

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA

RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA-BOUMERDES

Faculté de Technologie

Département Ingénierie des Systèmes Electriques

Mémoire de Master

Présenté par

Mlle FERRIOUNE Wafaa

Mlle HARBI Yasmine

Filière : Télécommunications

Spécialité : Réseaux et Télécommunications

Thème

**Amélioration des performances du réseau mobile 4G LTE
TDD par la technique " Intelligent Multi-Beam of 8T8R split"**

Soutenu le 27 /06 /2024 devant le jury composé de :

MESSOUDI	Noureddine	MCA	Université de Boumerdes	Président
BELKACEM	Samia	MCA	Université de Boumerdes	Rapporteur
KESSAISSIA	Karima	MAA	Université de Boumerdes	Examineur
GARET	Malek	IGE	Djezzy	Co Encadreur
TAKH	Samir	IGE	Djezzy	Membre invité

2023/2024

Remerciements

Tout d'abord, nous tenons à remercier Dieu, le Tout-Puissant, pour sa grâce et sa bonté tout au long de notre parcours académique. Nous Lui sommes reconnaissants pour la force, la sagesse et la persévérance qu'Il nous a accordées pour surmonter les défis et atteindre ce jalon important.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude envers notre promotrice, Mme Belkacem Samia, pour son dévouement, son expertise et pour avoir accepté de nous encadrer dans notre travail. Nous présentons tous nos respects à M. Takh Samir pour nous avoir offert l'opportunité d'effectuer ce stage au sein de l'entreprise « Optimum Telecom Dar Elbeida Alger ».

Nous voulons spécialement remercier notre encadreur, M. Malek Garet, pour son suivi qui a été à nos côtés tout au long de notre parcours, ainsi que M. Amara Mohyidine et M. Techri Abderraouf pour leur aide et leurs encouragements tout au long de ce travail. Votre guidance, votre soutien et votre encouragement ont été essentiels à notre développement et à notre formation. Nous sommes reconnaissants pour les conseils que vous nous avez prodigués, qui nous ont aidés à surmonter les défis et à atteindre nos objectifs.

Merci à chacun d'entre vous pour avoir été une source d'inspiration et de soutien dans la réalisation de ce travail.

Dédicace

Je dédie ce travail

À mes chers parents

Les piliers de ma vie, mon inspiration et mon soutien constant. Votre amour inconditionnel et vos sacrifices ont permis à mes rêves de prendre forme. Je vous remercie pour vos conseils, votre assistance et votre présence constante, qui ont toujours été là pour me donner du sens et me guider. Je vous souhaite une vie longue, heureuse et en bonne santé.

À mes chers frères et mes chères sœurs

Oussama, Islam, Samira, Amina, qui font ma force et ma fierté, mes sources d'inspiration et de motivation. Vous avez toujours cru en moi et m'avez poussé à exceller.

À mon beau-frère

Chemseddine, pour son soutien indéfectible et son aide précieuse qui m'ont permis de persévérer.

À ma nièce Hiba, que Dieu la protège.

À mon oncle Aissa, qui me soutient et m'encourage toujours.

A mes tantes

À ma meilleure amie Bouchra, pour son amitié indéfectible et sa présence réconfortante dans les moments difficiles.

À ma chère copine Yasmine, avec qui j'ai partagé les joies et les défis de ce modeste travail. Je te remercie pour tout.

À mes amis Avec qui je partage des moments précieux de ma vie au fil du temps, je vous offre cette dédicace d'amitié.

Wafaa.....

Dédicace

Tout d'abord, je tiens à remercier Dieu de m'avoir donné de la force et le courage de mener à bien ce modeste travail. Tout au long de cette année, qui été particulièrement dure pour moi, marquée par la souffrance et les épreuves. Dieu m'a aidé à guérir et à me relever après chaque chute. Sa guidance et sa bienveillance m'ont permis de surmonter chaque défi qui s'est présenté à moi.

Je dédie ce modeste travail avec grand amour, sincérité et fierté :

A mes très chers parents

Pour leurs patiences, leurs sacrifices, leurs encouragements et soutiens durant mes études, aucun hommage ne pourrait être à la hauteur de l'amour dont ils ne cessent de me combler. Que dieu leur procure une bonne santé et une longue vie.

A ma famille qui été là pour moi.

A ma chère copine Amel

Qui est loin des yeux près du cœur, merci pour tout l'amour que tu m'as donnée, ton soutien et ta sincérité, tu es une source de force pour moi.

A mes chères amies

Avec qui je partage des moments précieux Lynda, Meriem, Rym, Manel, Amira, Nabila, Ahlam.

A ma chère copine wafaa

Je suis immensément fier de ce que nous avons accompli ensemble.

Yasmine

ملخص

يهدف مشروع "تعزيز الأداء باستخدام تقنية "التقسيم الذكي متعدد الشعاع لـ T8R8" في شبكة الهاتف المحمول G 4 LTE TDD إلى دمج حلول التقسيم الناعم وحلول IMB على هوائيات T8R8 لتقليل الازدحام وتحسين إنتاجية البيانات وجودة الخدمة وزيادة سعة الشبكة. حقق IMB نتائج ملموسة مع زيادة بنسبة 41% في إنتاجية البيانات، وتحسين بنسبة 16% في حركة المرور، وانخفاض بنسبة 52% في استخدام PRB. ويساهم هذا المشروع في إنشاء اتصال متنقل قوي وفعال، ومصمم خصيصًا لتلبية الاحتياجات الحالية والمستقبلية. الكلمات الرئيسية: LTE، جودة الخدمة (QoS)، مؤشرات الأداء الرئيسية، معلمات جودة الخدمة، خدمة G4، التداخل، GBR، Non-GBR، TDD/FDD، تجميع الناقل، تقاسم الطاقة، MIMO، IMB 8T8R.

Summary

The project "Enhancement of performance using 'Intelligent Multi-Beam Of 8T8R split' technique in 4G LTE TDD mobile network" aims to integrate soft split and IMB solutions on 8T8R antennas to reduce congestion, improve data throughput and service quality, and increase network capacity. IMB has achieved tangible results with a 41% increase in data throughput, 16% improvement in traffic, and 52% reduction in PRB usage. This project contributes to establishing robust and efficient mobile connectivity, tailored to current and future needs.

Keywords: LTE, Quality of Service (QoS), Key Performance Indicators (KPI), QoS parameters, 4G service, interference, Guaranteed Bit Rate (GBR), Non-GBR, Time Division Duplex (TDD)/Frequency Division Duplex (FDD), Carrier Aggregation, power sharing, MIMO, IMB 8T8R.

Résumé

Le projet "Amélioration des performances par la technique 'Intelligent Multi-Beam Of 8T8R split' du réseau mobile 4G LTE TDD vise à intégrer les solutions soft split et IMB sur les antennes 8T8R pour réduire la congestion, améliorer le débit et la qualité de service, ainsi qu'augmenter la capacité du réseau. IMB a produit des résultats concrets : débit augmenté de 41%, trafic amélioré de 16%, et usage des PRB réduit de 52%. Ce projet contribue à établir une connectivité mobile robuste et efficace, adaptée aux besoins présents et futurs

Mots clés : LTE, Qualité de service (QoS), KPI, paramètres QoS, service 4G, interférence, GBR, Non-GBR, TDD/FDD, Carrier agrégation, power sharing, MIMO, IMB 8T8R.

Table des matières

Remerciements	ii
Dédicace	iii
Dédicace	iv
ملخص	v
Summary.....	v
Résumé	v
Table des matières	vi
Liste des figures.....	xi
Liste des tableaux	xiv
Liste des abréviations	xv
Introduction générale	1
Chapitre 1 : Généralités sur la TDD et FDD	3
1.1 Introduction.....	3
1.2 Evolution vers LTE (Long Term Evolution)	3
1.3 Description de la 4G/ LTE.....	5
1.4 Architecture d'un réseau 4G (LTE).....	6
1.4.1 User Equipement	7
1.4.2 Le réseau d'accès E-UTRAN	7
1.4.2.1. L'eNodeB.....	8
1.4.3 Le réseau cœur EPC.....	8
1.4.3.1 MME (Mobility Management Entity)	8
1.4.3.2 SGW (Serving Gateway)	8
1.4.3.3 P-GW (PDN Gateway)	8
1.4.3.4 HSS (Home Subscriber Server)	9
1.4.3.5 PCRF.....	9
1.5 Les Interfaces.....	9

1.6 Le duplexage.....	10
1.6.1 Les techniques de duplexage	10
1.6.1.1 FDD	10
1.6.1.2 TDD	11
1.6.2 Les caractéristique de FDD et TDD	11
1.6.3 Structure de la trame LTE.....	12
1.6.3.1 Structure de la trame en mode FDD	13
1.6.3.2 Structure de la trame en mode TDD	14
1.6.4 Concept de bloc de ressource (Ressource bloc, RB)	15
1.6.5 Les canaux radio	16
1.6.5.1 Le PCI (Physical Cell Identity).....	18
1.6.6 Calcul du débit théorique pour les techniques FDD et TDD.....	18
1.9 La technologie MIMO (Multiple Input Multiple Output)	19
1.10 La modulation.....	21
1.11 Agrégation de porteuses (CA)	23
1.12 Conclusion	24
Chapitre 2 : Étude des différentes fonctionnalités pour l'amélioration de la Qos LTE ...	25
2.1 Introduction.....	25
2.2 La qualité de service (QOS)	25
2.3.1 Les paramètres de la QoS	25
2.3.1.1 Le débit	25
2.3.1.2 La latence.....	25
2.3.1.3 La gigue	26
2.3.1.4 La perte de paquets	26
2.3.1.5 Binary Error Rate (BER)	26
2.3.2 Les classes de la QoS.....	27
2.3.2.1 Classe Conventiionnelle	27

2.3.2.2 Classe Streaming	27
2.3.2.3 Classe Interactive.....	27
2.3.2.4 Classe Background	27
2.4 Notion de Porteurs (Bearers)	27
2.4.1 Bearer EPS.....	28
2.4.1.1 Bearer par défaut (Default Bearer)	28
2.4.1.2 Bearer dédié (Dedicated Bearer)	28
2.5 Les Indicateurs Clés de performance KPIs (key performance Indicators).....	30
2.5.1 Type de KPI.....	30
2.5.1.1 Accessibilité.....	30
2.5.1.2 Maintien du service.....	31
2.5.1.3 Disponibilité	31
2.5.1.4 Intégrité.....	31
2.5.1.5 Mobilité.....	31
2.5.1.6 Utilisation	32
2.5.2 Mesure des KPI dans les Réseaux LTE.....	32
2.5.2.1 Trafic.....	32
2.5.2.2 PRB usage.....	33
2.5.2.3 Débit	33
2.5.3 Mesures pratique des KPI's	33
2.5.3.1 Drive test.....	33
2.5.3.2 PRS (Performance Reporting System)	34
2.6 Conclusion	34
Chapitre 3 : Implémentation Soft split et IMB	36
3.1 Introduction.....	36
3.2 La Bande TDD (Band 40).....	36
3.3 Présentation de l'antenne 8T8R.....	36

3.4 Solution TDD Smart 8T8R.....	38
3.4.1 La technique de formation de faisceaux (beamforming).....	38
3.4.2 La technique Soft Split Resource Duplex.....	39
3.4.2.1 Fractionnement intra- et inter-fréquence	40
3.4.2.2 Les Groupe de faisceaux.....	41
3.4.2.3 Partage de puissance (Power Sharing).....	42
3.4.2.4 Configuration de la solution soft split	42
3.4.3 Antenne software-defined antennas (SDA).....	43
3.4.4 Technique 8T8R IMB.....	45
3.4.4.1 Configuration de la solution IMB.....	47
3.5 Conclusion.....	47
Chapitre 4: Test et interprétation des résultats	48
4.1 Introduction.....	48
4.2 Description de le logiciel U2020	48
4.3 Gestion MML (Man-Machine Language)	49
4.4 Mise en œuvre et analyse de la solution Soft Split.....	51
4.4.1 Choix de site	51
4.4.2 Résultats obtenus à partir du PRS.....	52
4.4.2.1 Analyse de l'évolution du Débit.....	53
4.4.2.2 Analyse de l'évolution du Trafic	54
4.4.2.3 Analyse de l'évolution de l'utilisation, des PRB.....	55
4.4.2.4 Analyse de l'évolution de distribution des utilisateurs.....	55
4.4.2.5 Les interférences	56
4.4.3 Résultats obtenus à partir du Drive test	57
4.4.3.1 Résultats du Débit DL	57
4.4.3.2 Résultats du RSRP (Reference Signal Received Power).....	59
4.5 Mise en œuvre et analyse de la solution IMB.....	61

4.5.1 Résultats obtenus à partir du PRS.....	61
4.5.1.1 Analyse de l'évolution du Débit	61
4.5.1.2 Analyse de l'évolution du Trafic	62
4.5.1.3 Analyse de l'évolution de l'utilisation, des PRB.....	62
4.5.2 Résultats obtenus à partir du drive test	63
4.5.2.1. Résultats du Débit DL	63
4.6 Application réalisée pour Djezzy.....	66
4.7 Conclusion	68
Conclusion générale et perspective	73
Bibliographie	80
Annexe.....	74
Présentation de la société.....	74
Soft Split Script.....	75
IMB Script	78

Liste des figures

Chapitre 1: Généralités sur la TDD et FDD

Figure 1. 1: Architecture de 4G [8].....	7
Figure 1. 2: FDD mode.....	11
Figure 1. 3 : TDD mode.....	11
Figure 1. 4: Structure de la trame LTE. [12]	13
Figure 1. 5: Structure de trame LTE FDD. [12]	13
Figure 1. 6: Structure de trame LTE FDD. [12]	14
Figure 1. 7 : Ressource bloc (RB) LTE	16
Figure 1. 8: Grille des ressources en DL. [14].....	18
Figure 1. 9: Schéma d'un système de transmission Sans fil type MIMO.....	20
Figure 1. 10: Schéma représentatif des systèmes SISO, SIMO, MISO, MIMO.	20
Figure 1. 11: Capacité des systèmes MIMO par rapport aux systèmes SISO et SIMO...	21
Figure 1. 12 : Technique de modulation.....	22
Figure 1. 13: Square QAM constellations: (a) 4-QAM (QPSK),	23
Figure 1. 14: Intra inter-bande [13].	24
 Chapitre 2: Étude des différentes fonctionnalités pour l'amélioration de la Qos LTE	
Figure 2. 1 : EPS bearer [19].....	28
Figure 2. 2 : 4G/LTE Key performances indicators	32
Figure 2. 3: les équipements de drive test	34
 Chapitre 3: Implémenter Soft split et enfin IMB	
Figure 3. 1 : Structure de l'antenne 8T8R. [13].....	37
Figure 3. 2 : La couverture de l'antenne 8T8R.....	37
Figure 3. 3 : Solution TDD Smart 8T8R	38

Figure 3. 4: Principes de formation de faisceaux. [13].....	39
Figure 3. 5: Mappage entre les canaux et les antennes dans soft split RRU. [3].....	39
Figure 3. 6: Répartition intra-fréquence. [3].....	40
Figure 3. 7: Répartition intra-fréquence	41
Figure 3. 8: SSRD améliorant la capacité de l'eNodeB	41
Figure 3. 9: Groupes de faisceaux orthogonaux	42
Figure 3. 10: Partage de puissance en liaison descendante souple	42
Figure 3. 11: Antenne SDA. [3] Tableau 3. 1: Caractéristique de l'antenne SDA TDD [22]	44
Figure 3. 12: Multifaisceaux intelligent du 8T8R. [13].....	46
Figure 3. 13: Pondération en bande de base. [13]	46
Chapitre 4: Test et interprétation des résultats	
Figure 4. 1 : L'interface en mode command.....	49
Figure 4. 2 : L'interface en mode script	50
Figure 4. 3 : Emplacement du site A16X1443	51
Figure 4. 4 : Interface d'outil PRS.....	52
Figure 4. 5 : Résultats de débit d'utilisateurs par cellules	53
Figure 4. 6 : Résultats de débit d'utilisateur de secteur.....	54
Figure 4. 7 : Résultats de volume de Trafic.....	54
Figure 4. 8 : Résultats de pourcentage d'utilisation des PRB.....	55
Figure 4. 9 : Résultats de Distribution des utilisateurs par cellule	56
Figure 4. 10 : Résultats de L'interférence moyenne	57
Figure 4. 11 : Résultats du Débit DL avant l'implémentation de soft split.....	58
Figure 4. 12 : Résultats du Débit DL après l'implémentation de soft split	58
Figure 4. 13 : Résultats du RSRP avant l'implémentation de soft split	59
Figure 4. 14 : Résultats du RSRP après l'implémentation de soft split.....	60

Figure 4. 15 : Résultats de débit utilisateur	61
Figure 4. 16 : Résultats de volume de trafic	62
Figure 4. 17 : Résultats de pourcentage d'utilisation des PRB.....	63
Figure 4. 18 : Résultats du Débit DL avant l'implémentation d'IMB.....	64
Figure 4. 19 : Résultats de débit DL après l'implémentation d'IMB	64
Figure 4. 20 : première partie de l'application	66
Figure 4. 21 : Deuxième partie de l'application	67
Figure 4. 22 : Résultats graphique de débit	67
Figure 4. 23 : Résultats graphique de trafic	68
Figure 4. 24 : Résultats graphique de l'utilisation des PRB	68

Liste des tableaux

Tableau 1. 1: Différentes générations des réseaux mobiles. [2].....	4
Tableau 1. 2: Différents catégories de mobile pour le système LTE	6
Tableau 1. 3 : les différentes configurations d'une trame TDD. [13].....	15
Tableau 1. 4: Le nombre de RB valables en fonction de la largeur de bande. [13]	16
Tableau 2. 1: Caractéristiques QCI [14].....	29
Tableau 3. 1: Caractéristique de l'antenne SDA TDD [22]	44
Tableau 3. 2: Caractéristique de l'antenne SDA TDD LTE [22].....	45
Tableau 4. 1 : Tableau de critères pour la sélection des sites.....	52
Tableau 4. 2 : Représentations de valeurs de Débit en DL	59
Tableau 4. 3: Représentations de valeurs de RSRP.....	60
Tableau 4. 4: Représentations de valeurs de Débit	65
Tableau 4. 5 : Récapitulatif des résultats obtenus avec les deux solutions.	65

Liste des abréviations

1G : 1^{ère} Génération des réseaux sans-fil

2G : 2^{ème} Génération des réseaux sans-fil

3G : 3^{ème} Génération des réseaux sans-fil

3GPP :3rd Génération Partnership Project

4G : 4^{ème} Génération des réseaux sans-fil

A

ARP: Allocation and Retention Priority

B

BW: bandwidth

BBU: Base Band Unit

BCH: Broadcast ChannelCommunications

BER: Binary Error Rate

C

CP: Prefix Cyclique

CA: Carrier Aggregation

CDR: Call Drop Rate

D

DL: Downlink

DwPTS: Downlink Pilot Time Slot

E

E-UTRAN: Evolved Universal Terrestrial
Radio Access Network

EPC: Evolved Packet Core

EDGE: Enhanced Data Rate for GSM
Evolution

ENodeB: Evolved Node Base station

ERAB: Evolved Radio Access Bearer

F

FDD: Frequency Division Duplex

G

GSM: Global System for Mobile

GP: Garde Période

GPS: Global Positionner System

GBR: Guaranteed Bit Rate

H

HSS: Home Subscriber Server

HSPA+: High Speed Packet Access +

HSDPA: High Speed Downlink Packet
Access

I

IMB: Intelligent Multi-Beam

K

KPI: Key Performance Indicator

L

LTE: Long Term Evolution

LTE-A: Long Term Evolution-Advanced

M

MIMO: Multiple Input Multiple Output

MME: Mobility Manager Entity

MML: Man-Machine Language

O

OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplexing.

P

P-GW: Packet Data Network Gateway

PCRF: Policy & Charging Rule Function

PDCCH: Physical Downlink Control Channel

PDSCH: Physical Downlink Shared Channel

PCI: Physical Cell Identity

PSS: Primary Synchronization Signal

PRB: Physical Resource Block

PRS: Performance Reporting System

PBCH: physical Broadcast Channel

Q

QPSK: Quadrature Phase Shift Keying

QAM: Quadrature Amplitude Modulation

QCI: Quality Class Identifier

QoS: Qualité of service

R

RB: Resource Block

RE: Resource Element

RS: Reference signal

RRU: Remote Radio Units

RSRP: Reference Signal Recieved Power

RRC: Radio resource control

S

SDA: software-defined antennas

SGW: Serving Gateway

SSS: Secondary Synchronization Signal

SSRD: soft split resource duplex

T

TDD: Time Division Duplex

U

UL: Uplink

UMTS: Universal Mobile Telecommunications System

UE: User Equipement

U_pPTS: Uplink Pilot Time Slot

V

VOIP: Voice over Internet Protocol

Introduction générale

Les réseaux mobiles ont connu un essor sans précédent ces dernières années. Ce développement a commencé avec le déploiement de plusieurs générations successives de réseaux de télécommunications, initialement dédiés à la téléphonie avec la 2^{ème} génération (GSM), puis orientés vers le multimédia avec la 3^{ème} génération (UMTS). La 4^{ème} génération (4G) représente un tournant significatif en intégrant un large éventail de solutions existantes. [1]

La 4G vise à améliorer l'efficacité spectrale et à augmenter la capacité de gestion du nombre de mobiles dans une même cellule. Elle cherche également à offrir des débits élevés en situation de mobilité et à assurer une mobilité totale à l'utilisateur en établissant l'interopérabilité entre différentes technologies existantes. L'objectif est de rendre le passage entre les réseaux transparent pour l'utilisateur, d'éviter l'interruption des services lors des transferts intercellulaires, et de basculer vers une utilisation entièrement basée sur le protocole IP. La 4G s'efforce d'améliorer la qualité de service (QoS) en termes de débit, de mobilité, et d'autres aspects essentiels. De plus, les capacités LTE sont continuellement améliorées pour offrir une meilleure QoS pour divers services de données, tels que la voix et les applications multimédia. Les opérateurs de téléphonie mobile, en fonction de la charge du réseau, recherchent constamment des solutions innovantes pour améliorer la QoS, en raison de la limitation ou de la non-disponibilité de la bande passante spectrale [2]. L'objectif de notre mémoire est d'améliorer les performances du réseau TDD en termes de débit et de distribution des utilisateurs entre différentes porteuses, en déployant et optimisant les solutions "Soft Split" et "Intelligent Multi-Beam of 8T8R split". Cela implique une étude préalable de l'architecture d'un réseau TDD LTE, des différents paramètres de QoS, ainsi que des différentes fonctionnalités de QoS existantes. [3]

Problématique et objectif

La problématique actuelle des réseaux LTE réside dans la nécessité urgente d'améliorer leur capacité et leur qualité, exacerbée par une demande croissante suite à la pandémie mondiale. Les opérateurs sont confrontés à des défis tels que la congestion, la latence et le débit insuffisant, impactant directement l'expérience des utilisateurs et la qualité de service. Face à ces enjeux, une approche novatrice est essentielle pour assurer une connectivité fiable et performante dans un environnement numérique en constante évolution.

Dans ce contexte, l'objectif principal de notre projet est d'évaluer de manière approfondie l'efficacité de la solution Soft Split / IMB pour améliorer les performances des réseaux TDD en termes de débit et de répartition des utilisateurs entre différentes porteuses. En déployant et en optimisant la solution Intelligent Multi-Beam of 8T8R split dans les antennes SDA, l'objectif est de comprendre comment ces technologies peuvent contribuer à résoudre les problèmes de congestion, à optimiser la qualité de service et à accroître la capacité du réseau pour répondre aux besoins croissants des utilisateurs. De plus, le projet vise à formuler des recommandations pratiques pour une mise en œuvre réussie de ces solutions innovantes, afin d'assurer une transition efficace vers des réseaux plus performants et adaptés aux exigences actuelles.

Afin d'atteindre notre objectif final, nous avons réparti ce mémoire en quatre chapitres.

Le premier chapitre est consacré à la description des principes du réseau LTE, la présentation de l'évolution de la 4^{ème} génération, son architecture, et les bases pour la compréhension des aspects plus avancés de la 4G/LTE. Ensuite, nous allons procéder à l'exploration des concepts fondamentaux de FDD (Frequency Division Duplex) et TDD (Time Division Duplex).

Le deuxième chapitre concerne « Étude des différentes fonctionnalités pour l'amélioration de la Qos LTE », ce chapitre est basé sur l'exploration des principaux concepts de la qualité de service, en mettant l'accent sur les différents paramètres et les classes de la qualité de services, et les différents types de KPI.

Le troisième chapitre intitulé « Implémenter Soft split et enfin IMB », présenter les étapes utilisées par l'entreprise Djazzy pour présenter la solution TDD Smart 8T8R.

Enfin, le dernier chapitre intitulé « Test et interprétation des résultats » analysera les résultats de l'implémentation de la solution SSRD et IMB, en analysant en profondeur les résultats obtenus suite à l'application de ses solutions afin d'obtenir un bilan général du projet dans le but d'améliorer les performances du réseau TDD en terme de débit et la distribution d'utilisateurs entre différentes porteuses à travers le déploiement.

Chapitre 1 : Généralités sur la TDD et FDD

1.1 Introduction

L'évolution des réseaux cellulaires au fil des générations a été marquée par une transformation significative, passant d'un simple outil de communication vocale à une plateforme polyvalente offrant une multitude de services, notamment l'accès à internet, la transmission de données haute qualité, la connectivité des objets et le contrôle à distance. Au cœur de cette évolution réside la quatrième génération (4G), un jalon décisif qui a redéfini les normes de connectivité mobile.

Dans ce chapitre, nous allons aborder technologies majeures, notamment les modes de duplexage par répartition dans le temps TDD (Time Division Duplex) et par répartition dans la fréquence FDD (Frequency Division Duplex). Ces techniques, associées à des améliorations significatives en termes de vitesse, de latence et de capacité, ont permis de répondre aux besoins croissants des utilisateurs et des applications émergentes.

1.2 Evolution vers LTE (Long Term Evolution)

La transition vers la 4G LTE a représenté un tournant majeur dans l'histoire des télécommunications mobiles. Les réseaux de la première génération (1G), apparus dans les années 80, ont marqué les débuts des appels vocaux sur des téléphones analogiques. Cependant, ils étaient entravés par des normes incompatibles et des problèmes de fiabilité, pas de roaming vers l'international (roaming est la possibilité de conserver son numéro sur un réseau autre que celui de son opérateur). [1] Par la suite, la 2G a été lancée en 1991 pour pallier ces lacunes, et demeure active jusqu'à présent. Elle est caractérisée par l'introduction du GSM (Global System for Mobile Communication), une avancée majeure qui a révolutionné les communications en introduisant le cryptage numérique. Cette innovation a permis l'essor des SMS et du roaming "itinérance", marquant ainsi une étape importante dans l'évolution des réseaux mobiles.

Cependant, c'est avec l'avènement de la troisième génération (3G), représentée par l'UMTS (Universal Mobile Télécommunications System), que les télécommunications mobiles ont connu une transformation majeure. Lancée dans les années 2000 et déployée par DJEZZY en 2013, la 3G a introduit des améliorations significatives, notamment des débits de données beaucoup plus rapides. Cette évolution a ouvert la voie à une multitude de nouvelles applications, telles que la vidéo en streaming, la visioconférence et le téléchargement de fichiers volumineux directement sur les téléphones mobiles.

De plus, la 3G a considérablement amélioré la qualité de service (QoS) pour les applications multimédias, offrant aux utilisateurs une expérience plus immersive et enrichissante. Cette technologie a également permis la prise en charge simultanée de services voix et données, permettant aux utilisateurs de passer des appels vocaux tout en utilisant des services de données en même temps. [4]

En 2016, DJEZZY a joué un rôle crucial en lançant la 4G, offrant ainsi aux utilisateurs un accès amélioré à des services de données à haute vitesse. Cette initiative a ouvert de nouvelles possibilités d'utilisation des téléphones mobiles dans le pays. Avec la 5G actuellement en cours de déploiement, elle promet des débits encore plus rapides, une latence ultra-faible et une connectivité massive. L'avenir des télécommunications mobiles s'annonce prometteur et continuera à révolutionner notre façon de vivre, de travailler et de communiquer.

Tableau 1. 1: Différentes générations des réseaux mobiles. [2]

Génération	Release	Acronyme	Débit 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)	171.2 Kbits /s / 17.9 Kbits/s
2,75G	98	EDGE (basé sur réseau GPRS existant)	84 Kbits /s / 64 Kbits /s
3G	99	UMTS	1.9 Mbits/s/ -
3.5G ou 3G+	5 et 6	HSDPA (Dérivé L'UMTS)	14 Mbits/s/-
3.75G	7	HSPA+	14 Mbits/s/ 5.8 Mbits/s
3.75G ou H+ ou Dual Carrier	8	DC-HSPA+	326 Mbits/s/-
3.9	8	LTE	326 Mbits/s/-
4G	8 et 9, 10	LTE-Advanced	1Gbits/s /500Mbits/s

1.3 Description de la 4G/ LTE

La 4G, également connue sous le nom de LTE, est la quatrième génération de technologie de réseau mobile cellulaire. La 4G a été développée par 3GPP (3rd Generation Partnership Project), un consortium d'organismes de normalisation internationaux. Les premiers réseaux 4G ont été lancés en 2010 et la technologie s'est rapidement répandue dans le monde entier. Aujourd'hui, la 4G couvre plus de 200 pays et régions, et plus de la moitié des utilisateurs mobiles dans le monde utilisent la 4G. Le LTE Advanced est une évolution du LTE standard qui introduit des améliorations significatives en termes de performances et de capacités. [5]

Les principaux objectifs des réseaux de quatrième génération sont [6] :

- Offrir une meilleure qualité de service
- Réduire la latence et le trafic de signalisation
- Minimiser les coûts de signalisation
- Assurer la continuité de la session en cours.

- Optimiser l'utilisation des ressources
- Réduire le délai de transmission, le délai de bout en bout, la gigue et la perte de paquets

Tableau 1. 2: Différents catégories de mobile pour le système LTE

	Category	Max.download (Mbps)	Max.Upload(Mbps)	Max.number of DL MIMO layers	Support dor 64QAM in UL	3GPP Release
	NB1	0.68	1	1		Rel 13
	M1	1	1	1		
	0	1	1	1	No	Rel 12
LTE	1	10	5	1	No	Rel 8
	2	50	25	2	No	
	3	100	50	2	No	
	4	150	50	2	No	
	5	300	75	4	Yes	
LTE-A	6	300	50	2 or 4	No	Rel 10
	7	300	100	2 or 4	No	
	8	3000	1500	8	Yes	
	9	450	50	2 or 4	No	Rel 11
	10	450	100	2 or 4	No	
	11	600	50	2 or 4	No	
	12	600	100	2 or 4	No	
	13	390	150	2 or 4	Yes	Re12
	14	3900	1500	8		
	15	750	226	2 or 4		
	16	979	n/a	2 or 4		Rel 13
	17	25065	n/a	8		
	18	1174	n/a	2 or 4		
	19	1566	n/a	2 or 4		

1.4 Architecture d'un réseau 4G (LTE)

L'architecture du réseau LTE est composée de trois parties [7] :

- L'UE (User Equipment).

- Le réseau d'accès E-UTRAN (Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network)
- Le réseau cœur EPC (Evolved Packet Core)

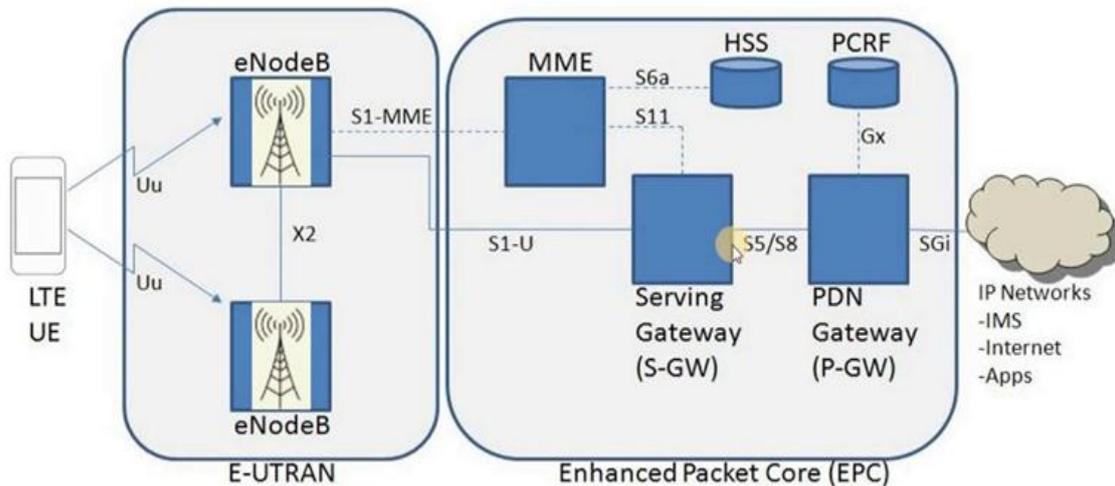


Figure 1. 1: Architecture de 4G [8]

1.4.1 User Equipment

L'équipement utilisateur (UE) est l'appareil terminal qui permet à l'utilisateur d'accéder directement aux services d'un réseau mobile LTE. Il peut s'agir de (Smartphones, Tablettes, Modems USB, Routeurs 4G, Ordinateurs portables...), L'UE se connecte sans fil à la station de base ENodeB via des liaisons radio, il peut utiliser différentes technologies d'accès radio pour se connecter à l'ENodeB, telles que :

- LTE-FDD (Frequency Division Duplex)
- LTE-TDD (Time Division Duplex)

1.4.2 Le réseau d'accès E-UTRAN

Cette partie est composée des eNodeB, chargés de la transmission radio. C'est grâce aux eNodeB que les utilisateurs peuvent se connecter au réseau et accéder aux services souscrits. E-UTRAN gère la connectivité, la réservation des ressources radio, la sécurité et la liaison avec le cœur du réseau LTE. Il offre des débits de données plus élevés, une meilleure couverture et une latence réduite par rapport aux réseaux 3G. C'est un élément essentiel du LTE et permet aux terminaux mobiles de se connecter et de communiquer de manière efficace. [9]

1.4.2.1. L'eNodeB

L'eNodeB est une station de base du réseau mobile LTE permettant la communication directe avec les terminaux (UE). Il assure la gestion des ressources radio, le contrôle d'admission, l'ordonnancement des paquets selon leurs priorités et la diffusion des informations concernant les cellules aux différents utilisateurs. Ils sont reliés entre eux par une interface X2. L'eNodeB est relié au cœur du réseau à travers l'interface S1. [6]

1.4.3 Le réseau cœur EPC

Le réseau cœur est l'interface entre le réseau mobile LTE et le réseau internet. Contrairement aux réseaux 2G et 3G qui utilisent la commutation de circuits et la commutation de paquets, le réseau cœur EPC offre tous ses services sur IP. Le cœur de réseau utilise des technologies « full IP », c'est-à-dire basées sur les protocoles Internet pour la signalisation qui permet des temps de latence réduits, le transport de la voix et des données. Il assure les fonctions suivantes : l'enregistrement et la mise à jour de la position de l'UE, l'authentification de l'UE, la sécurité de niveau NAS (Non Access Stratum), la gestion des appels, l'établissement des bearers (supports logiques de transmission). [10][11]

Les principaux nœuds de l'EPC sont :

1.4.3.1 MME (Mobility Management Entity)

Le MME (Mobility Management Entity) assume la gestion du trafic de contrôle au sein du réseau LTE, avec des fonctions clés telles que l'authentification des utilisateurs, la gestion de la mobilité (y compris les handovers entre les cellules), l'établissement et la libération des sessions, ainsi que la gestion des fonctions de sécurité. [4]

1.4.3.2 SGW (Serving Gateway)

Serving Gateway ou S-GW est un élément central du réseau LTE qui se consacre à la gestion et à l'acheminement du trafic de données des utilisateurs entre les terminaux mobiles et les réseaux externes. Il interconnecte également le réseau d'accès radio avec le réseau EPC. Il est connecté au P-GW.

1.4.3.3 P-GW (PDN Gateway)

Passerelle PDN (Packet Data Network) connecte le réseau EPC aux réseaux externes. Il achemine le trafic depuis et vers les réseaux PDN. Il est responsable du routage en assignant

une adresse IP au mobile au moment de l'attachement au réseau. PGW est un point pour faire le filtrage des données.

1.4.3.4 HSS (Home Subscriber Server)

HSS (Home Subscriber Server) est la base de données de tous les utilisateurs mobiles qui inclut toutes les données des abonnés. Il permet de stocker des informations d'abonnement pouvant servir au contrôle des appels et à la gestion de session des utilisateurs réalisé par le MME. Il est également responsable de l'authentification et de la configuration de l'appel et de la session. [8]

1.4.3.5 PCRF

Policy and Charging Rules Function (3GPP Release 7) est un serveur Responsable sur la décision principale du contrôle. Il fournit une QoS d'autorisation pour décider le traitement des données en respectant l'abonnement des utilisateurs. Le PCRF communique avec le PGW pour gérer les informations relatives aux abonnés et au réseau, conformément aux règles établies

1.5 Les Interfaces

Pour lier Les différents éléments du réseau LTE, il nécessite de poser des interfaces :

- **L'interface X2** : c'est une interface logique, pour la coordination des transmissions radio et la gestion des handover, sans faire intervenir le réseau cœur. [2]
- **L'interface S1** : C'est l'interface intermédiaire entre le réseau d'accès et le réseau cœur, Utilisée pour la gestion de la mobilité, l'authentification et la sécurité. Peut être divisée en deux interfaces élémentaires : S1-U (S1-Usager) entre l'eNodeB et le SGW et S1-MME (S1_controle) entre l'eNodeB et le MME. [6]
- **Interface UU** : LTE-Uu est l'interface radio qui connecte l'UE à eNodeB. Il gère tous les messages de signalisation entre l'eNodeB et le MME ainsi que le trafic de données entre l'UE et le S-GW.
- **L'interface S5** : entre le S-GW et le P-GW du même réseau, Utilisée pour le transport du trafic de données des utilisateurs.
- **L'interface S8** : entre le S-GW et le P-GW d'un autre réseau.
- **L'interface S6-a** : entre MME et HSS, utilisée par le MME pour chercher les souscriptions et les informations d'authentification dans le HSS.

- **L'interface SGi** : elle relie le P-GW et PDN qui peut être un réseau public, ou privé ou encore un réseau IP interne (IMS : IP multimédia Subsystem), pour la gestion de la QoS et la facturation.
- **L'interface S11** : entre le SG-W, elle achemine les messages de signalisation entre ces deux entités.
- **L'interface S10** : utilisée pour transférer les données entre MME (point de référence) et aussi pour la relocalisation MME.

1.6 Le duplexage

Le duplexage est une méthode de télécommunication qui permet d'établir une communication bidirectionnelle entre deux points, facilitant ainsi l'échange simultané d'informations. Cette technique repose sur la division du canal de transmission en deux sous-canaux distincts, chacun correspondant à un sens de communication. Cette division peut être réalisée soit par répartition spectrale (duplexage fréquentiel) soit par alternance temporelle (duplexage temporel). Le duplexage est largement utilisé dans divers domaines tels que les téléphones mobiles, les réseaux informatiques et les liaisons radio, offrant des avantages tels qu'une meilleure qualité de communication, une utilisation optimisée des ressources et une efficacité globale du système accrue.

1.6.1 Les techniques de duplexage

Le duplexage définit la manière dont la transmission en liaison descendante et la transmission en liaison montante sont séparées. La voie descendante, également appelé downlink (DL), correspond à la transmission depuis la station de base vers l'UE. La voie montante, également appelée uplink (UL), correspond à la transmission depuis l'UE vers la station de base. Il existe deux principaux modes de duplexage, les deux gérés par l'interface radio LTE [2] :

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

1.6.1.1 FDD

FDD est une méthode de duplexage dans les réseaux de téléphonie mobile où les transmissions montantes et descendantes sont réalisées sur des bandes de fréquences différentes. Pour éviter les interférences, des bandes de fréquences inutilisées, appelées "bandes

de garde", séparent les bandes utilisées pour les transmissions montantes et descendantes. Cette technique est couramment utilisée dans les réseaux LTE et 5G.

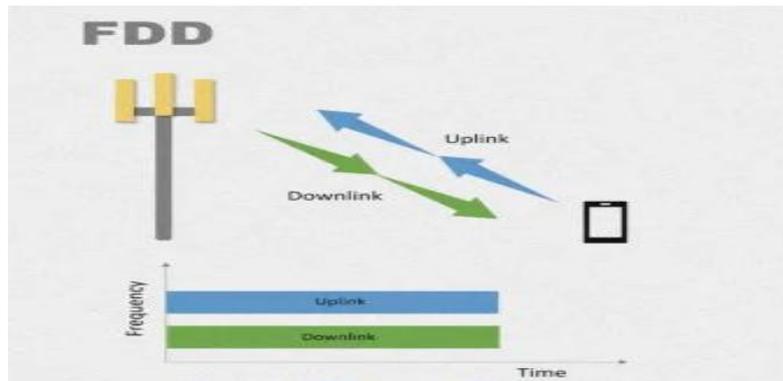


Figure 1. 2: FDD mode

1.6.1.2 TDD

TDD est une méthode de duplexage utilisée dans les réseaux de téléphonie mobile où les transmissions montantes et descendantes se déroulent à des moments différents dans le même spectre de fréquences. Cette approche offre une utilisation plus efficace du spectre et une flexibilité accrue pour gérer les modèles de trafic asymétriques. Le TDD est également déployé dans les réseaux LTE et 5G.

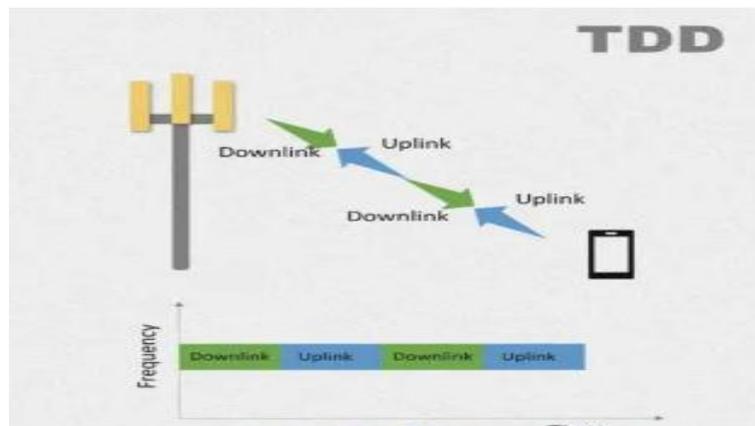


Figure 1. 3 : TDD mode

1.6.2 caractéristique de FDD et TDD

Les

TDD et FDD sont des techniques fondamentales de gestion de la transmission de données dans les réseaux de télécommunications sans fil, offrant des solutions adaptées à différentes exigences de performances et d'efficacité spectrale.

➤ TDD :

- Utilise une seule bande de fréquence partagée pour les transmissions montantes et descendantes, alternant entre les deux sens de communication dans le temps.
- Offre une latence élevée en raison de la commutation fréquente entre les modes de transmission.
- Le coût Moins cher car aucun duplexeur n'est nécessaire pour isoler l'émetteur et le récepteur.
- Offre une gestion plus flexible, permettant d'ajuster dynamiquement la capacité en fonction des besoins.

➤ **FDD :**

- Utilise deux bandes de fréquences distinctes pour les transmissions montantes et descendantes.
- Offre une faible latence.
- Le coût Plus cher car FDD nécessite un duplexeur pour isoler l'émetteur et le récepteur.
- L'utilisation de deux fréquences différentes peut limiter l'efficacité spectrale par rapport au TDD

1.6.3 Structure de la trame LTE

La trame générique du LTE a une durée de 10 ms qui est divisée en dix sous-trames de 1ms, Chaque sous-trame est ensuite divisée en deux slots de 0.5 ms, et chaque slot contient un certain nombre de symboles OFDM, en fonction de la configuration du CP. [12]

_ Dans le cas du CP étendu, chaque slot comprend six symboles OFDM.

_ Dans le cas du CP (Cyclic Prefix) normal, chaque slot comprend sept symboles OFDM.

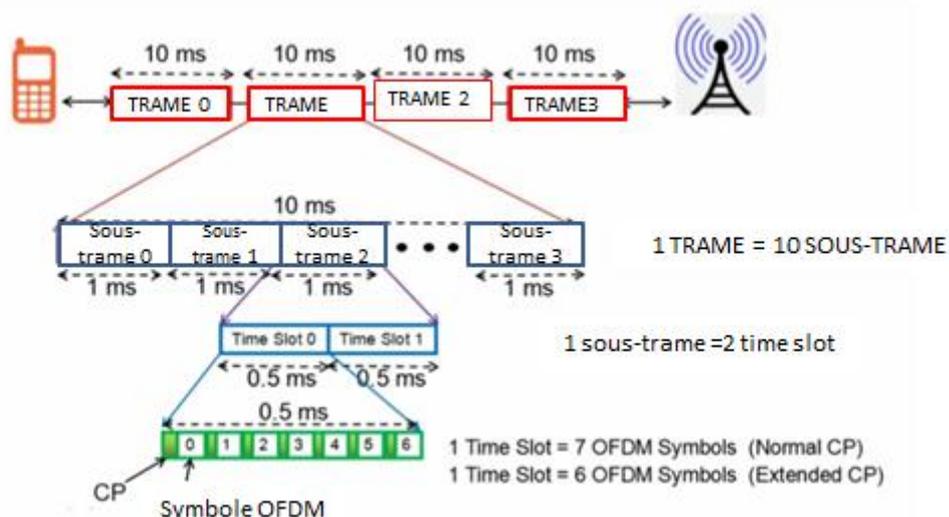


Figure 1. 4: Structure de la trame LTE. [12]

Il existe deux types de structures de trame dans le système LTE, correspondant aux deux modes de duplexage : FDD et TDD.

1.6.3.1 Structure de la trame en mode FDD

Mode FDD, les voies montants et descendants fonctionnent sur deux fréquences porteuses séparées par une bande de garde. [12]

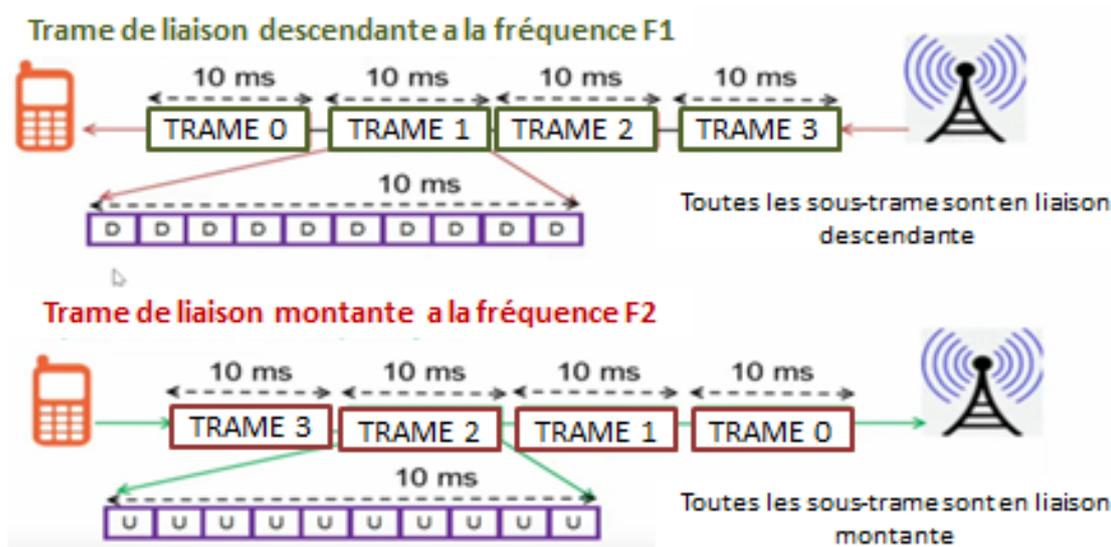


Figure 1. 5: Structure de trame LTE FDD. [12]

1.6.3.2 Structure de la trame en mode TDD

Mode TDD, les voies montantes et descendantes opèrent sur une même fréquence.

Une trame LTE dure 10ms. Elle est découpée en 10 sous trames d'une durée de 1ms. Chaque sous trame est divisée en deux slots de 0,5ms.

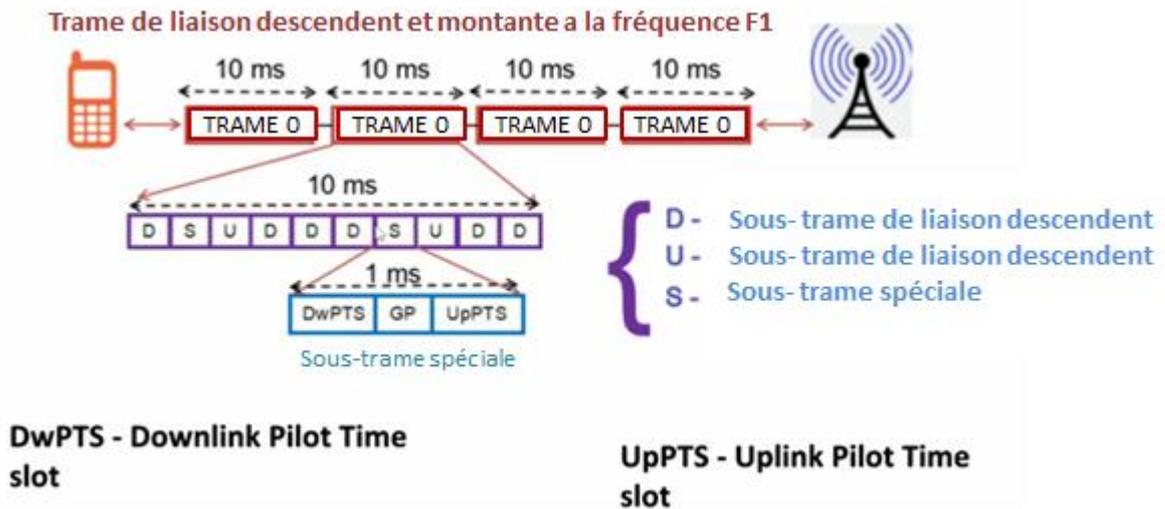


Figure 1. 6: Structure de trame LTE FDD. [12]

Les sous- trames avec S sont spéciales et caractérisées par trois champs :

- **DwPTS (Downlink Pilot Time Slot)** : Pendant cette période, les appareils reçoivent des signaux spéciaux pour vérifier la qualité de la connexion et se synchroniser avec la station de base dans la liaison descendante.
- **GP (Garde Période)** : Le GP est une pause entre les échanges de données pour éviter les interférences entre les signaux.
- **UpPTS (Uplink Pilot Time Slot)** : Pendant cette période, les appareils envoient des signaux spéciaux à la station de base pour maintenir une connexion stable et synchronisée dans la liaison montante.

Tableau 1. 3 : les différentes configurations d'une trame TDD. [13]

Configuration	Switch-point periodicity	Subframe number									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	5ms	D	S	U	U	U	D	S	U	U	U
1	5ms	D	S	U	U	D	D	S	U	U	D
2	10ms	D	S	U	D	D	D	S	U	D	D
3	10ms	D	S	U	U	U	D	D	D	D	D
4	10ms	D	S	U	U	D	D	D	D	D	D
5	10ms	D	S	U	D	D	D	D	D	D	D
6	5ms	D	S	U	U	U	D	S	U	U	D

1.6.4 Concept de bloc de ressource (Ressource bloc, RB)

Les ressources blocs (RB) représentent les unités fondamentales d'allocation de ressources dans les réseaux de communication sans fil. Ces blocs sont utilisés pour transmettre des données ou des signaux de contrôle.

Dans un intervalle de temps (time slot) de 0,5 ms, qui représente la plus petite unité de temps dans le LTE, un bloc de ressources (RB) contient généralement 7 symboles OFDM dans le domaine temporel et 12 sous-porteuses dans le domaine fréquentiel, totalisant ainsi 84 ressources élémentaires (RE), 7 symboles*12 porteuses=84 symboles sont transmis en 0,5ms.

Lorsque deux blocs de ressources sont attribués à un utilisateur, cela signifie que l'utilisateur dispose de 168 RE pour la transmission de ses données. Ces ressources peuvent être allouées pour le transport de données utilisateur, de contrôle ou de signaux de référence.

En plus des ressources élémentaires attribuées à l'utilisateur, des signaux de référence (RS) sont également intégrés pour faciliter le processus de réception et de démodulation du signal par le récepteur. Les signaux de référence consistent en des modulations spécifiques insérées dans le signal afin de permettre au récepteur de calibrer et d'ajuster sa réception en fonction des conditions du canal. [13]

- **RE (élément de ressource)** : C'est l'unité minimal de transmission des données sur la couche physique Chaque ressource élémentaire représente un intervalle de temps et fréquence sous porteuse (15kHz) un symbole.

- **REG (Resource Element Group) :** est une unité d'allocation de ressources composée de quatre éléments de ressources adjacents dans le domaine fréquentiel. Ces unités sont utilisées pour transporter différents types de signaux et de données.
- **CCE (Control Channel Element) :** est une unité utilisée pour transporter des informations de contrôle, en particulier sur le canal de contrôle physique en liaison descendante (PDCCH).

$$1\text{REG} = 4\text{RE} \tag{1.1}$$

$$1\text{CCE} = 9\text{REG} = 36\text{RE} \tag{1.2}$$

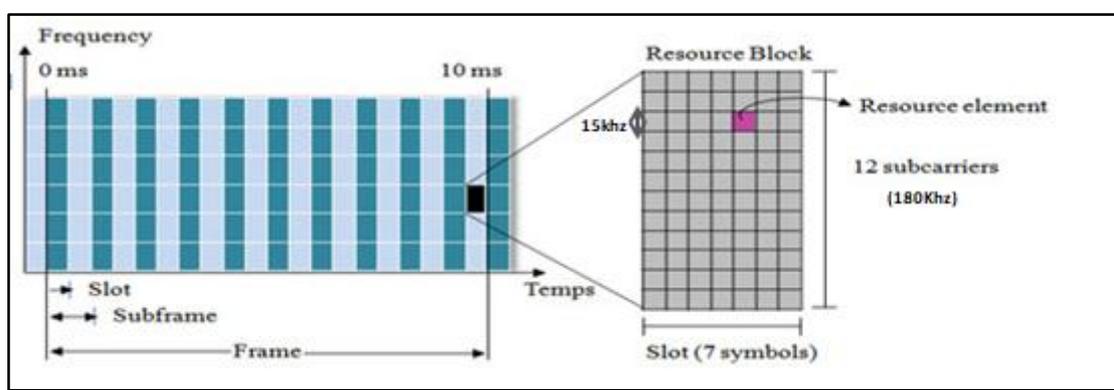


Figure 1. 7 : Ressource bloc (RB) LTE

Le nombre de RB dans la dimension fréquentielle dépend de la largeur de la bande passante, comme indiqué dans le tableau suivant :

Tableau 1. 4: Le nombre de RB valables en fonction de la largeur de bande. [13]

Bandes passantes de canal (MHZ)	1,4	3	5	10	15	20
Nombre de RB	6	15	25	50	75	100

1.6.5 Les canaux radio

Un canal représente un moyen d'accès à un service proposé par une couche donnée à une couche supérieure. On utilise le concept de canal pour identifier le type de données transmises

sur l'interface radio, les caractéristiques de qualité de service associées et les paramètres physiques associés à la transmission

Dans LTE chaque slot dans le cadre de temps (time frame) transporte plusieurs canaux qui sont utilisés pour transmettre différentes informations. Voici quelques-uns des canaux principaux dans LTE :

- **PDCCH (Physical Downlink Control Channel)** : il est utilisé pour transmettre les informations de contrôle de liaison descendante, telles que les allocations de ressources et les commandes de modulation et de codage.
- **PDSCH (Physical Downlink Shared Channel)** : il est utilisé pour transmettre les données utilisateur en liaison descendante.
- **PCFICH (Physical Control Format Indicator Channel)** : il indique le nombre de symboles OFDM utilisé pour la transmission du PDCCH dans une sous-trame.
- **PBCH (Physical Broadcast Channel)** : transporte les informations du BCH (comprend des informations critiques telles que le Master Information block (MIB) et le System Information Block (SIB), qui sont nécessaires pour la synchronisation initiale et la configuration des UE). [14]
- **PHICH (Physical Hybrid ARQ Indicator Channel)** : il porte les acquittements d'HARQ.
- **PSS (Primary Synchronization Signal)** : Il est généré à partir d'une séquence Zadoff-Chu et prend trois valeurs distinctes (0, 1, 2).
- **SSS (Secondary Synchronization Signal)** : Il est généré à partir de la concaténation de deux séquences m-sequences et prend 168 valeurs distinctes pour LTE ou 336 pour la Nouvelle Radio 5G (5G-NR), allant de 0 à 167 (ou de 0 à 335 pour 5G-NR).

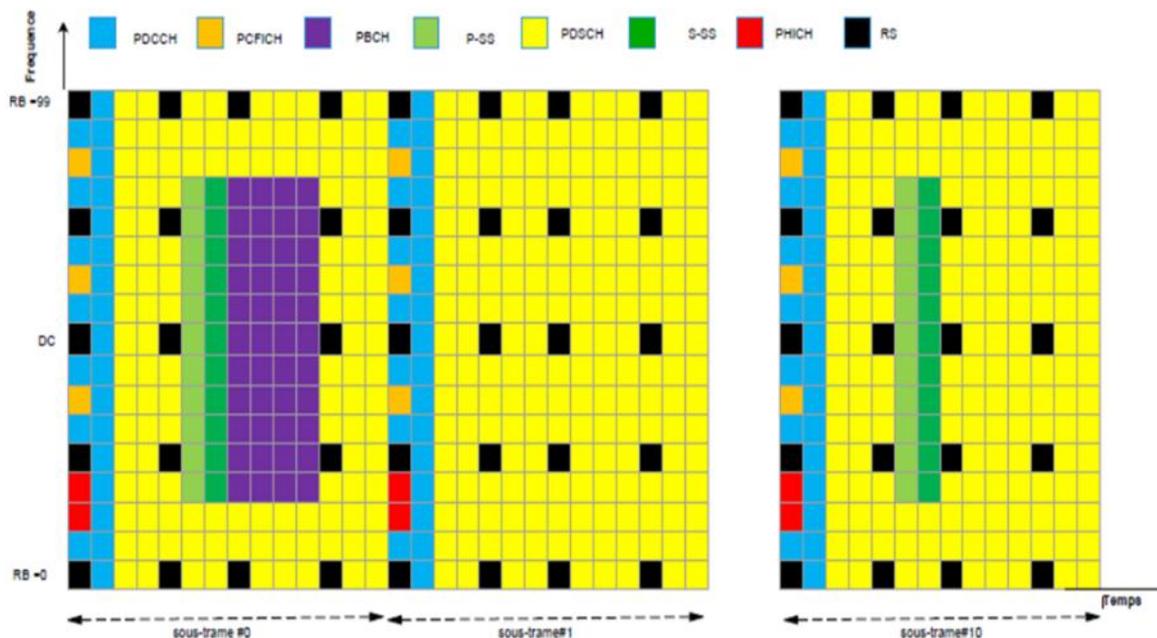


Figure 1. 8: Grille des ressources en DL. [14]

1.6.5.1 Le PCI (Physical Cell Identity)

Dans les réseaux 4G (LTE) et 5G, le PCI est une identification unique de la cellule physique utilisée pour la synchronisation du récepteur mobile avec la trame radio. Il est composé de deux éléments principaux **PSS** et **SSS** est calculé selon la formule suivante :

$$PCI = (3 \times SSS) + PSS \quad (1.3)$$

Le PCI revêt une importance capitale dans la synchronisation du récepteur mobile avec la trame radio, en permettant une localisation rapide des informations spécifiques à la cellule au sein des trames radio. De plus, il joue un rôle crucial dans la planification du réseau en minimisant les conflits et en améliorant la qualité de service pour les abonnés.

1.6.6 Calcul du débit théorique pour les techniques FDD et TDD

➤ Loi de calcul avec FDD [2] :

$$Débit\ DL = \frac{BW \times 84 \times Modulation}{0.0005\ ms} \times MIMO \times 75\% \quad (1.4)$$

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

➤ **Loi de calcul avec TDD [2] :**

$$\text{Débit DL} = \text{MIMO} \times \text{TBsize} \times \left(\text{DL} + \text{DWPTS} \times \frac{N}{14} \right) \quad (1.5)$$

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-frames DL.

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

N : Représente le nombre total de sous-trame.

1.9 La technologie MIMO (Multiple Input Multiple Output)

La technique MIMO est en effet largement utilisé dans les réseaux LTE pour améliorer la capacité du canal et le débit, ainsi que pour augmenter l'efficacité spectrale et réduire la probabilité de coupure de lien radio. Cette approche exploite plusieurs antennes à la fois au niveau de l'émetteur et du récepteur, permettant ainsi de transmettre et recevoir des données simultanément sur les mêmes ressources temps fréquence. En combinant les signaux provenant de multiples antennes, le MIMO permet d'optimiser la qualité de la transmission, d'accroître la robustesse du signal et d'améliorer les performances globales du réseau LTE. [15]

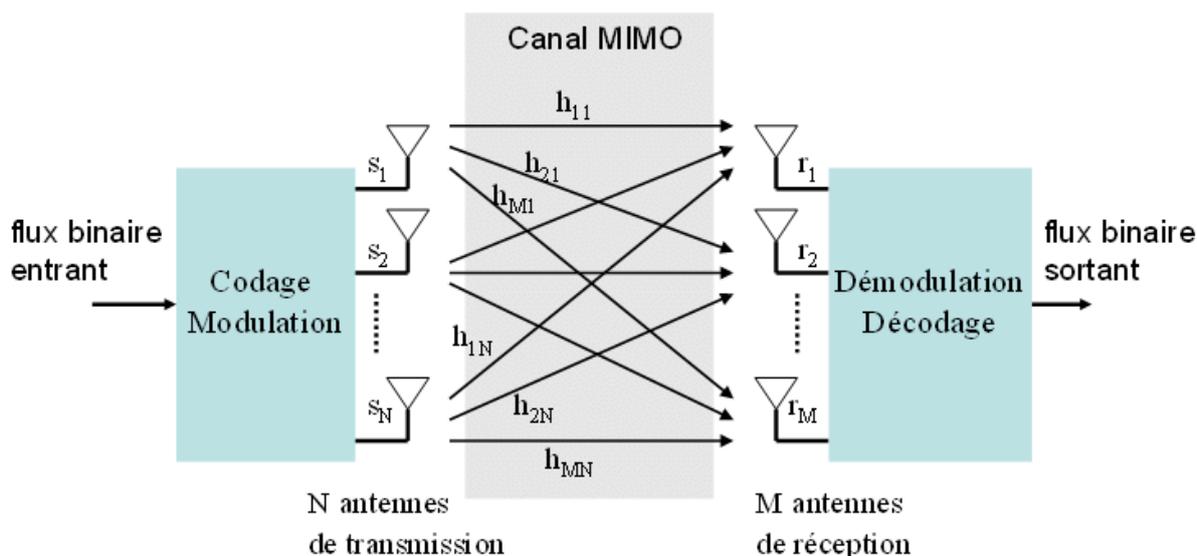


Figure 1. 9: Schéma d'un système de transmission Sans fil type MIMO

Si un tel système comprend une seule antenne à l'émission et plusieurs antennes à la réception, il est appelé SIMO (Single-Input Multiple-Output). Inversement, si le système possède plusieurs antennes en émission mais une seule en réception, il s'agit d'une configuration MISO (Multiple-Input Single-Output). Enfin, si chaque côté du système ne compte qu'une seule antenne, le système est dit SISO (Single-Input Single-Output).

La mise en œuvre de cette structure permet au LTE d'atteindre des débits élevés. De plus, l'utilisation de plusieurs antennes des deux côtés du système permet non seulement de diversifier les signaux, mais aussi d'améliorer le rapport signal sur bruit et le taux d'erreurs binaires, ce qui contribue à une communication sans fil plus fiable et efficace. [14]

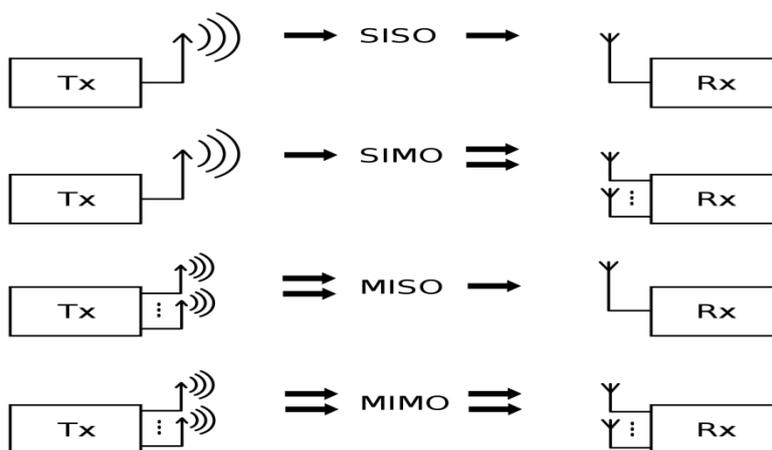


Figure 1. 10: Schéma représentatif des systèmes SISO, SIMO, MISO, MIMO.

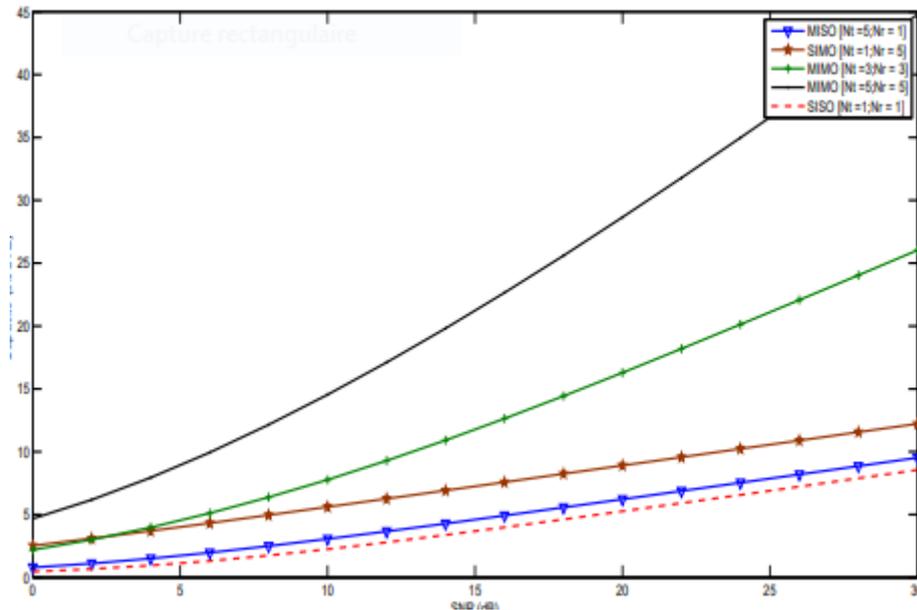


Figure 1. 11: Capacité des systèmes MIMO par rapport aux systèmes SISO et SIMO...

1.10 La modulation

La modulation est un processus fondamental en télécommunications qui consiste à la variation des propriétés d'un signal porteur telles que la fréquence, la phase et l'amplitude avec un signal de modulation qui contient les informations réelles à transmettre. Ce signal modulé est ensuite transmis sur un canal de communication et démodulé à l'autre extrémité pour récupérer les données originales. [2]

Le but de la modulation dans la technologie LTE est d'optimiser la performance et l'efficacité spectrale en ajustant automatiquement la modulation et le codage en fonction des conditions du canal de communication. Les modulations adaptatives sont utilisées pour maximiser la capacité du réseau et répondre aux exigences croissantes des utilisateurs en matière de débits et de qualité de service.

En LTE, la modulation varie en fonction de la distance qui sépare l'UE de l'eNodeB. Chaque sous-porteuse est modulée à l'aide de différents niveaux de modulation tels que QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) ou QAM (Quadrature Amplitude Modulation). La sélection de la modulation dépend du SINR (Signal to Interference plus Noise Ratio). Lorsque le SINR

diminue en dessous de certains seuils, l'eNodeB instruit l'UE d'utiliser une modulation plus robuste pour éviter des pertes de données.

La proximité entre l'UE et l'eNodeB peut effectivement entraîner une augmentation du bruit, ce qui réduit le SINR. Malgré un signal fort, la qualité du signal peut diminuer en raison de l'augmentation de l'interférence et du bruit. C'est pourquoi l'adaptation de la modulation en fonction du SINR est essentielle pour maintenir une communication fiable et efficace, en ajustant la modulation pour compenser les variations de la qualité du canal radio.

Les modulations généralement utilisées en DL et UL sont les suivantes :

- Modulation descendant (Downlink) : QPSK, 16QAM, et 64QAM, 256QAM.
- Modulation montant (Uplink) : QPSK et 16QAM.

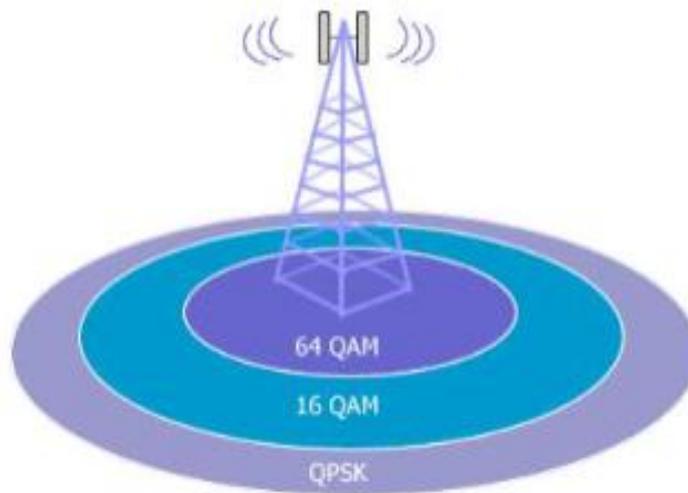


Figure 1. 12 : Technique de modulation

- **QPSK (Quadrature Phase Shift Keying)** : Cette technique modifie à la fois l'amplitude et la phase d'une onde porteuse en quadrature pour transmettre quatre bits par symbole.
- **16QAM** : Cette méthode ajuste à la fois l'amplitude et la phase d'une onde porteuse en quadrature pour transmettre quatre bits par symbole, mais avec une meilleure efficacité spectrale grâce à une distribution plus fine des amplitudes.

- **64QAM** : Cette technique modifie à la fois l'amplitude et la phase d'une onde porteuse en quadrature pour transmettre six bits par symbole, bien qu'elle soit moins robuste face aux interférences et au bruit.
- **256QAM** : Ce procédé ajuste simultanément l'amplitude et la phase d'une onde porteuse en quadrature pour transmettre huit bits par symbole, mais il est plus sensible aux interférences et au bruit.

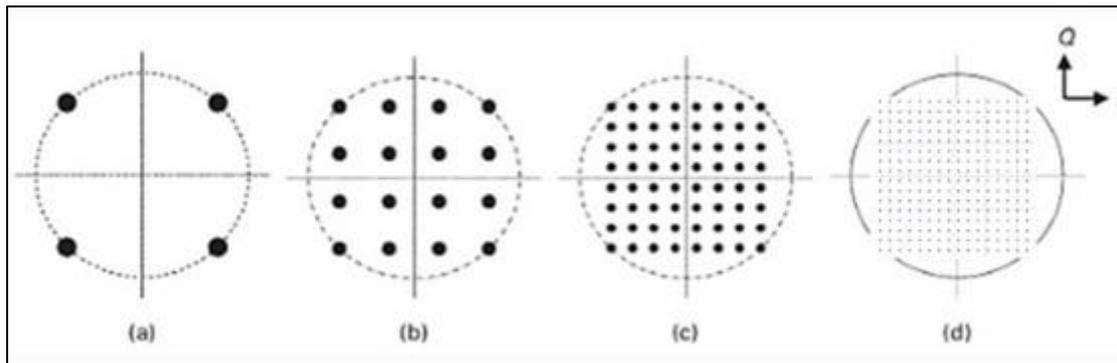


Figure 1. 13: Square QAM constellations : (a) 4-QAM (QPSK),
(b) 16- QAM, (c) 64 –QAM, (d) 256- QAM. [16]

1 .11 Agrégation de porteuses (CA)

L'agrégation de porteuses est l'agrégation de deux ou plusieurs bandes de spectre pour créer une bande plus large, l'objectif principal de CA est d'augmenter la vitesse et la capacité de bande passante et d'économiser des coûts supplémentaires de spectre de fréquences. L'agrégation de porteuses est une technique introduite dans la LTE-Advanced.

Il existe un certain nombre de façons d'effectuer l'agrégation de porteuses.

Dans les CA contiguës intra-bande, les CC (Les supports de composants sont agrégés pour une agrégation de porteuses d'un équipement utilisateur (UE)) qui sont de la même bande de fréquences et sont contiguës dans le domaine fréquentiel sont agrégés pour maximiser le débit de données. Dans la deuxième technique, on fait des CA non contiguës d'intra-bande qui sont identiques en fréquence dans les bandes mais non contiguës dans les domaines fréquentiels. Enfin, dans l'AC inter-bande, les CC de différentes bandes de fréquences sont agrégés. L'CA est effectuée sur des cellules inter ou intra-eNodeB. [13]

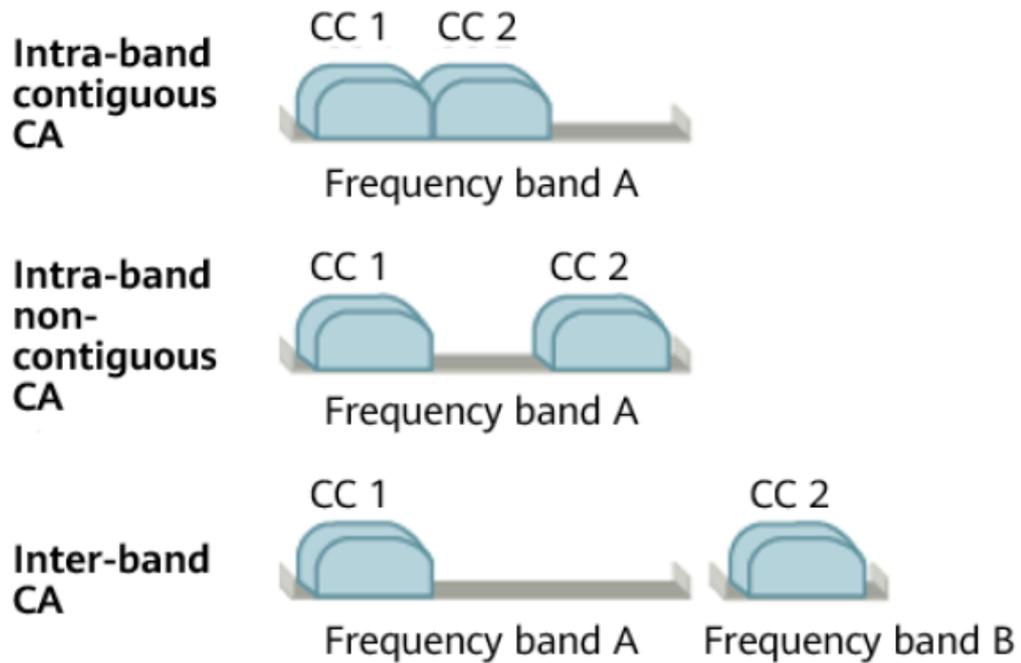


Figure 1. 14: Intra inter-bande [13].

1.12 Conclusion

En conclusion, nous pouvons dire que, ce chapitre a posé les bases pour la compréhension des aspects plus avancés de la 4G/LTE, et nous avons procédé à l'exploration des concepts fondamentaux de FDD et TDD. Nous avons examiné leurs différences essentielles en termes de configuration de la liaison montante et descendante, ainsi que les avantages de chaque approche. FDD offre une séparation claire des fréquences pour les voies montantes et descendantes, tandis que TDD utilise des intervalles de temps pour partager la même bande passante. Le choix entre FDD et TDD dépend largement des exigences spécifiques du système, notamment la capacité, la latence et la flexibilité. Dans le chapitre suivant, nous allons étudier les différentes fonctionnalités pour l'amélioration de la qualité de service (QoS) LTE.

Chapitre 2 : Étude des différentes fonctionnalités pour l'amélioration de la Qos LTE

2.1 Introduction

Afin de rester compétitifs tout en répondant aux attentes de leur clientèle, les opérateurs de réseaux mobiles doivent constamment surveiller et améliorer la qualité de leurs services. Cette tâche est essentielle dans la gestion globale d'un réseau de télécommunications. Dans ce chapitre, nous nous intéresserons à l'étude des fonctionnalités visant à améliorer la qualité de service dans le réseau LTE. Nous allons étudier les différents paramètres de la qualité de service pour le réseau LTE, ses classes, et les différents types de KPI.

2.2 La qualité de service (QOS)

La qualité de service (QoS, Quality of service) est un concept essentiel dans la gestion des réseaux désigne toute technologie capable de gérer la transmission des données, tout en réduisant la perte de paquets, la latence et la gigue (jitter) sur le réseau. Ce concept a pour but de contrôler et de gérer les ressources réseau, en hiérarchisant certains types de données du réseau. [13]

2.3.1 Les paramètres de la QoS

Pour améliorer la qualité d'un réseau, il est essentiel de comprendre les facteurs qui l'affectent. Traditionnellement, on considère que la bande passante de la liaison de transmission, le délai de transmission des paquets, la gigue et le taux de perte de paquets sont des éléments clés qui influencent la performance du réseau. [13]

2.3.1.1 Le débit

Le débit, qui définit le volume ou la vitesse maximale de transmission de données entre émetteur et récepteur, est exprimé en bits par seconde (bit/s). Il représente la quantité maximale d'informations pouvant être transmise sur une liaison donnée en une seconde.

2.3.1.2 La latence

Le délai fait référence au temps nécessaire pour transmettre un paquet ou un groupe de paquets de l'émetteur au récepteur. Il se compose du délai de transmission et du délai de traitement. Dans l'idéal, la latence doit être minimal que possible. Plus elle est élevée, plus elle affecte les performances du réseau.

Dans les réseaux LTE, un temps de latence plus court est préférable, car cela signifie que le premier bit de données à faire le trajet entre l'utilisateur et un serveur, dans un sens ou dans l'autre, met moins de temps à effectuer le parcours.

2.3.1.3 La gigue

La gigue, également connue sous le terme anglais "jitter", Si une congestion réseau se produit, les retards des paquets sur la même connexion sont différents. La gigue est utilisée pour décrire le degré de variation de latence, c'est la différence entre les délais de transmissions des paquets.

Une gigue élevée peut entraîner des problèmes tels que des interruptions ou des retards dans la transmission des données, ce qui peut affecter la qualité de l'expérience utilisateur. Par conséquent, il est important de surveiller et de minimiser la gigue pour assurer une haute qualité de service. Une valeur de gigue inférieure à 15 millisecondes est généralement considérée comme acceptable.

2.3.1.4 La perte de paquets

La perte de paquets fait référence au pourcentage du nombre de paquets perdus lors de la transmission de données par rapport au nombre total de paquets envoyés. Une légère perte de paquets n'affecte pas les services.

Dans les réseaux LTE, il est donc important de surveiller et de minimiser la perte de données pour assurer une haute qualité de service.

2.3.1.5 Binary Error Rate (BER)

Le Taux d'Erreur Binaire est un critère clé pour évaluer la qualité de service dans les réseaux de télécommunication, y compris les réseaux LTE. Le BER est le nombre d'erreurs de bits qui se produisent pour un certain nombre de bits transmis. En d'autres termes, il mesure la fréquence à laquelle les erreurs se produisent lors de la transmission de données.

Un faible taux d'erreur binaire est préférable pour assurer une transmission de données précise et fiable. Un BER élevé peut entraîner une dégradation de la qualité de service, car il peut causer des erreurs dans les données reçues. Dans les réseaux LTE, il est donc important de surveiller et de minimiser le BER pour assurer une haute qualité de service. Des outils de surveillance de réseau peuvent être utilisés pour détecter et diagnostiquer les problèmes liés au BER.

2.3.2 Les classes de la QoS

Afin de mieux contrôler les mécanismes de QoS, le 3GPP exige une différenciation du trafic applicatif en un nombre fini de profils (quatre), appelés classes. La différenciation se fait principalement en tenant compte de la sensibilité aux délais des informations à transporter.

2.3.2.1 Classe Conventionnelle

Le meilleur exemple de cette classe est la téléphonie. Elle peut être aussi utilisée pour les nouvelles applications Internet à aspect conversationnel en temps réel. Cette classe exige des contraintes strictes sur le délai de transfert des paquets ainsi que sur la variation du délai de transfert. [17]

2.3.2.2 Classe Streaming

Semblable à la classe précédente, mais elle suppose qu'une seule personne se trouve au bout de la connexion, de ce fait, elle est moins contraignante en termes de délais et de retards. Par exemple : vidéo-streaming. [18]

2.3.2.3 Classe Interactive

Cette classe est utilisée pour les applications qui nécessitent une interaction entre les deux extrémités de la communication. Un exemple d'application de cette classe est la navigation web. Elle est de type transactionnel. Elle nécessite une certaine contrainte sur le délai de transfert des paquets parce que l'utilisateur attend une réponse dans une fenêtre de temps. Cette contrainte n'est pas stricte puisque ce sont des applications non-temps réel. En revanche, cette classe doit assurer un taux de perte des paquets assez faible parce que les applications transportées par cette classe sont très sensibles aux pertes. [18]

2.3.2.4 Classe Background

C'est la classe la moins exigeante en termes de délai de transfert. Les applications transportées par cette classe sont des applications dont l'utilisateur n'attend pas les paquets. La contrainte la plus importante est le taux de perte. Cette classe est très sensible à la perte de paquets. Les applications e-mail et SMS constituent des exemples de la classe Background.

2.4 Notion de Porteurs (Bearers)

Dans les réseaux LTE, les porteurs (bearers) sont des canaux de communication virtuels peut être vu comme un tuyau qui transportent les données entre l'équipement utilisateur (UE) et le réseau, avec des caractéristiques de qualité de service (QoS) prédéfinies. Ils permettent de

différencier le traitement des différents types de trafic selon leurs besoins spécifiques en termes de QoS. Le type de porteur le plus important est l'EPS bearer (Evolved Packet System bearer).

2.4.1 Bearer EPS

Le porteur EPS est le plus important bearer qui transporte les données entre l'UE et la passerelle P-GW avec des paramètres de QoS prédéfinies.

Il existe deux types d'EPS bearers par défaut et dédié, Ces porteurs sont classifiés en deux catégories.

- Les bearers avec débit garanti ou Guaranteed Bit Rate (GBR).
- Les bearers sans débit garanti (non-GBR).

2.4.1.1 Bearer par défaut (Default Bearer)

Lorsqu'un UE se connecte à un réseau LTE, au moins un support EPS doit être créé. Ce support EPS est appelé « support EPS par défaut » et reste activé jusqu'à ce que l'UE se détache du réseau, La QoS du support EPS par défaut est un débit binaire non garanti (non GBR), ce qui signifie une prise en charge de la livraison au mieux (aucune qualité garantie).

2.4.1.2 Bearer dédié (Dedicated Bearer)

Les bearers dédiés associés à un ou plusieurs trafics spécifiques sont ajoutés au-dessus des bearers par défaut existant et utilisent leur adresse IP. Ils peuvent être établis à n'importe quel moment après la procédure d'enregistrement au réseau. Contrairement au bearer par défaut, le bearer dédié est souvent GBR pour une QoS garantie bien qu'il peut être non-GBR. [19]

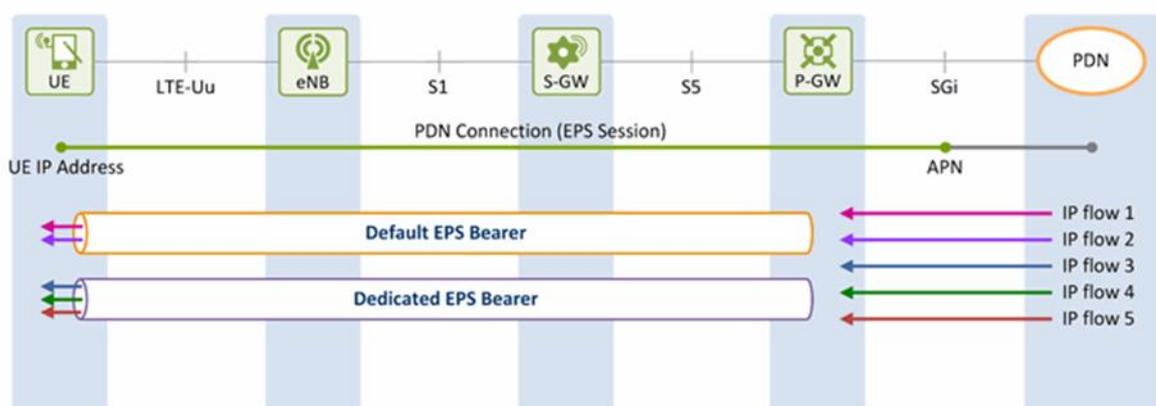


Figure 2. 1 : EPS bearer [19].

Chaque porteur EPS doit avoir défini QCI et ARP. Le QCI est particulièrement important car il sert de référence pour déterminer le niveau de QoS pour chaque support EPS.

➤ **QCI** : QoS Class Identifier que l'on traduit par Identifiant de Qualité de Service QCI, dans un nombre entier de 1 à 9, indique neuf caractéristiques de performances QoS différentes de chaque paquet IP. Le QCI d'un porteur EPS de type GBR peut aller

De 1 à 4 et le type non GBR peut aller de 5 à 9 Les valeurs QCI sont standardisées pour faire référence à des caractéristiques de QoS spécifiques, et chaque QCI contient des caractéristiques de performances standardisées.

➤ **ARP** : Allocation and Retention Priority est la priorité d'allocation et de rétention. Lorsqu'un nouveau support EPS est nécessaire dans un réseau LTE avec des ressources insuffisantes, une entité LTE (par exemple P-GW, S-GW ou eNB) décide, sur la base de l'ARP (un nombre entier allant de 1 à 15, 1 étant le niveau le plus élevé de priorité). [20]

Tableau 2. 1: Caractéristiques QCI [14]

QCI	Type de bearer	Priorité	Délai maximum	Taux de perte de paquet maximum	Exemple de service
1	GBR	2	100ms	10^{-2}	VOIP
2		4	150ms	10^{-3}	Vidéo bidirectionnel (conventionnel)
3		3	50ms	10^{-3}	Jeu en temps réel
4		5	300ms	10^{-6}	Vidéo non conversationnelle (buffered streaming)
5	Non-GBR	1	100ms	10^{-6}	Signalisation IMS
6		6	300ms	10^{-6}	Streaming video basée sur TCP, web
7		7	100ms	10^{-3}	Voix et vidéo en streaming temps réel (live), jeu interactif
8		8	300ms	10^{-6}	Streaming video basée sur TCP, web
9		9	300ms	10^{-6}	Streaming video basée sur TCP, web

2.5 Les Indicateurs Clés de performance KPIs (key performance Indicators)

Les indicateurs clés de performance (KPI) d'un réseau d'accès LTE sont essentielles pour surveiller et optimiser les performances du réseau radio afin d'améliorer la qualité de service pour les abonnés et optimiser l'utilisation des ressources du réseau installées. [20]

2.5.1 Type de KPI

Les KPI représentent un ou plusieurs compteurs formulés pour mesurer les performances du réseau LTE en termes d'accessibilité aux services, de mobilité des utilisateurs, d'intégrité des communications (débit, qualité du signal), de rétention des sessions et de disponibilité globale du réseau. Ils sont analysés pendant les heures de pointe et sur l'ensemble du réseau pour optimiser les performances et la qualité d'expérience des abonnés. Les principaux KPIs en LTE sont :

2.5.1.1 Accessibilité

Conçus pour évaluer si les services demandés par les utilisateurs peuvent être correctement accessibles dans des conditions données. Ils reflètent également la qualité de disponibilité lorsque les utilisateurs en ont besoin. Par exemple, l'accès au réseau, les appels vocaux, les appels de données, etc... sont tous des aspects mesurables de l'accessibilité. [2]

- Le **CSSR** représente le taux d'établissement d'appels. C'est le rapport entre le nombre d'appels réussis et le nombre des tentatives d'appels.

$$CSSR = \frac{\sum \text{Nombre d'appel Réussi}}{\sum \text{Nombre Des Tentative d'Appel}} \times 100\% \quad (2.1)$$

- Le **RRC_SSR** (Radio Resource Control setup success rate) est un KPI clé dans les réseaux LTE qui mesure le taux de réussite de la procédure d'établissement d'une connexion RRC entre le terminal mobile et l'eNodeB, Ce KPI décrit le rapport entre le nombre d'établissements de connexion RRC réussis et le nombre total de tentatives d'établissement de connexion RRC.

$$RRC_SSR = \frac{\sum \text{Nombre de connexion RRC Réussi}}{\sum \text{Nombre De Tentative de connexions RRC}} \times 100\%$$

- **ERAB Setup Success rate** Taux de réussite de la mise en place de l'ERAB : Le KPI est utilisé pour évaluer le taux de réussite de l'ERAB Setup, est basé sur le taux de réussite des services d'installation au niveau de la cellule ou du cluster.

$$ERABSSR = \frac{Success\ ERABsetup}{Attempt\ ERABsetup} \times 100 \quad (2.2)$$

2.5.1.2 Maintien du service

Utilisés pour mesurer la capacité d'un réseau à maintenir les services demandés par un utilisateur une fois qu'il est connecté. En d'autres termes, ces KPIs évaluent si le réseau peut maintenir les services demandés par l'utilisateur pendant la durée souhaitée de la connexion. [2]

2.5.1.3 Disponibilité

Les KPI de disponibilité sont utilisés pour mesurer la disponibilité d'un réseau, c'est-à-dire s'il est prêt et adapté pour que les utilisateurs puissent utiliser les services qui y sont proposés.

2.5.1.4 Intégrité

Les KPI d'intégrité reflètent la qualité de l'expérience utilisateur lors de l'utilisation d'un service. Dans le cas des services de données, cela se traduit généralement par les débits des utilisateurs et la latence, qui mesurent la rapidité et la fiabilité des transferts de données.

- **BLER** (taux d'erreur de blocage) est un bon indicateur pour tous les services.

$$BLER(\%) = \frac{\text{nombre de blocs radio échoué}}{\text{nombre total de blocs radio}} \times 100 \quad (2.3)$$

2.5.1.5 Mobilité

La capacité du réseau à assurer un transfert transparent des utilisateurs d'une station de base à une autre, tout en maintenant la continuité du service pour l'utilisateur, tel que le transfert de données ou d'appels.

- **SHO / HHO Success Rate** Cet indicateur de performance clé décrit le rapport entre les ajouts de liaisons radio ayant abouti et le nombre total de tentatives d'ajout de liaisons, Le taux de succès de handover (Soft Handover Success Rate - SHOSR et Hard Handover Success Rate - HHOSR)

$$SHOSR(\%) \equiv \frac{\text{Nombre de succès de soft handover inter freq}}{\text{Nombre de tentative de soft handover inter freq}} \times 100 \quad (2.4)$$

$$\text{HHOSR}(\%) = \frac{\text{Nombre de succès de hard handover inter freq}}{\text{Nombre de tentative de hard handover inter freq}} \times 100 \quad (2.5)$$

2.5.1.6 Utilisation

Les KPI d'utilisation sont utilisés pour évaluer la capacité de réseau à répondre aux demandes des utilisateurs en termes de trafic ainsi que d'autres caractéristiques spécifiques à l'équipement.

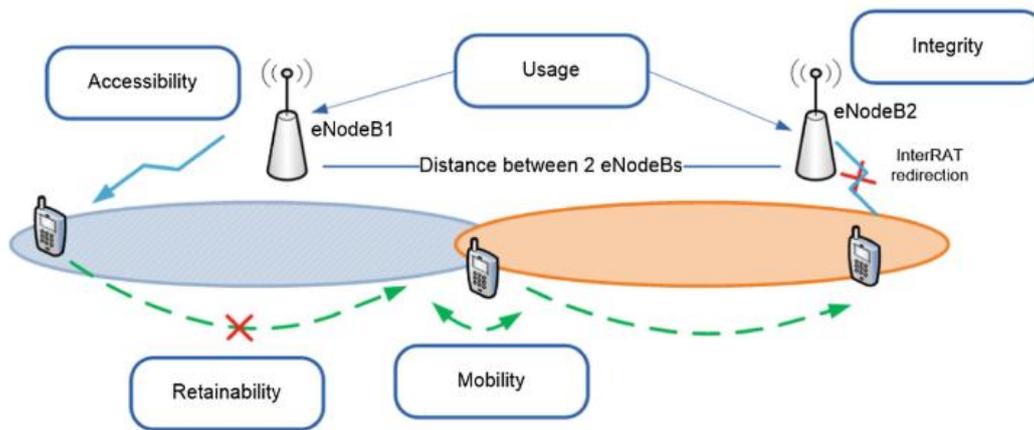


Figure 2. 2 : 4G/LTE Key performances indicators

2.5.2 Mesure des KPI dans les Réseaux LTE

La mesure des Indicateurs Clés de Performance (KPI) dans les réseaux LTE est une tâche essentielle pour évaluer et améliorer les performances du réseau. Voici comment ces KPI sont généralement mesurés :

2.5.2.1 Trafic

Le KPI de trafic, dans le contexte des réseaux de télécommunications, est une mesure quantitative utilisée pour évaluer la quantité de données transmises sur le réseau sur une période donnée. Il peut aider à identifier les tendances d'utilisation, à planifier la capacité future et à évaluer l'efficacité du réseau. Ces mesures peuvent être utilisées pour identifier les périodes de pointe d'utilisation du réseau, les tendances d'utilisation à long terme et les domaines du réseau qui peuvent nécessiter une capacité supplémentaire.

$$\text{volume du trafic} = \text{volume PDCP UL} + \text{volume PDCP DL} \quad (2.6)$$

Tel que PDCP volume DL représente le volume du trafic au niveau de la couche PDCP

2.5.2.2 PRB usage

Le KPI PRB (Physical Resource Block) dans le contexte des réseaux LTE est une mesure de l'utilisation des blocs de ressources physiques. Un PRB est un canal de taille fixe qui peut être alloué à un utilisateur pour transmettre ou recevoir des données. Chaque PRB a une bande passante de 180 kHz et une durée de milliseconde. Il peut aider à identifier les domaines qui nécessitent une amélioration et à optimiser l'utilisation des ressources du réseau.

$$\text{PRB} = \frac{\text{Le nombre de RB DL Utilisé}}{\text{Le nombre de RB disponible}} \times 100 \quad (2.7)$$

2.5.2.3 Débit

Le débit binaire (ou throughput) est une mesure de la quantité maximale d'informations pouvant être transmise sur une liaison donnée en une seconde. Il évalue le débit moyen de la liaison descendante de la cellule lorsqu'il y a un transfert de données.

2.5.3 Mesures pratique des KPI's

Dans cette section nous allons décrire les pratiques des KPI'S :

2.5.3.1 Drive test

Le drive test est une technique de mesure utilisée pour localiser et analyser géographiquement les problèmes dans un réseau mobile, en termes de couverture, de capacité et d'exigences de qualité de service. Cette technique fournit également des informations sur les handovers, les déconnexions de lien radio et les cellules voisines en parcourant les rues à l'aide d'un véhicule spécialement équipé pour effectuer des mesures. L'analyse du drive test se déroule en deux étapes principales : la collecte de données et l'analyse de données.

Il existe deux types de drive tests [2] :

- **Drive Test Indoor** : Les mesures sont effectuées dans une petite zone, à l'intérieur d'un immeuble, d'une entreprise ou d'une faculté.
- **Drive Test Outdoor** : Les mesures sont réalisées dans une zone plus vaste à l'extérieur, couverte par des eNodeB.

2.5.3.1.1 Les équipements de drive test

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

- **Un ordinateur portable** : équipé du logiciel TEMS Investigation, est utilisé pour analyser et stocker toutes les valeurs recueillies par le GPS et le mobile.

- **Un GPS (Global Positionner System)** : pour déterminer la localisation géographique de la position de la mesure ont été effectuées.
- **Un mobile à trace** : un ou plusieurs mobiles, selon le type des tests à veut effectuer. Il est généralement équipé d'un logiciel spécifique qui permet de collecter des données sur les performances du réseau.



Figure 2. 3: les équipements de drive test

À partir du drive test, on obtient des fichiers appelés "Log Files" qui contiennent toutes les mesures relatives à la couverture et à la qualité de la région où le test a été effectué. Ces fichiers sont ensuite utilisés pour l'analyse. [13]

2.5.3.2 PRS (Performance Reporting System)

Le système PRS est une plate-forme de surveillance et d'analyse des données de performances des réseaux mobiles, permet à plusieurs utilisateurs de gérer les rapports de performances des réseaux radio de plusieurs systèmes, fournisseurs et versions, offrant ainsi une plateforme de soutien de base pour la planification et l'exploitation des réseaux radio.

2.6 Conclusion

Ce chapitre met en évidence l'importance de maintenir une qualité de service élevée dans les réseaux LTE à travers une gestion proactive des ressources et une surveillance continue, pour répondre aux exigences des clients et maintenir la compétitivité des opérateurs de

télécommunications. Garantissant ainsi une expérience utilisateur optimale et la satisfaction des clients.

Chapitre 3 : Implémentation Soft split et IMB

3.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous allons présenter la solution TDD Smart 8T8R, se concentre sur l'utilisation de technologies avancées telles que soft split et l'intelligent multi-beam pour optimiser les performances de réseau. Ces technologies permettent d'optimiser la gestion du trafic, d'augmenter la capacité du réseau et d'améliorer l'expérience globale des utilisateurs, Nous allons présenter les étapes utilisées par l'entreprise Djazzy pour assurer cette solution.

3.2 La Bande TDD (Band 40)

La bande 3GPP B40 (2300 MHz) TDD LTE est la huitième bande la plus populaire utilisée par les opérateurs mobiles publics pour les déploiements de réseaux LTE et est généralement déployée en raison de la large disponibilité du spectre. De plus, sa courte portée permet le déploiement d'une couverture dense pour une capacité maximale. Cette bande a été attribuée aux opérateurs de télécommunications en Algérie en 2022 dès l'obtention de la licence TDD par L'ARPCCE (l'Agence de Régulation des Postes et des Communications Électroniques). Ça largeur est de 100 MHz divisé sur les trois opérateurs, Mobilis, Ooredoo et Djazzy de tel sort chacun prend 30MHz et 10 MHz pour les militaires. [22]

Les technologies LTE-A ou LTE-Advanced Pro peuvent être déployées en utilisant l'agrégation de porteuses pour combiner diverses bandes passantes de la bande 40 avec d'autres porteuses.

3.3 Présentation de l'antenne 8T8R

Les antennes intelligentes 8T8R adoptent une technologie d'antenne à 8 matrices multiples. Cette technologie est souvent utilisée dans les réseaux de téléphonie mobile, notamment pour la technologie 4G et 5G. En combinaison avec des algorithmes adaptatifs exécutés dans l'équipement de la station de base RAN (Radio Access Network), ces antennes peuvent atteindre de bonnes performances de formation de faisceau.

La Figure ci-dessous montre une antenne 8T8R typique. Quatre colonnes d'antennes à double polarisation correspondent à 8 ports RF et 1 port de calibration. [13]

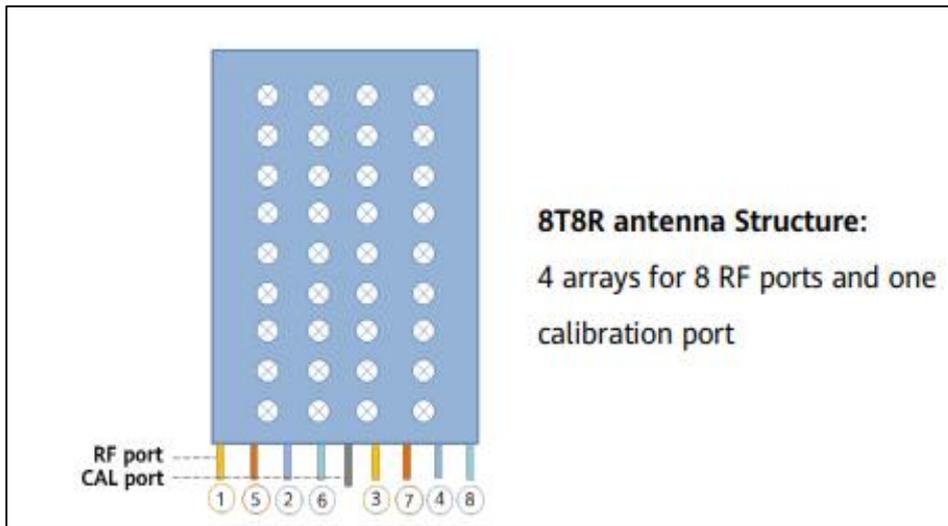


Figure 3. 1 : Structure de l'antenne 8T8R. [13]

Les huit ports RF sur l'antenne sont connectés à huit canaux RF individuels. Chaque canal RF utilise le faisceau de colonne unique correspondant pour rayonner de l'énergie. Pour obtenir une haute précision des signaux pondérés aux points de connexion de l'antenne, nécessaire pour garantir les motifs de rayonnement souhaités, l'étalonnage est requis. Même si les signaux pondérés sont fournis avec précision par l'équipement de bande de base et RF connecté à l'antenne, des changements dans le signal aux ports de connexion de l'antenne peuvent être causés par le câblage entre la radio et l'antenne. Afin d'éliminer toute influence du câblage, un étalonnage est effectué via un port de calibration dédié. L'amplitude et la phase du signal à chacun des huit ports RF sont continuellement étalonnés, éliminant les différences de signal RF causées par les câbles connectant l'antenne à l'équipement radio. Cela permet la formation de faisceau avec une précision constamment élevée. [13]

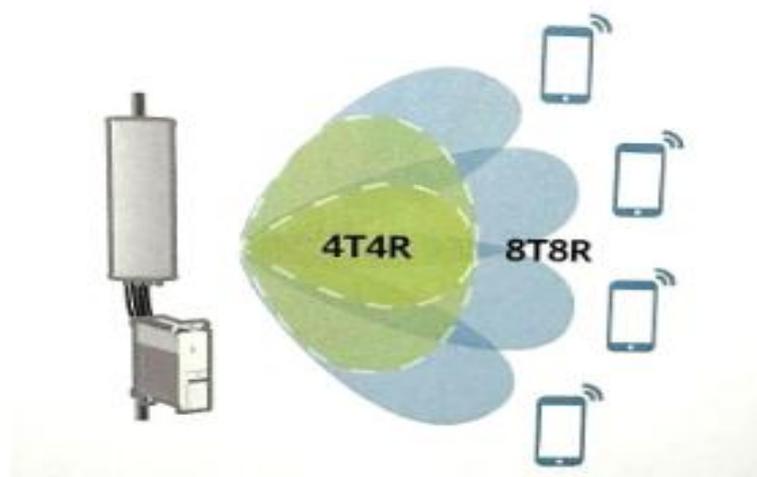


Figure 3. 2 : La couverture de l'antenne 8T8R

3.4 Solution TDD Smart 8T8R

Malgré l'utilisation des antennes 8T8R, des problèmes de congestion et de débit peuvent toujours survenir. C'est pourquoi l'idée d'améliorer les performances de ces antennes avec la solution TDD Smart 8T8R est une excellente initiative. Cette solution exploite plusieurs technologies pour améliorer les performances du réseau. [13]

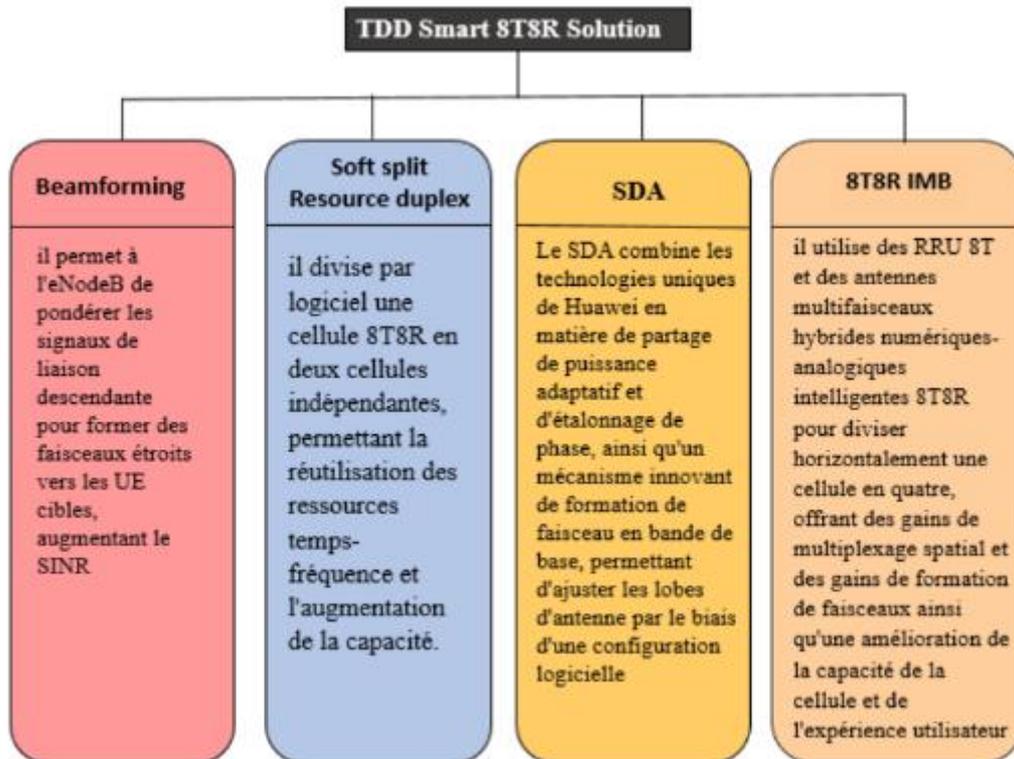


Figure 3. 3 : Solution TDD Smart 8T8R

3.4.1 La technique de formation de faisceaux (beamforming)

La technique de formation de faisceaux, connue sous le nom de beamforming, est une technologie de traitement numérique des signaux qui peut être mise en œuvre sur des antennes adaptatives en réseau 8T8R. Le poids en bande de base de multiples antennes émettant des signaux est utilisé pour former des faisceaux étroits à gain élevé. Ces faisceaux ciblent les appareils utilisateurs, améliorant ainsi la force du signal et réduisant les interférences.

En termes simples, la formation de faisceaux est la méthode la plus efficace pour transmettre des signaux dans certaines directions afin d'augmenter le débit et la fiabilité. Les antennes radio traditionnelles étaient presque toujours omnidirectionnelles, gaspillant de l'énergie en délivrant des messages là où elles n'étaient pas nécessaires. [13]

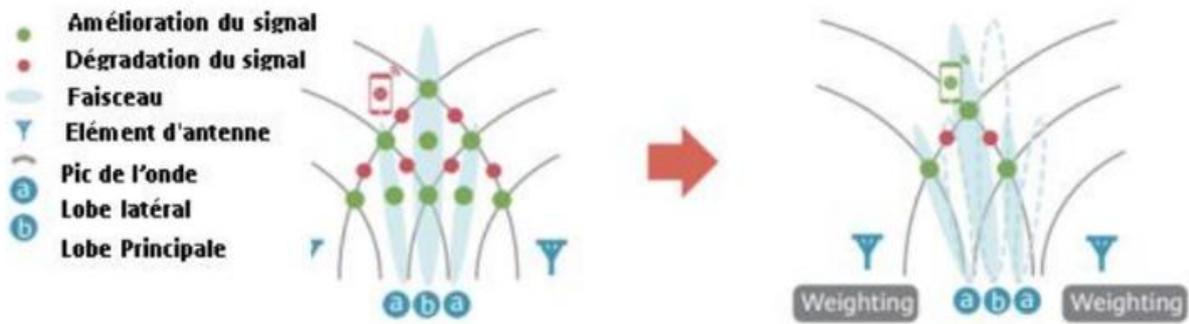


Figure 3. 4: Principes de formation de faisceaux. [13]

3.4.2 La technique Soft Split Resource Duplex

Soft split ressource multiplexing, également appelé soft split ressource duplex (SSRD), est une technologie qui utilise un fractionnement de ressources basé sur la bande de base pour générer deux faisceaux orthogonaux et diviser la cellule d'origine en deux cellules pour une couverture indépendante. [3]

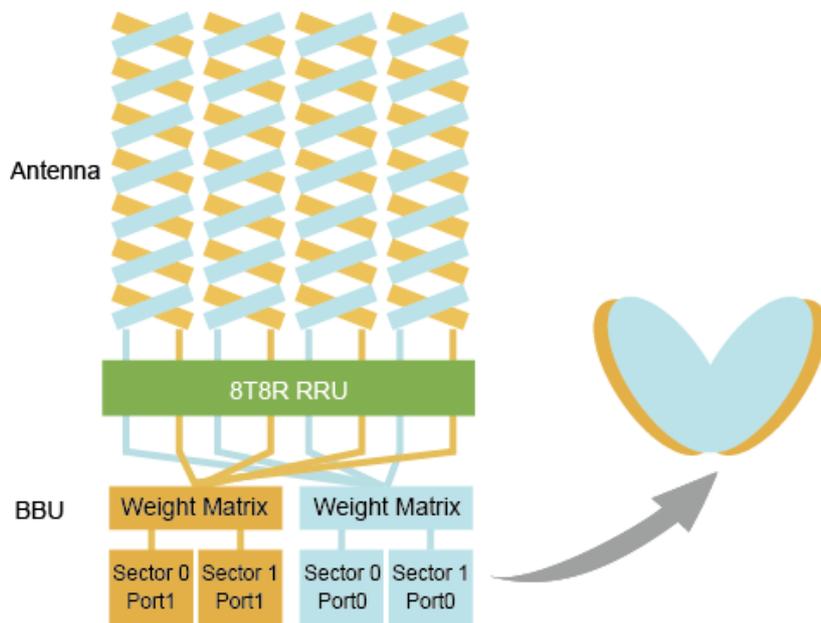


Figure 3. 5: Mappage entre les canaux et les antennes dans soft split RRU. [3]

Après la scission par SSRD, chaque faisceau (représenté par les couleurs rouge et bleu) dessert une cellule indépendante. Les utilisateurs dans les deux cellules issues de la division accèdent au réseau de manière distincte, effectuent leurs propres mesures de cellules voisines et sont transférés indépendamment les uns des autres. L'eNodeB détermine quel faisceau dessert

un utilisateur en se basant sur la puissance reçue du signal de référence (RSRP) d'un utilisateur sur chaque faisceau. Ensuite, il sélectionne les utilisateurs desservis par un groupe de faisceaux orthogonaux pour l'appariement. Cette approche permet de réutiliser les ressources temps-fréquence, ce qui conduit à une augmentation du débit de la cellule.

- **RRU (Remote Radio Unit) :** Les Remote Radio Unit (RRU) sont des composants essentiels dans les réseaux de télécommunications mobiles 4G et 5G, où ils jouent un rôle crucial dans l'amplification et la transmission des signaux radio entre les antennes et le reste du réseau, le BBU.
- **BBU (Base band Unit) :** La BBU est un composant central qui supervise l'ensemble de la station de base, assurant le traitement et la maintenance des signaux. Elle agit comme le centre de contrôle du réseau, régulant efficacement le flux de données entre le côté RF et le cœur du réseau.

3.4.2.1 Fractionnement intra- et inter-fréquence

SSRD inclut la Fractionnement intra- et inter-fréquence.

- **Fractionnement intra-fréquence**

Deux cellules sont divisées en cellules intra-fréquence. Les utilisateurs d'équipements (UE) réutilisent les ressources RB, améliorant considérablement la capacité cellulaire.[3]

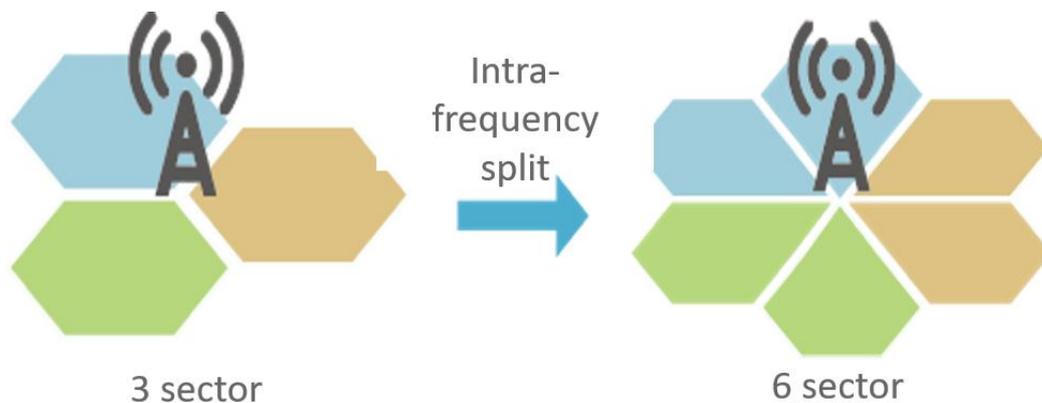


Figure 3. 6: Répartition intra-fréquence. [3]

- **Fractionnement inter-fréquence**

Dans le contexte de fractionnement inter-fréquence, les deux cellules sont divisées en cellules inter-fréquence. L'interférence intra-fréquence entre les cellules est faible. Le rapport signal sur interférence plus bruit (SINR) et la densité de puissance sont significativement

augmentés. Cela améliore le débit moyen de la cellule, le débit en bordure de cellule et la couverture.

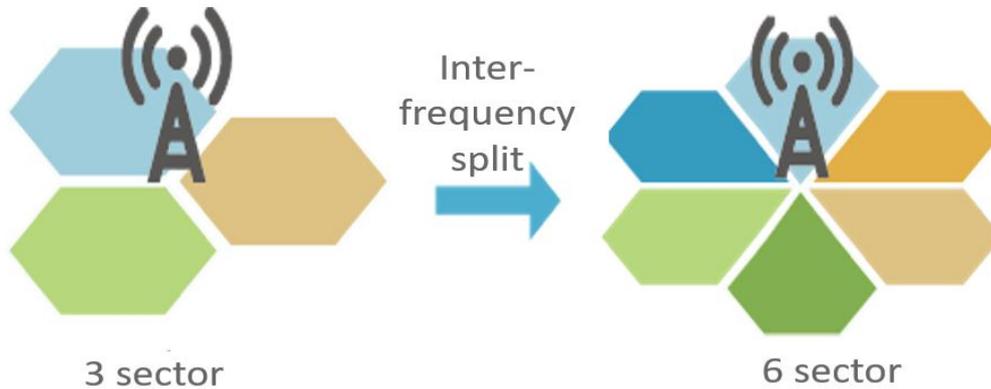


Figure 3. 7: Répartition intra-fréquence

Le SSRD augmente le nombre de cellules et améliore la capacité de l'eNodeB, Lorsqu'aucun nouveau site n'est ajouté.



Figure 3. 8: SSRD améliorant la capacité de l'eNodeB

3.4.2.2 Les Groupes de faisceaux

Soft split comporte quatre groupes de faisceaux. Un faisceaux symétrique gauche et droit, et trois groupes de faisceaux gauche et droit non symétriques. Ce mode s'applique aux scénarios où les équipements d'utilisateur (U E) ne sont pas répartis de manière égale. Sélectionnez les

groupes de faisceaux appropriés en fonction de la distribution des UE pour obtenir des performances optimales. [3]

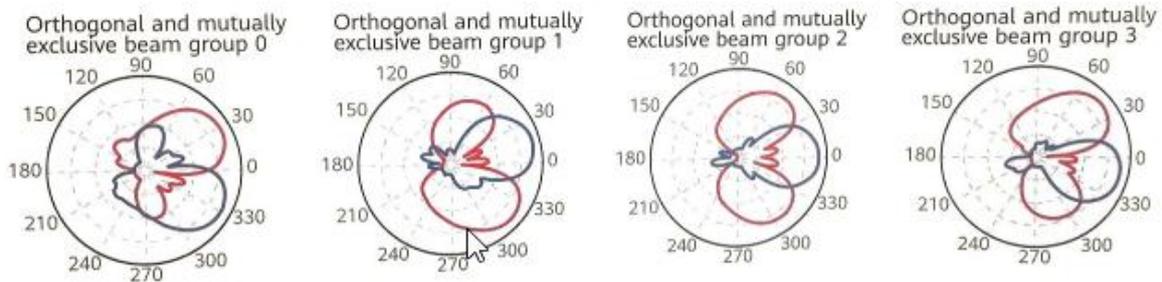


Figure 3. 9: Groupes de faisceaux orthogonaux

3.4.2.3 Partage de puissance (Power Sharing)

Dans le cas où une section est congestionnée et un autre est vide, il existe une option de partage de puissance. Une section peut partager sa puissance avec l'autre. Si la charge n'est pas équilibrée entre les deux cellules après la division, la cellule à faible charge partage sa puissance avec la cellule à forte charge. Cela améliore l'expérience globale de l'utilisateur et la capacité dans les deux cellules après la division. Ce partage de puissance se fait uniquement sur la liaison descendante. [22]

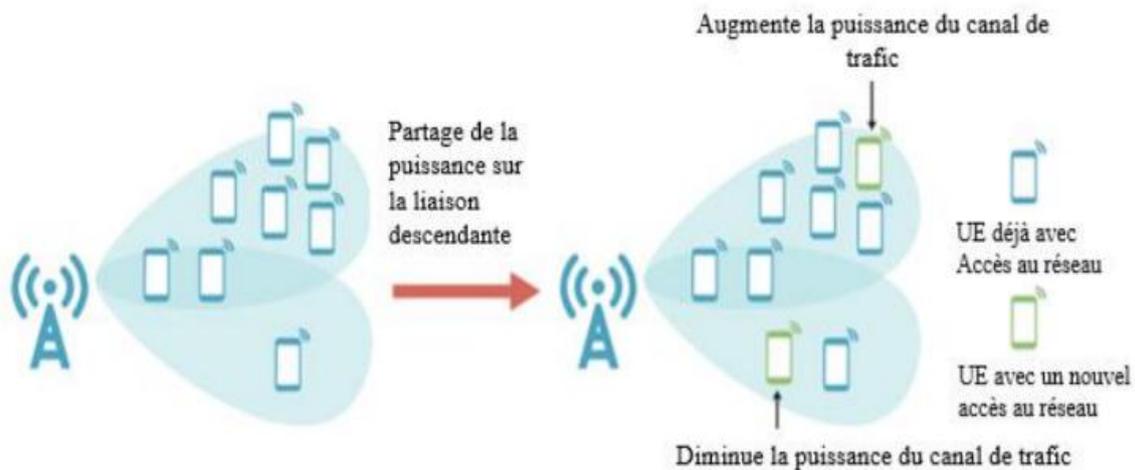


Figure 3. 10: Partage de puissance en liaison descendante souple

3.4.2.4 Configuration de la solution soft split

Nous souhaitons diviser une cellule de secteur en deux cellules intra-fréquence. Cela peut être réalisé en modifiant les paramètres de notre équipement de secteur et des cellules Locales.

Le paramètre Sector Equipment ID est fixé à 0 pour la cellule du secteur qu'on souhaite diviser. Nous allons Fixez le paramètre LocalCellId à 0 afin qu'il fonctionne comme cellule primaire et celle dont le paramètre LocalCellId est fixé à 1 fonctionne comme cellule divisée. Cela est fait par L'intégration d'un script développé par Huawei à notre antenne en utilisant Logiciel MML on écrit les commandes dans la fenêtre command editor et on appuie sur run.

Le script est dans **Index 1**.

3.4.3 Antenne software-defined antennas (SDA)

Les antennes à formation de faisceau, définies par logiciel (SDA), utilisent un logiciel pour mettre en œuvre une commutation de largeur de faisceau flexible. Contrairement aux antennes traditionnelles dont la largeur de faisceau est déterminée par la conception matérielle et ne peut être modifiée, les antennes SDA permettent un contrôle dynamique de la largeur du faisceau grâce à la formation de faisceau d'antenne gérée par le BBU.

Dans les antennes à faisceau unique, la largeur du faisceau est généralement fixée à 65°, tandis que dans les antennes à faisceau divisé, elle est de 33°. Pour adapter la largeur du faisceau selon les besoins, il était auparavant nécessaire de remplacer l'antenne. Cependant, Huawei a introduit les premières solutions SDA hybrides numériques-analogiques de l'industrie pour résoudre ce problème. Ces antennes SDA intègrent des techniques de formation de faisceau à la fois numériques et analogiques, permettant une commutation flexible entre différentes largeurs de faisceau sans nécessiter le remplacement de l'antenne. [13]

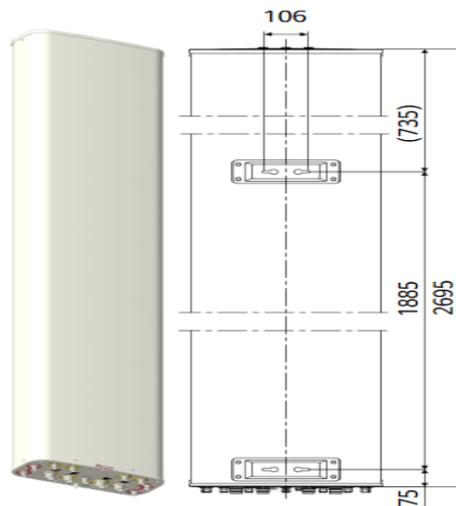


Figure 3. 11: Antenne SDA. [3]

Tableau 3. 1: Caractéristique de l’antenne SDA TDD [22]

Electrical Properties–General Electrical Properties(RAT: TDD)		
General Parameters	Frequency range (MHz)	2300–2690 (CBy2)
	Polarization	+45°, –45°
	Electrical downtilt (°)	2–12, continuously adjustable, each band Separately
	Electrical downtilt tolerance (°)	±1
	Max. effective power per port (W)	50 (at 50°C ambient temperature)
	Impedance (Ω)	50
	Grounding	DC grounding
Calibration and electrical parameters	Coupling factor between calibration port and each antenna port (dB)	–26±2
	Max. amplitude tolerance from calibration port to input ports (dB)	0.7
	Max. phase tolerance from calibration port to input ports (°)	6
	Ports VSWR	1.5
	Co-polarization isolation between ports (dB)	≥ 20
	Cross-polarization isolation between ports (dB)	≥ 23

Tableau 3. 2: Caractéristique de l’antenne SDA TDD LTE [22]

Electrical Properties(RAT: TDD-LTE)			
Radiation parameters	Frequency range (MHz)		2300–2690 (CBy2)
	Single column beam	Gain (dBi)	15.0
		Horizontal 3 dB beam width (°)	90
		Front to back ratio (dB)	≥ 25
		Cross polar ratio, 0° (dB)	≥ 15
		Vertical 3 dB beam width (°)	8.0
		Side lobe suppression for first side lobe above main beam (dB)	≥ 15
	65° Broadcast beam	Gain (dBi)	16.2
		Horizontal 3 dB beam width (°)	65
		Front to back ratio (dB)	≥ 26
		Cross polar ratio, 0° (dB)	≥ 17
		Vertical 3 dB beam width (°)	8.0
		Side lobe suppression for first side lobe above main beam(dB)	≥ 15
	Service beam	0° direction beam gain (dBi)	20.2
		0° direction beam horizontal 3 dB beam width (°)	26
		0° direction beam front to back ratio (dB)	≥ 30
		0° direction beam cross polar ratio (Db)	≥ 18
	Soft split multi-beam	Gain (dBi)	19.4
		Horizontal 3 dB beam width (°)	31
		Front to back ratio (dB)	≥ 30
Cross ploar ratio at boresight (dB)		≥ 19	

3.4.4 Technique 8T8R IMB

Les antennes 8T8R à faisceaux multiples intelligents, utilisant des unités radio à 8 émetteurs-récepteurs (8T RRU) et des antennes hybrides analogique-numérique à faisceaux multiples intelligents, permettent de diviser horizontalement une cellule en quatre sous-cellules. Cela apporte des gains de multiplexage spatial et de formation de faisceaux. La capacité globale de la cellule est également augmentée dans les scénarios de forte charge. Si les UE sont inégalement réparties entre les cellules après la scission, le partage de puissance intercellulaire peut être mis en œuvre pour améliorer la capacité globale des cellules et l’expérience utilisateur.



Figure 3. 12: Multifaisceaux intelligent du 8T8R. [13]

L'intelligent Multi-Beam de 8T8R divise horizontalement une cellule en quatre en utilisant un poids de bande de base et du matériel d'antenne. Chaque cellule est associée à huit canaux TX/RX, et les quatre cellules partagent les huit canaux TX/RX. De cette manière, la puissance peut être partagée entre les cellules divisées.

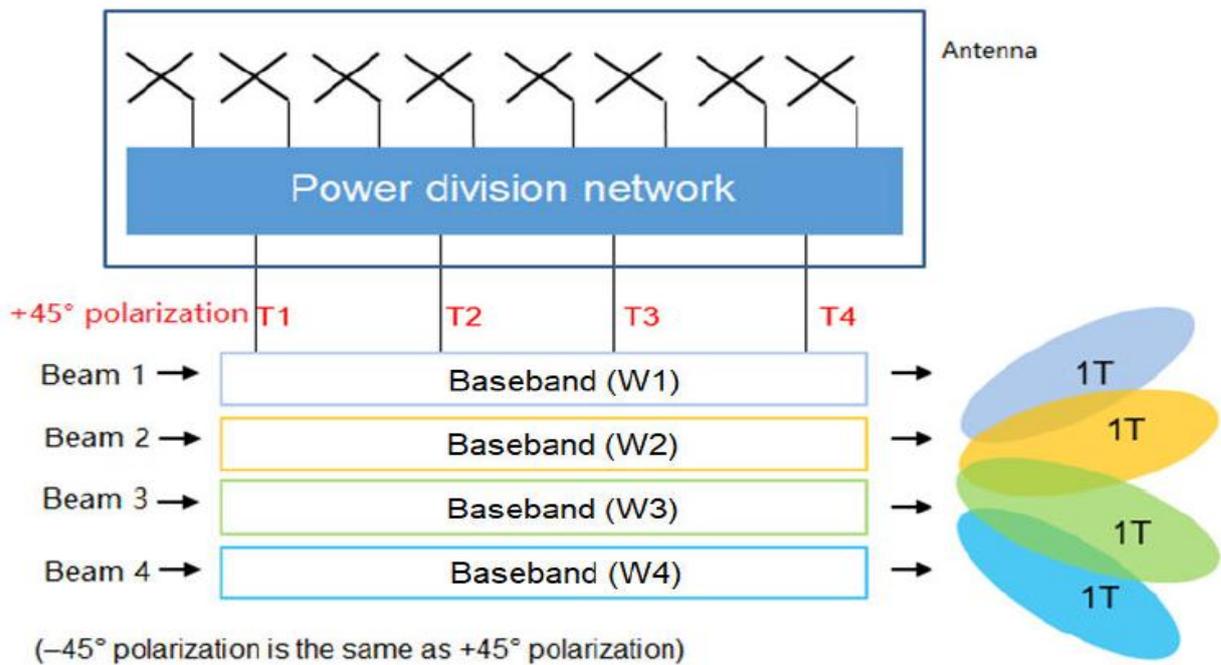


Figure 3. 13: Pondération en bande de base. [13]

3.4.4.1 Configuration de la solution IMB

Nous souhaitons diviser une cellule de secteur en quatre cellules intra-fréquence. Nous allons Fixez le paramètre LocalCellId à 0 pour la cellule primaire et à 1, 2 ,3 pour les cellules divisées. Cela est fait par L'intégration d'un script développé par Huawei à notre antenne Le script est dans **Index 2**

3.5 Conclusion

Ce chapitre a offert une exploration détaillée de plusieurs technologies et techniques clés utilisées dans les réseaux de télécommunications modernes. Nous avons mis en lumière la solution TDD Smart 8T8R développées par Huawei pour améliorer le réseau LTE. Cette solution exploite des technologies avancées pour optimiser les performances du réseau, pouvant conduire à une meilleure couverture, une capacité accrue et une qualité de service améliorée pour les utilisateurs du réseau LTE. Cependant, leur application requiert une compréhension approfondie et une configuration soignée pour garantir le meilleur rendement possible.

Chapitre 4: Test et interprétation des résultats

4.1 Introduction

Dans ce dernier chapitre, nous allons étudier les résultats de l'implémentation de la solution SSRD et IMB que nous avons précédemment explorées. Nous appliquerons cette solution à une zone spécifique, sélectionnée selon des critères définis. Pour interpréter les résultats obtenus après l'implémentation de ces solutions, nous utiliserons des outils d'analyse tels que PRS et Drive Test. Grâce à l'utilisation des indicateurs de performance clés (KPI) tels que le débit, le trafic et les PRB, nous serons en mesure d'évaluer comment ces solutions ont contribué à l'amélioration du réseau LTE. Ce chapitre promet d'être une exploration de l'application pratique des technologies de télécommunication avancées.

4.2 Description du logiciel U2020

Le logiciel U2020 est un système de gestion des éléments (Element Management System, EMS) développé par Huawei. Il est capable de gérer plusieurs types d'éléments réseau (Network element, NE) et de services intégrés sur le réseau, répondant ainsi aux besoins de gestion de réseau des opérateurs.

Les fonctions de base fournies par l'U2020 incluent :

- _ Gestion de la topologie
- _ Gestion des incidents
- _ Gestion de la configuration (gestion des commandes MML)
- _ Gestion des performances
- _ Gestion de la sécurité
- _ Gestion des journaux
- _ Gestion du système
- _ Gestion du logiciel NE
- _ Gestion des licences

4.3 Gestion MML (Man-Machine Language)

MML est un type de langage homme-machine qui permet aux utilisateurs de communiquer avec les Network Elements (NE) pour les opérer et les maintenir. Pour faciliter la maintenance des NE, le système de gestion MML fournit une interface qui permet aux utilisateurs d'envoyer des commandes MML aux NE et de consulter les résultats de leur exécution. C'est un outil puissant pour la gestion des réseaux de télécommunications.

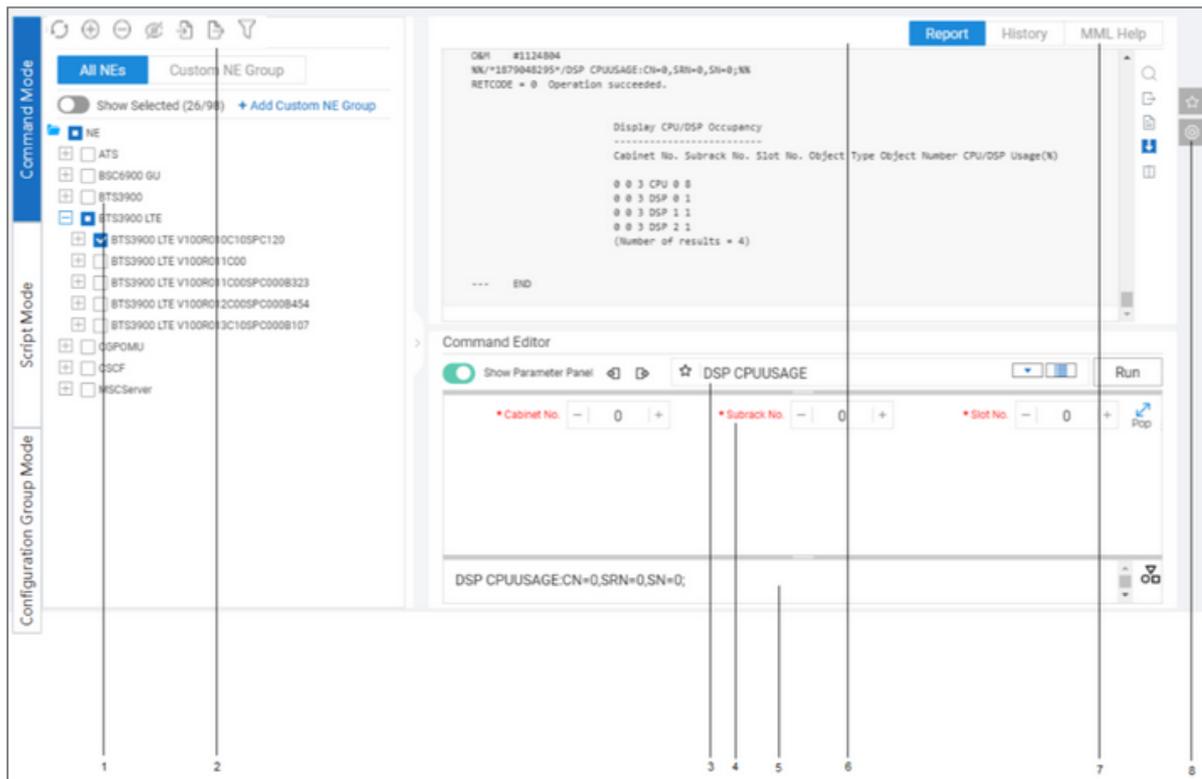


Figure 4. 1 : L'interface en mode commande

- (1) **Arbre NE** : Tous les éléments réseau (NE) auxquels les commandes MML peuvent être envoyées sont affichés dans une vue topologique basée sur la topologie des NE.
- (2) **Barre d'outils** : La barre d'outils de la vue topologique des éléments réseau (NE) permet de rechercher rapidement les NE requis en définissant des critères de filtrage, d'ajouter des NE fréquemment maintenus à un groupe personnalisé pour faciliter la maintenance, d'exporter les informations des NE sélectionnés dans un fichier, d'importer un fichier pour sélectionner les NE spécifiés et d'afficher les identifiants des NE LTE ou NR après l'installation de la médiation correspondante
- (3) **Zone d'entrée de commande** : comprend Search History, Command Tree ou Command List, et Match Parameter name.

(4) **Zone de saisie des paramètres** : Vous pouvez définir des paramètres pour les commandes MML

(5) **Fenêtre d'affichage des commandes** : Les commandes à exécuter et leurs paramètres sont affichés dans cette zone.

(6) **Fenêtre de rapport de commande** : Cette zone se compose des onglets Report et History. Sur l'onglet Rapport, les commandes MML et les résultats sont affichés. Vous pouvez rediriger, télécharger, exporter, effacer ou rechercher le résultat. Sur l'onglet Historique, les statistiques d'exécution des commandes sont affichées. Vous pouvez également consulter les détails des enregistrements historiques de livraison de commandes MML et les réémettre, les compléter, les supprimer et les exporter.

(7) **Fenêtre d'aide MML** : Ce volet affiche les informations d'aide des commandes MML.

(8) **Barre de maintenance MML** : Cette zone fournit un portail pour consulter l'historique des commandes MML, définir des commandes MML comme favoris et effectuer des réglages associés.

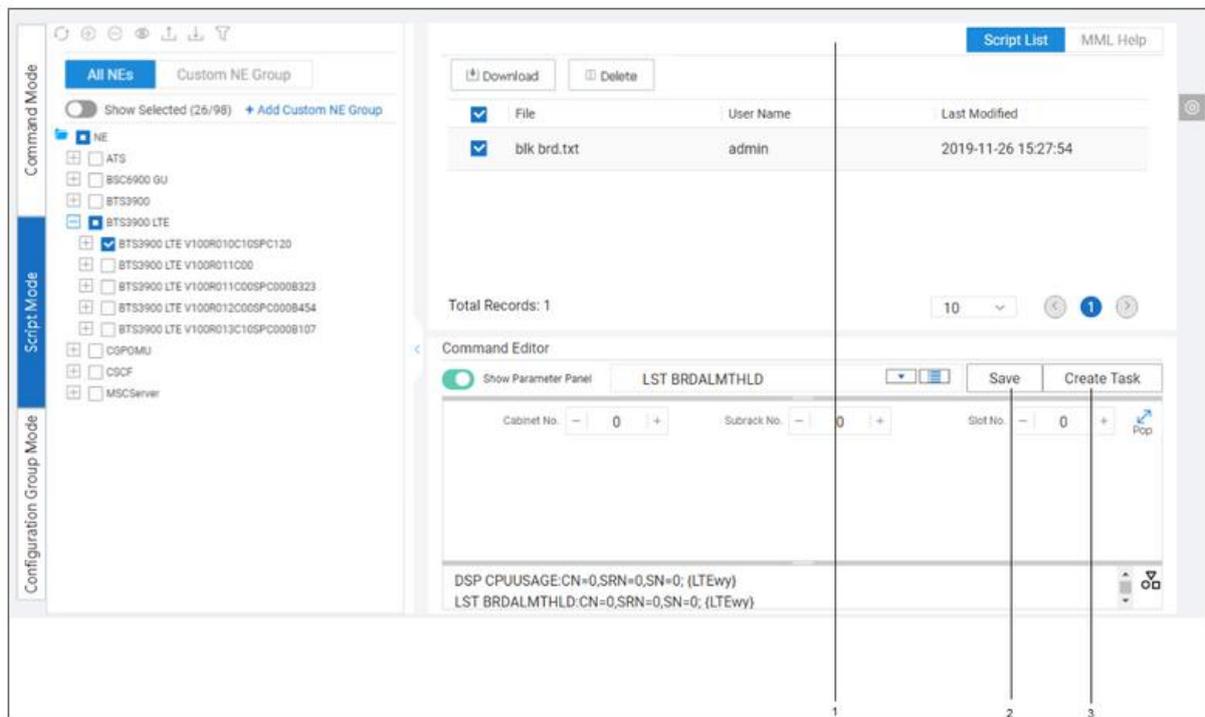


Figure 4. 2 : L'interface en mode script

(1) **Zone de liste de scripts** : Dans cette zone, vous pouvez télécharger et supprimer les fichiers de script de la liste de scripts.

(2) **Bouton Enregistrer** : Cliquez sur Enregistrer pour sauvegarder les commandes MML éditées dans le fichier de script. Le fichier de script enregistré est affiché dans la zone de liste de scripts.

(3) **Bouton Créer une tâche** : Cliquez sur Create Task. La boîte de dialogue New Task s'affiche Task Management page.

4.4 Mise en œuvre et analyse de la solution Soft Split

La présentation des résultats obtenus avec la solution SSRD et leur interprétation sera établie en deux parties distinctes. La première partie sera consacrée aux résultats de PRS, tandis que la seconde traitera des données obtenues par le Drive Test. Nous visualisons les résultats pour le groupe 0 et le groupe 2.

4.4.1 Choix de site

Le but de notre projet est de pallier les problèmes de congestion et d'améliorer le débit des utilisateurs. Le site choisi c'est le site A16X1443, il est situé à la Commune Soudania à Alger.



Figure 4. 3 : Emplacement du site A16X1443

Pour choisir ce site spécifique pour le déploiement d'un réseau 4G TDD, Plusieurs critères ont été pris en compte lors de la sélection de ce site. Ces critères énumérés dans le tableau suivant.

Tableau 4. 1 : Tableau de critères pour la sélection des sites

No.	KPI	Norme	Impact du non-respect
1	Taux d'utilisation de la PRB DL	> 70%	Gain non évident
2	Angle de couverture entre secteurs	≥ 90°	Fortes interférences
3	Ratio d'UE haut débit	Pas de déploiement des solutions dans les scénarios mobiles haut débit tels que les trains à grande vitesse et les autoroutes	Affecte RRC, ERAB, CDR

4.4.2 Résultats obtenus à partir du PRS

L'outil de rapport de performance (Performance Reporting System, PRS) de Huawei est une solution intégrée qui gère les indicateurs de performance du réseau sans fil, par technologie GSM, UMTS et LTE sous forme de rapport contenant un ensemble de KPI par heure, jour et durant les heures de charge (busy hour).

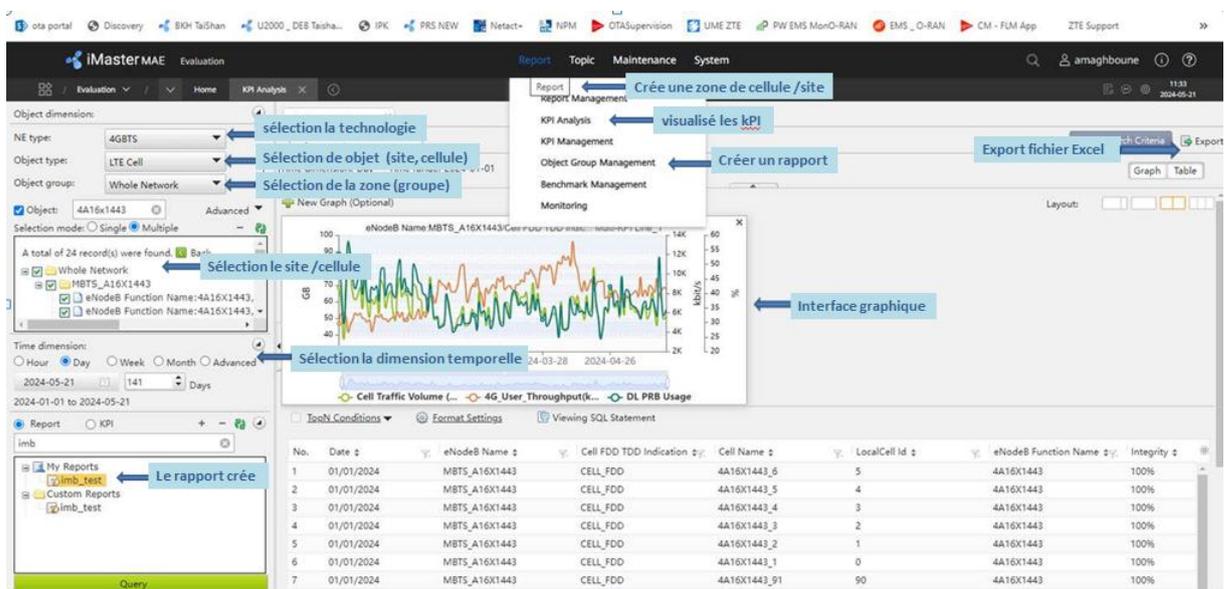


Figure 4. 4 : Interface d'outil PRS

Nous nous concentrons uniquement sur trois KPI permettant d'observer le trafic, le débit et le

PRB au niveau de secteur 3 dans notre projet, en observant les résultats à deux groupes de faisceaux. Le groupe de faisceaux a été modifié de 0 à 2.

Pour calculer le pourcentage d'amélioration dans chaque KPI, on va utiliser la formule suivante :

$$P\% = \frac{\Delta_{\text{après}} - \Delta_{\text{avant}}}{\Delta_{\text{avant}}} \times 100 \quad (4.1)$$

Calcul de pourcentage d'amélioration

Δ_{avant} =valeur de données avant l'implémentation de la solution

$\Delta_{\text{après}}$ =valeur de données après l'implémentation de la solution

4.4.2.1 Analyse de l'évolution du Débit

La figure ci-dessous présente la variation du débit des utilisateurs par jour dans le Troisième secteur TDD. La période du Ramadan est mise en évidence en bleu. À la suite de l'activation de la solution SSRD le 2 avril, la diminution que nous avons observée en liaison montante (UL) est survenue avant l'alignement des paramètres. Après l'alignement, nous avons constaté une amélioration moyenne du débit des utilisateurs, passant de 2,5 Mbps à 3 Mbps, soit une augmentation de 20 %. De manière similaire, le débit en liaison descendante (DL) est passé de 5 Mbps à 6 Mbps. L'amélioration significative de débit par cellules est représentée dans la cellule 229. Ces résultats revêtent une importance capitale pour l'optimisation continue du réseau.

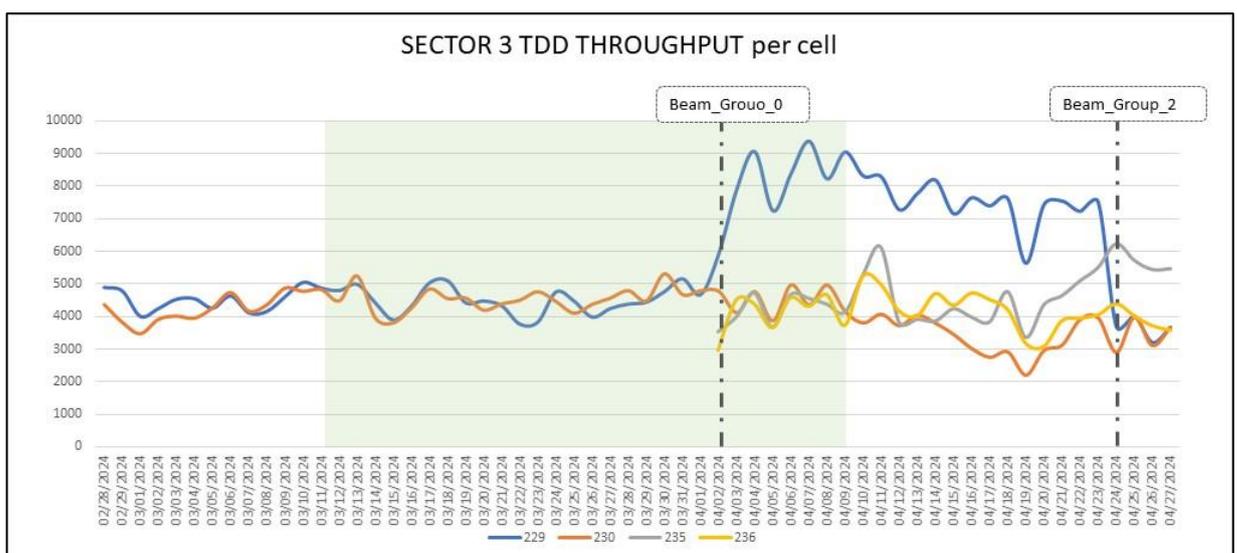


Figure 4. 5 : Résultats de débit d'utilisateurs par cellules

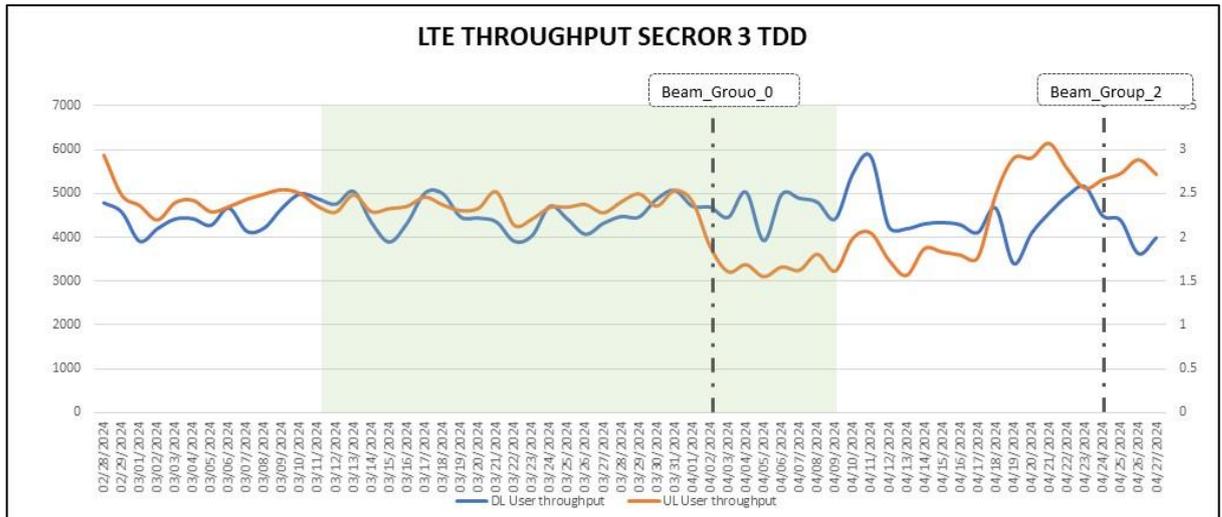


Figure 4. 6 : Résultats de débit d'utilisateur de secteur

4.4.2.2 Analyse de l'évolution du Trafic

La figure représente l'évolution du Trafic par jour au niveau du secteur. On observe une diminution du modèle de trafic DL et UL sur la bande TDD, passant de 200 à 180 Go, et pour le groupe 2, Le volume de trafic en liaison descendante (DL) a augmenté de 25% par rapport au groupe 0, indiquant ainsi une amélioration du trafic dans ce groupe.

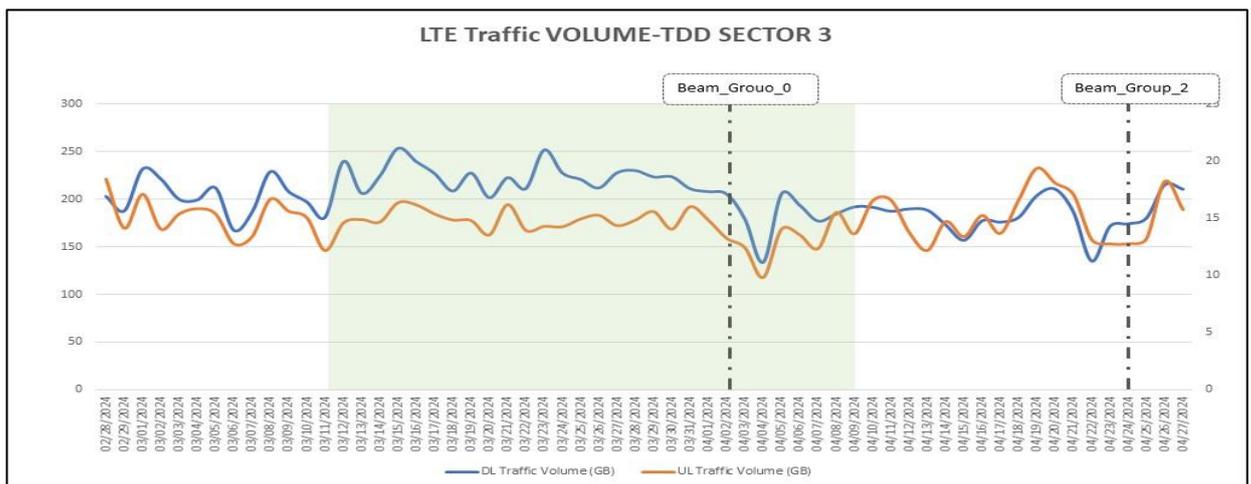


Figure 4. 7 : Résultats de volume de Trafic

4.4.2.3 Analyse de l'évolution de l'utilisation, des PRB

La figure représente l'utilisation des ressources RB au niveau du secteur 3. Après l'activation de cette technologie, le taux d'utilisation de ces ressources en DL a diminué de 70 % à 40 % et en UL de 55% à 45%. On peut donc constater une amélioration significative du taux d'utilisation de PRB du moment où ce dernier s'est éloigné de la valeur limite qui est prévue à 70%.

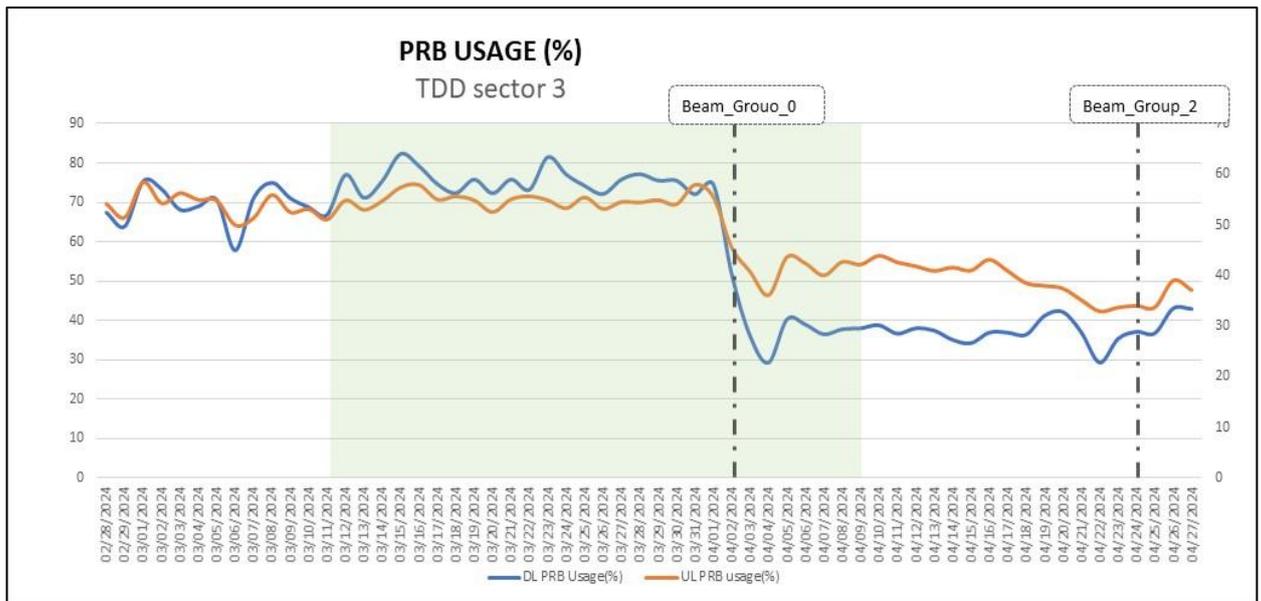


Figure 4. 8 : Résultats de pourcentage d'utilisation des PRB

4.4.2.4 Analyse de l'évolution de distribution des utilisateurs

Avant le changement de groupe Beam, la distribution des utilisateurs LTE n'était pas égale entre les 4 cellules du secteur TDD_Sector3. Certaines cellules avaient plus d'utilisateurs que d'autres. L'objectif du changement de groupe Beam de 0 à 2 était de mieux répartir les utilisateurs entre les cellules. Après le changement, nous avons observé une meilleure convergence du nombre moyen d'utilisateurs LTE entre les 4 cellules. La distribution est plus équilibrée.

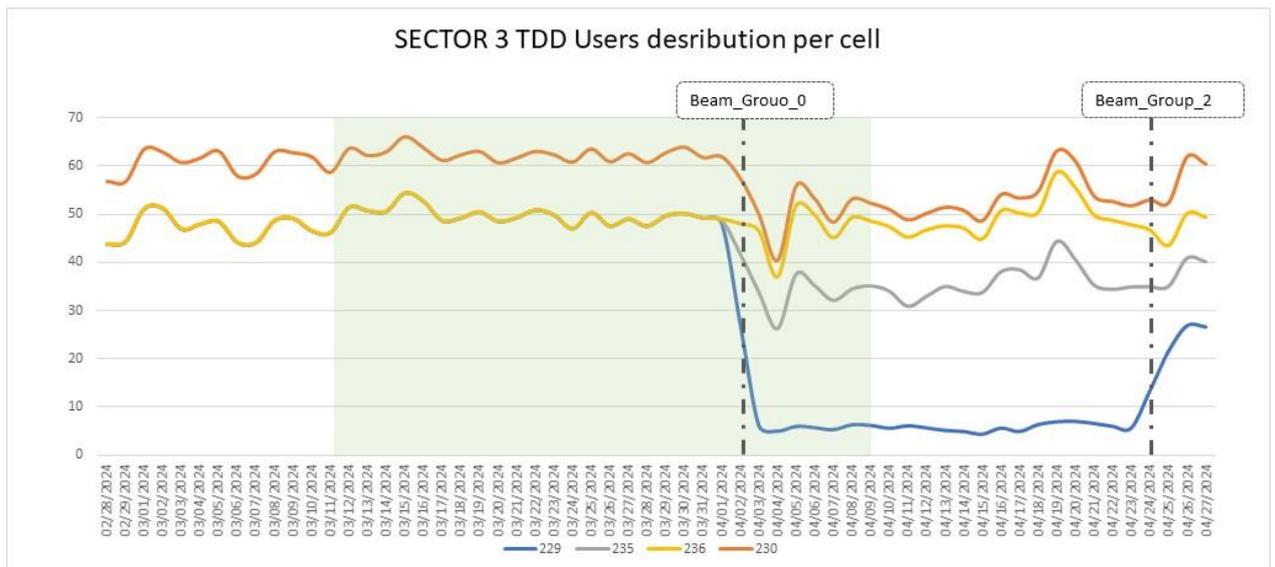


Figure 4. 9 : Résultats de Distribution des utilisateurs par cellule

Résumé des KPI pour le groupe 2

- _ Les nombres moyens d'utilisateurs LTE sont mieux convergés parmi les 4 cellules.
- _ Le débit moyen LTE sur l'ensemble des 4 cellules converge mieux.
- _ Les autres KPI sont presque maintenus suivant la même tendance que les résultats du groupe de faisceaux 0.

Ces résultats démontrent les bénéfices tangibles de la mise en œuvre du groupe 2 dans l'optimisation des performances du réseau LTE.

4.4.2.5 Les interférences

En raison de l'augmentation du nombre de cellules après une division, les interférences sont plus susceptibles de se produire. Dans cette figure, nous avons observé une augmentation de 2 dB de l'interférence moyenne en LTE.

Même s'il y a des interférences, cela n'affecte pas le secteur tant qu'il y a des améliorations des KPI.

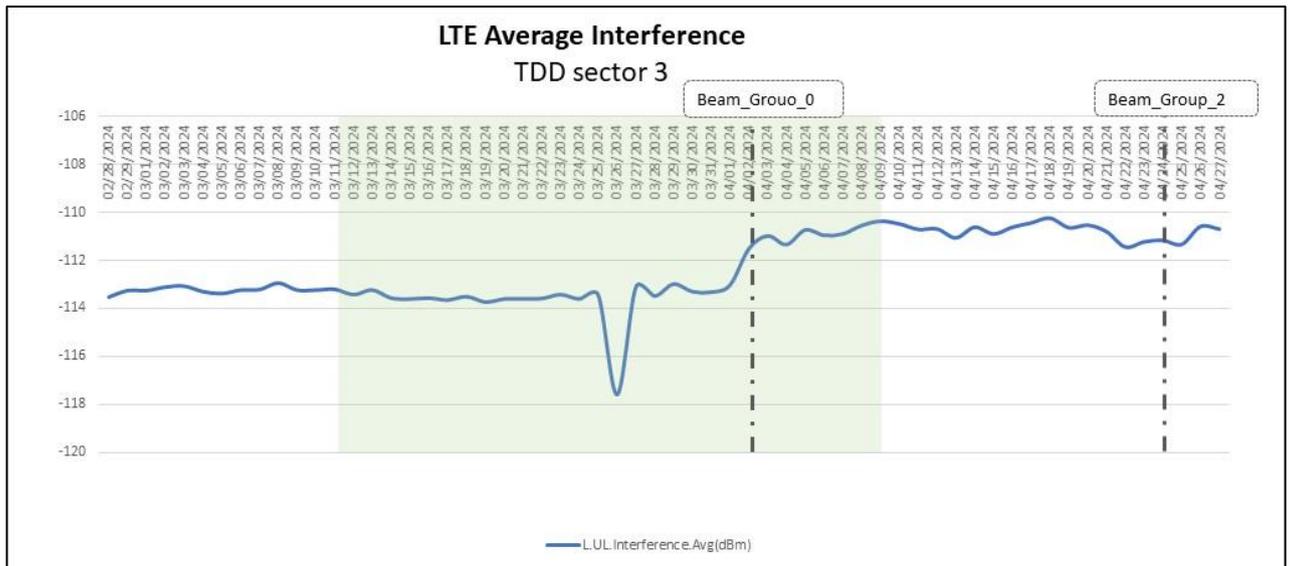


Figure 4. 10 : Résultats de L'interférence moyenne

4.4.3 Résultats obtenus à partir du Drive test

Les mesures Drive test sont des campagnes de mesures effectuées par les techniciens et ingénieurs de l'Opérateur Djazzy. Elles constituent le meilleur moyen de vérifier les performances du réseau et de les ajuster aux attentes des abonnés. En effet, ces mesures décrivent l'état de la qualité du réseau tel qu'il est perçu par les abonnés.

4.4.3.1 Résultats du Débit DL

Les figures 4. 11 et 4.12 représentent respectivement débit en DL avant et après l'activation de la solution soft split, nous observons une amélioration moyenne de cet indicateur qui représente l'objectif principal de notre projet. Le déploiement de la SSRD a permis de passer d'un débit maximum de 83.35% à 91.26%.

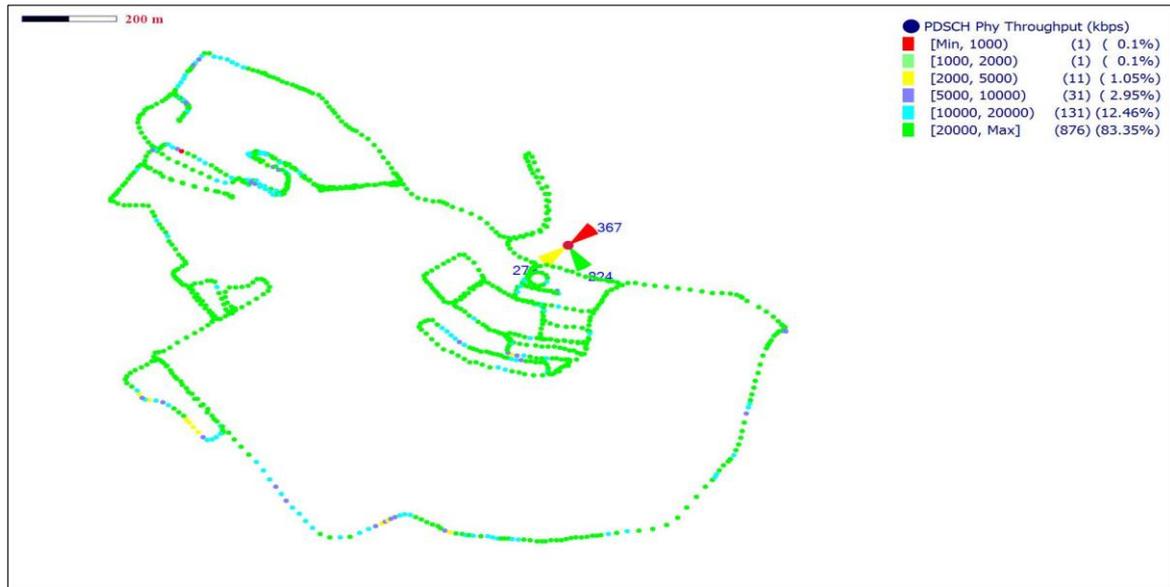


Figure 4. 11 : Résultats du Débit DL avant l'implémentation de soft split

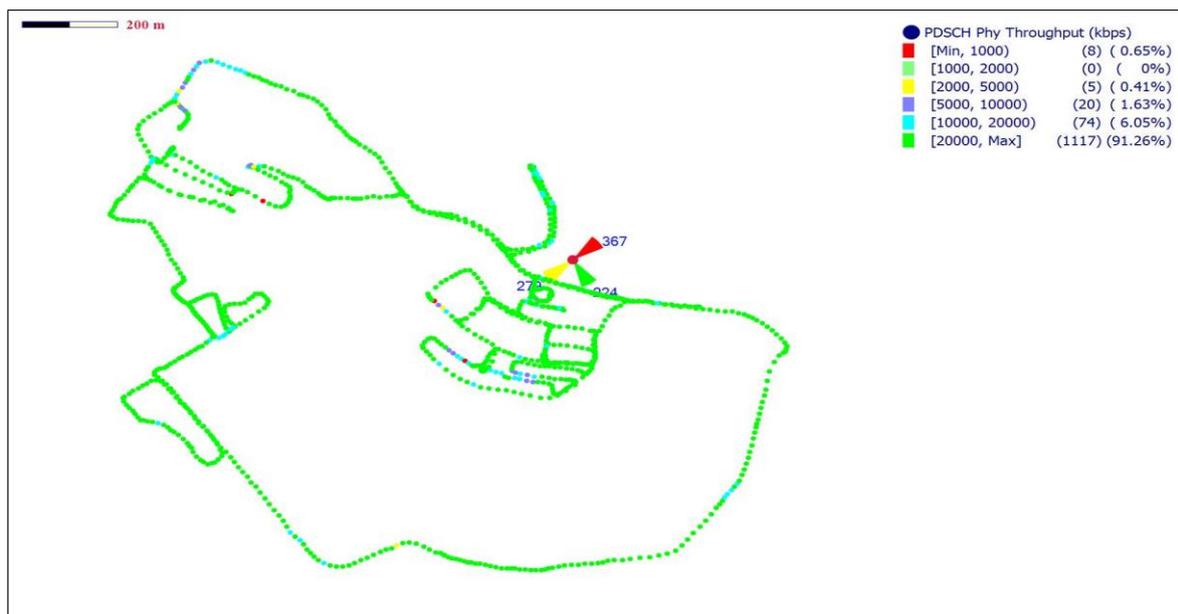


Figure 4. 12 : Résultats du Débit DL après l'implémentation de soft split

Tableau 4. 2 : Représentations de valeurs de Débit en DL

DL Throughput(Mbps)	Colors	Avant		Après	
		%	Samples	%	Samples
Above 20	Red	83,35%	876	91,26%	1117
10 to 20	Green	12,46%	131	6,05%	74
5 to 10	Yellow	2,95%	31	1,63%	20
2 to 5	Purple	1,05%	11	0,41%	5
1 to 2	Light Bleu	0,10%	1	0,00%	0
Below 1	Orange	0,10%	1	0,65%	8
Mean throughput		49,92591		59,25394	
Max throughput		124,0494		137,3898	

4.4.3.2 Résultats du RSRP (Reference Signal Received Power)

Le RSRP est une mesure qui quantifie le niveau de la puissance des signaux de référence reçus d'une cellule LTE particulière. Il fournit des informations sur la force du signal au niveau de l'UE.

Nous avons observé une augmentation de PSRP de 5.4% à 5.95%, ce qui contribue un signal plus fort et une meilleure qualité de communication.

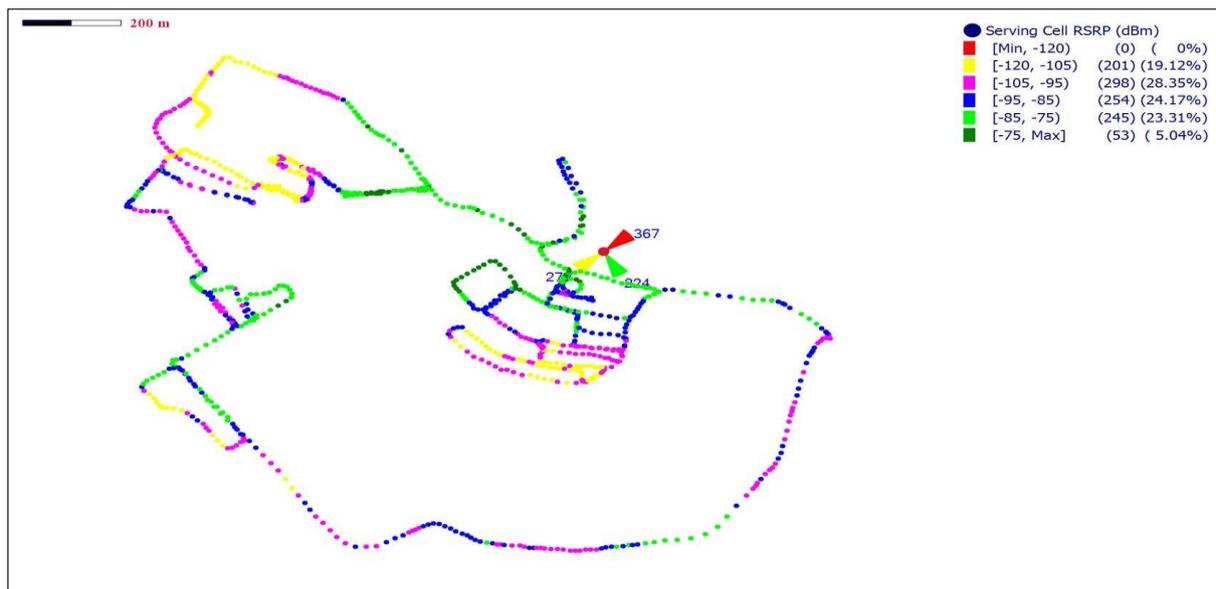


Figure 4. 13 : Résultats du RSRP avant l'implémentation de soft split

Après

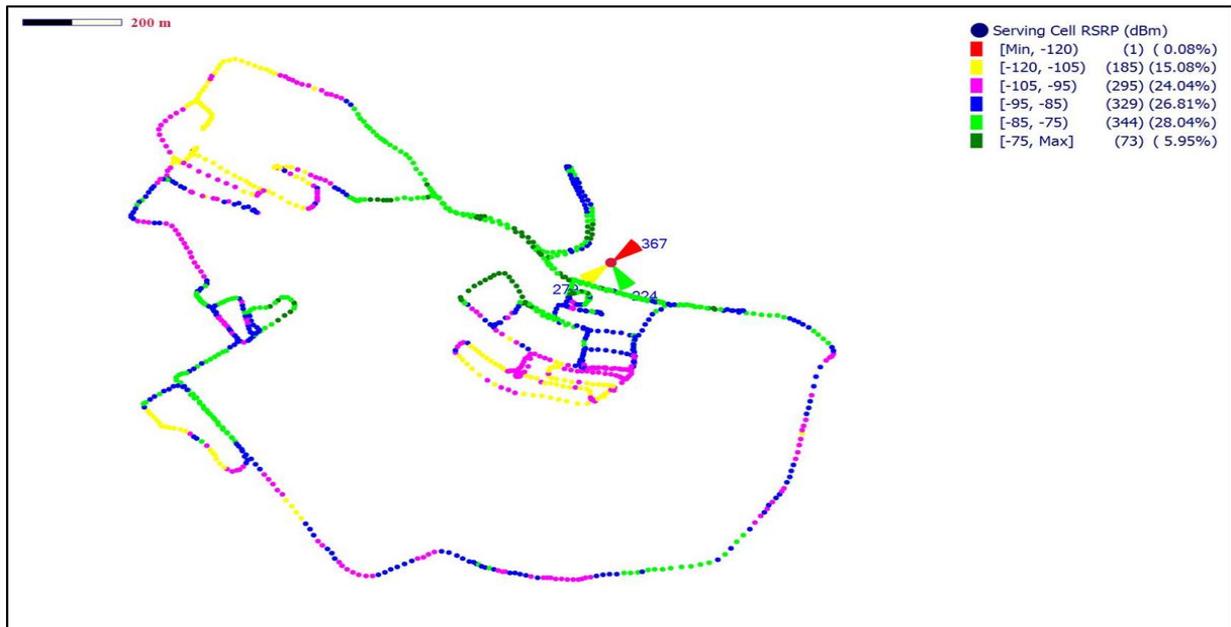


Figure 4. 14 : Résultats du RSRP après l'implémentation de soft split

Tableau 4. 3: Représentations de valeurs de RSRP

DL Throughput(Mbps)	Colors	Avant		Après	
		%	Samples	%	Samples
-75, Max	Green	5,04%	53	5,95%	73
-85, -75	Light Bleu	23,31%	245	28,04%	344
-95, -85	Purple	24,17%	254	26,81%	329
-105, -95	Yellow	28,35%	298	24,04%	295
-120, -105	Orange	19,12%	201	15,08%	185
Min, -120	Red	0,00%	0	0,08%	1
Outdoor Coverage	≥ -105	80,87%		84,84%	
Mean RSRP		-93,57		-91,48	

4.5 Mise en œuvre et analyse de la solution IMB

La deuxième solution de notre travail consiste à activer l'IMB sur notre site A16X1443, ce qui permet un meilleur équilibrage de charge entre les cellules, évitant ainsi la congestion dans certaines zones. Cette approche contribue à une utilisation plus efficace des ressources radio, ce qui se traduit par une optimisation notable des performances du réseau.

4.5.1 Résultats obtenus à partir du PRS

À l'activation de cette fonctionnalité, nous avons observé les résultats concernant le débit descendant moyen par utilisateur, l'utilisation des ressources radio (PRB) et le volume de trafic.

4.5.1.1 Analyse de l'évolution du Débit

La figure 4.15 illustre l'évolution du débit descendant moyen par utilisateur. À la suite de l'activation de l'IMB le 13 mai, nous constatons une nette progression du débit, qui passe de 4,4 Mbps à environ 6,2 Mbps, soit une hausse significative de 41 %. Cette évolution démontre tout l'intérêt de cette solution d'optimisation pour offrir une meilleure expérience aux abonnés.

Au vu de ces résultats, le débit a été fortement amélioré confirmant la réussite de notre solution.

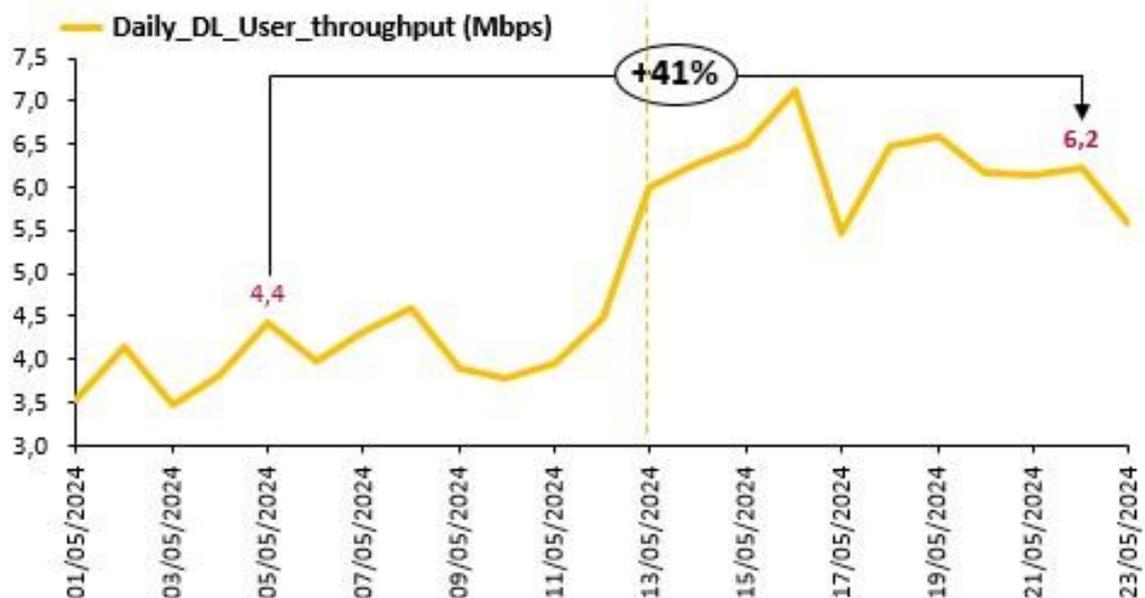


Figure 4. 15 : Résultats de débit utilisateur

4.5.1.2 Analyse de l'évolution du Trafic

Le graphe de la figure 4.16 nous montre qu'avant l'implémentation de la solution IMB, les valeurs du trafic sont stables et varient dans l'intervalle [220 Go, 250 Go]. Après l'activation de la solution le 13 mai, on observe une augmentation de 16%. Le partage de la charge de trafic entre les cellules va apporter une amélioration du débit au niveau du secteur. En effet, le problème de congestion au niveau des cellules sera résolu, ce qui permettra d'obtenir un réseau mobile plus performant.

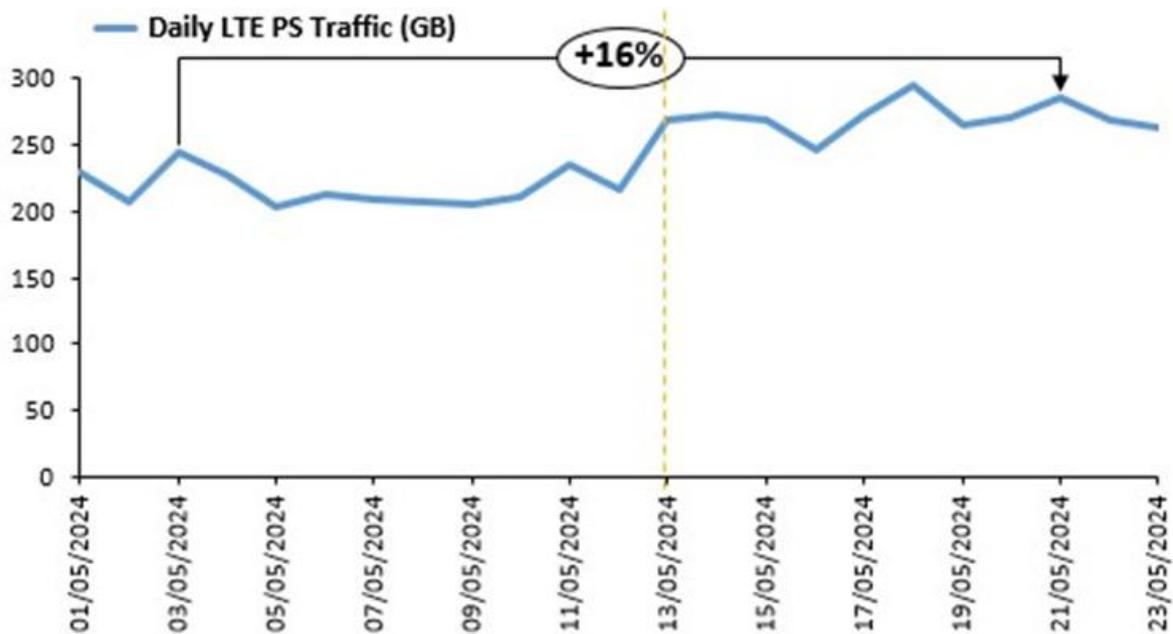


Figure 4. 16 : Résultats de volume de trafic

4.5.1.3 Analyse de l'évolution de l'utilisation, des PRB

La figure représente l'utilisation des ressources PRB au niveau du secteur 3. Après l'activation de cette technologie, on note une baisse significative de -52% et une convergence des valeurs d'utilisation des PRB pour toutes les cellules. L'utilisation des PRB diminue globalement. Cette meilleure gestion des PRB contribue à une utilisation plus efficace des ressources réseau, d'autant plus que le taux d'utilisation s'est éloigné de la valeur limite prévue à 70%.

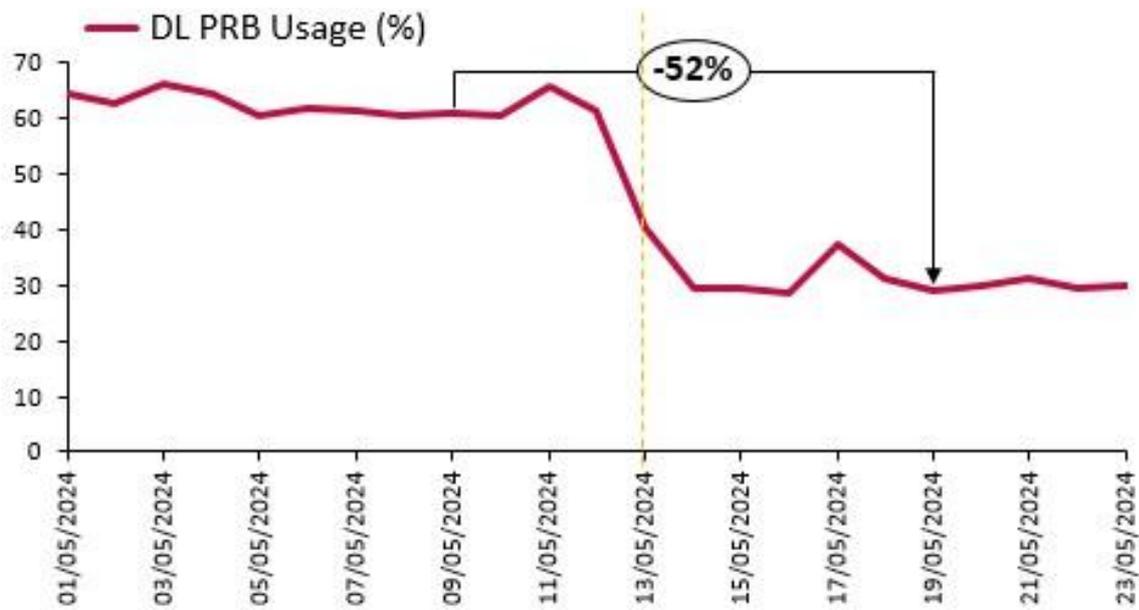


Figure 4. 17 : Résultats de pourcentage d'utilisation des PRB

4.5.2 Résultats obtenus à partir du drive test

4.5.2.1. Résultats du Débit DL

Les figures présentées ci-dessous illustrent une comparaison du débit en (DL) avant et après l'intégration de la solution IMB. Nous constatons une amélioration significative à la suite de l'activation de cette solution, en accord avec l'objectif principal de notre projet axé sur l'amélioration du débit. Il est remarquable de constater une augmentation notable du débit. Avant le déploiement de l'IMB, le débit maximal était de 72,65 %, alors qu'après son intégration, il s'est élevé à 77,51 %. Cette progression représente une amélioration substantielle, démontrant ainsi l'efficacité de la solution IMB pour améliorer les performances globales du réseau.



Figure 4. 18 : Résultats du Débit DL avant l'implémentation d'IMB

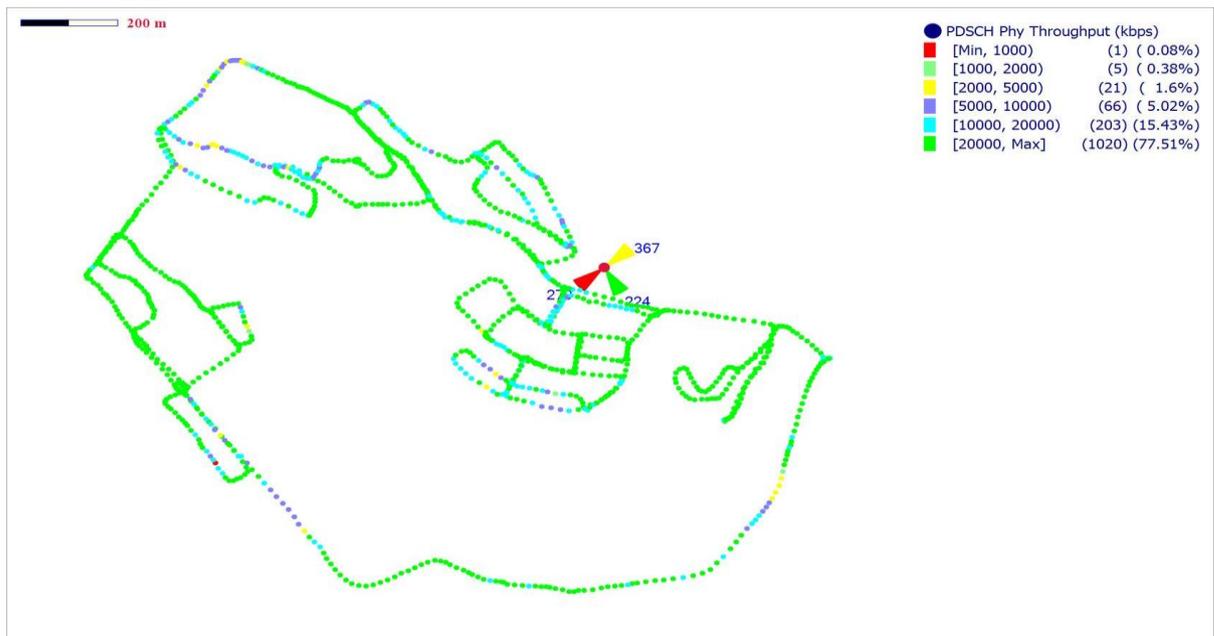


Figure 4. 19 : Résultats de débit DL après l'implémentation d'IMB

Tableau 4. 4: Représentations de valeurs de Débit

DL Throughput(Mbps)	Colors	Avant		Après	
		%	Samples	%	Samples
Above 20	Red	71,54%	1033	76,14%	1002
10 to 20	Green	16,69%	241	15,43%	203
5 to 10	Yellow	8,17%	118	5,02%	66
2 to 5	Purple	1,87%	27	1,60%	21
1 to 2	Light Bleu	0,28%	4	0,38%	5
Below 1	Orange	0,35%	5	0,08%	1
Mean throughput		45,30995		48,5122	
Max throughput		176,208		187,4717	

Selon les tableaux et d’après les résultats des mesures de débit en DL, nous observons une grande amélioration de cet indicateur qui représente l’objectif principal de notre projet. Le déploiement de l’IMB a permis de passer d’une moyenne de débit d’environ 45,30995% à 48,5122% ainsi que d’un débit maximum de 176,208% à 187,4717%. On peut en conclure que le débit DL s’est considérablement amélioré.

Tableau 4. 5 : Récapitulatif des résultats obtenus avec les deux solutions.

Amélioration des performances	Après l’implémentation de soft split	Après l’implémentation d’IMB
Augmentation en termes de débit Utilisateurs DL	10%	41%
Augmentation en termes de Volume de trafic	0%	16%
Diminution en termes D’utilisation des PRB	-30%	-52%

Le tableau 4.5 compare les résultats de deux solutions techniques, appelées "soft split" et "IMB". Les résultats montrent clairement que la solution IMB offre de meilleures performances notamment en termes de débit, volume de trafic et utilisation des ressources RB, du fait de la très grande capacité du réseau. Ces très bons résultats nous confirment la réussite de notre solution à avoir un réseau avec de très bonnes performances.

4.6 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. À cet effet, nous avons choisi Flutter, qui utilise le langage de programmation Dart, car c'est un langage facile à manipuler et à apprendre.

Cette réalisation permet de calculer le débit théorique avec les deux technologies FDD et TDD dans la première partie.

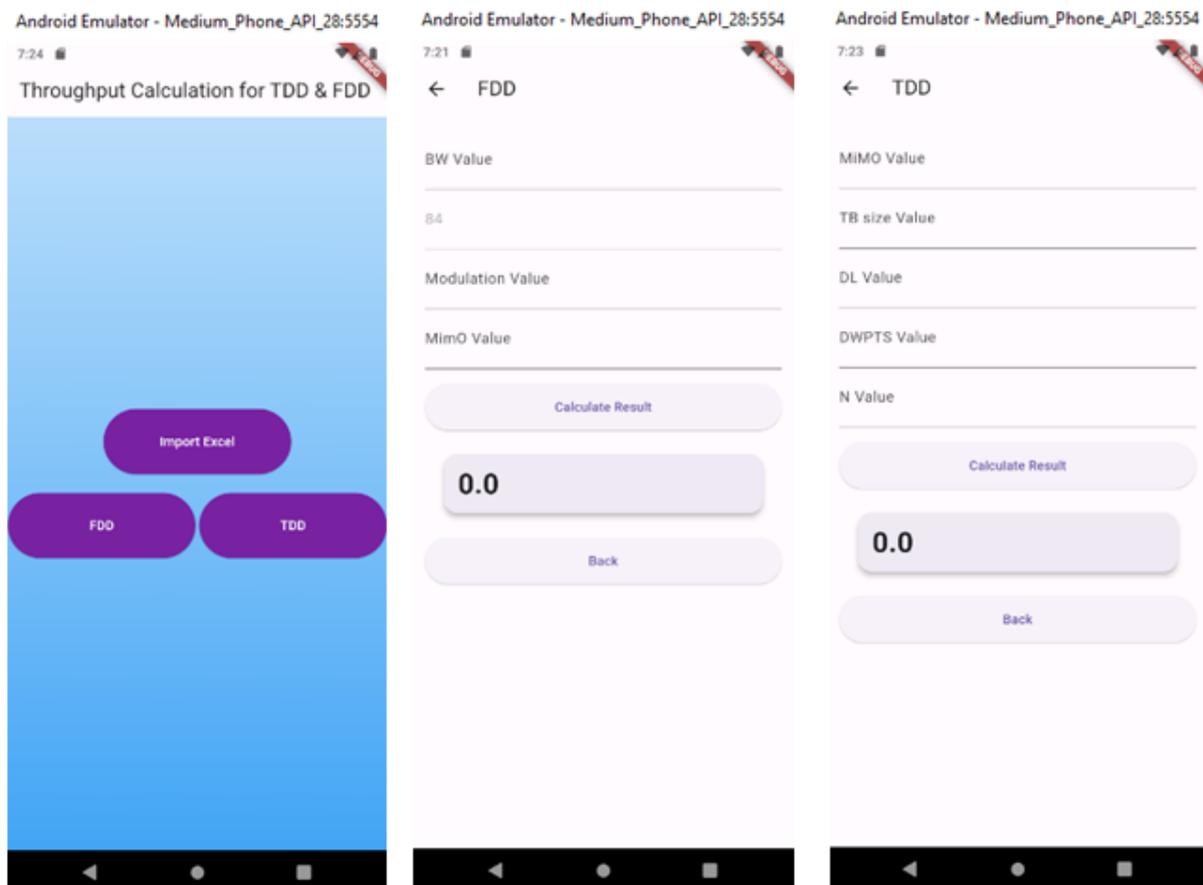


Figure 4. 20: première partie de l'application

Chapitre 4 : Test et interprétation des résultats

La deuxième partie de notre application nous permet de traiter nos fichiers Excel pour observer à la fin les résultats et illustrer graphiquement l'impact de l'implémentation en utilisant le langage chart.

XLSX_To_Chart

×

Load Excel

KPI Analysis Result_Query_Result_20240526121512379.xlsx

RUN

Figure 4. 21 : Deuxième partie de l'application

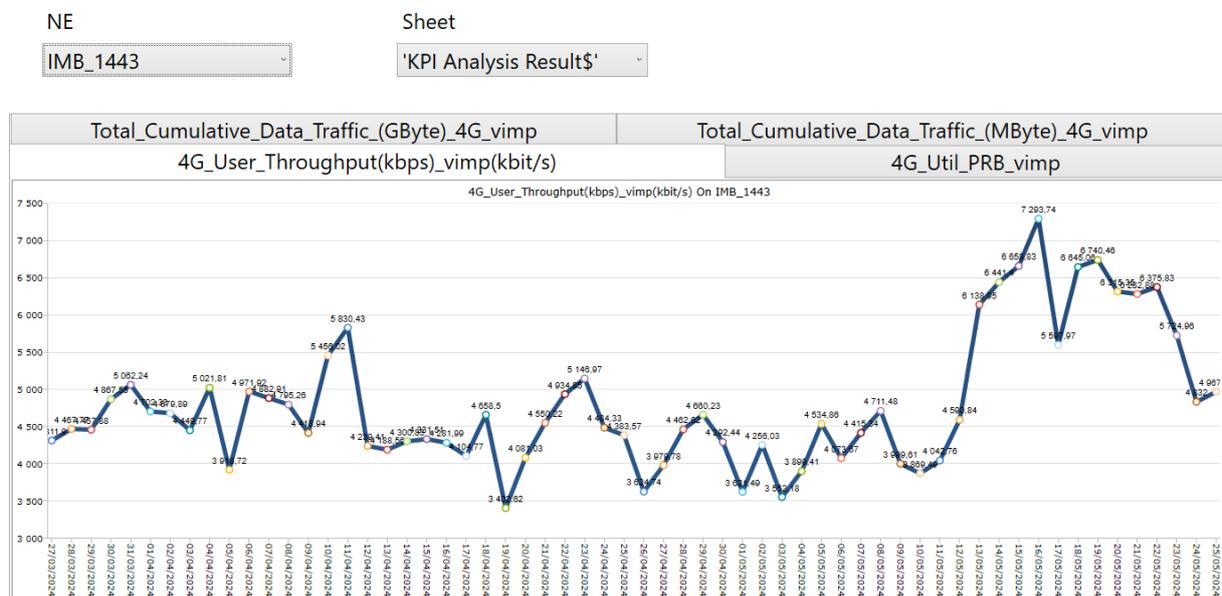


Figure 4. 22 : Résultats graphique de débit

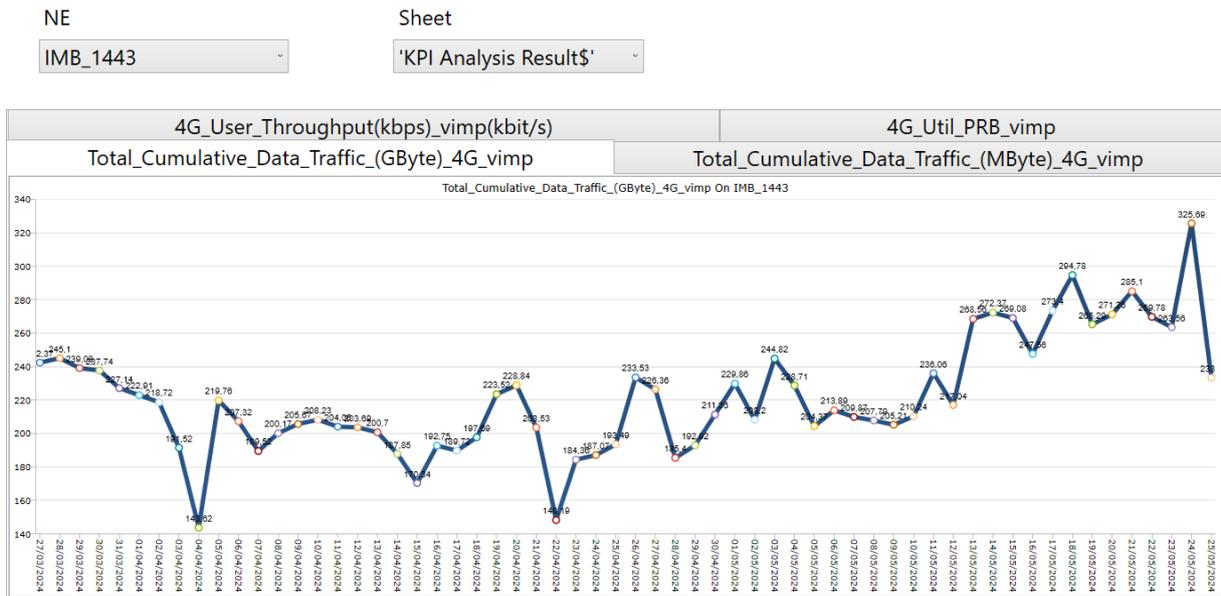


Figure 4. 23 : Résultats graphique de trafic

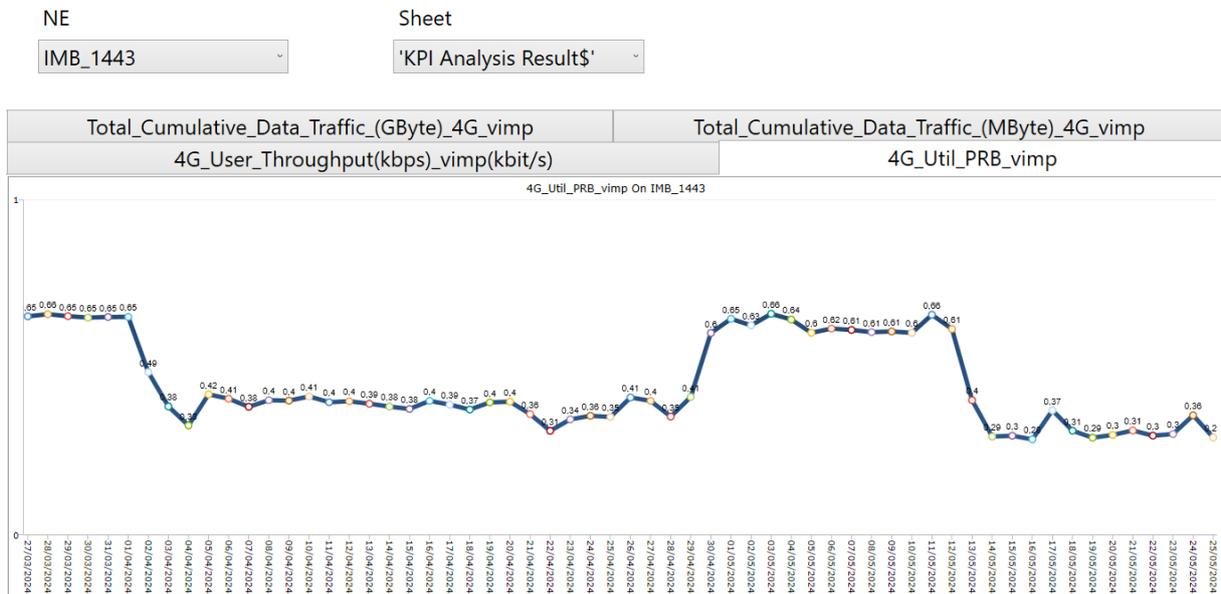


Figure 4. 24 : Résultats graphique de l'utilisation des PRB

4.7 Conclusion

Dans ce quatrième et dernier chapitre, nous avons analysé en profondeur les résultats obtenus suite à l'application des solutions Soft Split et IMB. En suivant les directives de l'équipementier Huawei, nous avons utilisé Drive Test et PRS comme références pour les aspects radio, tandis que les indicateurs clés de performance (KPI) ont été essentielles pour évaluer le débit et le trafic. Les résultats ont clairement démontré l'impact significatif de ces solutions Soft Split a amélioré les performances du réseau, permis une répartition équitable des utilisateurs entre les cellules du groupe 2 par rapport au groupe 0. De même, l'implémentation

de l'IMB a révélé des résultats prometteurs, confirmant son potentiel en tant que solution efficace pour l'amélioration des performances du réseau LTE. Ces solutions soulignent l'importance et l'efficacité des technologies étudiées dans l'optimisation des réseaux mobiles, en termes de capacité et de congestion, ouvrant ainsi la voie à des améliorations continues et à une connectivité mobile plus performante pour les utilisateurs.

Conclusion générale et perspective

Le développement des nouvelles technologies a créé un environnement propice à la concurrence, incitant les opérateurs à constamment chercher à améliorer les performances de leur réseau. Cependant, ces progrès technologiques s'accompagnent de nombreux défis, en particulier pour les réseaux confrontés à la congestion.

Dans ce contexte, l'opérateur Djazzy, au sein duquel ce projet de fin d'études a été réalisé, a adopté une stratégie visant à relever ces défis. Grâce à son partenariat avec Huawei, Djazzy a pu déployer des solutions innovantes pour optimiser les performances de son réseau 4G LTE TDD.

Dans ce mémoire de fin d'étude, notre objectif principal était l'amélioration des performances du réseau mobile 4G LTE TDD. C'est pourquoi il nous a paru intéressant de commencer ce mémoire dans la partie théorique par une étude générale de la quatrième génération avec les modes de duplexage TDD et FDD, puis l'étude de la qualité de service ainsi que des indicateurs de performance qui permettent d'améliorer les performances de LTE.

Pour la partie pratique, nous avons commencé par l'implémentation des solutions "Soft Split" et "Intelligent Multi-Beam (IMB) 8T8R split", qui se sont révélées particulièrement efficaces pour réduire la congestion, améliorer les débits et la qualité de service. En somme, leur mise en œuvre permettra de mieux gérer la charge du réseau, de garantir des services de haute qualité et de préparer le terrain pour les évolutions futures vers les réseaux de nouvelle génération. Nous avons présenté l'évaluation de ces solutions à travers l'analyse des résultats obtenus après le déploiement, en utilisant les données récoltées par l'outil PRS et le drive test mis à notre disposition par Djazzy.

Les résultats obtenus dans ce travail pratique sont déterminants et permettent de valider notre approche théorique. Ce projet illustre la capacité de Djazzy à relever les défis technologiques et à offrir une expérience utilisateur toujours plus performante. En outre, dans le cadre de ce projet, nous avons développé spécifiquement pour Djazzy une application qui calcule le débit théorique avec les deux technologies FDD et TDD dans sa première partie, et qui traite nos données Excel pour observer et illustrer graphiquement les résultats dans la seconde partie. Cette application sur mesure a été un outil précieux pour l'évaluation des performances du réseau et a contribué de manière significative à l'accomplissement des objectifs du projet.

Conclusion générale

En perspective, nous recommandons l'adoption de la solution soft split pour résoudre les problèmes de congestion et augmenter la capacité du réseau afin de répondre aux besoins croissants des utilisateurs. Si cette solution ne s'avère pas efficace, nous préconisons également l'utilisation de la solution IMB, reconnue pour son efficacité à éliminer la congestion et à améliorer la performance du réseau. Il est vivement suggéré de déployer notre solution à travers toutes les wilayas, en mettant un accent particulier sur les sites les plus congestionnés.

Bibliographie

- [1]<https://medium.com/@ahirlog/difference-between-1g-2g-3g-4g-and-5g-technology-52fa9312d9e9>
- [2]Yassa Sarah; Lamara Ouiza Implémentation d'une solution 4G TDD : impact sur QOS Mémoire master, UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA-BOUMERDES, 2022.
- [3] Documentation interne Djezzy.
- [4]<https://developer.orange.com/>
- [5]ALKAMA Dina;BERKOUK Saida, Nouvelle approche pour l'optimisation de l'allocation des ressources dans les réseaux cellulaires, Mémoire Master, Université Abderrahmane Mira de Béjaia, 2020.
- [6]TAKOUCHE Karim; DIALLO Mamadou Lamine, Sécurité des réseaux 4G/LTE, Mémoire Master, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2018.
- [7]<https://nse.digital/pages/guides/Wireless/lte-hacking.html>
- [8] <https://www.secforce.com/blog/4g-lte-architecture-and-security-concerns/>
- [9]MAMMAR KATHIA;LARBI CELIA, Comparaison des performances d'une BTS avec les trois technologies (2G, 3G, 4G) ainsi que l'interopérabilité entre elles, Mémoire Master, UNIVERSITE Mouloud MAMMERI DE TIZI-OUZOU, 2018.
- [10]BELACEL Sid-ali ;AMIS Nassim, Outils de maintenance de réseaux mobile 4G sous logiciel ASTELLI, Mémoire Master ,UNIVERSITE Mouloud MAMMERI DE TIZI-OUZOU, 2018.
- [11]AZNI Cilia, Sélection du Mode de Communication D2D/D2I dans les Réseaux 5G/LTE, Mémoire Master, Université A/MIRA-Bejaia, 2019.
- [12]<https://www.techplayon.com/explain-lte-frame-structure-both-for-fdd-and-tdd>
- [13]Documentation Huawei
- [14] Hocine Dounia ; Missoum Abderzak Analyse et optimisation du réseau d'accès radio 4G LTE, Mémoire Master, Université SAAD DAHLAB de BLIDA,2020
- [15]<https://www.fingerinthenet.com/le-mimo/>
- [16]https://www.researchgate.net/figure/Square-QAM-constellations-a-4-QAM-QPSK-b-16-QAM-c-64-QAM-d-1024-QAM_fig2_290712571
-

[17] TAKH Houda ; DAHMOUNI Nor El Islam, Etude et Amélioration de la (QoS) de la voix dans les réseaux 4G-LTE, Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi - Bordj Bou Arreridj, 2019.

[18] International Congress on Telecommunication and Application'14, Allocation des ressources radio en LTE, University of A. MIRA Bejaia, Algeria, 23-24 APRIL 2014.

[19]https://blogs.univ-poitiers.fr/f-launay/2015/05/08/bearer-eps/?fbclid=IwAR2PPLwvor_PQbser--Z2p1ijDSVuDQWHnCHpaZDa-4g46nm40F9qsjvRBw

[20]<https://www.netmanias.com/en/?m=view&id=blog&no=5933&xtag=lte-qos&xref=lte-qos-part-2-lte-qos-parameters-qci-arp-gbr-mbr-and-ambr>

[21] Missoum Abderzak; Hocine Dounia Analyse et optimisation du réseau d'accès radio 4GLTE, Mémoire de Master, Université SAAD DAHLAB de BLIDA, 02020.

[22] BENALLOU Yousra;MESSAOUD Oussama, Etude des solutions Soft Split et IMB Pour l'optimisation du réseau LTE, École Militaire Polytechnique, 2024.

Annexe

Présentation de la société



Djezzy, opérateur algérien de télécommunications, a été créé en juillet 2001. Leader dans le domaine de la téléphonie mobile avec plus de 16,5 millions d'abonnés au mois de décembre 2016, l'entreprise fournit une vaste gamme de services tels que le prépayé, le post-payé, le Data ainsi que les services à valeur ajoutée et le SUT. En janvier 2015, le Fonds National d'Investissement (FNI) prend le contrôle de 51% du capital de la société alors que le partenaire étranger, le Groupe Veon, garde la responsabilité du management de l'entreprise.

Djezzy couvre 95 % de la population à travers le territoire nationale et ses services 3G sont déployés dans les 48 wilayas. Le 1er octobre 2016, Djezzy a lancé ses services 4G dans 20 wilayas et s'est engagée à couvrir plus de 50% de la population à l'horizon 2021.

Djezzy est engagé dans un processus de transformation pour devenir l'opérateur numérique de référence en Algérie et permettre aux clients de naviguer dans monde digital. L'entreprise est dirigée par Matthieu Galvani, Directeur Général et Président du conseil d'administration.

Djezzy fait partie du groupe Veon (côté à la bourse de Nasdaq sous le symbole VIP), une entreprise de communication et de technologie internationale guidée par une vision construite sur des racines entrepreneuriales et dont les valeurs sont basées sur la satisfaction du client, l'innovation, le partenariat et la droiture.

Soft Split Script

Site reconstruction:

//Deactivating the original cell

DEA CELL: LocalCellId=0;

//Changing the settings of the MultiCellShareMode and CPRICompression parameters for the original cell

MOD CELL: LocalCellId=0, CPRICompression=NORMAL_COMPRESSION,
MultiCellShareMode=SPLIT;

//Adding a split cell

ADD CELL: LocalCellId=1, CellName="CELL_SSRD_1", FreqBand=38,
UIEarfcnCfgInd=NOT_CFG, DIEarfcn=40340,UIBandWidth=CELL_BW_N100,
DIBandWidth=CELL_BW_N100, CellId=1,PhyCellId=1, FddTddInd=CELL_TDD,

SubframeAssignment=SA2, SpecialSubframePatterns=SSP7, RootSequenceIdx=0,

CustomizedBandWidthCfgInd=NOT_CFG, UePowerMaxCfgInd=NOT_CFG,
MultiRruCellFlag=BOOLEAN_FALSE, CPRICompression=NORMAL_COMPRESSION,
TxRxMode=8T8R, MultiCellShareMode=SPLIT;

//Adding a beamforming antenna. Beam group 0 is used first and can be adjusted in subsequent optimization. If Band is set to 0, all frequency bands are supported. The parameter values must be the same as those in the weight file of the version package.

ADD BFANT: DEVICENO=0, Manufactory=HuaweiAgisson, CrsSplitBeamIndicator=0,
CONNSRN=60,

MODELNO="Soft_Split_Beam_Common", TILT=2, Band=0;

ADD BFANT: DEVICENO=1, Manufactory=HuaweiAgisson, CrsSplitBeamIndicator=1,
CONNSRN=60,

MODELNO="Soft_Split_Beam_Common", TILT=2, Band=0;

//Adding baseband equipment (assuming that the BBP is installed in slot 3)

ADD BASEBANDEQM: BASEBANDEQMID=3, BASEBANDEQMTYPE=ULDL,
UMTSDEMMode=NULL, SN1=3;

//Associating the two cells with the same sector equipment and setting WeightNO

**//If cells in a split cell group and a non-split cell must be served by the same BBP,
binding all cells with the baseband equipment (specified by BaseBandEqmId) specific to
this BBP (The value of WeightNO must correspond to that of BFANT.DEVICENO.)**

MOD EUCELLSECTOREQM: LocalCellId=0, SectorEqmId=0, BaseBandEqmId=3,
WeightNO=0;

ADD EUCELLSECTOREQM: LocalCellId=1, SectorEqmId=0, BaseBandEqmId=3,
WeightNO=1;

//Adding the two cells to a soft split cell group

ADD SSRDCELLGROUP: PrimaryLocalCellID=0, SsrdLocalCellID=1;

//Adding cell operator information

ADD CELLOP: LocalCellId=1, TrackingAreaId=0,
MMECfgNum=CELL_MME_CFG_NUM_0;

//Turning off the fast channel calibration switch

MOD CELLALGOSWITCH: LocalCellId=0,
EnhChnCalSwitch=QUICK_CHN_CAL_SWITCH-0;

MOD CELLALGOSWITCH: LocalCellId=1,
EnhChnCalSwitch=QUICK_CHN_CAL_SWITCH-0;

//Specifying the BBP of the primary and split cells as their primary BBP

ADD EUCELLPRIBBEQM: LocalCellId=0, PriBaseBandEqmId=3;

ADD EUCELLPRIBBEQM: LocalCellId=1, PriBaseBandEqmId=3;

**//Enabling soft split multi-beam measurement, soft split scheduling optimization, soft
split downlink power sharing, soft split dynamic downlink power sharing, and soft split
PDCCH allocation optimization**

MOD ENODEBALGOSWITCH: SSRDAlgoSwitch=SsrdMultiBeamMeasSwitch-
1&SsrdSchOptSwitch-

1&SsrDIPwrShareSwitch-1&SsrDynDIPwrSharingSwitch-1&SsrPdchAllocOptSwitch-1;

//Enabling beamforming and adaptive switching between beamforming and MIMO

MOD CELLALGOSWITCH: LocalCellId=0, BfAlgoSwitch=BfSwitch-1&LongSrsPeriodBfSwitch-1;

MOD CELLALGOSWITCH: LocalCellId=1, BfAlgoSwitch=BfSwitch-1&LongSrsPeriodBfSwitch-1;

MOD CELLBF: LocalCellId=0, MaxBfRankPara=SINGLE_LAYER_BF;

MOD CELLBF: LocalCellId=1, MaxBfRankPara=SINGLE_LAYER_BF;

MOD CELLBFMIMOPARACFG: LocalCellId=0, BfMimoAdaptiveSwitch=MIMO_BF_ADAPTIVE, BfMimoAdapWithoutTm2=ON;

MOD CELLBFMIMOPARACFG: LocalCellId=1, BfMimoAdaptiveSwitch=MIMO_BF_ADAPTIVE,

BfMimoAdapWithoutTm2=ON;

//Adjusting the power according to the planning information

MOD PDSCHCFG: LocalCellId=0, ReferenceSignalPwr=xx;

MOD PDSCHCFG: LocalCellId=1, ReferenceSignalPwr=xx;

//Activating the split cell and then the primary cell

//Activating the primary cell immediately after activating the split cell to ensure that the split takes effect in a timely manner because the two cells after the split share the same RRU. If the primary cell is not activated for a long time, the status of the split cell may be abnormal and an alarm may be reported. The alarm will be cleared within a period of time after the primary cell is activated.

ACT CELL: LocalCellId=1;

ACT CELL: LocalCellId=0;

IMB Script**//Deactivating the original cell**

DEA CELL: LocalCellId=229;{MBTS_A16X1443}

DEA CELL: LocalCellId=230;{MBTS_A16X1443}

//Binding the cells to the baseband equipment that the BBP belongs toADD EUCELLSECTOREQM: LocalCellId=233, SectorEqmId=229, BaseBandEqmId=4,
CellBeamMode=NORMAL;{MBTS_A16X1443}ADD EUCELLSECTOREQM: LocalCellId=234, SectorEqmId=229, BaseBandEqmId=4,
CellBeamMode=NORMAL;{MBTS_A16X1443}**//Activating the beam weight database**

ACT BEAMDB: AldActPowerType=SWFILE;{MBTS_A16X1443}

//Adding a beamforming antennaADD BFANT: DEVICENO=10, CONNSRN=230,
MODELNO="SoftSplitV3";{MBTS_A16X1443}ADD BFANT: DEVICENO=11, CONNSRN=230,
MODELNO="SoftSplitV3";{MBTS_A16X1443}**//Adding a sector split group**ADD SECTORSPLITGROUP: SectorSplitGroupId=0, BeamTemplateId=0,
BeamDeploymentMode=NOT_CFG;{MBTS_A16X1443}ADD SECTORSPLITGROUP: SectorSplitGroupId=1, BeamTemplateId=0,
BeamDeploymentMode=NOT_CFG;{MBTS_A16X1443}**//Adding cells to a sector split group**ADD SECTORSPLITCELL: LocalCellId=229, SectorSplitGroupId=0,
CellBeamIndex=0, CellBeamTilt=0;{MBTS_A16X1443}ADD SECTORSPLITCELL: LocalCellId=231, SectorSplitGroupId=0,
CellBeamIndex=1, CellBeamTilt=0;{MBTS_A16X1443}

```
ADD SECTORSPLITCELL: LocalCellId=233, SectorSplitGroupId=0,
CellBeamIndex=2, CellBeamTilt=0;{MBTS_A16X1443}

ADD SECTORSPLITCELL: LocalCellId=235, SectorSplitGroupId=0,
CellBeamIndex=3, CellBeamTilt=0;{MBTS_A16X1443}

ADD SECTORSPLITCELL: LocalCellId=230, SectorSplitGroupId=1,
CellBeamIndex=0, CellBeamTilt=0;{MBTS_A16X1443}

ADD SECTORSPLITCELL: LocalCellId=232, SectorSplitGroupId=1,
CellBeamIndex=1, CellBeamTilt=0;{MBTS_A16X1446}

ADD SECTORSPLITCELL: LocalCellId=234, SectorSplitGroupId=1,
CellBeamIndex=2, CellBeamTilt=0;{MBTS_A16X1443}

ADD SECTORSPLITCELL: LocalCellId=236, SectorSplitGroupId=1,
CellBeamIndex=3, CellBeamTilt=0;{MBTS_A16X1443}

//

MOD CELLDYNPOWERSHARING: LocalCellId=229, DynamicPowerSharingSwitch
=LTE_DYN_POWER_SHARING_SW-1;{MBTS_A16X1443}

MOD CELLDYNPOWERSHARING: LocalCellId=231, DynamicPowerSharingSwitch
=LTE_DYN_POWER_SHARING_SW-1;{MBTS_A16X1443}

MOD CELLDYNPOWERSHARING: LocalCellId=233, DynamicPowerSharingSwitch
=LTE_DYN_POWER_SHARING_SW-1;{MBTS_A16X1443}

MOD CELLDYNPOWERSHARING: LocalCellId=235, DynamicPowerSharingSwitch
=LTE_DYN_POWER_SHARING_SW-1;{MBTS_A16X1443}

MOD CELLDYNPOWERSHARING: LocalCellId=230, DynamicPowerSharingSwitch
=LTE_DYN_POWER_SHARING_SW-1;{MBTS_A16X1443}

MOD CELLDYNPOWERSHARING: LocalCellId=232, DynamicPowerSharingSwitch
=LTE_DYN_POWER_SHARING_SW-1;{MBTS_A16X1443}

MOD CELLDYNPOWERSHARING: LocalCellId=234, DynamicPowerSharingSwitch
=LTE_DYN_POWER_SHARING_SW-1;{MBTS_A16X1443}
```

```
MOD CELLDYNPOWERSHARING: LocalCellId=236, DynamicPowerSharingSwitch
=LTE_DYN_POWER_SHARING_SW-1;{MBTS_A16X1443}
```

```
// Activating cell
```

```
ACT CELL: LocalCellId=229;{MBTS_A16X1443}
```

```
ACT CELL: LocalCellId=231;{MBTS_A16X1443}
```

```
ACT CELL: LocalCellId=233;{MBTS_A16X1443}
```

```
ACT CELL: LocalCellId=235;{MBTS_A16X1443}
```

```
ACT CELL: LocalCellId=230;{MBTS_A16X1443}
```

```
ACT CELL: LocalCellId=232;{MBTS_A16X1443}
```

```
ACT CELL: LocalCellId=234;{MBTS_A16X1443}
```

```
ACT CELL: LocalCellId=236;{MBTS_A16X1443}
```

```
//
```

```
MOD ENODEBALGOSWITCH: SSRDAlgoSwitch=SsrDIPwrShareSwitch-
1;{MBTS_A16X1443}
```

```
MOD ENODEBALGOSWITCH: SSRDAlgoSwitch=SsrDynDIPwrSharingSwitch-
1;{MBTS_A16X1443}
```