

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA  
RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE M'HAMED BOUGARABOUMERDES**

**Faculté de Technologie : Département Ingénierie des Systèmes Électriques**



**Filière : Télécommunications**

**Mémoire de projet de fin d'études pour l'obtention du Diplôme de Master**

**Spécialité : Réseaux et Télécommunications**

***THEME : Étude et optimisation d'agrégation de porteuses  
entre réseaux 4G FDD et TDD***

**Présenté par :**

- **HIOU**            **Salma**
- **BOUDRAA**    **lamia**

**Soutenu le 11 juillet 2024 devant le jury composé de :**

<b>Présidente</b>	<b>M<sup>r</sup> MOUHAMED AMAR</b>	<b>MCA</b>	<b>UMBB</b>
<b>Promoteur</b>	<b>M<sup>r</sup> FAYCEL RAHMOUNE</b>	<b>MCA</b>	<b>UMBB</b>
<b>Examineur</b>	<b>M<sup>r</sup> NOUREEDIN</b>	<b>MCA</b>	<b>UMBB</b>
<b>Encadrant</b>	<b>M<sup>r</sup> Malek Garet</b>	<b>Ingénieur</b>	<b>DJEZZY</b>

**Année universitaire 2023/2024**

# *Remerciements*

Au terme de ce modeste travail, nous tenons particulièrement à remercier Allah le tout puissant, car sans sa bénédiction, ce mémoire n'aurait jamais été réalisé, Nous voulons exprimer notre gratitude à **Dr. Rahmoune Fayçal**, notre promoteur, pour son et d'avoir accepté de nous encadrer dans notre travaille, Nous adressons plus particulièrement nos vifs remerciement **Mr. FOUZI** qui était avec nous étape par étape pour d'effectuer ce stage, Nos sincères remerciements à **Mr Malek Garet**, notre co-encadreur, pour son soutien, son soutien et son encouragement tout au long de ce travail | Nous voulons également exprimer notre gratitude à toute l'équipe de Djezzy pour leur aide dans ce projet, Nos remerciements vont aussi à l'endroit de tous nos enseignants à l'Université de Boumerdes pour leur formation pendant notre programme, en particulier au chef département **Mr. NouredinMessaoudi** et aux membres du jury qui ont le privilège d'évaluer notre travail | Enfin, merci à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à ce mémoire, parmi eux **Yacine hadjadj** et **selima Hocine** qui nous a aidé énormément, Pour finir, on remercie de tout cœur nos familles et nos amis qui nous ont toujours encouragées.

# *Dédicaces*

*Je dédie ce travail :*

*A mes chers parents*

*Qui représentent ma vie et mon bonheur, qui n'ont jamais cessé d'être là pour moi, qui m'encouragent à aller de l'avant et ne ménagent aucun effort pour ma réussite. Que Dieu les protège.*

*A mon frère*

*amin et mohamed qui je souhaite le bonheur et la réussite dans leur vie et leurs études.*

*A ma chère copine*

*Lamia avec qui j'ai partagé ce modeste travail. Je te remercie pour tout.*

*A 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.*

*salma*

# Dédicaces

*Je dédie ce travail :*

*À ma mère.*

*À mon père.*

*À tous mes frères.*

*À tous mes sœurs*

*À tous ceux qui m'ont aidé à terminer ce projet.*

*À tous mes enseignants et tous mes amis qui n'ont pas cessé de*

*M'encourager afin de réaliser parfaitement ce projet.*

*À toute personne qui m'a aidée à franchir un horizon dans ma vie...*

*Lamia....*

## Résumé

L'ingénierie des communications sans fil a connu une évolution majeure, surtout après l'avènement de la 4G, qui a transformé les réseaux cellulaires grâce à sa grande vitesse de transmission des données. Dans le cadre de notre projet, nous cherchons à résumer les initiatives prises par DJEZZY en Algérie pour mettre en œuvre la technologie d'agrégation des supports, qui est la dernière solution 4G dans le but d'augmenter le haut débit et d'améliorer ainsi la qualité du service .qui est la dernière solution 4G dans le but d'augmenter le high-flow et donc d'améliorer la qualité de service

## Abstract:

Wireless communication engineering has undergone a major evolution, especially after the advent of 4G, which has transformed cellular networks thanks to its high speed of data transmission. In the context of our project, we seek to summarize the initiatives undertaken by DJEZZY in Algeria to implement bearer aggregation technology, which is the latest 4G solution to maximize high-flow and thus improve the quality of service Translated with DeepL.com (free version).

## ملخص :

شهدت هندسة الاتصالات اللاسلكية تطورًا كبيرًا، لا سيما بعد ظهور الجيل الرابع الذي أحدث تحولًا كبيرًا في الشبكات الخلوية بفضل سرعته العالية في نقل البيانات. في سياق مشروعنا، فإننا نسعى إلى تلخيص المبادرات التي تقوم بها شركة جيزي في الجزائر. لتطبيق تقنية تجميع الحاملات التي تعد أحدث حلول الجيل الرابع بهدف زيادة التدفق العالي وبالتالي تحسين جودة الخدمة

# Liste d'abréviations

---

**1G** :1ère Génération des réseaux sans-fil

**2G** :2ème Génération des réseaux sans-fil

**3G** :3ème Génération des réseaux sans-fil

**3GPP**:3rd Génération Partnership Project

**4G** :4ème Génération des réseaux sans-fil

**A** :

**ARP** :Addressee Resolution protocol

**B** :

**B1**: Bande 1.

**B3**: Bande 2.

**B** :Bande 3.

**B40**: Bande 40.

**BLER**: Block Error Rate.

**BCCH**: Broadcast control channel

**BCH**: Broadcast Channel

**C**:

**CP** :Préfix Cyclique

**CC** :Component Carrier.

**CA**:Carrier Aggregation

**CCCH** :Common Control Channel

**CQI**:Channel Quality Indicator.

**CSSR** :Call Setup Success Rate.

**D**

**Db**: Decibel.

**dBm** : Deci Bel-milliwatts .

**DCI** : DownlinkControl Indicator.

**DL**: DownLink.

**DT** : Drive Test.

**E**

**EARFCN** :E-UTRA AbsoluteRadioFrequency Channel Number.

**EDGE**:Enhanced Data Rates for GSM Evolution.

**EIR**:Equipment Identity Register.

**eNodeB** :Evolved Node Base station.

**EPC**:Evolved Packet Core.

# Liste d'abréviations

---

**E-RAB** : E-UTRAN Radio Access Bearer.

**E-UTRAN**: Evolved UTRAN

## F

**F1** :Fréquence1.

**F2** :Fréquence2.

**Fc** :Fréquence de coupure.

**FDD** :Frequency Division Duplexing.

## G

**GB** : Guard Band.

**Gb**:Gigabit

**Gbps** :Giga bitpar seconde.

**GPRS** :General Packet Radio Service.

**GSM** :Global System for Mobile Communications.

## H

**HO**: Hand Over.

**HO Inter-RAT**:Hand Over Inter-Radio Access Technology.

**HSS** :Home Subscriber Server .

**HSPA** :High spees pocket Access

## I

**InterF\_HOOut\_SR**:Inter-Frequency HandOverOut Success Rate.

**IntraF\_HOOut\_SR**:Intra-Frequency HandOverOutSuccessRate.

**IP**InternetProtocol.

## K

**Kbps** :Kilo bit par second.

**Khz** :Kilo Hertz.

**km/h** :Kilomètre par heure.

**KPI** : Key Performance Indicator

## L

**LTE**: Long Term Evolution.

## M:

**MIMO**: multi input multiple output

**MME**: Mobility management Entity

## N

**NodeB** :No debase station.

# Liste d'abréviations

---

**NRB**:Number of **R**essource**B**lock

**O**

**OFDM** :Orthogonal **F**requency-**D**ivision **M**ultiplexing.

**OFDMA**:Orthogonal **F**requency **D**ivision **M**ultiple **A**ccess.

**OSS**:Operations **S**upport **S**ystems.

**P**

**PBCH**: **P**hysical **B**roadcast **C**hannel.

**Pcell**:Primary **c**ell.

**PCI**:Physical **C**ell **I**D.

**PCRF**:Policy and **C**harging **R**ules **F**unction.

**PDSCH**:Physical **D**ownlink **S**hared **C**hannel.

**PDN**:packet data network

**PHICH**:Physical **H**ybrid-**A**RQ **I**ndicator **C**hannel.

**P-GW**:Packet-Data **N**etwork **G**ateway.

**PDN-GW**:Packet-Data **N**etwork **G**ate**W**ay.

**PRB**:Physical **R**esource **B**lock.

**PSS**:Primary **S**ynchronization **S**ignal.

**PUCCH**: **P**hysical **U**plink **C**ontrol **C**hannel.

**PUSCH** :Physical **U**plink **S**hared **C**hannel.

**Q**

**QAM** :Quadrature **A**mplitude **M**odulation.

**QCI**:Quality class **I**dentifier

**QoS** :Quality of **S**ervice.

**QPSK**:Quadrature **P**hase **S**hift **K**eying.

**R**

**RB** :**R**essource**B**lock.

**RE** :**R**essources**E**lement.

**RF**: **R**adio **F**réquence.

**RLC** :**R**adio **L**ink **C**ontrol.

**RLF**:**R**adio **L**ink **F**ailure.

**RNC** :**R**adio **N**etwork **C**ontroller.

**RRC**:**R**adio **R**esource **C**ontrol.

**RRH** **R**emote **R**adio **H**ead.

**RS**:**R**eference **S**ignal.

# Liste d'abréviations

---

**RSSI:**Received Signal Strength Indication.

**RSRP :**Reference Signal Received Power.

**RSRQ:**Reference Signal Received Quality.

Rsvp

## S

**SAE:**system architecture Evolution

**SCell:** Secondary cell.

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

**SCC:**Secondary Component Carriers.

**SIM:** Subscriber Identity Module.

**SINR:**Signal Interférence Noise Ratio.

**S-GW:**Serving –Gateway.

**SSS:**Secondary Synchronization Signal.

**SSV :**Single Site Verification.

## T

**TEMS :**Test Mobile System.

**TDD :**Time Division Demultiplexed.

## U

**UE :** User Equipement.

**UL :** UpLink.

**UR :**Unité de Ressource.

**UMTS:** Universel Mobile Télécommunications System.

**USIM:** Universal Subscriber identity Module.

**UTRAN:**UMTS Radio Access Network.

## W

**Wan:** wireless access network

**W:** Watt.

**Wgap:** Width gap.

## Liste des figures

Figure 1: évolution des différentes générations de réseaux mobiles .....	3
Figure 2: architecture du réseau LTE .....	7
Figure 3: le réseau d'accès e-utran.....	8
Figure 4: le réseau cœur epc.....	9
Figure 5: Pile protocolaire plan usager.....	12
Figure 6 :Pile protocolaire défini entre le MME et l'U .....	12
Figure 7: Pile protocolaire défini entre entité du réseau cœur.....	13
Figure 8: diagramme de constellation .....	21
Figure 9: représentation du signal OFDM en temps et fréquence .....	21
Figure 10: la différence entre l'ofdm et le sc-fdma .....	22
Figure 11: les techniques de duplexage.....	23
Figure 12: structure de la trame en mode FDD .....	24
Figure 13: structure de la trame en mode TDD .....	25
Figure 14: structure de trame TDD .....	26
Figure 15: représentation d'un système mimo .....	28
Figure 16: EPS bearer.....	35
Figure 17: composants d'un drive test .....	40
Figure 18: vérification SSV .....	41
Figure 19: vérification multi-sites MSV.....	42
Figure 20: interprétations basées sur QPSK, 16QAM, 64QAM et 256 QAM des CQI .....	44
Figure 21: Exemple d'agrégation de porteuses .....	46
Figure 22: Évolution de l'agrégation de porteuses.....	46
Figure 23: types d'agrégations de porteuses.....	49
Figure 24: Intra-bande contiguës.....	50
Figure 25: Intra-bande non-contiguë .....	51
Figure 26: inter-bande non contiguë.....	51
Figure 27: scenario 1 .....	52
Figure 28: scenario 2 .....	53
Figure 29: scenario 3 .....	54
Figure 30: scenario 4 .....	54
Figure 31: scenario 5 .....	55
Figure 32: mobilité en fonction d'agrégation de porteuses .....	57
Figure 33: Mode de configuration CA groupes.....	58
Figure 34: Mode de configuration adaptative.....	58
Figure 35: représentation de la variation de Throughput DL .....	61
Figure 36 :représentation la variation.....	62
Figure 37: Résultats des valeurs du Débit utilisateur avant l'activation CA .....	63
Figure 38: résultats des valeurs du Débit utilisateur après l'activation CA .....	64
Figure 39: représentations de valeurs de Throughput en histogramme .....	65
Figure 40: Interface graphique de l'application .....	67
Figure 41: Interface graphique de calculateur Throughput TDD .....	67
Figure 42: Interface graphique de calculateur Throughput FDD .....	68

## Liste des tableaux

Tableau 1.déférentes génération des réseaux mobiles.déférentes génération des réseaux mobiles.....	6
Tableau 2.les canaux logiques de contrôle .....	15
Tableau 3.Les canaux du trafic .....	16
Tableau 4.Les canaux de transport descendant.....	17
Tableau 5.canaux physiques pour la voie descendante.....	18
Tableau 6.canaux physiques pour la voie montant. ....	19
Tableau 7.le nombre de RB valables en fonction de largeur de bande.....	26
Tableau 8.le nombre de RB valables en fonction de largeur de bande.....	26
Tableau 9.les bande fréquence tdd.....	27
Tableau 10.La comparaison entre TDD ET FDD .....	27
Tableau 11.caractéristique qci .....	35
Tableau 12. Options d'agrégation de porteuses de la version .....	47
Tableau 13.options d'agrégation porteuses de la version .....	48
Tableau 14.quelque bande utilisée par l'opérateur DJEZZY.....	56
Tableau 15. Représentations de valeurs d'User Throughput en tableau.....	65
Tableau 16.représentations de valeurs de User Throughput en tableau.....	66

## Table des matières

Remercîment

Résumé

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste d'abréviation

Introduction générale .....	1
<b>Chapitre I Généralités sur le réseau LTE FDD TDD</b>	
I.1.Introduction .....	3
I.2.Évolution des réseaux mobile .....	3
I.2.1.La première génération des réseaux mobiles (1G) .....	4
I.2.2.La deuxième génération des réseaux mobiles (2G) .....	4
I.2.3. La troisième génération des réseaux mobiles (3G).....	4
I.2.4.La quatrième génération des réseaux mobiles (4G) .....	5
I.3.L'objectif de la 4 <sup>ème</sup> génération .....	6
I.4.Architecture de réseau 4G-LTE .....	7
I.4.1. Le réseau d'accès(E-UTRAN) .....	7
I.4.2. Réseaucœur EPC (Evolved PacketCore) .....	8
I-4-2-1- MME (Mobility Manager Entity) .....	9
I-4-2-2- La passerelle SGW (serving gateway).....	9
I-4-2-3- PGW (Packet data network Gateway).....	9
I4-2-4.Le serveur HSS (Home Subscriber Server) .....	10
I-4-2-5.LE PCRF (Policy Charging Rules function) .....	10
I.5. Les interfaces.....	10
I.5.1.L'interface Uu : .....	10
I.5.2.L'interface s1 : .....	10
I.5.3.L'interface X2 : .....	10
I.5.4.L'interface s5 : .....	11
I.5.5.L'interface S8 : .....	11
I.5.6.L'interface s6-a : .....	11
I.5.7.L'interface 10 : .....	11

I.5.8.L'interface S11 :	11
I.5.9.L'interface GX :	11
I.5.10.L'interface SGi :	11
I.6.Architecteur Protocol	11
I.6.1.Le plan usager	11
<b>I.6.2.Le plan de contrôle</b>	<b>12</b>
I.6.3.Les couches de l'interface Radio :	13
I.7.Les canaux radio	14
I.8.La modulation :	19
I.8.1La Modulation 256 QAM :	19
I.8.2.La Modulation 64QAM :	20
I.8.3.La Modulation 16QAM :	20
I.8.4. La Modulation QPSK :	20
I.9.Les techniques de multiplexage	21
I.9.1.OFDM :	21
I.9.2.OFDMA :	22
I.9.3.SC-OFDMA :	22
I.10.Les techniques de duplexage :	23
I.10.1.Dans le cadre de la technique FDD :	23
I.10.2.Dans la méthode TDD :	23
I.10.2.1.Structure de la trame en mode FDD :	24
I.10.2.2.Structure de la trame en mode TDD :	24
I.10.3.Concept de bloc de ressource	25
I.11.La technologie MIMO (multiple input Multiple output)	28
I.12.Le handover dans le LTE	29
I.13.Agrégation de porteuse	29
I.14.Les exigences de la 4G /LTE	29
I.14.1.Le débit	29
I.14.2.La latence	30
I.14.3.La mobilité	30
I.14.4.L'égalité en fréquence	30
I.14.5.La capacité	31
I.15.Conclusion	31

## Chapitre II Qualité de service dans 4G LTE

II.1. Introduction.....	32
II.2. Définition DE Qualité de Service .....	32
II.3. L’objective de Qualité de Service.....	32
II.4.Les niveaux de service.....	33
II.4.1.La meilleure initiative : .....	33
II.4.2.Le service différencié : .....	33
II.4.3.Le service garanti : .....	33
II.5.Critères de qualité de service.....	33
II.5.1.Le débit : .....	33
II.5.2.La latence : .....	33
II.5.3.Perte de paquets : .....	33
II.5.4.La gigue (Jitter) : .....	34
II.6.les classes de service.....	34
II.7.Généralité sur le Beaver EPS .....	34
II.7.1.Deux types d’EPS Beare : .....	35
II.8.Les indicateur clé de performance KPIs (key performance indicators) .....	36
II.8.1.Les type de KPI : .....	36
II.8.1.1.Accessibility (Accessibilité) : .....	37
II.8.1.2.Retainability (Continuité) : .....	37
II.8.1.3.La Mobilité : .....	37
II.8.1.4.Intégrité : .....	37
II.8.1.5.L’utilisation : .....	37
II.8.1.6 La disponibilité : .....	37
II.9.Déroulement de l’optimisation : .....	38
II.9.2.Throughput : .....	38
II.9.3.Signalisation : .....	38
II.9.4 .Appels et Données : .....	38
II.9.5.La Mobilité : .....	38
II.9.6.La Capacité du réseau .....	39
II.10.Mesures pratique des KPI’s .....	39
II.10.1.Drive teste .....	39
II.10.2.Outils drive test .....	39
II.10.3.Logiciel utilisé ( <i>TEMS Investigation</i> ).....	40
II.10.4.Les types.....	40

II.10.4.1.Type SSV (Single Site Vérification) .....	40
II.10.4.2.Vérification multi-sites MSV.....	41
II.10.5.Les paramètres de drive teste.....	42
II.10.5.1.Indication de la puissance du signal reçu RSSI.....	42
II.10.5.2.Puissance reçu des signaux de référence RSRP .....	42
II.10.5.3.Rapport d'interférences signal sur bruit SINR.....	43
II.10.5.4.Qualité de signal de référence reçu RSRQ .....	43
II.10.5.5.Indicateur de la qualité du canal (CQI).....	43
II.10.5.6.Taux d'erreur sur les blocs BLER .....	44
II.11. Conclusion.....	44
<b>Chapitre III Études et optimisation de l'agrégation de porteuses entre différentes bandes passant TDD /FDD</b>	
III.1. Introduction.....	45
III.2.Agrégation de porteuses .....	45
III.3. Évolution de l'agrégation de porteuses .....	46
III.4. Le principe et fonctionnement.....	48
III.5.Les types d'agrégation de porteuses .....	49
III.6. Scénarios de déploiement.....	51
III.7. Effet de l'agrégation de porteuses sur la liaison descendante DL .....	55
III.8. Agrégation de porteuses et mobilité .....	56
III.9. Modes de configuration .....	57
III.10. Conclusion : .....	59
<b>Chapitre IV Résultats et Interprétations</b>	
IV.1. Introduction .....	60
IV.2. Déploiement et scénarios de l'agrégation de porteuses .....	60
IV.3. Présentation et interprétation des résultats .....	60
IV.3.1. Résultats obtenu à partir de PRS sur le site A16X623.....	61
IV. 3.2. Résultats obtenir à partir de drive teste sur le site 4A16M758 .....	63
IV.4. Application réalisée pour Djezzy.....	66
IV.5. Conclusion : .....	69
Conclusion générale .....	70
Bibliographie	

# **Introduction générale**

### Introduction générale

Ces dernières années ont été marquées par une croissance remarquable des réseaux mobiles et sans fil. Cette expansion comprend le déploiement successif de plusieurs générations de réseaux de télécommunications, initialement axés sur la téléphonie (2ème génération, GSM), puis évoluant vers des capacités multimédias (3ème génération, UMTS). L'émergence des réseaux de quatrième génération (4G, LTE) marque un véritable tournant dans la diversité et l'ampleur des solutions disponibles.

L'arrivée de la 4G/LTE a consacré le passage à une structure tout IP (Internet Protocol) pour le transport des communications sous forme de paquets de données. Elle permet le transfert de données à très haut débit, avec une portée plus importante, un nombre d'appels par cellule supérieur et une latence plus faible. Pour déployer la 4G en Algérie les opérateurs DJEZZY peuvent utiliser plusieurs bandes de fréquences 900MHz et les bandes 1800MHz, 2100MHz, 2600 MHz avec des modes de duplexage FDD et TDD. Elle opère sur des porteuses de différentes largeurs afin de s'adapter à des allocations spectrales variées. Les largeurs de bande normalisées sont : 1,4 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz et 20 MHz dans les sens montant et descendant.

De manière générale, la 4G s'attache à améliorer la qualité de service (QoS) en termes de débit, de mobilité ... etc. Les capacités de la LTE sont encore renforcées par une meilleure qualité de service (QoS) pour une variété de services de données, y compris la voix et d'autres applications multimédias. Les opérateurs de téléphonie mobile recherchent continuellement des solutions innovantes pour améliorer la QoS, compte tenu des contraintes ou de la disponibilité limitée de la passante spectrale.

L'agrégation de porteuses CA (Carrier Agrégation) dans le LTE est une solution idéale pour augmenter les capacités et performances du réseau, dans la mesure où elle permet aux opérateurs de faire face à la croissance incessante du trafic et à l'augmentation des demandes d'accès radio aux réseaux. La CA est capable de combiner au maximum cinq porteuses LTE de 20MHz afin d'obtenir une largeur de bande maximale de 100MHz.

L'objectif de cette thèse est d'optimiser les performances de la qualité de service dans les réseaux 4G LTE, en se concentrant notamment sur l'agrégation de porteuses entre les réseaux 4G LTE TDD - FDD et les différentes bandes de fréquences telles que B3, B1, B40, B8 ... etc. Ainsi, nous avons rédigé quatre chapitres pour bien décrire notre travail.

Dans le premier chapitre, Généralités sur le réseau LTE FDD TDD ; Le deuxième chapitre consacré aux notions de la qualité de service QoS et aux indicateurs clé de performance KPI (Key Performance Indicateur).Le troisième chapitre comporte la partie principale de notre travail. Il s'agit de présenter l'agrégation de porteuses dans le LTE. Dans le dernier chapitre, nous avons présenté les résultats issus des différentes analyses Effectués

## **Chapitre I : Généralités sur le réseau LTE FDD TDD**

## I.1.Introduction

La technologie 4G LTE représente une évolution majeure dans le domaine des réseaux mobiles. Le LTE constitue le prolongement du GSM ( 2G) et de l'UMTS/HSPA (3G/3G+) avec pour l'objectifs :

- ✓ D'accroître les débits offerts aux utilisateurs ;
- ✓ D'augmenter la capacité des réseaux ;
- ✓ D'améliorer l'interactivité grâce à une réduction de la latence ;

Dans ce chapitre nous allons synthétiser l'évolution des réseaux mobiles à savoir la 1G, 2G ,3G,4G., par la suite nous détaillerons le réseau 4G, son architecteur, son fonctionnement

## I.2.Évolution des réseaux mobile

Les nouvelles générations de réseaux mobiles 2G, 3G et 4G permettent de créer diverses formes de communications depuis un téléphone, une tablette ou un ordinateur, que ce soit pour communiquer, traiter ses e-mails ou naviguer sur internet.

La communication mobile, depuis la fin des années 1970, avec l'avènement des réseaux cellulaires, a connu une évolution qui évolue tous les dix ans en termes de technologie et d'usage. La première génération des réseaux cellulaires est le système analogique, qui a été mis en place à Chicago en 1978 et commercialisé en 1983 sous le nom d'AMPS.[1]

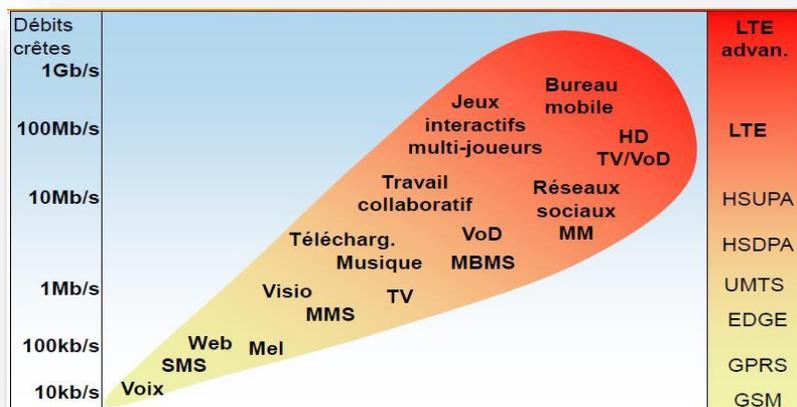


Figure 1: évolution des différentes générations de réseaux mobiles

[4]

**I.2.1. La première génération des réseaux mobiles (1G)**

Apparue dans les années 70, La première génération de systèmes cellulaires de réseaux mobiles (1G) est uniquement dédiée aux appels vocaux (non sécurisés). Elle reposait sur un système de communications mobiles analogiques. Cette génération bénéficia de deux inventions techniques majeures des années 1970 : le microprocesseur et le transport numérique des données entre les téléphones mobiles et la station de base. Les appareils utilisés étaient particulièrement volumineux. La 1G avait beaucoup de défauts, comme les normes incompatibles d'une région à une autre[1]

**I.2.2. La deuxième génération des réseaux mobiles (2G)**

La deuxième génération (notée 2G) a marqué une rupture avec la 1G grâce au passage de l'analogique au numérique. La norme permet la transmission de la parole et des données simultanément. Elle offre la possibilité aux utilisateurs de partager un même canal de transmission, ceci est possible grâce à l'utilisation du mécanisme de division de fréquence FDMA (Frequency Division Multiple Access) et mécanisme de division de temps TDMA (Time Division Multiple Access). Les standards 2G les plus utilisés sont le GSM, l'IS-95 (Intérim Standard-95) qui est basé sur le codage CDMA (Code Division Multiple Access) et l'IS-136 (Intérim Standard-136) qui se base sur le codage TDMA (Time Division Multiple Access). C'est d'ailleurs sur ce standard que se basent les réseaux GPRS (General Packet Radio Service : 2.5G) et EDGE (Enhanced Data for GSM Évolution : 2.75G) qui sont venus corriger les faibles débits du GSM (environ 9,6 kbps). Le GPRS propose un débit théorique de 114 kbps permettant ainsi la transmission simultanée de la voix et de données. L'utilisation des applications multimédias est rendue possible par EDGE qui offre des débits allant jusqu'à 384 kbps. [1]

**I.2.3. La troisième génération des réseaux mobiles (3G)**

La mise en place de la 3G a été synchronisée avec l'émergence de l'Internet mobile et des premiers téléphones intelligents. La 3G, avec un débit descendant bien plus élevé (entre 144 et 2.000 kilobits par seconde (kb/s) selon les conditions d'utilisation) que le GSM (9,6 kb/s), a permis de développer de nouvelles applications comme la visiophonie, la télévision mobile et les messageries instantanées. [1]

**I.2.4. La quatrième génération des réseaux mobiles (4G)**

4G/LTE (Long Terme Évolution) 4G vise à améliorer l'efficacité spectrale et à augmenter la capacité de gestion du nombre de mobiles dans une même cellule. Elle tente aussi d'offrir des débits élevés en situation de mobilité et à offrir une mobilité totale à l'utilisateur en établissant l'interopérabilité entre différentes technologies existantes. Elle vise à rendre le passage entre les réseaux transparent pour l'utilisateur, à éviter l'interruption des services durant le transfert intercellulaire, et à basculer l'utilisation vers le tout-IP. Le LTE est basé sur des techniques radios telles que l'OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) que nous allons présenter dans le chapitre suivant et le MIMO(Multi Input Multiple Output) permettant le transfert de données à très haut débit, avec une portée plus importante, un nombre d'appels par cellule supérieur et une latence plus faible.

Tableau 1. différentes génération des réseaux mobiles. différentes génération des réseaux mobiles

Generation	Release	Acronym	Debit théorique UL/DL
1G	/	Radiocom2000	Analogique
2G	96	GSM (échange de type voix uniquement)	9.6 Kbits/s
2.5G	97	GPRS (échange de données sauf voix)	172.2 Kbits/s/ 17.9 Kbits/s
2.75	98	EDGE (Basé sur réseau GPRS EXISTANT)	384Kbits/s/64 Kbit/s
3G	99	UMTS	1.9 Mbits/s
3.5G ou 3G+	5 et 6	HSDPA(derive de l'UMTS)	14 Mbits/s ou 5.8 Mbits/s
3.75G	7	HSPA+	14 Mbits/s
3.75G ou H+ ou dual carrier	8	DC-HSPA+	42 Mbits/s
3.9G	8	LTE	326 Mbits/s
4G	8 et 9	LTE-Advanced	1Gbit/s/ 500 Mbits/s

### I.3.L'objectif de la 4<sup>ème</sup> génération

Les réseaux de 4<sup>ème</sup> génération ont pour objectifs principaux les suivants :

- Garantir le déroulement de la session en cours
- Minimiser les échéances et le flux de signalisation
- Offrir un service de qualité supérieure
- Améliorer l'efficacité des ressources

- Favoriser une diminution du temps de relèvement, du temps de bout-en-bout, de la gigue et des pertes de paquets
- Réduire les frais de signalisation

#### I.4. Architecture de réseau 4G-LTE

Le réseau LTE est composé de deux parties : une partie radio dite E-UTRAN (Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network) qui constitue le réseau d'accès radio sur l'UE (Equipment Utilisateur) et une partie cœur de réseau évoluée EPC (Evolved PacketCore).[2]

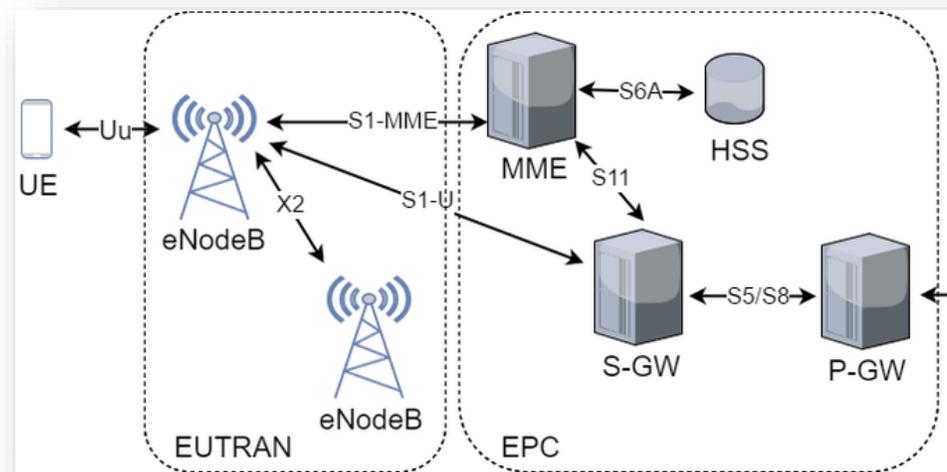


Figure 2: architecture du réseau LTE

[22]

##### I.4.1. Le réseau d'accès(E-UTRAN)

L'EUTRAN est un réseau d'accès radio LTE. La responsabilité de cette partie concerne le contrôle des ressources radio, la gestion des antennes, la compression, la sécurité et la connectivité avec le réseau cœur évolué. Il est constitué de NodeB (NodeB évolué) et de déterminants mobiles.

- **Le terminal**

L'utilisateur des réseaux mobiles dispose d'un terminal également connu sous le nom d'UE (User Equipment). Afin de fonctionner, il est nécessaire d'avoir une carte SIM (Module d'Identité du Subscriber) fournie par l'opérateur.

- **L'eNodeB**

L'eNodeB est l'équivalent de la BTS dans le réseau GSM et NodeB dans l'UMTS, il assure la transmission et la réception radio avec l'UE, regroupe les entités NodeB et RNC de l'UTRAN 3G. Les tâches couvertes par le RNC Les informations ont été distribuées entre l'eNodeB et les entités du réseau central MME/Serving GW. [2]

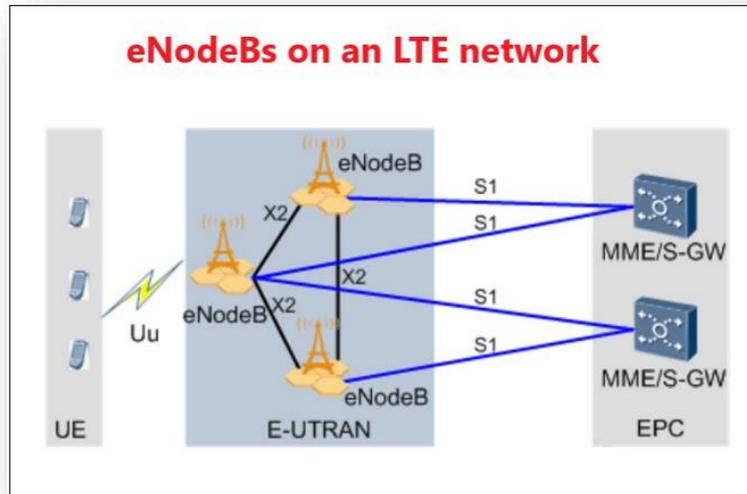


Figure 3: le réseau d'accès e-utran

[2]

#### I.4.2. Réseaux cœur EPC (Evolved PacketCore)

Le « EPC » (Evolved PacketCore) est un cœur de réseau qui utilise des technologies « full IP », c'est-à-dire basées sur les protocoles Internet pour la signalisation, ce qui permet de réduire les temps de latence, le transport de la voix et des données. Ce centre de réseau offre la possibilité Les routeurs permettent de se connecter aux autres ENodeB distants, aux réseaux des autres opérateurs mobiles, aux réseaux de téléphonie fixe et au réseau Internet.[3]

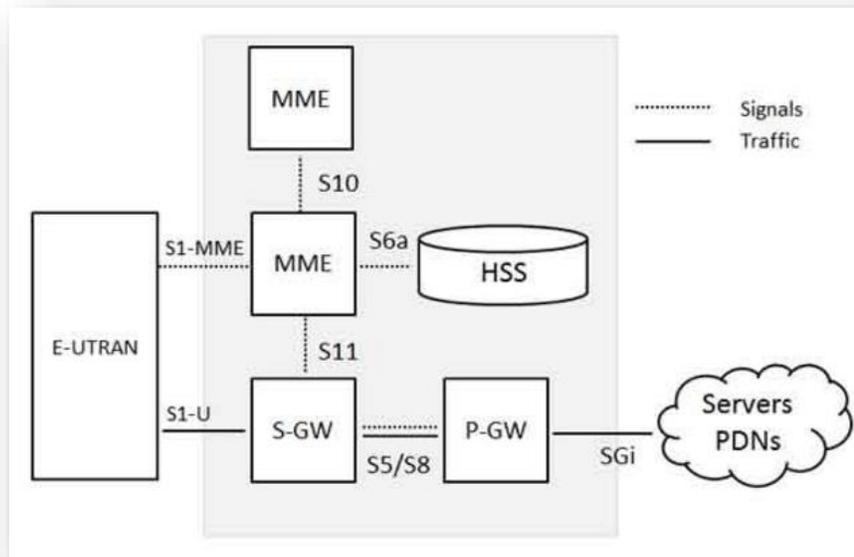


Figure 4: le réseau cœur epc

[24]

Le réseau cœur EPC est constitué de plusieurs éléments comme la montre la figure suivante :

#### I-4-2-1- MME (Mobility Manager Entity)

MME est responsable de la gestion de la mobilité et l'authentification des utilisateurs. Elle sélectionne également à elle de gérer le Paging lorsque l'utilisateur est inactif. Elle choisit les éléments spécifiquement adaptés aux différents types de communication de l'utilisateur. Elle gère le Handover inter-domaines et inter-réseaux, et enfin elle s'occupe de la signalisation.[4]

#### I-4-2-2- La passerelle SGW (serving gateway)

Joue le rôle d'une passerelle lors du Handover inter-domaines et inter-réseaux. Responsable du routage des paquets.[4]

#### I-4-2-3- PGW (Packet data network Gateway)

Il est responsable de la mobilité entre divers systèmes. Il est constitué de l'élément 3GPP Anchor qui permet de faire fonctionner la mobilité entre LTE et les technologies 2G/3G, et de l'élément SAE Anchor qui permet de faire fonctionner la mobilité entre le système 3GPP et les systèmes non 3GPP (WIFI, WIMAX, etc.). Étant donné que l'élément SAE Anchor ne prend

aucune décision concernant la mobilité, il exécute seulement les décisions prises par l'UE. Responsable de l'attribution des adresses IP aux utilisateurs[4]

**I4-2-4.Le serveur HSS (Home Subscriber Server)**

Base de données, évolution du H LR de la 3G. Elle contient les informations souscriptions pour les réseaux GSM, GPRS, 3G et LTE...[4]

**I-4-2-5.LE PCRF (Policy Charging Rules function)**

Différents abonnements sont proposés par les opérateurs pour accéder aux services du réseau mobile. Pour gérer l'accès au réseau pour chaque client, il est indispensable de gérer l'utilisation du réseau et des services disponibles. L'organisme PCRF offre la possibilité de surveiller en temps réel l'utilisation du client en ce qui concerne son abonnement et son forfait restant. Par conséquent, si le forfait est dépassé, le PCRF va établir une règle visant à diminuer le débit (utilisation équitable). En outre, pour la VoLTE (Voix sur LTE), il est nécessaire que l'opérateur instaure une priorité de service.[3]

**I.5. Les interfaces****I.5.1.L'interface Uu :**

c'est l'interface radio (externe) ou interface arène qui relie l'équipement utilisateur UE et l'eNodeB

**I.5.2.L'interface s1 :**

c'est l'interface intermédiaire entre L'UTRAN et le réseau cœur. Elle est composée de deux sous interfaces :

- **S1-MME** : introduite entre l'eNodeB et le MME pour la signalisation de plan du contrôle entre eux.
- **SI-U** : entre l'eNodeB et le SG-W elle est conçue pour transporter les données du plan usager entre l'eNodeB et la passerelle SG-W

**I.5.3.L'interface X2 :**

C'est une interface logique. Elle est introduite afin de permettre aux eNodeB d'échanger des informations de signalisation au cours de Handover ou la signalisation, sans faire intervenir le réseau cœur.

**I.5.4.L'interface s5 :**

entre S-GW et le P-GW du même réseau, pour le transfert des informations des utilisateurs ainsi que quelques messages de signalisation

**I.5.5.L'interface S8 :**

entre le S-GW et le P-GW d'un autre réseau a

**I.5.6.L'interface s6-a :**

Elle est utilisée par le MME afin de rechercher les souscriptions et les données d'authentification dans le HSS.

**I.5.7.L'interface 10 :**

Elle sert à transférer les données entre les MME (point de référence) et à les relocaliser.

**I.5.8.L'interface S11 :**

Elle achemine les messages de signalisation entre deux identités

**I.5.9.L'interface GX :**

aussi nommes S7. Elle relie le P-GW et le PCRF

**I.5.10.L'interface SGi :**

Elle relie le P-GW et le PDN qui peut être un réseau public ou privé ou encore un réseau IP interne

**I.6.Architecteur Protocol**

L'architecture LTE/EPC fait appel à une série de protocoles pour son fonctionnement. On distingue les protocoles du plan usager et les protocoles du plan de control. Ces deux plans sont matérialisés par des piles protocolaires partageant un tronc commun (la partie inférieure) et qui se distinguent notamment dans les interactions avec les couches supérieures : alors que la signalisation NAS est véhiculée par le plan de contrôle de l'interface radio, son plan usager permet de transporter sur celle-ci les paquets délivrés ou à destination de la couche IP[4]

**I.6.1.Le plan usager**

Un paquet IP destiné à un UE est encapsulé par la P-GW et est transféré vers l'eNodeB au sein d'un tunnel, avant d'être transmis par celui-ci à l'UE. La fonction de tunnel est assurée par un

protocole 3GPP dit GTP-U (*GPRS Tunneling Protocol-User plane*) et utilisé au sein des interfaces S1, S5 et S8. La figure suivante présente la pile protocolaire du plan usager.

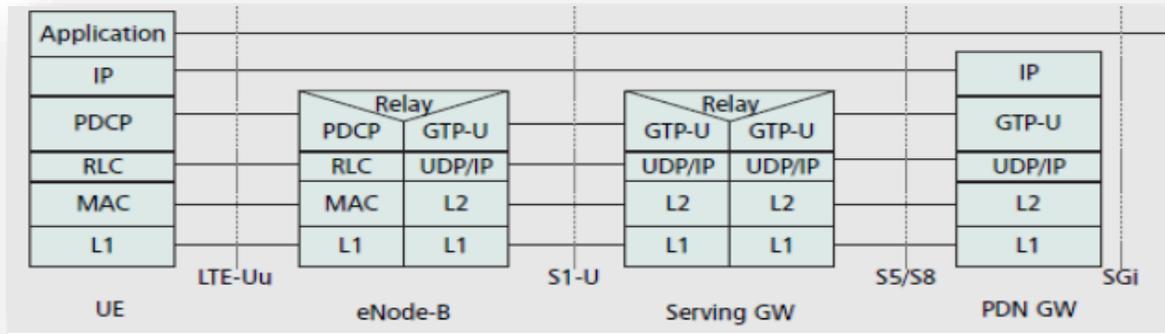


Figure 5: Pile protocolaire plan usager

[4]

### I.6.2. Le plan de contrôle

On distingue sur la figure suivante la pile protocolaire définie entre le MME et l'UE.

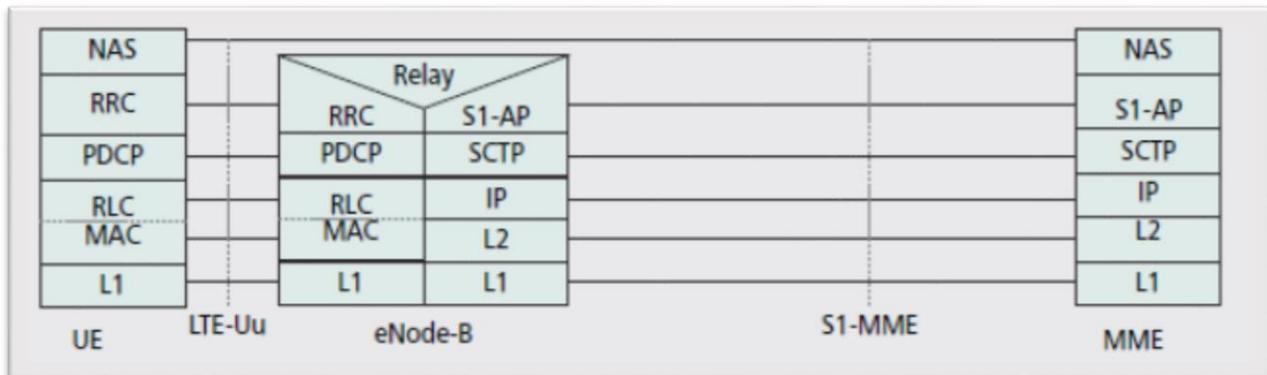


Figure 6 :Pile protocolaire défini entre le MME et l'U

[4]

La figure suivante donne la pile protocolaire définie entre les entités du réseau cœur

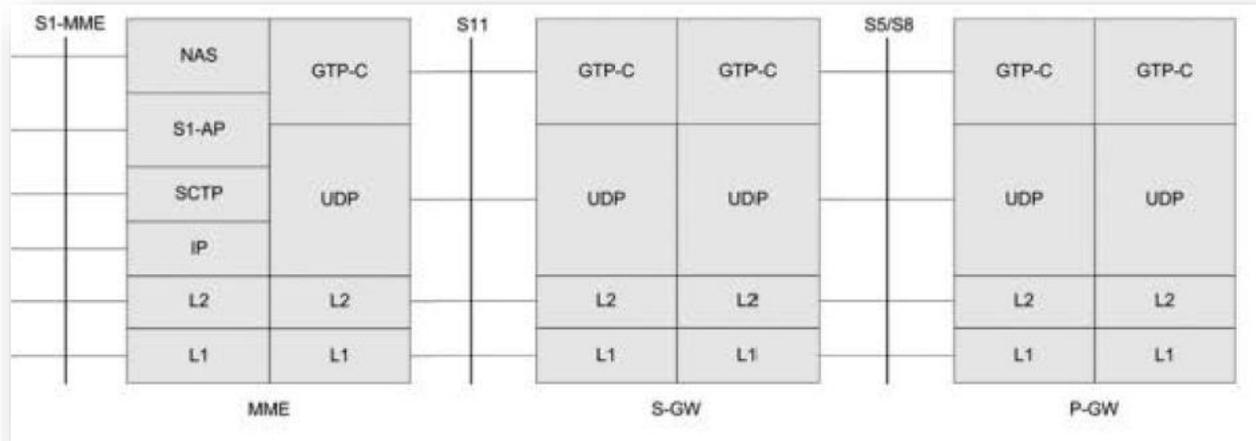


Figure 7: Pile protocolaire défini entre entité du réseau cœur

[4]

Cette pile fait appel au protocole GTP-C (*GPRS Tunneling Protocol-Control plane*) utilisé pour permettre les échanges de signalisation pendant l'établissement de bearer EPS et pour le transfert d'informations propres à chaque UE (contexte de l'UE) lors du changement de MME

### I.6.3. Les couches de l'interface Radio :

Cette interface fournit des connexions entre le UE et l'eNodeB ; elle se compose de trois couches : la couche RRC, la couche 2 et la couche Physique.

- **La couche RRC** : permet de réaliser la fonction de contrôle de l'interface radio. RRC est connectée à la couche MAC et PHY afin de les configurer via des points d'accès de contrôle. C'est la spécificité de cette couche, véritable chef d'orchestre de l'interface radio L'Envoie des messages paging pour localiser un UE.
  - La gestion des connexions RRC (établissement, reconfiguration et relâchement)
  - Le contrôle de mobilité en mode veille (sélection et ré sélection de cellule) □
  - La transmission de signalisation de la couche supérieure NAS
  - La diffusion des informations du système et le transfert de contexte vers un autre eNodeB.
- **La couche 2** : constituée de trois sous-couches : PDCP, MAC et RLC. Ces sous-couches interviennent pour le transfert des données, du plan usager comme du plan de contrôle. Seule la sous-couche PDCP est conçue pour traiter différemment les données de ces deux plans. Pour RLC

et MAC, c'est la configuration qui détermine les éventuelles différences de traitement à appliquer aux flux.

↳ **PDCP** (*Packet Data Compression Protocol*) : assure des fonctions de sécurité et de transfert des données, la compression d'en-tête, le chiffrement des données et de la signalisation RRC, la protection de l'intégrité de la signalisation RRC, la détection et suppression des doublons (unité de données POCP reçues deux fois) et la remise en séquence des paquets.

↳ **MAC** (*Medium Acces Control*) : permet l'accès et l'adaptation au support de transmission grâce au mécanisme d'accès aléatoire sur la voie montante, à la correction d'erreurs par retransmission HARQ lors de la réception d'un acquittement HARQ négatif, et aux allocations dynamique et semi-statique de ressources radio (scheduling).

↳ **RLC** (*Radio Link Control*) : assure les fonctions de contrôle du lien de données dévolues à la couche 2 du modèle OSI (*Data Link Control*) : détection et retransmission des PDU manquantes (en mode acquitté) permettant la reprise sur erreur ; la remise en séquence des PDU pour assurer l'ordonnancement des SDU à la couche supérieure (PDCP); l'utilisation de fenêtres d'émission/réception pour optimiser la transmission de données.

- **La couche physique** : C'est la couche I, appelée également Layer I (LI) ou couche PHY. Son rôle est d'assurer la transmission des données sous une forme capable de se propager dans l'air et de résister aux différentes perturbations inhérentes au canal radio mobile. D'un point de vue fonctionnel, elle offre un service de transport sur l'interface air à la couche MAC.[4]

## I.7. Les canaux radio

Le système LTE utilise le concept de canal pour déterminer les types de données transportées sur l'interface radio. Trois catégories de canaux sont identifiées en fonction des couches du modèle OSI auxquelles ils sont reliés.

- **Les canaux logiques** : Leurs fonctions se situent entre les couches RLC et MAC et sont déterminées en fonction du type d'information qu'ils transportent (par exemple : signalisation du plan de contrôle ou données du plan usager).[4]

[5]

Tableau 2.les canaux logiques de contrôle

Le canal	Acronyme	Fonctionnement
Broadcast Control Channel	BCCH	est un canal logique de contrôle sur la voie descendante utilise pour la diffusion des informations système.il est associe au canal de transport BCH pour la diffusion du MIB mais aussi au canal de transport DL-SCH pour la diffusion des SIB.
Paging Control Channel	PCCH	Est un canal logique de contrôle sur la voie descendante utilise pour la diffusion des messages de paging et les notifications de changement des informations système. Il est associe au canal de transport PCH.
Common Control Channel	CCCH	est un canal logique de contrôle sur les voies montante et descendante utilise pour transmettre des messages de signalisation entre le réseau et les UE qui n'ont pas de connexion RRC. Il est associe au canal de transport partage DL-SCH sur la voie descendante et au canal UL-SCH sur la voie montante.
Multicast Control Channel	MCCH	est un canal logique de contrôle point-a-multipoint sur la voie descendante utilise pour la

		<p>transmission de messages de signalisation MBSFN du réseau aux UE. Il est associera un ou plusieurs canaux de trafic MTCH. Il est associe au canal de transport MCH.</p>
--	--	--

[5]

Tableau 3. Les canaux du trafic

Le canal	Acronyme	Fonctionnement
Dedicated traffic channel	DTCH	Ce canal est utilisé pour transmettre les données utilisateurs dédiés dans les deux sens ascendant et descendant.
Multicast traffic channel	MTCH	Ce canal est utilisé pour transmettre les données utilisateurs dans le sens descendant.

- **Les canaux transport** : Ils fonctionnent entre la couche MAC et la couche physique et sont caractérisés par la façon et les caractéristiques de transport des données par l'interface radio (comme la méthode d'accès aux ressources radio)[4]

Tableau 4. Les canaux de transport descendant

Le canal	Acronyme	Fonctionnement
Broadcast channel	BCH	Ce canal est utilisé pour le transport des parties du (SI) qui sont essentielles pour accéder au canal partagé descendant (DL-SCH). Le format de transport est fixe et la capacité est limitée.
Downlink shared Channel	DL-SCH	Ce canal est utilisé pour le transport des données utilisateur ou les messages de contrôle. En plus les parties restantes du (SI), qui ne sont pas transmises via le BCH, sont transmises dans le DL-SCH.
Paging channel	PCH	Ce canal est utilisé pour transporter les informations de pagination aux UE's et pour les informer de la mise-à-jour du (SI) et les messages PWS.
Multicast channel	MCH	Ce canal est utilisé pour le transport des données MBMS de l'utilisateur ou les messages de contrôle qui requièrent la combinaison MBSFN.

- **Les canaux physiques :** Utilisés par la couche physique et sont définis par les caractéristiques physiques de leur transmission (par exemple leur placement dans la trame). [4]

[5]

Tableau 5. canaux physiques pour la voie descendante

Le canal	Acronyme	Fonctionnement
Physical Downlink Shared Channel	PDSCH	Porte les données utilisateur dans le sens descendant à partir des couches supérieures, ainsi que la signalisation de pagination.
Physical Control Format Indicator Channel	PCFICH	Détermine le nombre de symboles OFDM utilisés pour l'allocation des canaux de contrôle (PDCCH) dans une sous trame
Physical Hybrid ARQ Indicator Channel	PHICH	Porte le HARQ (Hybrid automatic repeat request) ACK/NACK.
Physical Downlink Control Channel	PDCCH	Porte les attributions d'ordonnancement, allocation de liaison montante, et autres informations de contrôle ; le PDCCH est maillé à l'élément de ressource jusqu'à trois symboles OFDM dans le premier intervalle de temps d'une sous trame.
Physical broadcast channel	PBCH	Utilisé pour la diffusion de certains paramètres de la cellule ou une information spécifique au système

[5]

Tableau 6. canaux physiques pour la voie montant.

Le canal	Acronyme	Fonctionnement
Physical uplink shared channel	PUSCH	Porte les données utilisateur de la liaison montante à partir des couches supérieures, l'allocation des ressources pour le PUSCH se fait sur une base de sous trame par l'ordonnanceur.
Physical uplink control channel	PUCCH	Porte l'information de contrôle de la liaison montante, comprenant l'indicateur de qualité du canal (CQI), HARQ ACK/NACK et les requêtes d'ordonnement de liaison montante
Physical random access channel	PRACH	Utilisé pour demander l'établissement d'une connexion dans la liaison montante.

### I.8. La modulation :

La modulation consiste à modifier les caractéristiques d'un signal porteur afin de coder des données numériques. Elle est employée dans le cadre de la LTE afin de représenter les données binaires sous la forme de divers états de signal, ce qui permet la transmission d'informations par héritage. Les modulations généralement utilisées en DL et UL sont suivantes : [6]

- **Modulation Downlink** : QPSK (Quadrature Phase Shift Keying), 16QAM (16 Quadrature Amplitude Modulation) et 64QAM (64 Quadrature Amplitude Modulation).
- **Modulation Uplink** : QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) 16QAM (16 Quadrature Amplitude Modulation)

#### I.8.1 La Modulation 256 QAM :

Il s'agit d'une forme de modulation d'amplitude en quadrature (QAM) où une onde porteuse de fréquence constante peut se trouver dans l'un des 256 états discrets et mesurables différents du

tracé de la constellation. L'en phase (axe des abscisses) et la quadrature (axe des Ordonnées) constituent le diagramme de constellation. Les axes du signal modulé en phase et en quadrature sont orthogonaux, c'est-à-dire 90 déphasés l'un par rapport à l'autre.[7]

**I.8.2.La Modulation 64QAM :**

Il s'agit d'une forme de modulation en quadrature (QAM) où une onde porteuse d'une fréquence fixe peut se trouver dans l'un des soixante-quatre états discrets et mesurables différents du tracé de la constellation. Deux axes constitutifs composent le tracé de la constellation : l'axe des phases (axe des abscisses) et la quadrature (axe des ordonnées). L'une et l'autre composante sont orthogonales ou 90 déphasées l'une par rapport à l'autre.[7]

**I.8.3.La Modulation 16QAM :**

Une modulation en quadrature (QAM) est un type de modulation où une onde porteuse d'une fréquence fixe peut se présenter dans l'un des seize états possibles. On peut voir cela dans un schéma de constellation (Figure) où chaque état est un symbole qui renferme l'un des 16 niveaux D'amplitude et de phase distincts. L'en phase (axe des abscisses) et la quadrature (axe des ordonnées) constituent le tracé de la constellation, où les deux axes sont orthogonaux, c'est-à-dire séparés l'un de l'autre par une phase de 90.[7]

**I.8.4. La Modulation QPSK :**

La modulation QPSK est un système de modulation qui permet à un symbole de transmettre deux bits de données. Quatre nombres à deux bits sont possibles (00, 01, 10, 11), ce qui implique quatre décalages de phase. Une fois de plus, nous souhaitons une distance maximale entre les différentes options de phase, qui est dans cette situation de 90[8]

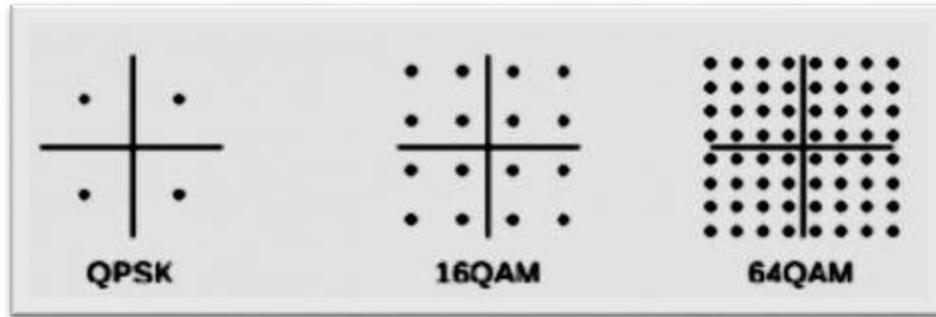


Figure 8: diagramme de constellation

[25]

## I.9. Les techniques de multiplexage

### I.9.1. OFDM :

L'OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) fonctionne en distribuant le signal numérique sur un grand nombre de sous-porteuses orthogonales, en ajoutant un préfixe cyclique entre les symboles OFDM afin d'éviter leurs interférences. [9]

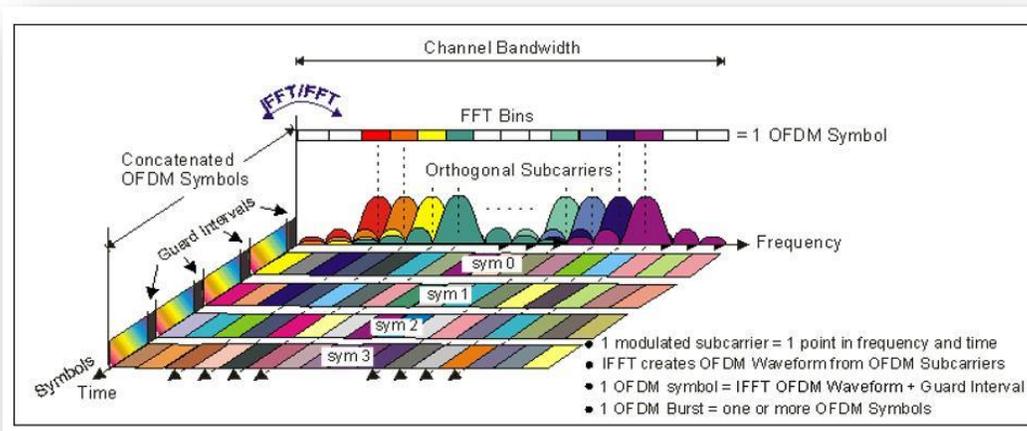


Figure 9: représentation du signal OFDM en temps et fréquence

[4]

**I.9.2.OFDMA :**

L'OFDMA est une méthode de multiplexage d'accès par porteuses orthogonales (l'orthogonalité découle du fait que le produit scalaire pendant la durée de transmission d'un symbole entre chaque porteuse est nul).[9], Le principe de L'OFDMA consiste à répartir les données numériques que l'on souhaite transmettre sur un grand nombre de sous-porteuses, ce qui entraîne un débit binaire beaucoup plus faible sur chaque canaux de transmission pour un débit global donné. Ainsi, la durée de chaque symbole est beaucoup plus longue ( $66.7\mu s$ ) qui si une seul porteuse était utilisée cela réduit les difficultés d'interférences entre les symboles causées par les "chemins multiples de propagation" présents dans les liaisons radio

**I.9.3.SC-OFDMA :**

est une technologie de codage radio numérique qui a été adoptée pour les liaisons montantes (dans le sens terminal vers station de base) de certaines normes 3GPP, plus particulièrement pour la partie radio (eUTRAN) des réseaux mobiles « LTE », car ce codage permet de diminuer la consommation électrique du terminal et contribue donc, à l'augmentation de l'autonomie de sa batterie.[9]

**I.9.4.Comparaison entre l'OFDM et le SC-FDMA :**

OFDMA est une technique de transmission multi-porteuse tandis que la SC-FDMA est une technique mono-porteuse [3]

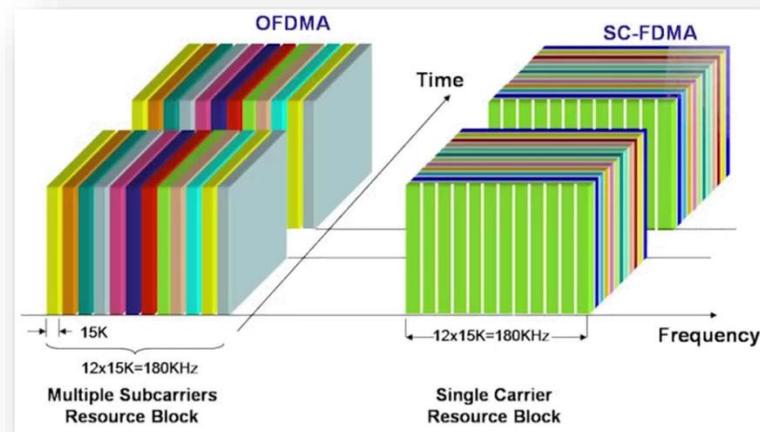


Figure 10:la différence entre l'ofdm et le sc-fdma

[3]

### I.10. Les techniques de duplexage :

On utilise la méthode de duplexage dans les systèmes de communication afin de faciliter les transmissions en deux directions (montante et descendante). Deux types principaux de duplexage sont présents :

- Le duplexage fréquentiel (**FDD**)
- Le duplexage temporel (**TDD**). [10]

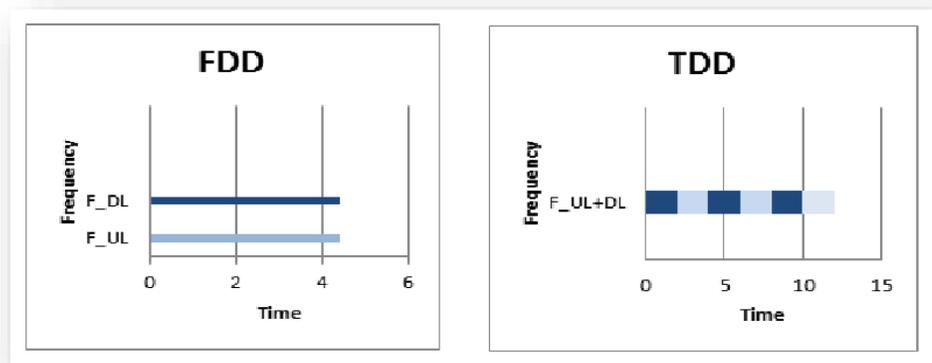


Figure 11: les techniques de duplexage

[11]

#### I.10.1. Dans le cadre de la technique FDD :

On attribue des bandes de fréquences différentes pour la liaison ascendante et la liaison descendante. La fréquence utilisée par le trafic dans les deux directions est différente, ce qui permet d'éviter les interférences [10]

#### I.10.2. Dans la méthode TDD :

On utilise une seule bande de fréquences, mais on divise le temps en intervalles fixes. Ces périodes se déroulent entre les liaisons ascendantes et descendantes. Donc, même si la fréquence demeure la même, le temps est employé différemment. Ceci offre également la possibilité d'une communication bidirectionnelle, mais à différents moments. [10]

### I.10.3. Structure des ressources de transmission du LTE :

Le réseau LTE organise les transmissions sur les voies montante et descendante en trames radio d'une durée de 10 ms dans le temps. Il y a un numéro SFN (System Frame Number) code sur 10 bits pour chaque trame. Deux catégories de trames radio existent :

- ✓ type 1 pour le mode FDD.
- ✓ Type 2 pour le mode TDD.

#### I.10.2.1. Structure de la trame en mode FDD :

Le type 1 de trame a une durée de 10 ms, qui est subdivisée en dix sous-trames de 1 ms chacune, qui sont à leur tour subdivisées en deux slots de 0,5 ms chacun. La configuration standard (avec préfixe court) comprend sept symboles OFDM/SC-FDMA dans un slot. En Considérée avec un préfixe étendu, chaque slot comporte six symboles. [10]

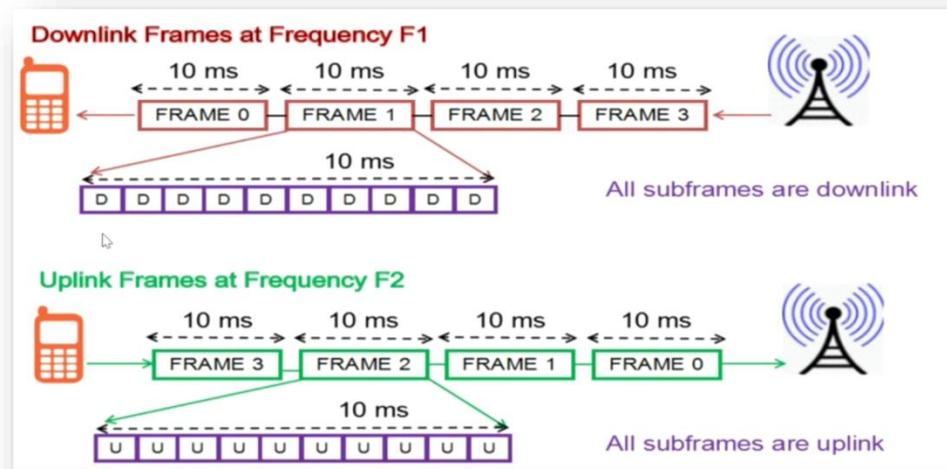


Figure 12: structure de la trame en mode FDD

[11]

#### I.10.2.2. Structure de la trame en mode TDD :

La structure de la trame LTE en mode TDD est subdivisée en sous-trames successives. Une partie des sous trames est destinée à la voie montante, d'autres à la voie descendante. Une sous-trame spéciale est également présente, comprenant notamment un temps de garde requis pour le passage entre la voie descendante et la voie montante. Cette période de Les gardes sont classées GP (GuardPeriod). [10]

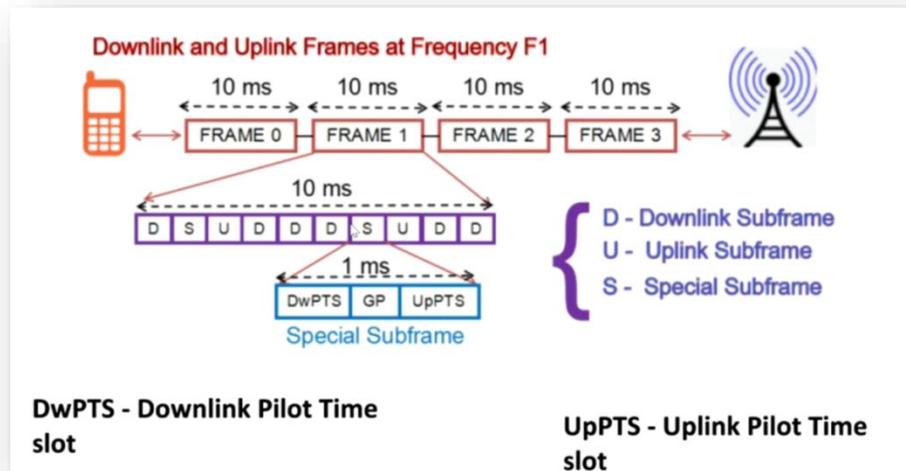


Figure 13: structure de la trame en mode TDD

[11]

- **Le DwPTS** : il peut être considéré comme une sous- porteuse descendante normale à longueur réduite, alors que le volume des données qui peuvent être transmises dans le DwPTS est moins important
- **Le champ GP** : une période de garde utilisée pour prémunir contre le basculement de la liaison descendante à celle ascendante. Permettant de basculer entre la voie montante et descendante.[11]
- **L'UpPTS** : a une durée très courte et n'est pas utilisé pour la transmission ascendante. Il peut être utilisé pour l'accès aléatoire ou une période de garde supplémentaire entre les transmissions descendantes et ascendantes [11]

### I.10.3. Concept de bloc de ressource

- Chaque trame de 10 ms comprend 10 sous-trames de 1 ms, chacune comprenant 2 créneaux de 0,5 ms
- Chaque créneau contient N blocs de ressources [ $6 < N < 110$ ]
- Chaque PRB contient 6-7 symboles modulés chacun par une de 12 sous-porteuses avec un espacement de 15 kHz
- Allocation minimale de 0,5ms x 180KHz
- Des signaux pilotes sont insérés à des endroits prédéterminés pour la synchronisation [9]

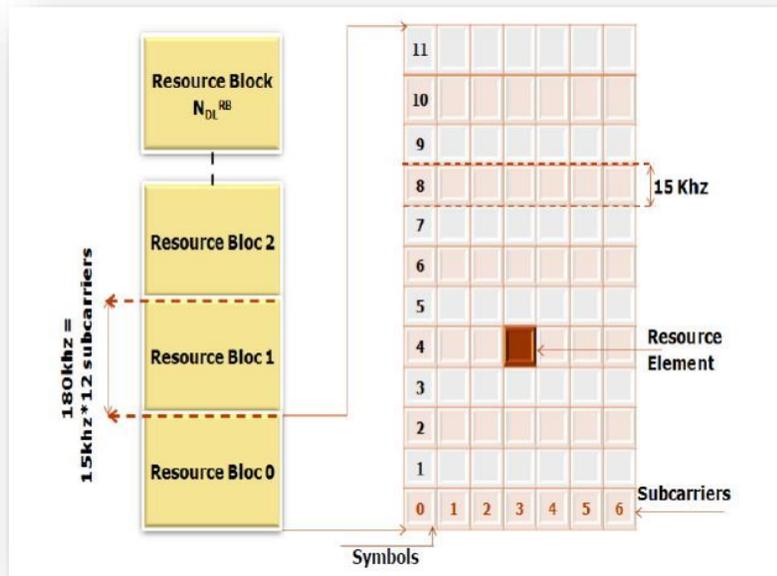


Figure 14: structure de trame TDD

[15]

Tableau 7. le nombre de RB valables en fonction de largeur de bande

<b>Bande passant (MHz)</b>	1,4	3	5	10	15	20
<b>Durée de la trame(ms)</b>	10	10	10	10	10	10
<b>Nombre de RB</b>	6	15	25	50	75	100

Tableau 8. le nombre de RB valables en fonction de largeur de bande

<b>Bande</b>	<b>Release</b>	<b>Liaison UL (MHz)</b>	<b>Liaison DL (MHz)</b>	<b>MODE DUPLEX</b>
1	R99	1920-1980	2110-2170	FDD
2	R99	1850-1910	1930-1990	FDD
3	R5	1710_1785	1805-1880	FDD
4	R6	1710-1755	2110-2155	FDD
5	R6	824_849	869-894	FDD

7	R7	2500-2570	2620-2690	FDD
8	R7	880-915	925-960	FDD
9	R7	1749.9-1784.9	1884.9-1879.9	FDD
10	R7	1710-1770	2110-2170	FDD
11	R8	1427.9-1447.9	1475.9-1495.9	FDD
12	R8	699-716	729-749	FDD
13	R8	777-787	746-756	FDD
14	R8	788-798	758-768	FDD
17	R8	704-716	734-746	FDD
18	R9	815-830	860-875	FDD

Tableau 9.les bande fréquence tdd

Bande	Release	Liaison UL /DL(MHz)	Mode duplex
33	R99	1900-1920	TDD
34	R99	2010-2025	TDD
35	R99	1850-1910	TDD
36	R99	1930-1990	TDD
37	R99	1910-1930	TDD
38	R7	2570-2620	TDD
39	R8	1880-1920	TDD
40	R8	2300-2400	TDD

Tableau 10.La comparaison entre TDD ET FDD

FDD	TDD
Division fréquentiel	Division de temporelle
Full duplex	Half duplex.

Trafic symétrique	Trafic asymétrique
Matériel couteux	Matériel moins couteux
Utilisation des deux canaux dans deux direction.	Utilisation de même canal de transmission dans les deux liaisons
Pas d'interférence inter-slot.	Pouvoir la production des interférence inter-slot

### I.11.La technologie MIMO (multiple input Multiple output)

MIMO est une technique utilisée pour augmenter le débit global à travers la transmission de deux (ou plus) différents flux de données sur deux (ou plus) différentes antennes en utilisant les mêmes ressources en fréquence et en temps, séparés seulement par l'utilisation de différents signaux de référence, reçus par deux ou plusieurs antennes, voir la figure ci-dessous.[26],

Les systèmes MIMO exploitent les techniques de :

- ✓ **Diversité d'espace** : Diversité d'antenne.
- ✓ **Diversité fréquentielle** : Cette technique demande l'envoi du même signal sur des Fréquences différentes.
- ✓ **Diversité temporelle** : Lorsque l'on sépare l'envoi du même signal par le temps Cohérence du canal.[9]

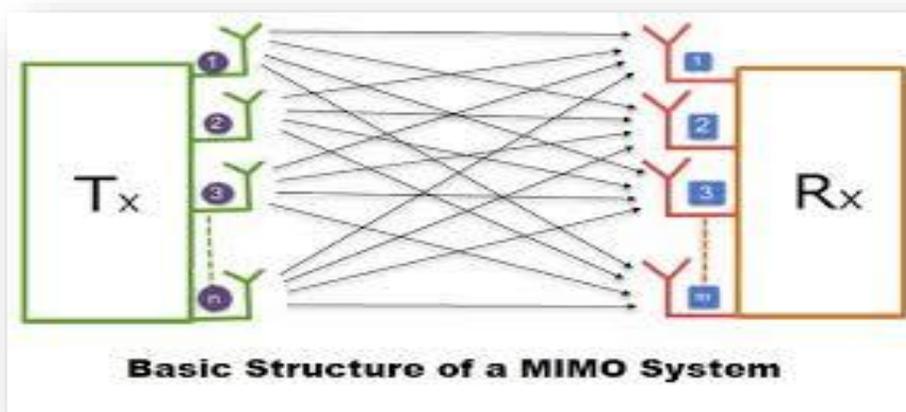


Figure 15: représentation d'un système mimo

[15]

## I.12. Le handover dans le LTE

Dans LTE la gestion de mobilité est distribuée, les eNodeB prennent la décision de Handover d'une façon autonome sans intervention des autres équipements : MME et S-GW. Les informations nécessaires au Handover sont échangées entre les eNodeB via une interface X2. Le MME et le S-GW recevront une notification avec un message de Handover après que la nouvelle connexion aura été effectuée entre l'UE et le nouveau eNodeB.[12]

Il existe 2 types de handover :

- **Hard Handover** : terminal est équipé d'une station de base unique. Avant de se connecter à la station de base cible, le terminal se déconnecte de sa station de base de service. Ainsi, il y a une interruption de communication.
- **Soft Handover** : Grâce à une transition douce, le terminal est accessible à toutes les stations de base. Le fonctionnement de ce mode repose sur la capacité du terminal à interagir en même temps avec plusieurs bases.[12]

## I.13. Agrégation de porteuse

Carrier Agrégation est une technique qui a été introduite pour la première fois dans l'évolution à long terme (LTE) par le projet de partenariat de troisième génération (3GPP) Release 10 pour combiner différents morceaux de spectre afin d'atteindre des débits de pointe plus élevés.

## I.14. Les exigences de la 4G /LTE

### I.14.1. Le débit

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

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

**I.14.2.La latence**

La latence du système se manifeste concrètement par sa capacité à réagir rapidement à des demandes d'utilisateurs ou de services. Elle se divise en retard du plan de contrôle et retard du plan des utilisateurs.

- **La latence plane du contrôle** : Le but établi pour le LTE est d'améliorer la latence du plan de contrôle par rapport à l'UMTS, en réduisant le temps de transition entre un état de veille de l'UE et un état actif permettant l'établissement du plan utilisateur.
- **La latence plane d'usager** : La latence du plan d'utilisateur correspond au temps nécessaire pour que le paquet soit transmis entre la couche IP de l'UE et la couche IP d'un nœud du réseau d'accès, ou inversement. Autrement dit, la latence du plan d'utilisateur correspond au temps nécessaire pour transposer un paquet IP dans le réseau d'accès. Le réseau LTE.

Son objectif est de réduire la latence du plan usager à moins de 5 ms dans des conditions de faible charge du réseau et pour des paquets IP de petite taille.

**I.14.3.La mobilité**

La fonction de mobilité est essentielle pour un réseau mobile. Le LTE est conçu pour être utilisé par des UE à des vitesses élevées (jusqu'à 350 km/h, et même 500 km/h selon la bande de fréquences), tout en étant adapté à des vitesses de l'UE faibles (entre 0 et 15 km/h).

**I.14.4.L'égalité en fréquence**

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

**I.14.5.La capacité**

Avec l'explosion des services nécessitant une connexion always-on, la contrainte appliquée sur la capacité, Le système doit être capable de supporter en même temps une grande quantité de données. citée en nombre d'utilisateurs simultanés devient forte.

Nombreuses personnes utilisant une cellule. Il est prévu que l'on accepte à l'état actif au moins 200 utilisateurs simultanés par cellule pour une largeur de bande de 5 MHz, et au moins 400 utilisateurs pour des largeurs de bande supérieures Un nombre largement supérieur d'utilisateurs devra être possible à l'état de veille.[3]

**I.15.Conclusion**

On arrive à la fin de notre chapitre intitulé généralités sur la 4G (LTE), qui permet de décrire le transfert de données avec un très grand débit et une portée très importante, une qualité vocale améliorée, et une augmentation considérable du nombre d'utilisateurs (nombre d'appels) par cellule avec une latence très faible dans le but d'assurer des qualités de meilleurs services. Dans le prochain chapitre, on va étudier la qualité de service dans les réseaux 4G.

# **Chapitre II Qualité de service dans 4G LTE**

## II.1. Introduction

L'objectif de tout réseau de télécommunication installé est d'offrir les meilleures performances pour les abonnés. La qualité de service (QoS) est donc un élément clé dans le secteur des télécommunications. Son objectif est de répondre aux exigences minimales des utilisateurs et d'atteindre au maximum les valeurs théoriques des paramètres établies par le 3GP, Dans ce chapitre, nous allons nous intéresser à l'étude des différents paramètres de la QOS ainsi qu'aux performances des réseaux LTE....

## II.2. Définition DE Qualité de Service

Le QoS (en français « Qualité de Service ») fait référence à la capacité à offrir un service (en particulier un support de communication) qui répond à des critères de temps de réponse et de bande passante. En ce qui concerne les réseaux à commutation de paquets (réseaux utilisant des routeurs), la QoS fait référence à la capacité à assurer un niveau de perte de paquets acceptable, défini contractuellement, pour un usage spécifique (voix sur IP, vidéo-conférence, etc. En effet, à la différence des réseaux à commutation de circuits, comme le réseau téléphonique commuté, où un circuit de communication est dédié pendant toute la durée de la communication, il est impossible de prédire sur Internet le chemin emprunté par les différents paquets [13]

## II.3. L'objective de Qualité de Service

Le but des réseaux LTE est de fournir un accès haut débit aux utilisateurs dans une large zone, pour cela, des exigences applicables à ces réseaux ont été définies afin d'optimiser la qualité de service,

Ces éléments sont listés ci-dessous :

- Un spectre élevé d'efficacité permet d'offrir des débits de 300 Mbps pour un accès à faible mobilité.
- Paquet commuté optimisé.
- Délais des transmit faible
- La disponibilité de service.

- Taux de perte de paquets faible [14]

## **II.4. Les niveaux de service**

### **II.4.1. La meilleure initiative :**

Qui ne permet aucune distinction entre différents flux réseaux et ne fournit aucune garantie. On appelle parfois ce niveau de service le manque de qualité de service

### **II.4.2. Le service différencié :**

De définir des niveaux de priorité pour les différents flux réseau, sans néanmoins permet garantir une garantie rigoureuse

### **II.4.3. Le service garanti :**

Également appelé service garanti ou hard QoS, implique de réserver des ressources Réseau pour certains types de flux. Le protocole RSVP (Resource réservation Protocol, Traduisez Protocole de réservation de ressources) est le principal mécanisme employé pour Atteindre un tel niveau de service

## **II.5. Critères de qualité de service**

### **II.5.1. Le débit :**

Il définit le volume ou la vitesse maximale pouvant être atteinte lors d'une communication entre émetteur et récepteur. Il est exprimé en bit par seconde.[15]

### **II.5.2. La latence :**

C'est la durée du trajet d'un paquet de la source jusqu'à la destination, autrement dit c'est la capacité de réagir rapidement à la demande de l'utilisateur. Elle s'exprime en unité de temps.

### **II.5.3. Perte de paquets :**

La perte de paquets se produit lorsqu'un ou plusieurs paquets voyagent sur un réseau et ne parviennent pas à atteindre leur destination. . La plupart du temps, cela est dû à la congestion du réseau.

### II.5.4. La gigue (Jitter) :

La gigue est définie comme la variation de la latence des paquets. Plus précisément, c'est la différence entre les délais de transmissions des paquets.[15]

## II.6. les classes de service

- **Voix** : Regroupe toutes les applications de type conversationnel (Voix, Visio, Conférence,...) qui sont fortement limitées par des objectifs de délai et de gigue, sans possibilité de retransmission des données et nécessitant des débits assez faibles., Les applications multimédias, qu'elles soient diffusées ou non (Vidéo à la Demande - VoD, télévision sur IP - IP TV,...), présentent des contraintes importantes, telles que le taux de perte et le débit, ainsi que dans une moindre mesure le délai et la fluctuation.
- **Vidéo** : Regroupe l'ensemble des applications multimédias, qu'elles soient diffusées ou non (Vidéo à la Demande – VoD, télévision sur IP – IP TV,...), avec des contraintes importantes en termes de perte et de débit, ainsi que dans une moindre mesure en termes de délai et de gigue.

Donnée Collecte toutes les applications de transfert de données qui ne sont limitées qu'à un taux de perte nul et qui peuvent s'adapter à un délai et à une gigue à tout moment. Cette classe est caractérisée par un débit garanti, sans cependant en faire une contrainte stricte.

- **Défaut** : Toutes les applications qui ne nécessitent aucune garantie de qualité de service. Aussi appelé « Best-Effort », c'est le moyen de transport du protocole IP. []

## II.7. Généralité sur le Bearer EPS

Le bearer EPS est un tube (tunnel) réalisé entre l'Union européenne et le P-GW en respectant les spécifications mentionnées dans la session EPS. Lors de la procédure d'enregistrement, le premier bearer EPS construit, appelé default bearer EPS, est mis en place. Un bearer EPS est un tuyau avec des paramètres de qualité de service car les applications ne répondent pas aux mêmes exigences : Un débit garanti (GBR) est nécessaire pour certaines applications telles que le streaming, la visioconférence et la phonie, tandis que le surf et le téléchargement sont suffisants avec le Best Effort (Débit Non Garanti). À l'avenir, il est possible d'envisager l'attribution de critères afin de distinguer les utilisateurs premium, gold ou argent.[3]

II.7.1. Deux types d'EPS Bearer :

- **Le bearer par défaut :** (Default Bearer) : est établi avec les paramètres QCI et ARP fournis par le MME. Sont établis. Ces valeurs dépendent de la souscription de l'utilisateur, dont les informations de souscription sont stockées dans le HSS. Par défaut, le bearer offre une connectivité IP, mais le débit n'est pas assuré
- **Bearer dédiés :** Les bearers dédiés sont des bearers créés à tout moment après l'enregistrement afin de permettre à l'utilisateur de bénéficier de services nécessitant une qualité de service spécifique (latence, débit,...) ainsi que sur d'autres PDN. Le PCRF reçoit les valeurs de QoS au niveau du P-GW et les transfère ensuite au S-GW. Finalement, les valeurs reçues par le S-GW sont transférées vers le eNB (interface S11) par le MME.[3]

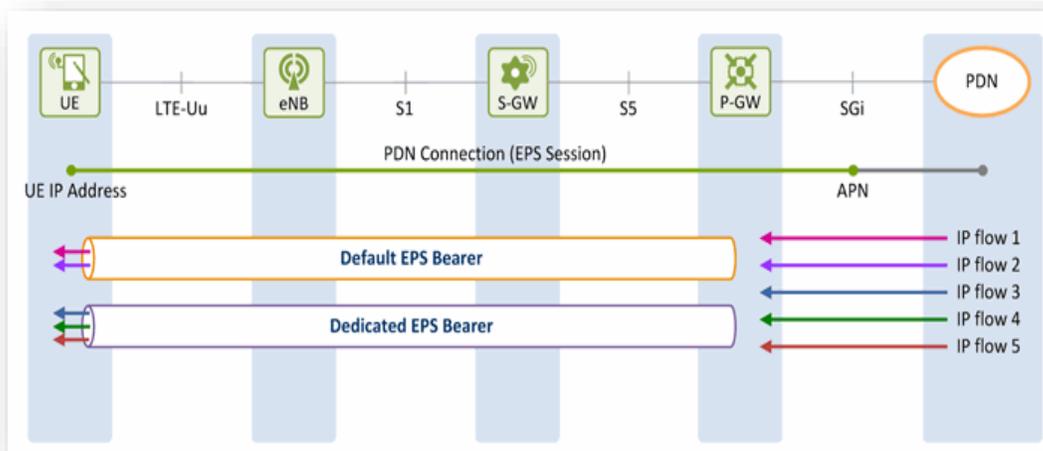


Figure 16: EPS bearer

[3]

Tableau 11. caractéristique qci

QCI	Type de ressource	Priorité	Latence	Taux d'erreur résiduel	Exemple d'utilisation
1	GBR	2	100 ms	10 <sup>-2</sup>	Voix
2	4	150 ms	10 <sup>-3</sup>	TV, Streaming video	

3	3	50 ms	10-3	Jeu interactif	
4	5	300 ms	10-6	Vidéo à la demande	
5	Non GBR	1	100 ms	10-6	Signalisation IMS
6	6	300 ms	10-6	Vidéo à la demande, services basés sur TCP.	
7	7	100 ms	10-6	Voix, streaming vidéo, jeu interactif.	
8	8	300 ms	10-3	Bearer EPS pour les abonnés premium.	
9	9	300 ms	10-6	Bearer EPS pour les abonnés non premium	

## II.8. Les indicateur clé de performance KPIs (key performance indicators)

### II.8.1. Les type de KPI :

Les KPI représentent un ou plusieurs compteurs formulés pour mesurer les performances du réseau en termes d'accessibilité, d'intégrité, de mobilité, de conservation et de qualité perçue par l'abonné. On peut les décrire comme une série de résultats qui évaluent les performances au cours des heures chargées ou normales sur le réseau entier. Les principaux KPIs en LTE sont :

**II.8.1.1. Accessibility (Accessibilité) :**

Les indicateurs clés d'accessibilité (KPI) sont utilisées pour évaluer la probabilité que les services demandés par un utilisateur puissent être consultés dans les tolérances spécifiées, pour les conditions d'exploitation données est la possibilité pour l'utilisateur d'accéder au Réseau en tout temps.

**II.8.1.2. Retainability (Continuité) :**

C'est la probabilité qu'un service une fois obtenu continue d'être fourni dans des conditions données pour une durée donnée Les indicateurs clés de performance de continuité sont employés afin d'évaluer la capacité du réseau à assurer la continuité des services demandés par un utilisateur pour une durée souhaitée une fois que l'utilisateur est connecté au service.

On peut découper la notion de performance des indicateurs clés de performance de la continuité en deux parties

- Le facteur de normalisation
- La libération anormale.

**II.8.1.3. La Mobilité :**

C'est la capacité de l'utilisateur à se déplacer sur le réseau pendant l'utilisation du service.

**II.8.1.4. Intégrité :**

C'est le degré de fourniture d'un service sans altération excessive, une fois Obtenu, Il existe de nombreux indicateurs d'intégrité différents basés sur les compteurs pm, en fonction du service. BLER (taux d'erreur de blocage) est un bon indicateur pour tous Les services (à l'exception du PS HSDPA)

**II.8.1.5. L'utilisation :**

Les indicateurs clés de performance d'utilisation sont employés afin d'évaluer la capacité du réseau à satisfaire les besoins des utilisateurs en termes de trafic ainsi que d'autres caractéristiques spécifiques à l'équipement

**II.8.1.6 La disponibilité :**

Les KPI de disponibilité consistent à avoir la visibilité sur la présence du réseau. Elle passe par une bonne couverture des populations et dans la continuité. Ce ci dépendra en grande partie de la présence continue d'une source d'énergie.[16]

**II.9.Déroulement de l'optimisation :**

Le but principal de l'optimisation d'un réseau cellulaire est de résoudre les problèmes constatés après la mise en service du réseau, pour cela l'analyse quotidienne des indicateurs clés de performance (KPI) permet aux ingénieurs d'avoir une vision globale sur le déroulement des connexions dans chaque région et leur permettre ainsi de localiser les zones des problèmes. Le travail de l'ingénieur consiste à trouver des solutions à chaque problème rencontré afin d'assurer aux abonnés une meilleure qualité de service. L'optimisation comporte six volets essentiels comme mentionné ci-dessous :

**II.9.1.Radio fréquence physique (RF physical) :**

C'est le changement des plans de planification pour régler les problèmes d'interférences. Parmi les KPIs utilisés nous citons: SINR, RSRP, RSRQ et RSSI.

**II.9.2.Throughput :**

C'est l'optimisation des taux de téléchargement qui concerne le sens montant UL et descendant DL. Parmi les KPI utilisés nous citons: Throughput DL-UL et PRB Usage. Son expression est la suivante :

**II.9.3.Signalisation :**

C'est l'optimisation des processus d'authentification, de sécurisation et d'établissement des services. Parmi les KPI utilisés nous citons : KPI Random Access et KPI RRC.

**II.9.4 .Appels et Données :**

Ce volet concerne l'optimisation de la capacité du réseau à stocker les appels et le téléchargement des données par un utilisateur pendant une durée déterminée. Parmi les KPI utilisés nous mentionnons : Radio Bearer Drop Ratio et RRC connection Re- Establishment.

**II.9.5.La Mobilité :**

C'est l'optimisation du processus Handover. Parmi les KPI's utilisés nous citons : HO Success Ratio, Intra HO SR, Inter S1based HO et Inter X2 based HO.

### II.9.6.La Capacité du réseau

C'est l'optimisation des formats des canaux logiques et physiques, pour augmenter le nombre d'utilisateurs. Parmi les KPI's utilisés nous citons : PDCP Throughput, PRB Usage, PDCCH Optimization. [17]

## II.10.Mesures pratique des KPI's

### II.10.1.Drive teste

C'est une technique de mesure pour localiser et analyser un problème géographiquement dans un réseau mobile en termes de couverture, capacité et exigence de qualité de service. Aussi, cette technique donne des informations sur les Handovers, les coupures de lien radio et les cellules voisines en parcourant les rues avec un véhicule, pour effectuer des mesures, Les deux étapes principales de l'analyse du Drive Test sont la collecte de données et l'analyse de données.

Il existe deux types de drive teste :

- ✓ **Drive teste indoor** : les mesures sont faites dans une petite zone, à l'intérieur d'un immeuble, d'une entreprise ou bien d'une faculté.
- ✓ **Drive Test Outdoor** : les mesures sont faites dans une grande zone (à l'extérieur), couverte par eNodeB.[17]

### II.10.2.Outils drive test

La méthode du Drive Test, consiste à embarquer sur une voiture les équipements suivants :

- **Un ordinateur portable** : il permet d'automatiser l'acquisition et le stockage des Données. Le PC doit être doté d'un logiciel spécifique (TEMS Investigation) pour enregistrer les mesures.
- **Un GPS (Global Positionner System)** : pour déterminer la localisation géographique de la position exacte de chaque point de mesure.
- **Un mobile à trace** : un ou plusieurs mobile, selon le type des tests à veut effectuer .C'est un mobile de test avec double capacité 3G/4G équipé d'un logiciel spécifique.

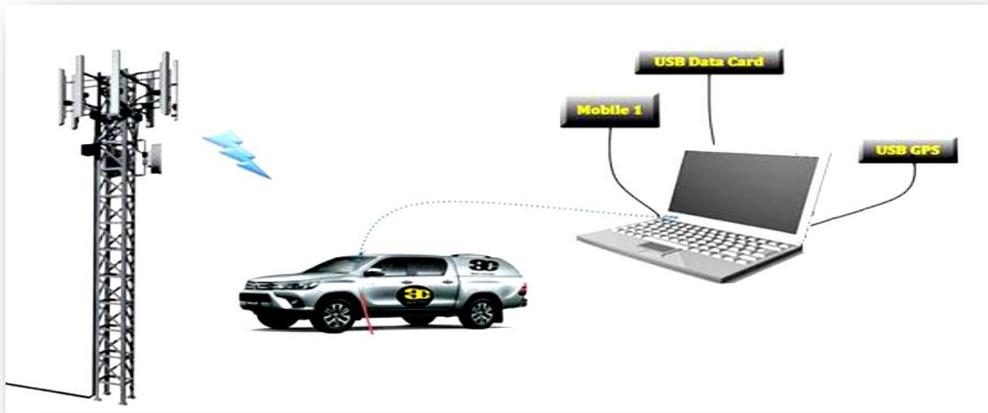


Figure 17: composants d'un drive test

[17]

### II.10.3. Logiciel utilisé (*TEMS Investigation*)

Le software TEMS Investigation est un excellent outil destiné aux vérifications, optimisation et maintenance des réseaux sans fils, fournissant alors la collecte et l'analyse des données en temps réel. Avec l'utilisation de TEMS Investigation, les opérateurs peuvent atteindre une qualité de voix améliorée, une plus grande accessibilité et une conservation améliorée. Ce qui rend ce logiciel essentiel tout au long de la durée de vie du réseau. Ainsi, IL permet de:

Régler et optimiser les réseaux.

- Détecter les pannes et dépanner les réseaux sans fil.
- Vérifier le comportement variable d'un terminal avec des mesures fondées sur le téléphone.
- Vérifier la couverture et la capacité de la cellule, ainsi que l'accessibilité

### II.10.4. Les types

#### II.10.4.1. Type SSV (Single Site Vérification)

Le but principal du SSV est de vérifier le bon fonctionnement de chaque nouveau site SSV, en veillant à ce que chaque site soit correctement installé et que les paramètres soient correctement configurés. Le SSV consiste à appliquer une méthode de vérification lorsque la vérification de tous les indicateurs clés de performance (KPI) permettant d'analyser la qualité d'un site unique de l'eNodeB est nécessaire.



Figure 18: vérification SSV

[17]

#### II.10.4.2. Vérification multi-sites MSV

La zone qui concerne l'optimisation est divisée en des domaines distincts connus sous le nom de clusters. Le test de conduite implique donc de parcourir les rues de chaque cluster en enregistrant les informations nécessaires dans des fichiers de référence. En utilisant les seuils préétablis, l'analyse des éléments sera plus claire afin d'obtenir une décision sur l'utilisation du réseau, comme par exemple : Évalué la modification du PDSCH de Throughput afin d'atteindre l'amélioration souhaitée.

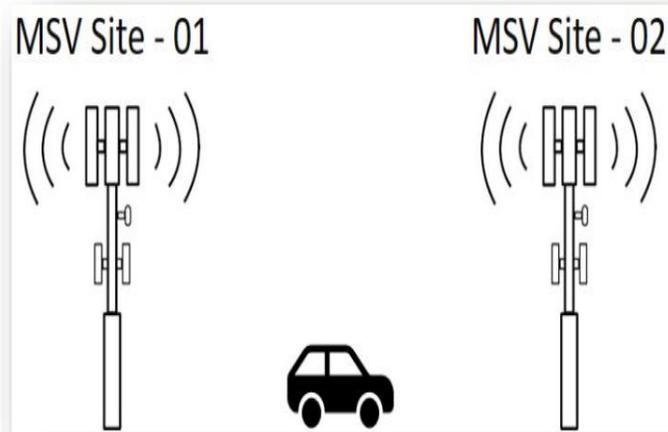


Figure 19: vérification multi-sites MSV

[17]

## II.10.5. Les paramètres de drive teste

### II.10.5.1. Indication de la puissance du signal reçu RSSI

Ce paramètre, réalisée par la couche physique du l'UE, il est utilisé pour représenter la puissance totale du signal reçu. indique que le RSSI englobe le signal transmis, le bruit et les interférences.

$$\text{RSSI} = \text{bruit} + \text{puissance de cellule de dessert} + \text{puissance de signale reçu}$$

### II.10.5.2. Puissance reçu des signaux de référence RSRP

Le paramètre RSRP correspond à la contribution de puissance moyenne linéaire (en [W]) des signaux de référence de liaison descendante (RS) à travers la bande passante du canal pour l'élément de ressource (RE) qui transmet des signaux de référence spécifiques aux cellules. La compréhension du RSRP absolu permet à l'UE d'obtenir des informations cruciales sur la puissance du signal des cellules, permettant ainsi de calculer les pertes de chemins et d'utiliser ces informations dans des algorithmes pour déterminer les réglages d'alimentation optimaux pour l'exploitation du réseau.

$$\text{RSRP}(\text{dBm}) = \text{RSSI} - 10 * \log(12 * N)$$

### II.10.5.3. Rapport d'interférences signal sur bruit SINR

Ce para est un indicateur de la qualité de la transmission d'une information qu'Is exprimé en décibels (dB). Il illustre le rapport entre le signal et le bruit. L'influence directe du RSRQ sur le SINR est illustrée par l'expression du SINR en fonction du RSRQ de l'équation.

$$SINR = \frac{1}{\frac{1}{12RSRQ} - X}$$

Où:  $X = \frac{RE}{RB}$  représente le taux d'utilisation d'un RB utilisé par un ensemble d'UE qui interfèrent.

### II.10.5.4. Qualité de signal de référence reçu RSRQ

nous permette de calculer le RSRQ à partir des valeurs des RSRP et le RSSI obtenus préalablement

$$RSRQ = 10 * \log\left(\frac{N * RSRP}{RSSI}\right)$$

Où: N est le nombre de ressources block physique

### II.10.5.5. Indicateur de la qualité du canal (CQI)

Dans le réseau LTE, le terminal utilise le CQI afin de signaler la qualité du canal à l'eNodeB. La valeur de CQI rapportée varie de 0 à 15. Cela indique le niveau de modulation et de codage que l'UE pourrait opère, Les indices CQI et leurs interprétations sont présentés dans la figure ci-dessous, en utilisant les modulations QPSK, 16QAM et 64QAM.

CQI index	modulation	code rate x 1024	efficiency
0	out of range		
1	QPSK	78	0.1523
2	QPSK	193	0.3770
3	QPSK	449	0.8770
4	16QAM	378	1.4766
5	16QAM	490	1.9141
6	16QAM	616	2.4063
7	64QAM	466	2.7305
8	64QAM	567	3.3223
9	64QAM	666	3.9023
10	64QAM	772	4.5234
11	64QAM	873	5.1152
12	256QAM	711	5.5547
13	256QAM	797	6.2266
14	256QAM	885	6.9141
15	256QAM	948	7.4063

Figure 20: interprétations basées sur QPSK, 16QAM, 64QAM et 256 QAM des CQI

[17]

#### II.10.5.6. Taux d'erreur sur les blocs BLER

Le BLER est le rapport entre le nombre de blocs erronés reçus et le nombre total de blocs envoyés.

### II.11. Conclusion

Dans le deuxième chapitre Nous avons introduit en premier lieu la notion de la qualité de service QOS est leurs paramètres, puis nous avons exposé les différents types des indicateurs de performance KPI qui gèrent l'optimisation du réseau d'accès radio, comme l'accessibilité, La mobilité l'intégrité et la disponibilité à la fin de ce chapitre nous avons étudié la nation drive test, Le chapitre suivant concerner la solution de l'agrégation de porteuses.

## **Chapitre III Études et optimisation de l'agrégation de porteuses entre différentes bandes passant TDD /FDD**

### III.1. Introduction

En raison de la forte demande des services à large bande, la capacité d'une seule porteuse dans une cellule n'est plus adéquate pour offrir la meilleure qualité, cela est dû à la limitation de la largeur maximale du spectre LTE (20 MHz). La proposition de multi-porteuse est devenue donc une solution attrayante, dans ce contexte, l'agrégation de porteuses CA (carrier agrégation) ou plusieurs porteuses sont agrégées pour étendre la bande passante efficace est considérée comme une caractéristique clé des systèmes cellulaires de nouvelle génération.

### III.2. Agrégation de porteuses

L'agrégation de porteuses est une nouvelle technologie d'accès radio qui permet d'associer plusieurs composantes porteuses LTE (version 8) à un même équipement utilisateur LTE-A. Pour augmenter la largeur de bande de transmission globale. Il est possible que ces canaux se situent dans des éléments de spectre proches ou dans des éléments différents. La problématique principale de la 4G LTE réside dans la disponibilité du spectre. Dans de nombreuses régions, il n'y a généralement que de petites bandes disponibles par des fragments de 10 MHz. Même en améliorant l'efficacité spectrale, il n'est pas possible de fournir les débits de données spécifiques nécessaires dans le canal de 20 MHz maximum. La seule solution pour atteindre des débits de données plus élevés est d'augmenter la largeur de bande globale utilisée. L'ITM Advanced établit une limite supérieure à 100 MHz, mais prévoit 40 MHz. Une fois que les segments du spectre ne sont plus utilisés, il est possible de les réaffecter, ce qui entraîne des niveaux importants de fragmentation. Pour un terminal LTE, chaque porteuse composante apparaît comme une porteuse LTE, alors que pour un terminal LTE-Advanced, il est possible de profiter de la largeur totale de bande agrégée. L'agrégation de porteuses peut être utilisée à la fois pour les FDD et les TDD, chaque porteuse agrégée est désignée comme porteuse composante. La largeur de bande de la porteuse composante peut atteindre [1,4 ; 3 ; 5 ; 10 ; 15 ; 20] MHz et il est possible d'agréger jusqu'à cinq porteuses composantes peuvent être agrégées. Le nombre de porteuses d'agrégats peut être différent en DL et UL, pourtant, le nombre de porteuses composantes UL n'est jamais plus élevé que le nombre de porteuses composantes DL. (Voir la figure III.1)

- a) Agrégation de cinq composantes porteuses contiguës avec de bande passante similaire.
- b) Agrégation de trois composantes porteuses non- contiguës avec de bande passante distinctes.

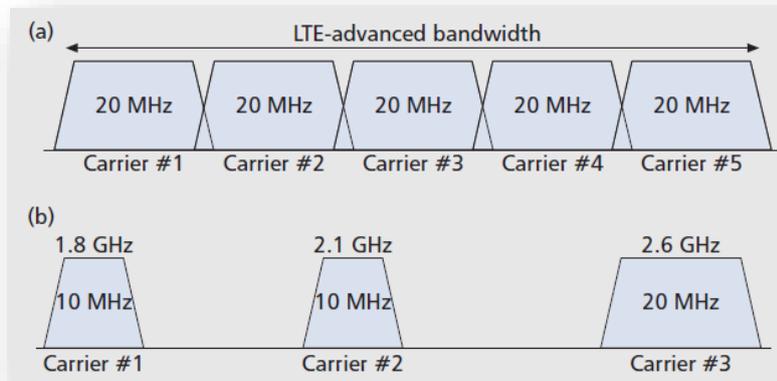


Figure 21: Exemple d'agrégation de porteuses

[18]

### III.3. Évolution de l'agrégation de porteuses

L'agrégation de porteuses est l'une des rares fonctions qui permet d'accroître la capacité et la vitesse du réseau. Depuis l'évolution de ces versions, la capacité de vitesse de pointe a considérablement augmenté.

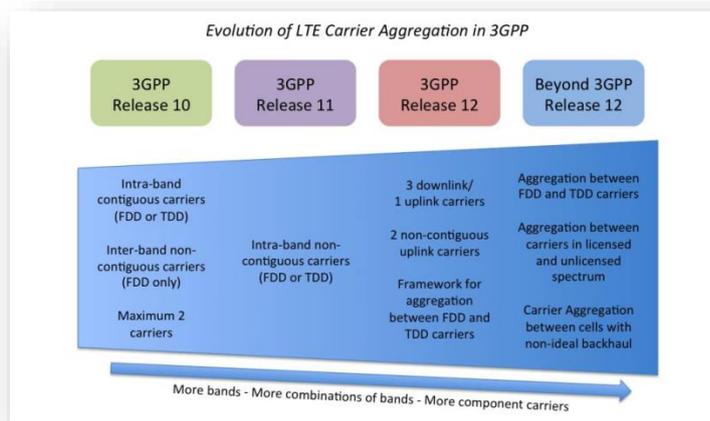


Figure 22: Évolution de l'agrégation de porteuses

[18]

### Chapitre III Études et optimisation de l'agrégation de porteuses entre différentes bandes passant TDD /FDD

---

- **Release 10** : LA Version 10 du 3GPP a introduit un ensemble limité d'option d'agrégation de porteuses comme le résume le tableau suivant :

10

Tableau 12. Options d'agrégation de porteuses de la version

Type	Duplex	Porteurs max	Spectre max	Bande LTE
Intra-bande contiguë	FDD	2	40MHz	2,1GHz
Intra-bande contiguë	TDD	2	40MHz	2,3GHz
Intra-bande non contiguë	FDD	2	20MHz	2,1GHz850MHz

La version 10 a créé un précédent pour l'agrégation de porteuses LTE à répondre à certaines exigences spécifiques initiales, mais ce n'était qu'un début. Le système LTE est compatible avec plus de 40 bandes de fréquences différentes, ce qui lui permet de s'ajuster aux diverses situations Répartition des fréquences dans diverses régions du globe.

- **Release 11**

La version 11 du 3GPP ajoute beaucoup plus d'options de bande au mode de fonctionnement existant et introduit également la possibilité d'un fonctionnement intra-bande non contiguë en FDD et TDD, comme le résume le tableau suivant :

[11]

Tableau 13.options d'agrégation porteuses de la version

Type	Duplex	Porteuse max	Spect max	Bande LTE
Intra-bande Contiguë	FDD	2	40MHz	2 .1 GHz2 .6 GHz
Intra-bande contiguë	TDD	2	40MHz	2.6GHz2 .3GHz2.6GHz
Intra-bande non contiguë	FDD	2	20MHz	1.9 GHz
Intra-bande non contiguë	TDD	2	20MHz	2 .6 GHz
Intra-bande non contiguë	FDD	2	20MHz-40MHz(Selonles bandes)	2 1 paires de bande

- **Release 12**

Dans la version 12 du 3GPP, de nouvelles bandes de fréquences et combinaisons de bandes seront ajoutées aux modes d'agrégation de porteuses déjà en place. De plus, elle proposera deux nouvelles options, offrant la possibilité de trois porteuses en liaison descendante/une porteuse en liaison montante, ainsi que deux porteuses non contiguës en liaison montante .Le 3GPP étudie également divers autres développements captivants :

- ✓ Agrégation de porteuses entre cellules
- ✓ Agrégation de porteuse TDD avec le porteur FDD
- ✓ Agrégation de porteuse sur des bandes sous licence et sans licence

### **III.4. Le principe et fonctionnement**

Avec la normalisation du 3GPP, qui définit que la largeur de bande doit être comprise entre 1,4 MHz et 20 MHz, et du fait que la plupart des opérateurs ont des attributions de spectre inférieures à 20 MHz dans des blocs contigus ou de plusieurs bandes dans des blocs de spectre non contigus, , l'utilisation d'une seule porteuse en

### Chapitre III Études et optimisation de l'agrégation de porteuses entre différents bandes passant TDD /FDD

LTE avec un bloc de 20 MHz est limitée, et encore plus dans le bloc de 20 MHz et encore plus si l'on considère que l'objectif principal du LTE-Advanced est de prendre en charge jusqu'à 100 MHz de largeur de bande. Par ailleurs, en raison des conditions imposées par le spectre radioélectrique, il existe des obstacles à l'attribution de grands blocs et du spectre disponible sur chaque bande établie par le 3GPP. Pour surmonter ce problème et en raison de la nécessité d'accroître la capacité du réseau en optimisant l'expérience de navigation de l'utilisateur, il faut accroître le trafic lié à la fourniture de services vocaux et de données. Le LTE-Advanced, à partir de la version 10, introduit une nouvelle technique appelée agrégation de porteuses (CA), qui selon le LTE-Advanced et selon le 3GPP qu'un terminal mobile (UE) peut émettre et recevoir sur un maximum de 5 porteuses distinctes, chacune ayant une largeur de bande maximale de 20MHz, ce qui permet une ce qui permet une largeur de bande maximale de 100 MHz. [18]

#### III.5. Les types d'agrégation de porteuses

Il existe trois types d'agrégation de porteuses sont définis dans le 3GPP afin de répondre aux scénarios de spectre des opérateurs comme montrer dans la figure :

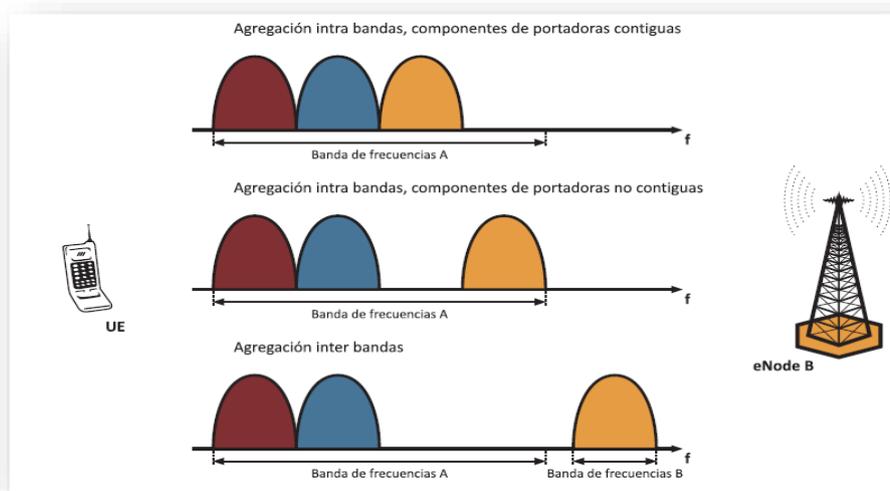


Figure 23: types d'agrégations de porteuses

[1]

✓ **Intra-bande :**

Cette forme d'agrégation de porteuses utilise une seule bande Il existe deux principaux formats pour ce genre d'agrégation de porteuses :

• **Contiguës**

L'agrégation des porteuses contiguës se fait en continu dans le spectre, ce qui signifie que les différents porteurs sont agrégés côte à côte en fréquence.[19]

Voici quelque exemple de cette configuration :

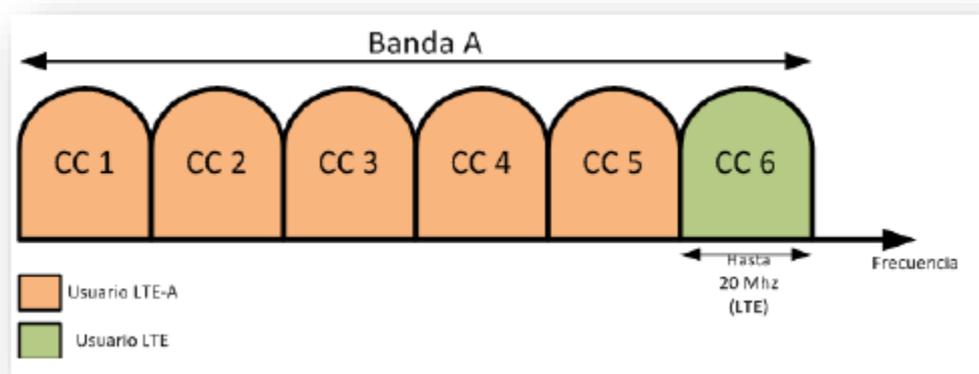


Figure 24: Intra-bande contiguës

[19]

• **Non Contiguës**

Agrégation intra bande avec des composants non contigus. Elle implique l'utilisation de porteuses situées sur la même bande de fonctionnement mais qui ne sont pas adjacentes en fréquence.

Ce type d'AC est plus difficile à mettre en place car le signal ne peut pas être exploité comme une seule transmission, de sorte qu'il faut au moins deux émetteurs ou plus, ce qui entraîne une augmentation du coût de l'équipement.

Voici des exemples qui montrent les porteuses dans le spectre

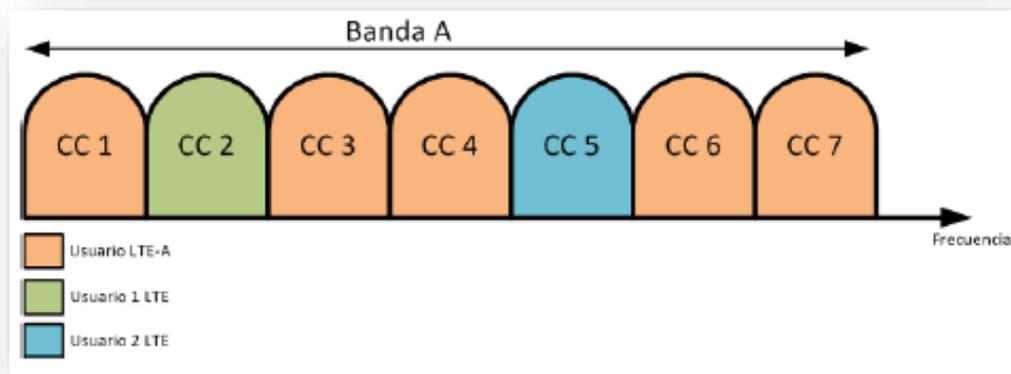


Figure 25: Intra-bande non-contiguë

[19]

✓ **Inter-bande non contiguë**

Dans ce type de CA, les deux porteuses se trouvent dans des bandes différentes. Ces porteuses combinées peuvent être transmises simultanément à destination ou en provenance du même terminal, ce qui permet d'obtenir une performance spécifique beaucoup plus élevée. La mise en œuvre du matériel utilisateur pour ce type est la plus complexe, car une seule chaîne RF est limitée en termes de bande de fréquences. [19]

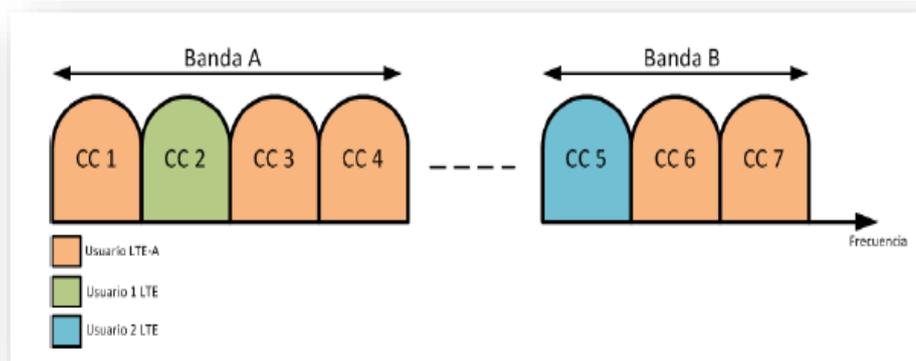


Figure 26:inter-bande non contiguë

[19]

### III.6. Scénarios de déploiement

L'agrégation de porteuse permet divers déploiements de réseau. En général, Elle est couramment employée afin d'améliorer les débits de données pour les utilisateurs dans

des zones où les cellules se chevauchent (limites de cellules). Cependant, l'agrégation de porteuse peut également être utilisée pour atténuer les interférences entre cellules dans des réseaux hétérogènes. Les scénarios de déploiement réseau suivants ont été pris en compte lors du développement de la LTE-A, Bien qu'illustré avec des porteuses à deux composantes aux fréquences  $f_{c1}$  et  $f_{c2}$ , le concept peut être généralisé à n'importe quel nombre de porteuses de composantes :

- **Scénario de déploiement 1**

Dans ce cas, les cellules avec les fréquences porteuses  $f_{c1}$  et  $f_{c2}$  sont (géographiquement) co-localisées, et leur couverture est superposée avec  $f_{c1}$  et  $f_{c2}$  dans la même bande de fréquence. Elles offrent approximativement la même couverture. Ce scénario d'agrégation de porteuses atteint des débits de données plus élevés dans toute la cellule, où les deux couches offrent une couverture et une mobilité suffisantes. Un exemple de scénario est le cas où  $f_{c1} = 2000$  MHz et  $f_{c2} = 800$  MHz sont de la même bande où l'agrégation est possible entre les cellules superposées. [20]

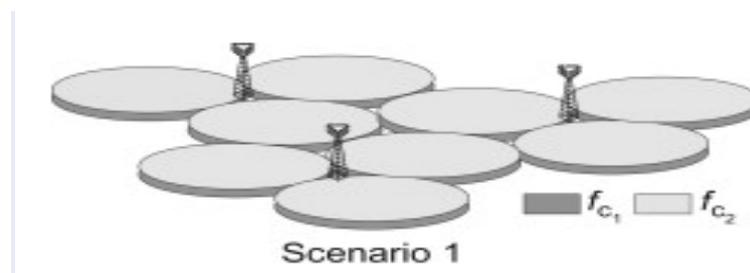


Figure 27: scénario 1

- **Scénario de déploiement 2**

Dans ce cas, les cellules avec les fréquences porteuses  $f_{c1}$  et  $f_{c2}$  sont co-localisées et superposées avec  $f_{c1}$  et  $f_{c2}$  dans différentes bandes de fréquence. Une couverture différente est fournie sur différentes porteuses en raison de la plus grande perte de trajet dans la bande de fréquence supérieure. La mobilité est généralement prise en charge sur le support dans la bande de fréquence inférieure, ce qui fournit en outre une couverture suffisante. La porteuse dans la bande de fréquence supérieure est utilisée pour améliorer les débits de données. Les cellules  $f_{c1}$  et  $f_{c2}$  sont co-localisées et superposées, mais  $f_{c2}$  a une couverture plus faible en raison d'une perte plus importante

de trajet. En d'autres termes, seul  $fc1$  fournit une couverture suffisante et  $fc2$  est utilisée pour améliorer le débit. Un exemple de scénario serait le cas où  $fc1 = \{800 \text{ MHz}, 2000 \text{ MHz}\}$  et  $fc2 = 3500 \text{ MHz}$  où l'agrégation est possible entre les cellules superposées

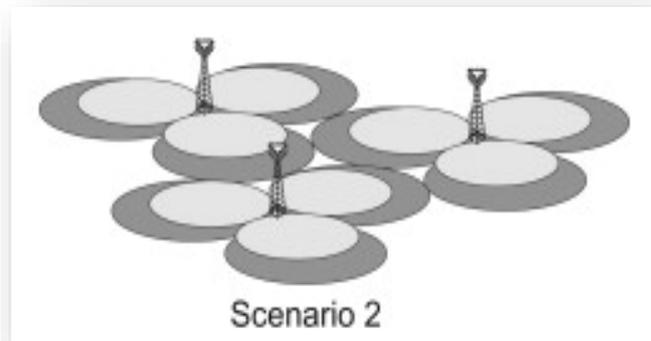


Figure 28: scenario 2

- **Scénario de déploiement 3**

Dans ce cas, les cellules comprenant les fréquences porteuses  $fc1$  et  $fc2$  sont co-localisées avec  $fc1$  et  $fc2$  dans différentes bandes de fréquences. Les antennes pour les cellules de  $fc2$  sont dirigées vers les limites des cellules de  $fc1$  pour améliorer les débits de données au bord des cellules. En raison de perte de trajet plus importante, il existe des trous de couverture pour les cellules de la bande de fréquences supérieures sur lesquelles la gestion de la mobilité n'est généralement pas effectuée. L'agrégation de porteuse est prise en charge dans les zones avec couverture de chevauchement et la mobilité est basée sur la couverture  $fc1$ . Un exemple serait le cas où  $fc1 = \{800 \text{ MHz}, 2000 \text{ MHz}\}$  et  $fc2 = 3500 \text{ MHz}$  dans lequel l'agrégation est possible entre les cellules superposées.

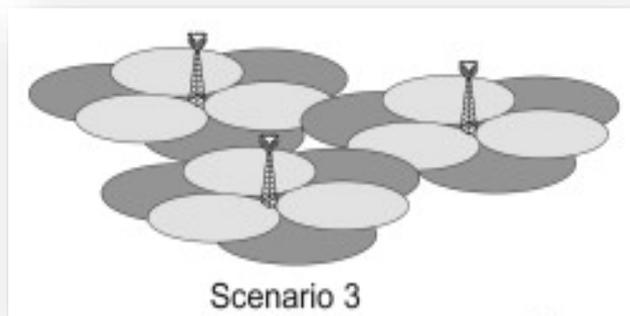


Figure 29: scenario 3

- **Scénario de déploiement 4**

Dans ce cas, les cellules associées à la fréquence porteuse  $fc1$  assurent une macro-couverture et des têtes radio distantes (RRH) correspondant à la fréquence porteuse  $fc2$  sont utilisées pour améliorer le débit aux points chauds. La mobilité est effectuée sur la base de la couverture cellulaire de fréquence  $fc1$ . Dans ce scénario de déploiement, les fréquences porteuses  $fc1$  et  $fc2$  sont généralement de bandes différentes. L'agrégation de porteuses est applicable aux utilisateurs dans la couverture des RRH et des macro-cellules sous-jacentes. Un exemple serait le cas où  $fc1 = \{800 \text{ MHz}, 2000 \text{ MHz}\}$  correspond à une cellule plus grande et  $fc2 = 3500 \text{ MHz}$  correspond à une cellule plus petite, dans laquelle l'agrégation est possible entre les cellules superposées.



Figure 30: scenario 4

- **Scénario de déploiement 5**

ce cas ressemble au deuxième cas où des répéteurs sélectifs de fréquence ou des systèmes d'antennes distribuées sont également mis en place afin d'élargir la couverture pour l'une des fréquences porteuses. Il est prévu qu'il soit possible d'agréger les cellules  $fc1$  et  $fc2$  du même eNB là où la couverture se chevauche [20]

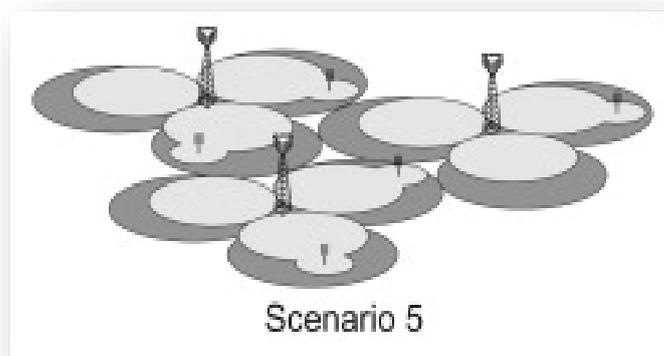


Figure 31: scenario 5

### **III.7. Effet de l'agrégation de porteuses sur la liaison descendante DL**

Dans la liaison descendante, l'ajustement clé réside dans la signalisation associée, car l'UE doit désormais obtenir des informations sur les allocations à toutes les porteuses qu'elle peut recevoir. Le champ d'informations concernant l'opérateur CIF détermine l'opérateur qui est en train de planifier la liaison descendante. S'il est possible de trouver l'espace de recherche PDCCH spécifique à l'UE sur n'importe quelle porteuse, l'espace de recherche commun pour l'UE est restreint à une seule porteuse composante (Pcell). En utilisant le PDCCH (espace de recherche spécifique à l'UE), l'eNodeB peut fournir des données sur n'importe quelle porteuse qui indique qu'il existe des données sur une autre porteuse. On désigne cela sous le nom de planification inter-opérateurs. Nous citons dans le tableau ci-dessous quelque bande utilisée par l'opérateur DJEZZY :

Tableau 14.quelque bande utilisée par l'opérateur DJEZZY

Bande de fonctionnement E-UTRAN	Bande de fonctionnement DL: BS transmet UE reçoit	Duplex Mode
	$F_{DL\_low} - F_{DL\_high}$	
1	2110 MHz - 2170 MHz	FDD
3	1805 MHz - 1880 MHz	FDD
8	925 MHz - 960 MHz	FDD
40	2300 MHz - 2400 MHz	TDD

### III.8. Agrégation de porteuses et mobilité

Avec l'agrégation de porteuses, il n'y a qu'une seule connexion RRC lorsqu'il y a une activation du CA, ce qui signifie que différentes porteuses ne fonctionnent pas de manière autonome. La cellule de services chargée de gérer l'entrée de sécurité liée à la création/rétablissement de la connexion RRC devient la cellule de service principale (Pcell). Dès lors, l'eNodeB a la possibilité de configurer un nombre adéquat de SCells (qui comprennent des SCC de liaison descendante et éventuellement aussi de liaison montante, selon les capacités de l'UE).

La mobilité basée sur les mesures de la PCell (elle sert de référence pour la mesure sauf si celle-ci est réalisée sur une fréquence où une SCell est configurée) et le rétablissement éventuel de la connexion est déclenché lorsque la PCell rencontre une défaillance de la liaison radio RLF. Un RLF sur une SCell n'entraîne pas de guérison. Si l'utilisateur a configuré son équipement pour le faire, il peut également fournir des informations sur la meilleure cellule non desservie sur une autre fréquence. On garantit la rétrocompatibilité en envoyant le message de transfert vers la cellule cible.

Dans le contexte du HandOver intra-système, il est possible d'ajouter ou de retirer des SCells en fonction des ressources disponibles dans la cellule cible. la cellule source peut fournir des

### Chapitre III Études et optimisation de l'agrégation de porteuses entre différentes bandes passant TDD /FDD

information sur la cellule qui conviendrait car la Scell a basé les les mesures de l'UE en fonction des conditions radio .La cellule cible conjointement avec la commande de Transfer, peut alors reconfigurer L4UE pour abandonner les SCell si CA ne doit pas être utilisé. Il est possible que cela soit causé par des problèmes de charge ou lors du transfert vers une cellule qui ne prend pas en charge le CA, comme illustré dans la figure suivant

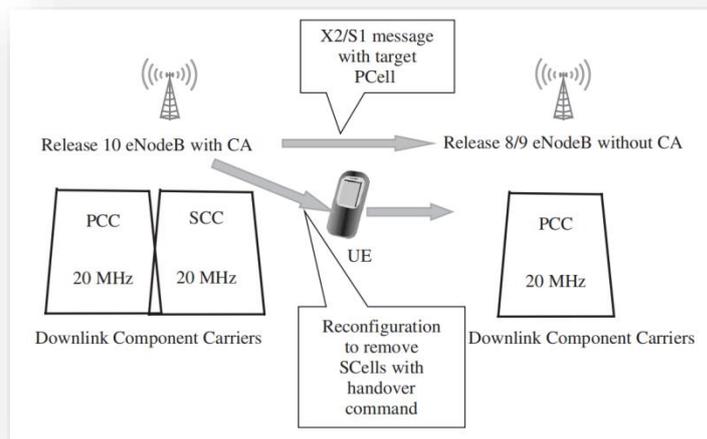


Figure 32: mobilité en fonction d'agrégation de porteuses

[17]

### III.9. Modes de configuration

L'AC fonctionne en mode de configuration basé sur les groupes d'AC et en mode adaptatif. Le mode adaptatif est recommandé. Un changement de mode de configuration peut entraîner des modifications dans les combinaisons de cellules qui peuvent être agrégées, le nombre d'unités de licence à déduire et les routes intercellulaires. Cela peut entraîner la configuration ou la suppression de cellules.

- **Mode de configuration basé sur les groupes CA :** Le mode de configuration basé sur le groupe CA est activé en désélectionnant l'option `FreqCfgSwitch` du paramètre `ENodeBAlgoSwitch.CaAlgoSwitch`. Ce mode, comme le montre la figure 4-2, fonctionne lorsque plusieurs cellules sont configurées dans un groupe CA, défini par le `MO CaGroup` sur l'eNodeB. Seules les cellules du groupe peuvent être agrégées. La configuration aveugle des cellules est prise en charge dans ce mode. Elle nécessite que l'option `ScCellBlindCfgSwitch` du paramètre `ENodeBAlgoSwitch.CaAlgoSwitch` soit

sélectionnée et que le paramètre `CaGroupSCellCfg.SCellBlindCfgFlag` soit réglé sur TRUE.[21]

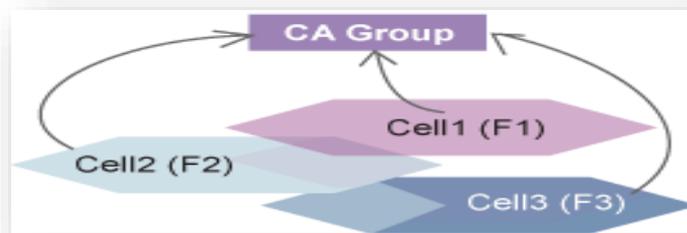


Figure 33: Mode de configuration CA groupes

[21]

- **Mode de configuration adaptative**

Le mode de configuration adaptative est activé en sélectionnant les options `FreqCfgSwitch` et `AdpCaSwitch` du paramètre `ENodeBAlgoSwitch.CaAlgoSwitch`. Ce mode, comme le montre la figure, fonctionne lorsque les fréquences PCC et SCC candidates sont définies à l'aide des modes opératoires `PccFreqCfg` et `ScfFreqCfg` sur l'eNodeB. Seules les cellules sur ces fréquences peuvent être agrégées. L'option `ScfBlindCfgSwitch` du paramètre `ENodeBAlgoSwitch.CaAlgoSwitch` doit être sélectionnée et le paramètre `CaGroupSCellCfg.SCellBlindCfgFlag` doit être réglé sur TRUE. Pour plus de détails sur la configuration aveugle des cellules [21]

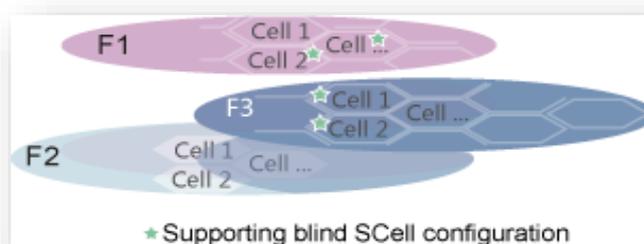


Figure 34: Mode de configuration adaptative

[21]

**III.10. Conclusion :**

Récemment, la technologie d'agrégation de porteuses CA est devenue l'une des technologies les plus importantes dans les systèmes de télécommunications. Dans ce chapitre, nous nous sommes familiarisés avec le concept de l'agrégation de porteuse CA dans le réseau 4G (LTE-TDD, LTE-FDD) et avons introduit les types, scénarios de déploiement et fréquences à attribués.. Le prochain chapitre, est consacré à l'étude et l'interprétation des différents résultats obtenus par l'étude de la combinaison

## **Chapitre IV Résultats et Interprétations**

### IV.1. Introduction

Il est nécessaire de garder à l'esprit que l'objectif principal d'un opérateur quelconque est d'obtenir une qualité de service (QOS)optimal au moindre cout pour répondre aux besoin de ses clients. parmi les solutions utilisées actuellement pour l'amélioration du réseau 4g chez DJEZZY est la technique d'agrégation de porteuses CA dans le réseau 4G (LTE-TDD LTE-FDD), Pour cela dans ce chapitre nous avons effectués des tests de désactivation et réactivation de CA sur deux sites, ensuit nous avons interprété et analyse les résultats obtenues. Et ce afin de pouvoir porter un jugement sur l'efficacité de la solution sur les sites de fortes congestions et de déterminer si l'investissement fourni pour le projet est effectivement bénéfique tout autant à l'opérateur qu'à l'utilisateur

### IV.2. Déploiement et scénarios de l'agrégation de porteuses

Pour faire notre teste de CA on choisit deux sites :

- Le premier Site est situé à bordj elkifan sous le Code site A16X623 on agrégé 2 bande de fréquences (combinaison 2cc)

Cellule 1: Frequency band 3 (1800 MHz) DL bandwidth=15M

Cellule 2: Frequency band 1 (2100 MHz) DL bandwidth=20M

- Le deuxième site situe à dar el Beida sous le code (4A16M758) on agrégé 3 bande fréquences (combinaison 3cc)

Cellule 1: Frequency band 3 (1800MHZ), DL bandwidth=15M

Cellule 2 : Frequency band 1 (2100MHZ), DL bandwidth=20M

Cellule 3 : Frequency band 8 (900MHZ), DL bandwidth=3M

### IV.3. Présentation et interprétation des résultats

La présentation et l'interprétation des résultats obtenus avec la solution d'agrégation de porteuses CA dans le réseau 4G (LTE-TDD LTE-FDD) sont montrées et expliquées comme suit :

- ✓ La première partie sera consacrée aux résultats OSS à partir des KPI obtenus sur l’outil de supervision du réseau PRS
- ✓ La deuxième partie sur les données obtenues par le Drive Test

**IV.3.1. Résultats obtenu à partir de PRS sur le site A16X623**

L’outil (PRS) de Huawei est solution intégrée qui permet de visualiser, enregistrer et les performances de réseau mobile, par technologie GSM, UMTS et LTE et par NE (Network Element) sous forme de rapport contenant un ensemble de KPI pour une période donnée (heure, jour, semaine, pendant les heures de charges...)

Nous concentrons notre travail iniquement sur deux KPI permettant d’observer le trafic CA le débit

✓ **Débit utilisateur**

La variation du débit d’utilisateur en DL obtenu avant et après le test à partir de PRS est représentée dans la figure suivante

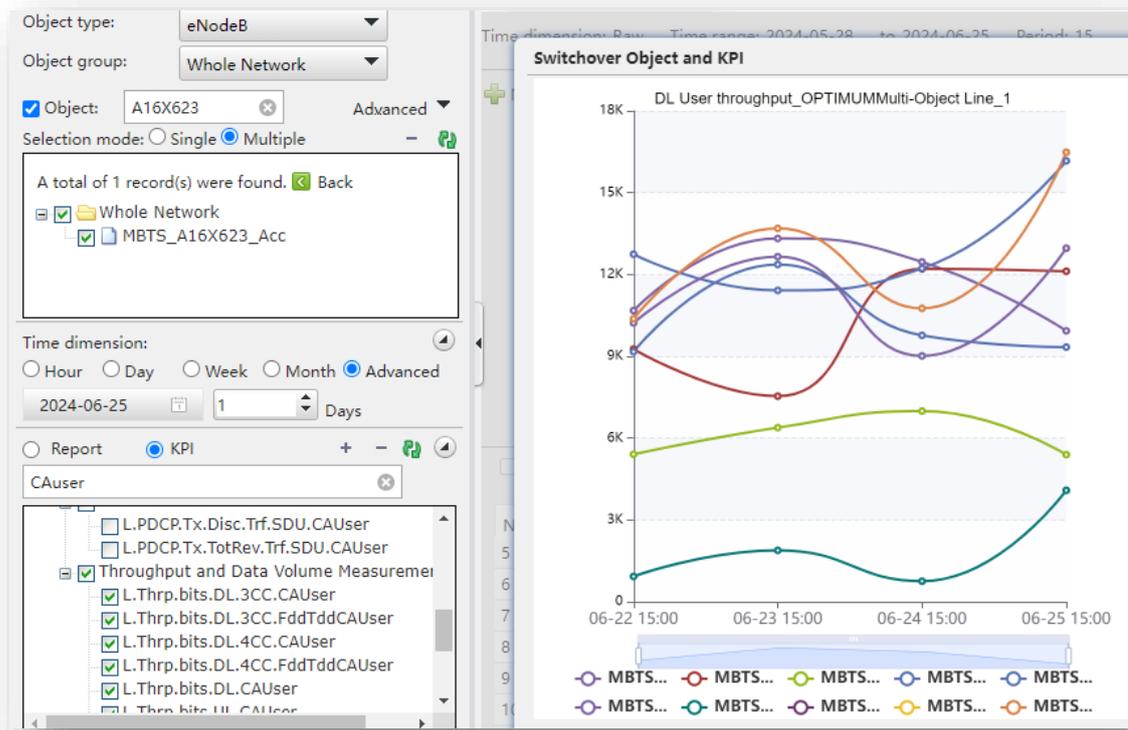


Figure 35: représentation de la variation de Throughput DL

La figure suivante représente la variation de Throughput DL pendant 5 jours à 15 :00h de 22/06/2024 jusqu'à 25/06/2024 le jour de la réactivation de CA

- Durant ces les 5 jours, nous avons constaté qu’il y avait des variations remarquables du débit utilisateurs
- Si on compare le DL user Throughput à 15H de jour de l’activation avec 15H des autres jours précédents on remarque une amélioration sur presque toutes les cellules du site A16X623.

✓ Traffic CA

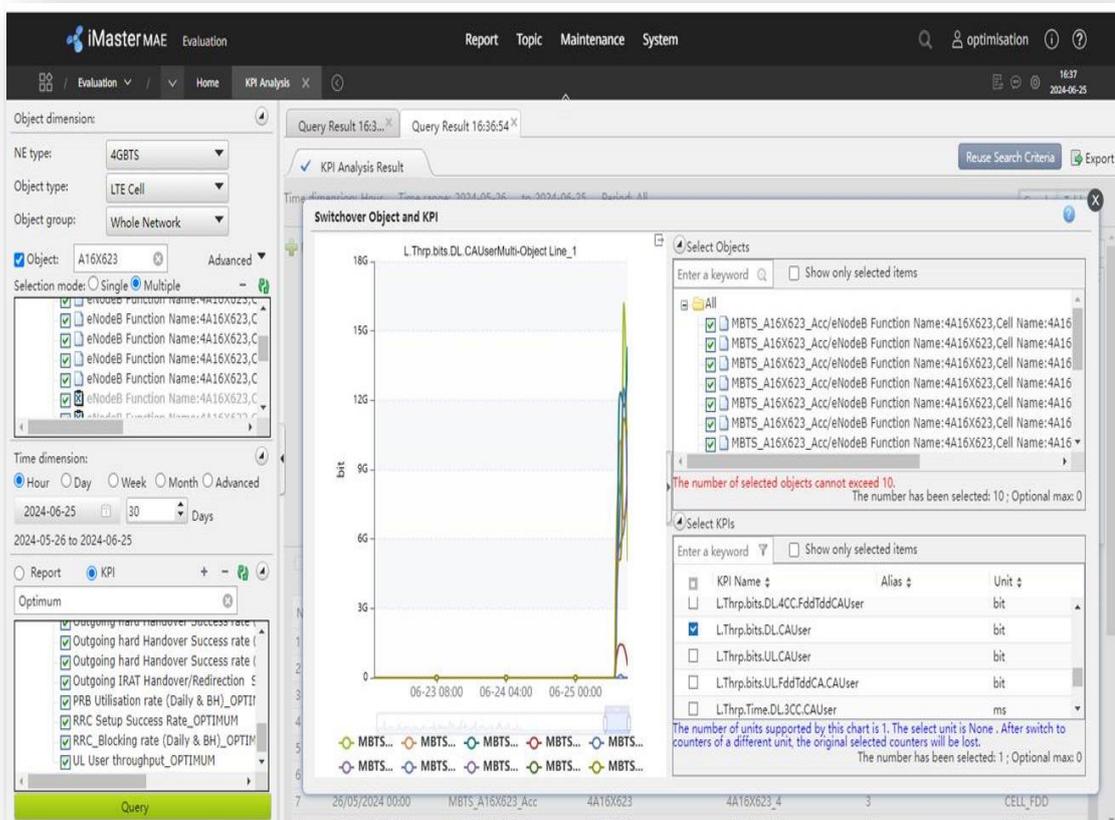


Figure 36 :représentation la variation

La figure représente la variation du trafic pendant 3 jours (de 23/06/2024 jusqu'à 25/06/2024).

-Le 23/06/2024 et le 24/06/2024 nous remarquons que le Traffic CA est Nul sur toutes les cellules à causes de la désactivation de CA au niveau de site

-Le 25/06/2024 nous remarquons une augmentation du Traffic CA après activation 12H

**IV. 3.2. Résultats obtenir à partir de drive teste sur le site 4A16M758**

Après utilisation du logiciel *TEMS Investigation*, nous obtenons les résultats de Throughput DL après la désactivation de CA et après la réactivation de CA

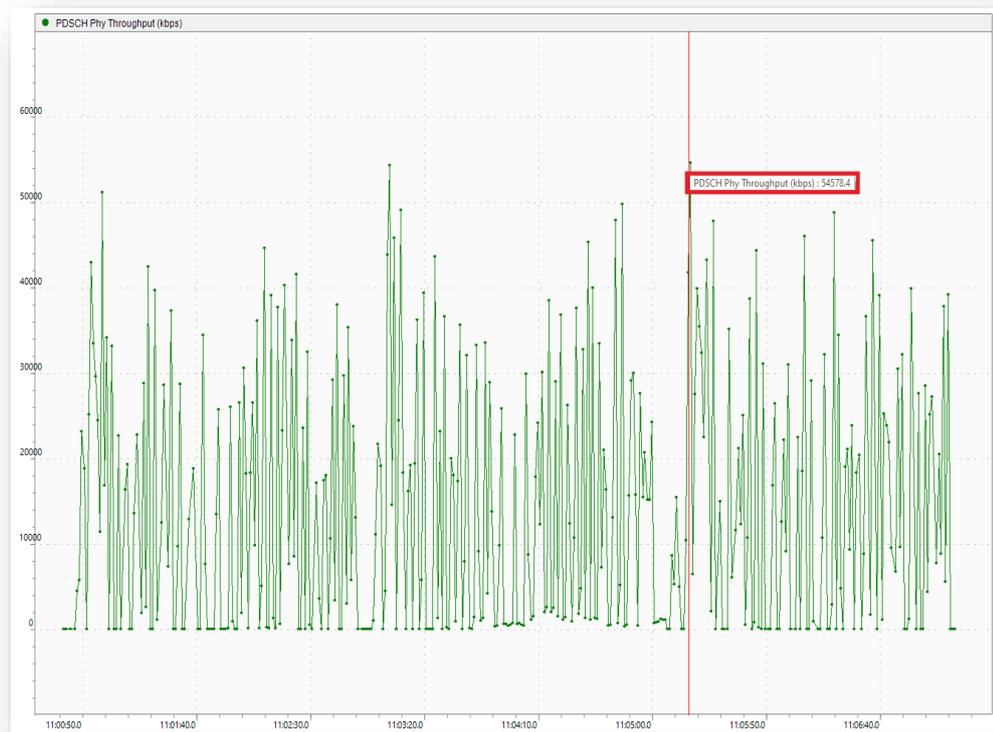
**➤ TP chart avant CA activation**

Figure 37: Résultats des valeurs du Débit utilisateur avant l'activation CA

La figure représente la variation du Débit utilisateur (Kbps) en fonction du temps (s).avant l'activation CA, nous avons constaté qu'il avait des variations du Débit utilisateur (Throughput) :

- Le débit physique PDSCH varie principalement entre 0 et environ 50 000 kbps.
- Le débit maximal atteint est de 54 578,4 kbps.

**➤ TP chart après l'activation de CA**

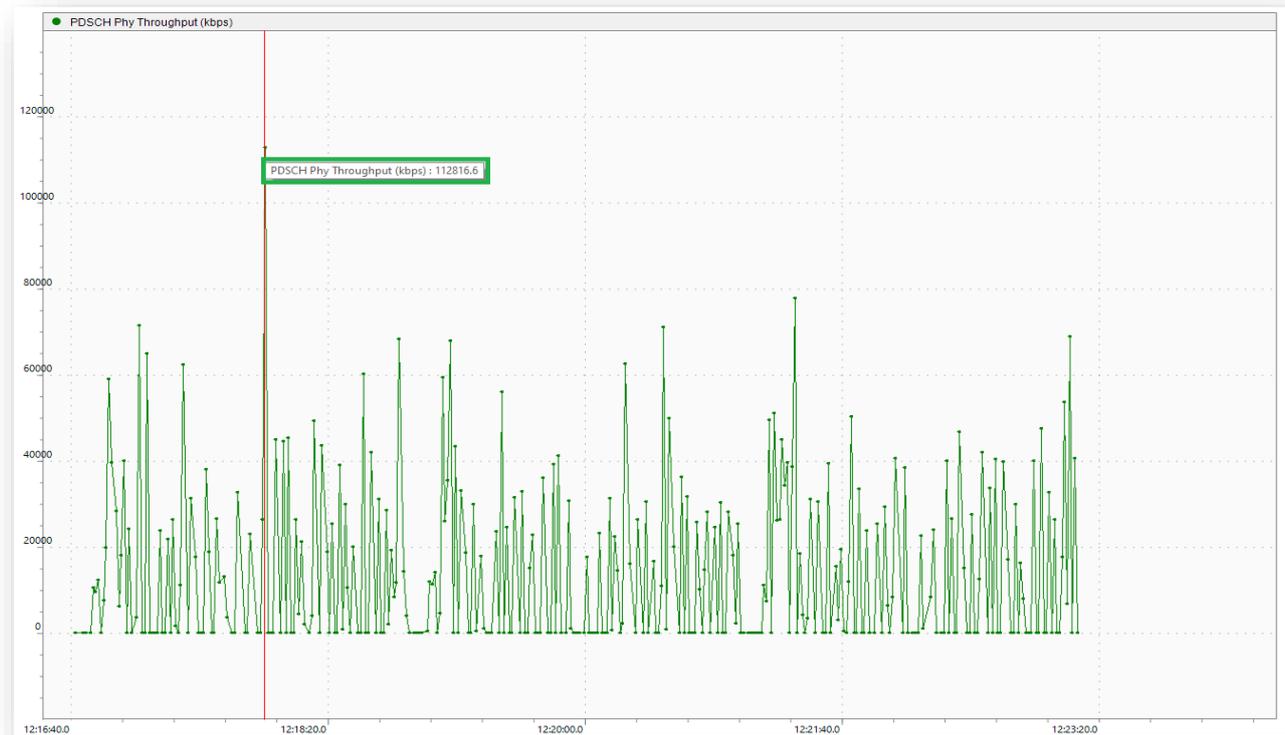


Figure 38: résultats des valeurs du Débit utilisateur après l'activation CA

La figure représente la variation du Débit utilisateur (Kbps) en fonction du temps (s). après l'activation CA, nous avons constaté qu'il avait des variations du Débit utilisateur (Throughput) :

- Le débit physique PDSCH varie principalement entre 0 et environ 120 000 kbps.
- Le débit maximal atteint est de 112 816,6 kbps, bien plus élevé que celui observé avant l'activation de la CA.
- Cette augmentation de débit (+106%) est principalement due à l'activation du CA

Tableau 15. Représentations de valeurs d’User Throughput en tableau

PDSCDH phy Through put (kbps)	Avant	Après
PDSCDH phy throughput (kbps) (Average)	13600.67	13798
PDSCDH phy throughput (kbps) (max)	54578.4	112816.6

Selon la figure, et d’après les résultats des mesures de Throughput, nous observons une grande amélioration de cet indicateur qui représente l’objectif principal de notre projet, d’une moyenne de débit d’environ 13600.67kbps à 13798 kbps ainsi que d’un débit maximum de de 54.578 Mbps à à 112.816 Mbps amélioration de plus de 106%

❖ Histogram avant et apres L’activation de CA

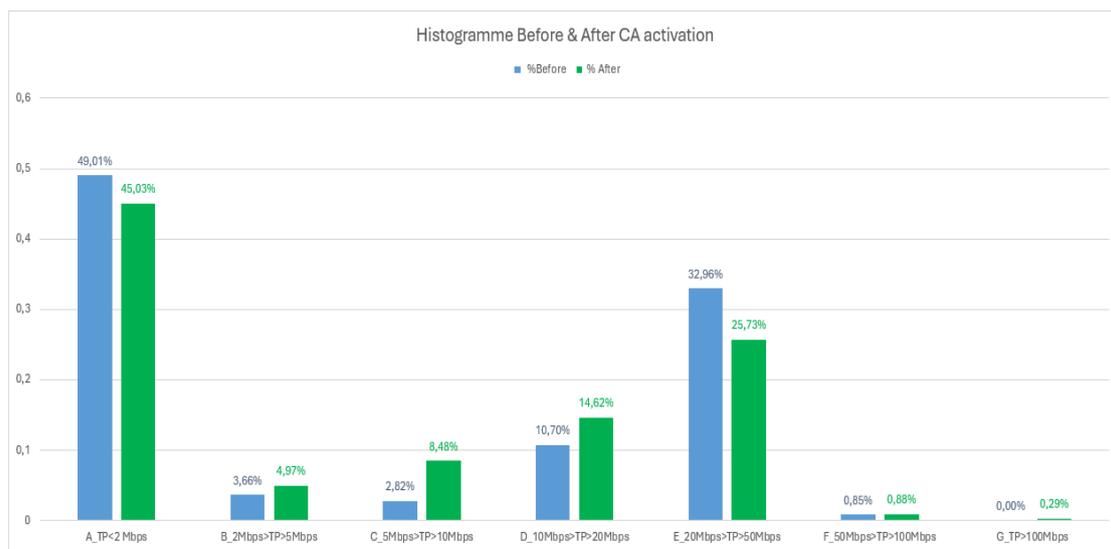


Figure 39:représentations de valeurs de Throughput en histogramme

- selon l’histogramme suivant nous remarquons que il y’a un Réduction du pourcentage des échantillons reçu avec un débit faible (TP < 2Mbps)
- Par contre que il y’a un amélioration du pourcentage des échantillons reçu avec un débit élevé (TP > 5Mbps, TP > 10Mbps, TP > 20Mbps, TP > 100Mbps)

Tableau 16.représentations de valeurs de User Throughput en tableau

Throughput	Count Before	%Before	Count After	% after	comments
A_TP<2 Mbps	174	49,01%	154	45,03%	Réduction du pourcentage des échantillons reçu avec un débit faible
B_2Mbps>TP>5Mbps	13	3,66%	17	4,97%	
C_5Mbps>TP>10Mbps	10	2,82%	29	8,48%	
D_10Mbps>TP>20Mbps	38	10,70%	50	14,62%	
E_20Mbps>TP>50Mbps	117	32,96%	88	25,73%	
F_50Mbps>TP>100Mbps	3	0,85%	3	0,88%	
G_TP>100Mbps	0	0,00%	1	0,29%	
<b>Total</b>	<b>355</b>	<b>100%</b>	<b>342</b>	<b>100%</b>	

#### IV.4. Application réalisée pour Djezzy

Pour conclure notre stage au sein de Djezzy, il nous a été demandé de réaliser une interface pour simplifier le travail des ingénieurs. A cet effet, nous avons choisi le langage de programmation python, car c'est un langage facile à manipuler et à apprendre.



Figure 40: Interface graphique de l'application

- dans sa première partie Cette application permet de calculer le débit théorique avec les deux technologies FDD et TDD

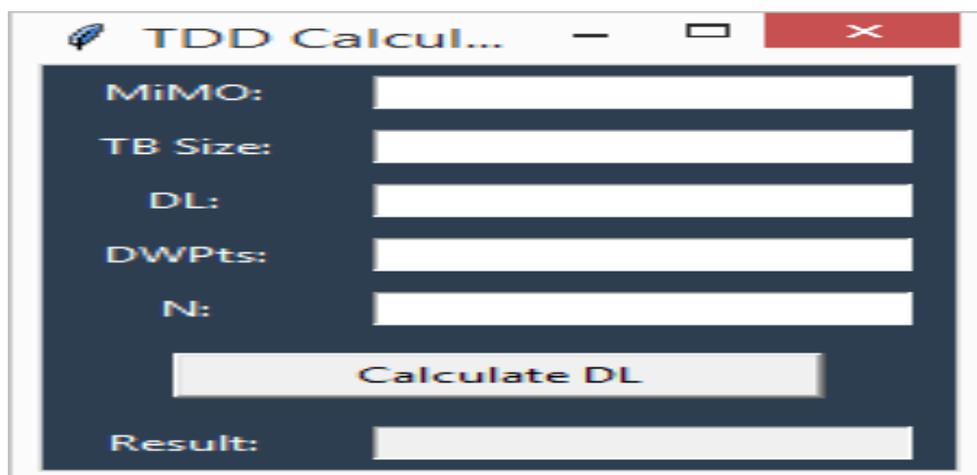


Figure 41: Interface graphique de calculateur Throughput TDD

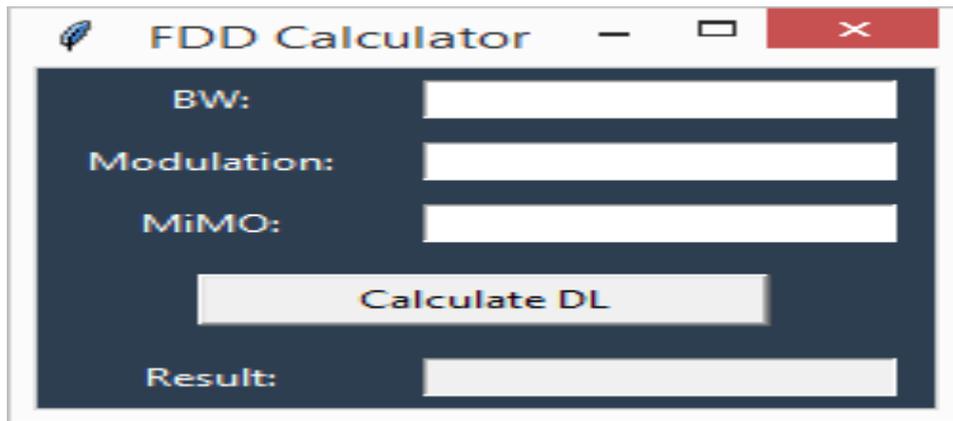


Figure 42: Interface graphique de calculateur Throughput FDD

Ce calcul se fera sur la base des deux lois suivantes :

➤ **Loi de calcul avec FDD**

$$\text{Débit DL} = \frac{\text{BW} * 84 * \text{Modulation}}{0.0005} * \text{Mimo}$$

**Tel que :**

**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**

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

**Tel que :**

**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

- La deuxième partie de notre application nous permet de visualiser les KPI à partir d'un fichier Excel pour observer les résultats et illustrer graphiquement l'impact de l'implémentation.

#### **IV.5. Conclusion :**

Au cours de ce quatrième et dernier chapitre, nous avons tout d'abord présenté et interprété les résultats obtenus avant et après l'activation de CA sur deux site le premier (A16X623) et le deuxième (4A16M758) afin d'observer l'impact majeure sur l'amélioration des performances de notre réseau en termes, débit et Traffic CA absorber. Ensuite à la fin de ce chapitre, nous avons présenté notre application qui facilite le calcul théorique des Throughput et le traitement des résultats.

# **Conclusion générale**

## **Conclusion générale**

Dans le cadre de notre projet, nous avons observé que les différentes générations de téléphonie mobile ont été développées pour améliorer les performances et la qualité de service (QoS), notamment en augmentant les débits. Ces améliorations sont possibles grâce à de nouvelles techniques d'accès, des services innovants et une gestion plus efficace des ressources. La quatrième génération de réseaux mobiles, aussi appelée LTE, se distingue par ses performances techniques supérieures et une qualité de service accrue. Elle peut atteindre des débits théoriques allant jusqu'à 1 Gbps avec des latences très faibles, rendant possible le développement d'applications interactives gourmandes en bande passante. Les opérateurs algériens, à l'instar de leurs homologues mondiaux, cherchent à optimiser les performances du réseau malgré les défis posés par la congestion due aux limitations des ressources en fréquences. Les ingénieurs de DJEZZY ont mis en œuvre diverses stratégies pour surmonter ces défis, notamment l'agrégation de porteuses (Carrier Aggregation) dans leur réseau LTE., Dans ce mémoire, nous avons présenté et interprété les résultats obtenus avant et après l'activation de CA sur deux sites, afin d'observer l'impact majeur sur l'amélioration des performances de notre réseau en termes, débit et Traffic CA absorber.; et nous avons présenté notre application qui facilite le calcul théorique des Throughput et le traitement des résultats .

Ce travail a été possible grâce à la collaboration de l'opérateur DJEZZY, qui nous a facilité la tâche avec un stage pratique

**Bibliographie**

- [1] : Boudraa walid << planification des réseaux cellulaires avec une approche multi-étage mémoire >> mémoire master 2, université de France .2016 .
- [2]: hohocinedounia, Missoum Abderzak <<Analyse et optimisation du réseau d'accès radio 4G>> Mémoire master 2, université. SAAD DAHLAB de BLIDA, 2019-2020.
- [3] : Hamza yahiaoui , Redouane LOUNNAS <<Étude des Performances des Réseaux 4G LTE>> Mémoire 2, UNIVERSITÉ MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU.13/07/2017.
- [4] : TOURE IDRISSE OUMAR ,DIARRA WOULEYMATOU <<ANALYSE ET OPTIMISATION DES INDICATEURS QOS DE RESEAUX 4G / LTE>> mémoire master, UNIVERSITE A. MIRA-BEJAIA.
- [5] : hafida ahlam, djedia souhila <<Simulation d'une transmission LTE dans un système de communication 4G>> mémoire master 2, université KASDI MERBAH OUARGLA. 2019/2020.
- [6] : Lamia CHIHI << Migration d'un réseau mobile 3G vers le 4G>> MEMOIRE DE STAGE DE FIN D'ETUDES, UNIVERSITE VIRTUEL DE TUNIS .2014/2015
- [7] : <https://www.everythingrf.com/community/what-is-256-qam-modulation>
- [8] : <https://radiotelescopelavillette.wordpress.com/modulation-de-phase-numerique-2>
- [9] : KHELIFI Salim , HADDAD Aissa <<Planification et dimensionnement d'un réseau mobile 4G/LTE>> Mémoire de Master, université akli mohandoulhadj bouira. 2018.
- [10] : <https://blogs.univ-poitiers.fr/f-launay/>
- [11] : Documentation Djezzy.
- [12] : <http://wapiti.enic.fr/commun/ens/peda/options/ST/RIO/pub/exposes/exposesser2010->
- [13] : <https://www.fortinet.com/fr/resources/cyberglossary/qos-quality-of-service>
- [14] : Mohamed bouchelkia, Lounis ameziani <<La qualité de service dans les réseaux 4G LTE>> Master, Université Mouloud Mammeri De Tizi-Ouzou.
- [15] : Yassa sarah, lamara ouiza <<implémentation d'une solution 4G TDD : impact sur QOS>> mémoire master 2 , université M'hamed bougara boumerdas .
-

[16] : [https://teletopix.org/fr/quelle-est-la-methode-de-modulation-du-lte/#google\\_vignette](https://teletopix.org/fr/quelle-est-la-methode-de-modulation-du-lte/#google_vignette)

[17] : chergui serine , chabane nassim<< *Etude et déploiements d'agrégation de porteuses Entre un réseau 4G FDD et TDD*>> mémoire master2 université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene 2022.

[18] : Bekkaye chaima, hasnaouisara<<allocation de ressource avec l'agrégation de porteuse dans la norme LTE >> Mémoire master 2 Université aubakrbelkiad-tlemcen2020- 2021.

[19] : Ortiz casallas, Diana Carolina, GÓMEZ SAAVEDRA<<José Jhonatan, et al. Estudio de Carrier Aggregation para optimizar>> el usodelespectroasignado a los operadores móviles en Colombia. 2016.

[20] :Bougara Fateh <<Contribution au développement d'algorithmes d'optimisation dans les réseaux mobiles.>> Thèse de doctorat. Université de Batna. 2018.

[21] : Documentation Djezzy.

[22] :<https://www.researchgate.net/profile/RuxandRA>

[23]:[https://forum.huawei.com/enterprise/api/file/v1/thread/667496256399872000.png?appid=esc\\_fr](https://forum.huawei.com/enterprise/api/file/v1/thread/667496256399872000.png?appid=esc_fr)

[24] :<https://www.researchgate.net/profile/Ahmed-Roumane-2/publication/308266132/figure/fig2/AS:407939992047618@1474271881626/Reseau-coeur-EPC-3.png>

[25] :*DRISS KOHKOH, Najiba EL AMRANI EL IDRISI*<< *Étude et simulation de l'interface radio LTE-Advanced dans un environnement monocellulaire et multicellulaires*>> *mémoire master, université Sidi Mohammed Ben Abdellah.* 2012/2013.

---



Djezzy est un opérateur de télécommunications algérien fondé en juillet 2001. L'entreprise, qui compte plus de 16,5 millions d'abonnés en décembre 2016, est leader dans le secteur de la téléphonie mobile. De nombreux services sont disponibles, tels que le prépayé, le post-payé, le Data, ainsi que les services à valeur ajoutée et le SUT. En janvier 2015, 51 % du capital de la société est repris par le Fonds National d'Investissement (FNI) tandis que le partenaire étranger, le Groupe Veon, conserve la direction de l'entreprise. Dans tout le pays, Djezzy représente 95 % de la population et ses services 3G sont implantés dans les 48 wilayas. Djezzy a inauguré ses services 4G le 1er octobre 2016 dans 20 wilayas et a pris l'engagement de répondre à plus de 50% de la population d'ici 2021. L'objectif de Djezzy est de devenir l'opérateur numérique de premier plan en Algérie et de faciliter la navigation des clients dans le monde numérique. Le directeur général et président du conseil d'administration de l'entreprise est Matthieu Galvani. Djezzy est une entreprise du groupe Veon (qui est cotée à la bourse de Nasdaq sous le symbole VIP), une entreprise internationale de communication et de technologie qui se base sur une vision entrepreneuriale et dont les valeurs reposent sur la satisfaction du client, l'innovation, le partenariat et la transparence.

---

**Les services technique**



**Réseau**

**IT**



