frac{N}{14})]$$

Équation 4.2 : Formule calcul de débit en technique TDD

Avec :

MiMO : Représente le nombre d'émetteurs et récepteurs d'antenne.

TB size : Représente le nombre de bits transmis dans ressource bloc.

DL : Représente le pourcentage de sous-trames DL.

DWPTS : Représente le pourcentage de sous-trame DL dans la trame spéciale.

N : Représente le nombre total de sous-trame

Première partie de l'application

En utilisant la première partie de l'application, il est possible de calculer le débit théorique pour les deux technologies FDD et TDD en saisissant simplement les données dans les champs correspondants.

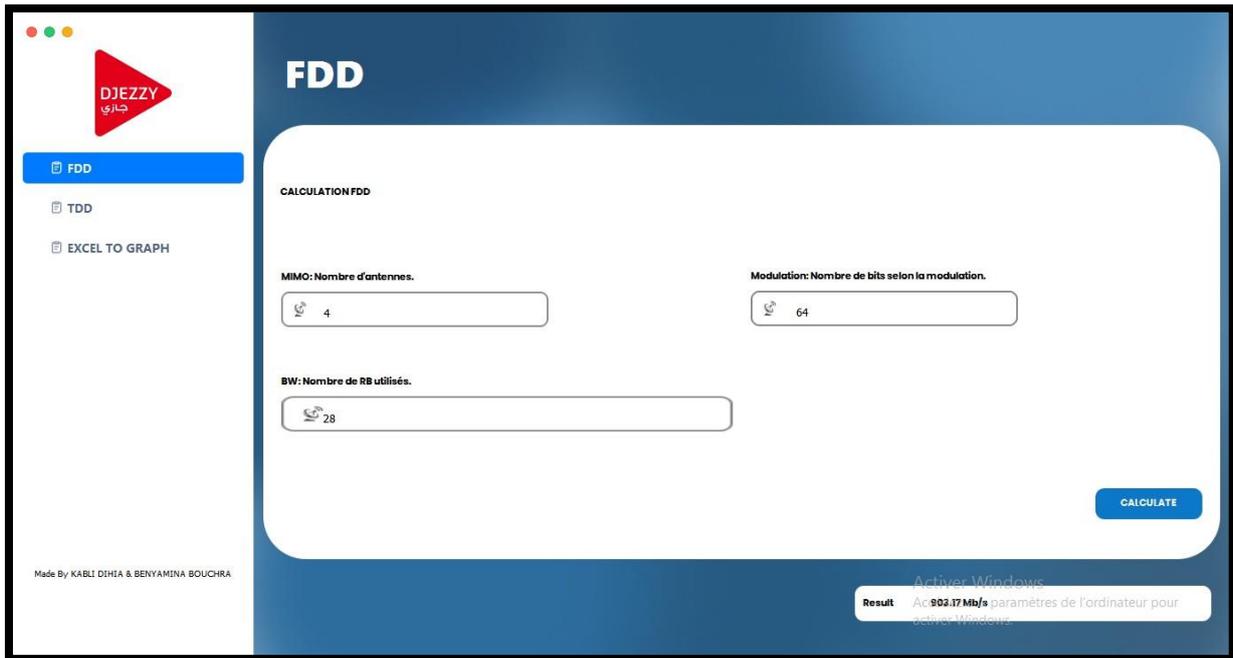


Figure 4. 12 : La partie de calcule de débit pour la technologie FDD

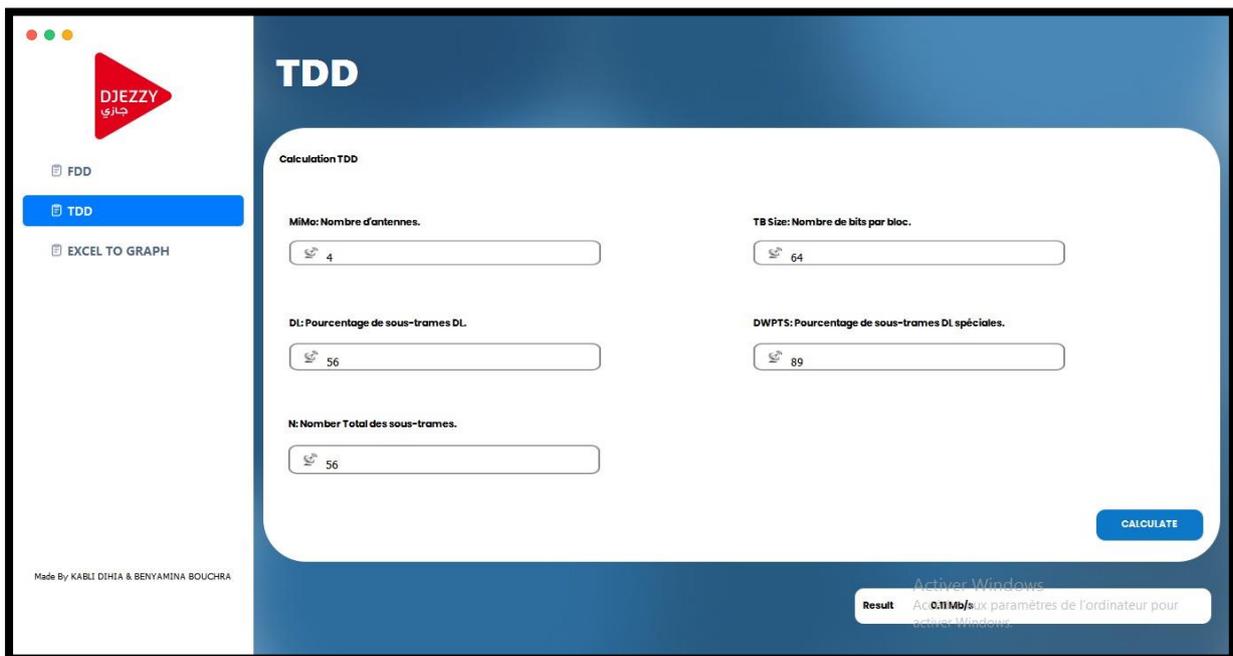


Figure 4. 13 : La partie de calcule de débit de la technologie TDD

Deuxième partie de l'application

La deuxième partie de notre application nous permet d'importer des fichiers Excel des résultats obtenu durant les tests pour ensuite on affiche les KPI selon les besoin sous forme de graphiques.

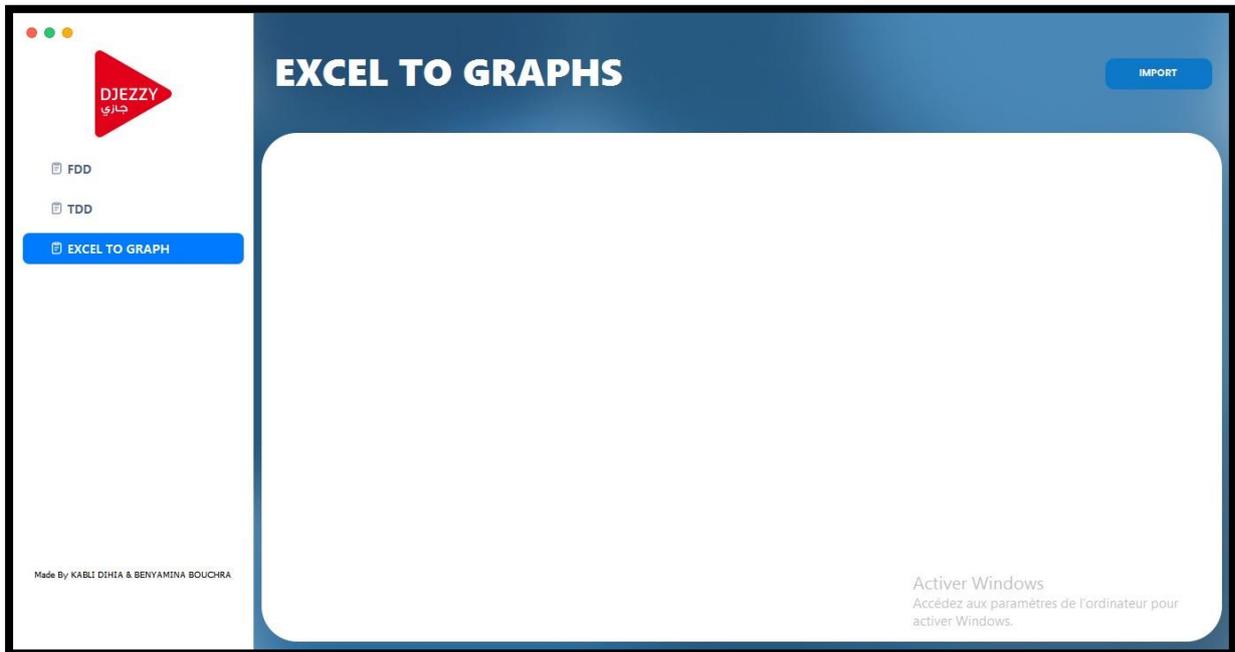


Figure 4. 14 : Deuxième partie de l'application

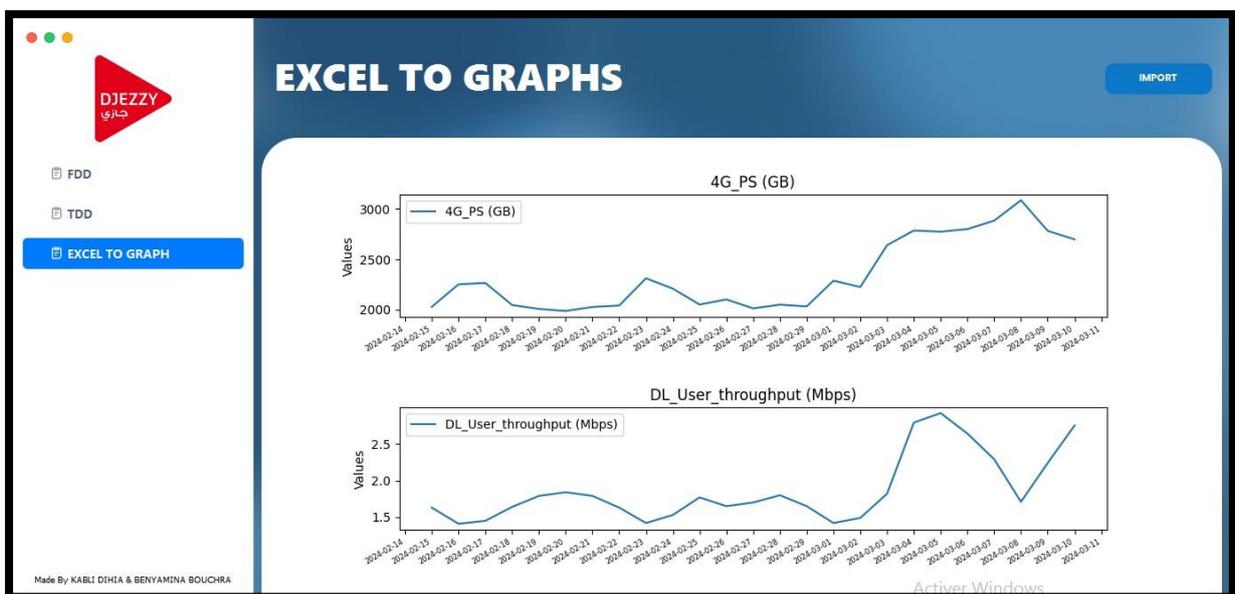


Figure 4. 15 : les graphes obtenus

2.8.Conclusion

Dans ce dernier chapitre, nous avons d’abord introduit les outils de mesure utilisés pour évaluer les performances du réseau, en mettant en avant notamment ceux employés par DJEZZY. Ensuite, l’analyse de ces résultats a mis en évidence les performances et la fiabilité de la technologie VoLTE. En effet, les appels passés via 4G (VoLTE) ont montré une nette amélioration de la qualité vocale, ainsi qu’une réduction du temps de latence, garantissant

ainsi une meilleure qualité de service vocale pour les utilisateurs. Cette conclusion souligne l'impact positif de l'intégration de la VoLTE dans le réseau de DJEZZY sur l'expérience utilisateur globale.



Conclusion générale

Conclusion générale

Au terme de ce projet de fin d'études, nous avons réalisé une exploration détaillée de la technologie de communication sans fil 4G/LTE, avec un accent particulier sur la qualité de service (QoS) et son rôle crucial dans l'assurance d'une expérience utilisateur satisfaisante. Cette étude a impliqué l'examen approfondi de différents paramètres et indicateurs de performance pertinents, notamment à travers des tests.

Ensuite, nous avons exploré l'implémentation de la VoLTE, en mettant en lumière son architecture et en examinant les technologies sous-jacentes nécessaires pour la prise en charge de cette fonctionnalité, avec un accent particulier sur l'architecture IMS et les protocoles associés.

Dans la partie pratique, nous avons présenté une analyse des résultats obtenus à travers des tests, analysés à l'aide des logiciels professionnels fournis par Djezzy.

Ces analyses ont confirmé les avantages de la VoLTE tels que la connexion rapide aux appels, la garantie d'une qualité vocale élevée et la réduction du bruit de fond, assurant ainsi des conversations claires et compréhensibles, une connectivité continue et une expérience utilisateur ininterrompue, etc.

Nous avons conclu notre mémoire en réalisant une application de calcul de débit dans les deux technologies FDD et TDD. Au cours de notre travail, nous avons eu l'opportunité de participer activement au projet d'implémentation de la voix sur LTE lors d'un stage pratique.

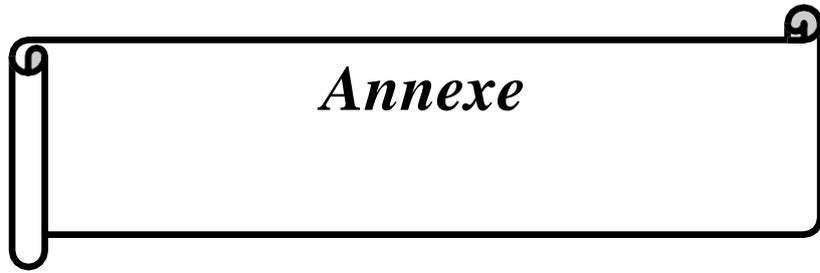
Cette expérience s'est avérée enrichissante car elle nous a permis d'explorer une technologie émergente en Algérie, initiée par l'opérateur Djezzy en collaboration avec Huawei, tout en approfondissant nos connaissances tant sur le plan scientifique que technologique.

Références Bibliographie

- [1] : Kabore Karim et Pereira Jose Liborio, «Etude de Passage de la 4G vers la 5G» Mémoire de Master, Université Abdelhamid Ibn Badis-Mostaganem, 2020/2021.
- [2] : <https://www.secforce.com/blog/4g-lte-architecture-and-security-concerns/>
- [3] :Yassa Sarah et LamaraOuiza, «Implémentation d'une solution 4G TDD : impact sur QOS», Université M'hamedBougara-Boumerdes, 2021/2022.
- [4] : Larbi Cherif Hacene et MedjahedIlyas, «Etude et Planification d'un réseau 4G LTE », Mémoire de Master Université Abou BekrBelkaid Tlemcen -2021.
- [5] : IsraMohamedioua et Wissam Sid, «Planification d'un Réseau de Télécommunications» Mémoire de Master, Université Mohammed SeddikBenyahia-JIJEL ,2020/2021.
- [6] :<https://www.researchgate.net/publication/366793130/figure/fig3/AS:11431281110591330@1672662741136/The-FDD-and-TDD-modes.ppm>
- [7] :https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQOOKu0nsKLX-_h7Tyvq3Zu78uHGTUfsgHDJQ&s
- [8] :https://blogger.googleusercontent.com/img/b/R29vZ2xl/AVvXsEiDaX_Pojf_2iodwoE7R5g4i7z9B6NJTaDi3JEK-Gx9QjFYMk2ZcjSKfvoNOMxgx8_Mb6Oyb-MRr9eARZAmcGMcXtux0bDRhuC7StJA1zmV_aPFAn7rr8m137cS3Hwz26T9UvMp1q1rdM/s1600/SC-FDMA+Transmitter+Receiver.PNG
- [9] : Mohamed Bouchelkia et Lounis Ameziani, «La qualité de service dans les réseaux 4G LTE », Mémoire de Master Université Mouloud Mammeri De Tizi-Ouzou -2018
- [10] : https://www.mdpi.com/sensors/sensors-19-05337/article_deploy/html/images/sensors-19-05337-g001.png
- [11] :Hoceini Rabab et BoutaghouSoumya; «Etude du handover en LTE»; Mémoire de Master, Université Ziane Achour de Djelfa -2018.
- [12] :https://blogger.googleusercontent.com/img/b/R29vZ2xl/AVvXsEidUfdnOtaz2pJW9LvbLnd_3nCucGzy0qB7DR7iF0V2OmhibyYNU21vFNRvtjLupWAJfJfq3gBa31iduuyEiI3NHD_i-mHW0Pz12eChXyDPvTySqB-IzaerFBW8lhfBeodxMhQ54_Q/s1600/A3-+handoff1.gif
- [13] : Souahi Mohamed et Saoud Abdelhakim, «Transmission des signaux MIMO LTE/4G en utilisant la technologie FSO », Mémoire de Master Université Université Larbi Tébessi de Tébessa -2021.
- [14] :<https://www.fmuser.net/Keditor/attached/image/20201116/20201116105398979897.png>
- [15] :<https://oatao.univ-toulouse.fr/2264/1/HDR.pdf>
- [16] :<https://fr.scribd.com/document/585438335/226116969-Qos-UMTS>

- [17] :<https://www.researchgate.net/publication/2523814/figure/fig2/AS:669397572124674@1536608226168/UMTS-QoS-architecture.png>
- [18]:https://www.academia.edu/77391019/Evaluation_de_qualit%C3%A9_de_service_et_Optimisation_du_r%C3%A9seau_UMTS_AT_Mobilis_%C3%A0_B%C3%A9jaia
- [19]:<https://blogs.univ-poitiers.fr/f-launay/files/2015/05/Figure-1.-Overview-of-Session-Bearer-IDs.gif>
- [20] :<https://www.researchgate.net/publication/261238989/figure/fig2/AS:394681709023245@1471110860866/QCI-table-Font-3GPP.png>
- [21] : TOURE IDRISSE OUMAR; DIARRA WOULEYMATOU; «ANALYSE ET OPTIMISATION DES INDICATEURS QOS DE RESEAUX 4G / LTE » mémoire master Université Abderrahmane Mira-Béjaïa -2018
- [22] : Djeddi Fatma, OuatalebFaiza, Aouchiche Nassima et Brikh Bahdja, «Optimisation Des Paramètres D'Accessibilité 4G LTE (RACH et RRC)», Mémoire de Master, université
- [23] : https://telecom-knowledge.blogspot.com/2016/09/lte-kpi.html#google_vignette
- [24] : <https://www.telecomhall.net/t/speech-codecs-used-in-volte-networks/25772>
- [25] : <https://vocal.com/speech-coders/enhanced-voice-services-codec/>
- [26]:<https://forum.huawei.com/enterprise/fr/Introduction-%C3%A0-la-5G-Codec-EVS/thread/667493258206527488-667480998079770624>
- [27] : <https://fr.scribd.com/document/215126010/Le-Drive-Test>
- [28] : https://www.academia.edu/22353108/Notion_de_Drive_Test
- [29] : https://www.librairiemedicale.com/en/catalogue/doc/la-voix-surlte_5474/lm_ouvrage.dhtml<https://www.zdnet.fr/pratique/tout-comprendre-au-Volte-option-voix-sur-4g-39892679.htm>
- [30] :<https://www.cablefree.net/wirelesstechnology/4glte/lte-volte-voice-lte-technology/>
- [31] :<https://www.3glteinfo.com/lte-circuit-switched-fallback-csfb-performance/>
- [32] :https://idata.over-blog.com/4/77/48/56/IMS_volte.jpg
- [33] :<https://www.futura-sciences.com/tech/definitions/smartphone-volte-14847/#volte-cest-quo>.
- [34] :https://idata.over-blog.com/4/77/48/56/IMS_volte.jpg
- [35] :<https://www.sony.fr/electronics/support/articles/SX570801>
- [36] :<http://igm.univ-mlv.fr/~dr/XPOSE2010/IMS/definition.html>
- [37] :<https://ftth.ma/evolution-des-reseaux-telecoms/>
- [38] :<https://www.ims-way.com/wp-content/uploads/2011/04/ims-simple-architecture-overview.png>
- [39] :<http://igm.univ-mlv.fr/~dr/XPOSE2010/IMS/architecture.html>

- [40] :<https://www.ims-way.com/about/what-is-ims/architecture-ims/>
- [41] : Fatmi Frid Nihad et Hachid Rafika ,«Les réseaux NGN Implémentation de la solution Open IMS Core», Mémoire de Master, Université Bekr Belkaid Tlemcen, 2019/2020.
- [42] :<https://www.memoireonline.com/12/23/14461/Etude-dintegration-de-l-IMS-dans-le-reseau-UMTS-pour-loptimisation-des-applications-multime.html>
- [43] : <http://www.journaldunet.com/solutions/0611/061115-ip-multimedia-subsystem.shtml>
- [44] : <http://n.grassa.free.fr/isetkr/Voip.pdf>
- [45] : https://igm.univ-mlv.fr/~dr/XPOSE2002/DEBOURDEAU/Main_fichiers/SIP_OSI.gif
- [46] : <http://igm.univ-mlv.fr/~dr/XPOSE2002/DEBOURDEAU/Main.htm>
- [47] : <https://vasexperts.com/fr/resources/glossary/diameter-protocol/>
- [48] :<https://www.techplayon.com/srvcc-single-radio-voice-call-continuity/>
- [49] :<https://www.researchgate.net/publication/325531169/figure/fig3/AS:634572718997504@1528305334512/CS-PS-Network-architecture-for-SRVCC.png>
- [50] :<https://www.techplayon.com/srvcc-single-radio-voice-call-continuity/>
- [51] :<https://tele-tools.com/huawei-genex-probe-assistant/>



Annexe

Présentation de la société

Djezzy, opérateur de télécommunications algérien, a été créé en juillet 2001 sous le nom Optimum Telecom Algérie (OTA) et anciennement Orascom Telecom Algérie. La société a été rebaptisée Djezzy en 2004. En tant que pionnier des télécommunications en Algérie, Djezzy a été le premier à introduire la technologie GSM dans le pays. Depuis lors, Djezzy a connu une croissance constante, étendant sa couverture réseau et diversifiant ses services pour répondre aux besoins changeants des consommateurs.

L'opérateur de télécommunications Algérien Djezzy, est leader dans le secteur de la téléphonie mobile en Algérie. Avec une base de plus de 15 millions d'abonnés en septembre 2023, Djezzy offre une gamme complète de services, allant du prépayé au post-payé, en passant par la Data, les services à valeur ajoutée et le SUT. Djezzy s'est toujours distinguée par son engagement envers l'innovation et la qualité de service, visant aujourd'hui à se positionner comme un acteur technologique de premier plan dans le pays.



Depuis juillet 2022, un tournant majeur s'est opéré avec le transfert de la quasi-totalité des actions de VEON (côté à la bourse de Nasdaq sous le symbole VIP) au profit du FNI-Fonds National d'Investissement. En devenant une Entreprise Publique Economique, Djezzy est désormais détenue à hauteur de 96,57% par le FNI qui joue un rôle significatif dans le développement socio-économique du pays. L'entreprise s'est fixée pour objectif d'étendre son réseau commercial sur l'ensemble du territoire national, notamment dans le Grand Sud, en ouvrant des boutiques dans dix nouvelles wilayas.

Djezzy a déjà accompli des réalisations significatives en matière de connectivité, couvrant 95 % de la population à travers l'Algérie et déployant avec succès des services 3G et 4G dans

les 58 wilayas. Ces jalons clés dans son histoire, tels que l'octroi des licences 2G, 3G et 4G, illustrent son engagement constant envers l'expansion de la technologie.

L'ambition de Djezzy ne s'arrête pas là. En tant qu'entreprise publique économique, elle vise à devenir un acteur technologique majeur en Algérie. Son objectif est de favoriser le développement de la connectivité et de contribuer activement à la digitalisation du pays. Forte de son expérience et de son leadership, Djezzy s'efforce de façonner l'avenir technologique de l'Algérie en proposant des solutions innovantes et en garantissant un accès de qualité à la communication et à la connectivité à travers tout le pays.

