

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou



Faculté De Génie Electrique et d'Informatique
Département de Télécommunications



Mémoire de Fin d'Etudes de
MASTER ACADEMIQUE

Filière :

Télécommunications

Spécialité :

Réseaux & Télécommunications

Par

HADDAD Idir

GUENDOZ Anis

Thème

Implémentation d'un réseau TDD Massive MIMO et
ses performances

Soutenu le : 30/09/2024

Devant le jury :

Président :	Mr. Abdallah HEDIR	MCA
Promoteur :	Mme. Samira BOUALLEG	MCB
Co-promoteur :	Mr. Kheireddine BENKEMEDJA	Expert qualité technique DQRPC
Examineurs :	Mr. Belkacem ZOUAK	MCB

Remerciements

Merci à notre DIEU tout puissant « ALLAH » qui nous a donné la force et nous a guidé pour réaliser ce travail. Nous adressons nos sincères remerciements à nos parents, nos frères, nos sœurs et nos amis les plus proches pour leurs mots et leurs actions d'encouragement, nous voudrions également remercier nos enseignants et professeurs de Département Télécommunication qui nous ont chargé de connaissances et nous ont propulsé vers cette étape de notre vie, notamment notre promotrice Madame Boualleg et notre examinateurs Mr. Belkacem ZOUAK Pour l'aide à l'accomplissement de ce travail, pour leurs très grandes patiences et leurs compréhensions et ses compétences scientifiques. On tient notamment à adresser l'expression de notre sincère reconnaissance aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à ce travail.

Dédicace 1

Je dédie ce mémoire à mes parents, **Guendouz Hamid** et **Bey Zohra**, qui m'ont transmis non seulement des valeurs de persévérance et de travail acharné, mais aussi un amour et un soutien inébranlables. Vos sacrifices et vos encouragements ont été ma boussole, me guidant à chaque étape de ce parcours. Sans vous, ce travail n'aurait jamais vu le jour. À mon frère, **Faycel Guendouz**, pour sa présence constante, ses conseils avisés et son soutien indéfectible.

Ta confiance en moi m'a donné la force de continuer, même dans les moments les plus difficiles. À mes sœurs, **Guendouz Samira** et **Guendouz Wardiya**, pour votre affection, vos encouragements et votre présence rassurante tout au long de ce chemin. Vous avez su, chacune à votre manière, m'apporter réconfort et motivation quand j'en avais le plus besoin. Ce mémoire est l'aboutissement de vos sacrifices, de votre amour et de votre foi en moi. Je vous en suis profondément reconnaissant et vous dédie cette réussite avec tout mon cœur.

Dédicace 2

À ma famille bien-aimée, pilier de ma réussite et source inépuisable de soutien : ma mère **Malha Haddad**, dont l'amour inconditionnel m'a porté jusqu'ici ; mon père **Abdennour Haddad**, dont les encouragements m'ont toujours poussé à l'excellence et ma grand-mère Tassadit Haddad, gardienne de nos traditions et de notre histoire familiale. Ce mémoire est le fruit de vos efforts collectifs, de votre amour et de votre foi inébranlable en moi. Je vous dédie ce travail avec toute ma gratitude, en espérant qu'il soit à la hauteur de vos espérances et qu'il vous rende fiers. Votre soutien indéfectible a façonné la personne que je suis devenue, et cette réussite est autant la vôtre que la mienne.

Sommaire

Remerciements	2
Dédicace 1	3
Dédicace 2	4
Sommaire	5
Liste des tables	10
Liste des figures	11
LISTE DES ABRÉVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES	13
Introduction Générale.....	1
Chapitre I : Généralités.....	4
1 Introduction	5
2 MIMO (Multiple Input Multiple Output).....	5
2.1 Types des systèmes MIMO	6
2.1.1 Système SISO (Single Input Single Output)	6
2.1.2 Système MISO (Multiple Input Single Output)	6
2.1.3 Système SIMO (Single Input Multiple Output)	7
2.1.4 Système MIMO (Multiple Input Multiple Output)	7
3 MASSIVE MIMO	8
3.1 Définition.....	8
3.2 Fonctionnement de Massive MIMO.....	8
3.3 Avantages de Massive MIMO	10
3.4 Évolution de Massive MIMO	10
3.5 3D formation de faisceaux.....	10
3.5.1 Processus de formation de faisceaux.....	11
3.5.2 Avantages de la formation de faisceaux et impact sur le réseau	11
3.5.3 Formation de faisceaux MU (MU Beamforming).....	11
3.5.4 Avantages et impacts sur le réseau.....	12
3.6 Mode de transmission (TM)	12
3.6.1 TM7.....	12

3.6.2	TM8.....	13
4	Comparaison entre MIMO et Massive MIMO.....	13
5	Technologies utilisées par Mobilis.....	13
6	LTE.....	15
6.1	Exigences et objectifs pour LTE.....	15
6.2	Bandes passantes des canaux LTE	16
7	Conclusion.....	17
	Chapitre II : LTE.....	18
1	Architecture LTE.....	19
2	Déploiement du réseau LTE dans le monde.....	20
3	Canaux LTE	21
3.1	Definition Canaux	21
3.2	Classification des canaux LTE	21
3.3	Canaux logiques	21
3.4	Canaux de transport.	22
3.5	Canaux physiques	22
4	Technique de modulation	24
5	Techniques d'accès	24
5.1	Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA)	24
5.2	Single Carrier Frequency Division Multiple Access (SC-FDMA).....	24
6	Allocation des ressources	25
6.1	PRB (Physical Resource Blocks)	25
6.2	RE (Resource Elément)	25
6.3	RS (Reference Signal)	26
7	Ressources de transmission de LTE.....	26
7.1	Frequency Division Duplexing.....	26
7.2	Time Division Duplexing	26
7.3	Comparaison de LTE-FDD et LTE-TDD.....	27
8	Les couches LTE	27
9	Handover	28
9.1	Définition du Handover	28
9.2	Caractéristiques du Handover.....	29

9.3	Types de Handover	29
9.3.1	Handover Intra-LTE	29
9.3.2	Handover Inter-LTE	29
9.3.3	Handover inter-RAT	30
10	Modes de transmission TM	30
11	LTE Advanced	31
12	Conclusion.....	32
Chapitre III : Plateforme iMaster MAE (Huawei)		34
1	Introduction	35
2	iMaster MAE, l'outil d'évaluation développé par Huawei	35
2.1	Tableau de bord	35
2.2	Gestion des rapports	36
2.3	Requête par conditions	37
2.4	Choix de la wilaya concerné.....	37
2.5	Sélection des KPI.....	38
2.6	Sélections des KPI 3G	38
2.7	Sélections des KPI 4G	39
2.8	Sélections de la période de temps.....	39
2.9	Génération du rapport.....	40
2.10	Interface de sélection de graphiques pour l'analyse des KPIs.....	41
2.11	Rapport 2G.....	42
3	Les KPIs	42
3.1	Les KPI 4G LTE.....	42
3.1.1	4G FDD :.....	43
3.1.2	4G TDD :.....	43
3.2	Les KPIs 3G.....	44
3.3	Les KPIs 2G.....	45
4	Tableau des KPIs.....	46
5	Conclusion.....	47
Chapitre IV : Résultats et Discussion.....		48
1	Introduction	49
2	Etude du parametre User throughput=f(PRB) ou débit en fonction des PRB.....	49

Discussion des résultats.....	49
Interprétation	49
3 Relation entre DLpU et la DL.BW.....	50
Discussion des résultats.....	50
Interprétation	51
4 Etude de l'influence de TDD et FDD sur le débit.....	51
Discussion des résultats.....	51
Interprétation	51
5 Statistiques du réseau	52
Discussion des résultats.....	52
Discussion des résultats.....	53
Interprétation	53
6 Principaux résultats	54
Discussion des résultats.....	54
Interprétation	54
7 Etude des performance LTE.....	55
7.1 LTE DL par rapport au Débit	55
Discussion des résultats.....	55
Interprétation	55
7.2 Trafic LTE DL par rapport au Débit.....	56
Discussion des résultats.....	56
Interprétation	56
7.3 Débit de téléchargement	56
Discussion des résultats.....	57
Interprétation	57
8 Calcul du EARFCN.....	58
9 Résultats mode transmission	59
Discussion des résultats.....	59
Interprétation	59
10 Résultats de l'appariement (MU pairing).....	60
Discussion des résultats.....	60
Perspectives.....	61

11	Comparaison entre TDD (64T64R) et FDD (32T32R).....	62
	Discussion des résultats.....	62
	Interprétation.....	63
12	Résultats mode Tx et Rx	63
13	Discussion des résultats.....	64
	Interprétation.....	64
	Conclusion générale	66
	Références	69

Liste des tables

Tableau 1. comparaison MIMO et Massive MIMO.....	13
Tableau 2. 4G TDD.....	44
Tableau 3.Fréquence des Bande passante de liaison descendante.	50
Tableau 4.Fréquences FDD et TDD.....	57
Tableau 5.Mode TX et RX en fonction de l'indication.....	63

Liste des figures

Figure 1: Système SISO	6
Figure 2.Système MISO	6
Figure 3.Système SIMO	7
Figure 4.Système MIMO.....	7
Figure 5.Massive MIMO.....	8
Figure 6.Les gains de multiplexage.....	9
Figure 7.Massive MIMO 8T8R&64T64R.	9
Figure 8.3D Beamforming.	10
Figure 9.Processus de formation de faisceau..	11
Figure 10.les différentes générations.....	14
Figure 11.Architecture LTE.	20
Figure 12.L'évolution de l'utilisation de l'internet dans le monde.....	21
Figure 13.Les canaux de LTE.	23
Figure 14.Architecture LTE simplifié.....	25
Figure 15.Allocation des ressources.....	26
Figure 16.comparaison entre FDD et TDD.....	27
Figure 17. Les couches LTE.....	28
Figure 18.Flux d'appels de transfert X2 en 4G LTE	30
Figure 19.mode de transmission	31
Figure 20.Tableau de bord de la plateforme.	35
Figure 21.Rapport de l'utilisateur.	36
Figure 22.Choix du rapport.	37
Figure 23.Sélection des objets par wilaya	37
Figure 24.Liste des KPI 2G.....	38
Figure 25.Liste des KPI 3G.....	38
Figure 26.Liste des KPI 4G.....	39
Figure 27.Choix de la période.	39
Figure 28.Compilation du rapport.....	40

Figure 29.Exemple de graphique.....	41
Figure 30.Exemple d'un rapport.	42
Figure 31.KPI FDD.	46
Figure 32. KPI TDD.....	46
Figure 33.Débit utilisateur par rapport à l'utilisation des PRB.	49
Figure 34.Débit par utilisateur (Mbps) par rapport à la bande passante descendante LTE. . .	50
Figure 35.Débit par utilisateur (Mbps) par rapport à la technologie FDD ou TDD.....	51
Figure 36.Premier graphe pour tous les sites ayant TDD ou FDD.....	52
Figure 37.Deuxième graphe pour les sites Co localisés ayant TDD et FDD.	52
Figure 38.Trafic LTE DL par rapport à l'utilisation des PRB.	54
Figure 39.Trafic LTE DL par rapport au Débit utilisateur.....	55
Figure 40.Trafic LTE DL par rapport au Débit utilisateur.....	56
Figure 41.Débit utilisateur en téléchargement (DL) pour différentes bandes de fréquences LTE.	56
Figure 42.Formule pour trouver l'EARFCN.....	58
Figure 43.TM (mode de transmission).....	59
Figure 44.MU pairing(appariement multi-utilisateurs).....	60
Figure 45.Graphique circulaire MU pairing.	61
Figure 46.MU BF (multi-utilisateurs Beamforming).	62
Figure 47.Graphique circulaire MU beamforming.....	62
Figure 48.Mode TX and RX.	63

LISTE DES ABRÉVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES

2G : Deuxième génération

3G : Troisième génération

4G : Quatrième génération

BCCH : broadcast channel

BE: BTS EnodeB

BLER: Block Error Ratio

CCCH: Common Control Channel

DL: Downlink

DCCH: Dedicated Control Channel

ERAB: E-UTRAN Radio Access Bearer

FDD: frequency-division duplexing

FDMA: frequency division multiplexes access

GSM: global system mobile

HSS: Home Subscriber Server

HO: handover

KPI: key performance indicator

LTE: Long Term Evolution

LTE-A: Long Term Evolution-Advanced

ME: Mobile Equipment

MME: Mobility Management Entity

MIMO: Multiple-Input Multiple-Output

MMS: Multi-Media Service

OFDMA: Orthogonal Frequency Division Multiple Access

OFDM: Orthogonal Frequency-Division Multiplexing

P-GW: Packet-Switch GetWay

PRB: Physical Resource Block

PDCCP: Pocket Data Convergence Protocol

QOS: Quality of service

QPSK: Quadrature Phase Shift Keying

QAM: Quadrature Amplitude Modulation

RRC: radio resource controller

RAT: Radio Access Technology

SC-FDMA: Single-Carrier Frequency Division Multiple Access

SDCCH: Stand-alone Dedicated Control Channel

TM: Transmission Mode

TDD: Time Division Duplexing

TRX: transceiver

UL: Uplink

UE: User Equipment

UIT : Union International des Télécommunications Système

WCDMA: Wideband Code Division Multiple Access

Introduction Générale

L'implémentation d'un réseau TDD (Time Division Duplex) massive MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) constitue un enjeu majeur dans le développement des systèmes de communication sans fil, notamment avec l'avènement de la 5G. Cette technologie repose sur l'utilisation simultanée de multiples antennes à la fois à l'émetteur et au récepteur, ce qui permet d'optimiser l'utilisation du spectre radio et d'améliorer les performances des réseaux.

Le TDD est une méthode de duplexage qui permet d'utiliser la même bande de fréquence pour la transmission et la réception, mais à des moments différents. Cela offre une flexibilité accrue pour allouer la bande passante en fonction des besoins, que ce soit pour l'envoi ou la réception de données. Cette approche est particulièrement avantageuse dans les environnements où le trafic est asymétrique, permettant ainsi d'augmenter le débit dans la direction nécessitant plus de ressources.

Le massive MIMO, quant à lui, se distingue par l'utilisation d'un grand nombre d'antennes (souvent plusieurs dizaines ou centaines) pour servir simultanément plusieurs utilisateurs. Ce modèle permet non seulement d'augmenter la capacité du réseau, mais aussi d'améliorer la fiabilité des communications grâce à des techniques avancées telles que le beamforming et le multiplexage spatial. En exploitant les dimensions spatiales, le massive MIMO crée de nombreux degrés de liberté qui optimisent l'efficacité spectrale et réduisent les interférences entre utilisateurs. [13]

Le but de cette recherche sur l'implémentation d'un réseau TDD massive MIMO et ses performances est d'explorer en profondeur les avantages et les défis associés à cette technologie innovante dans le domaine des communications sans fil. En se concentrant sur l'amélioration du débit de transmission, la réduction de la latence et l'optimisation de l'efficacité spectrale, cette étude vise à démontrer comment l'intégration du TDD avec le massive MIMO peut répondre aux exigences croissantes des réseaux modernes, notamment avec l'avènement de la 5G. De plus, la recherche s'efforcera d'identifier les défis techniques, tels que l'acquisition de l'état du canal et la gestion des interférences entre utilisateurs, tout en proposant des solutions potentielles. En fin de compte, cette étude aspire à fournir des recommandations pratiques pour le déploiement de réseaux TDD massive MIMO, contribuant ainsi à façonner l'avenir des systèmes de communication sans fil et à soutenir le développement d'applications émergentes nécessitant une connectivité rapide et fiable.

Ce mémoire se propose d'explorer en profondeur l'implémentation d'un réseau TDD massive MIMO, en analysant ses performances, ses avantages, ainsi que les défis techniques associés. En s'appuyant sur des études de cas et des simulations, il vise à fournir une compréhension complète des implications de cette technologie dans le contexte actuel des télécommunications. Notre mémoire est composé de 4 chapitres :

- Le premier chapitre porte sur une introduction au MIMO, massive MIMO et ses performances.
- Le deuxième chapitre présente la norme LTE et ses caractéristiques, types de modulation et les techniques d'accès.

- Le troisième chapitre parle sur la plateforme i Master MAE de Huawei, il se concentrera sur les fonctionnalités et les avantages de cette solution d'automatisation des réseaux.
- Le quatrième chapitre représente pratiquement tous les résultats obtenus après avoir fait nos recherches.

Chapitre I : Généralités.

1 Introduction

Dans le monde actuel des communications sans fil, la demande pour des débits de données plus élevés et une meilleure qualité de service augmente sans cesse. Ce chapitre parle donc d'une grande innovation : la technologie MIMO (Multiple Input Multiple Output) et son développement vers le Massive MIMO. Le MIMO utilise plusieurs antennes pour envoyer et recevoir des données, ce qui améliore beaucoup la capacité de transmission, la fiabilité du signal et l'efficacité spectrale. L'introduction décrit aussi les différentes variantes du MIMO comme le SISO, MISO et SIMO, et montre comment le Massive MIMO, avec encore plus d'antennes, offre de grandes améliorations, surtout pour les réseaux 5G. On évoque aussi la technologie LTE (Long-Term Evolution), ses objectifs et ses bandes passantes, avec un exemple des technologies utilisées par l'opérateur Mobilis. L'objectif est de donner une bonne compréhension de ces technologies modernes qui redéfinissent l'avenir des communications sans fil, en expliquant comment elles fonctionnent, leurs avantages et leur impact sur les réseaux d'aujourd'hui.

2 MIMO (Multiple Input Multiple Output)

Le Multiple Input Multiple Output, plus communément connu sous l'acronyme MIMO, est une technologie de communication sans fil qui utilise plusieurs antennes pour l'émission et la réception des signaux. Nous allons examiner de manière détaillée la définition du MIMO, en explorant son fonctionnement, ses avantages, ses applications et son importance dans le domaine des télécommunications.

Le MIMO est une technique qui repose sur le principe de l'utilisation simultanée de plusieurs antennes tant pour l'émetteur que pour le récepteur afin d'améliorer la capacité de transmission des données, la vitesse de connexion et la qualité du signal. Plutôt que d'utiliser une seule antenne pour envoyer et recevoir les signaux, comme dans les systèmes traditionnels, le MIMO exploite plusieurs chemins de propagation du signal pour augmenter le débit de données dans les réseaux sans fil.

Le MIMO utilise un concept appelé "diversité spatiale", qui repose sur le fait que les signaux envoyés par différentes antennes suivent des chemins de propagation différents et peuvent être reçus à différents moments. Cette redondance dans les chemins de propagation du signal permet de compenser la perte ou l'atténuation d'un signal individuel, améliorant ainsi la fiabilité et la qualité de la connexion globale.

2.1 Types des systèmes MIMO

2.1.1 Système SISO (Single Input Single Output)

Un système SISO est un système possédant une seule entrée et une seule sortie. Ce sont les systèmes les plus simples (figure 1), ils sont qualifiés aussi de mono_variables.

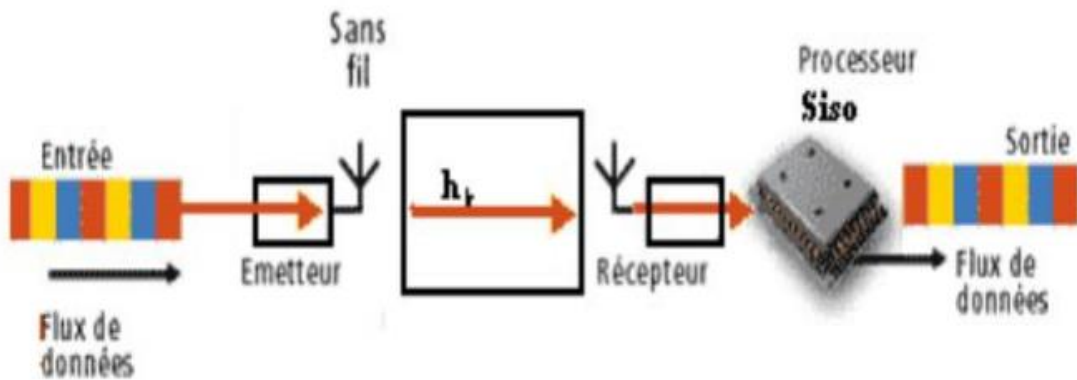


Figure 1: Système SISO[2].

2.1.2 Système MISO (Multiple Input Single Output)

C'est une technique de diversité spatiale en émission ; c'est-à-dire plusieurs antennes émettent des signaux qui sont interceptés par une seule antenne en réception (Figure 2).

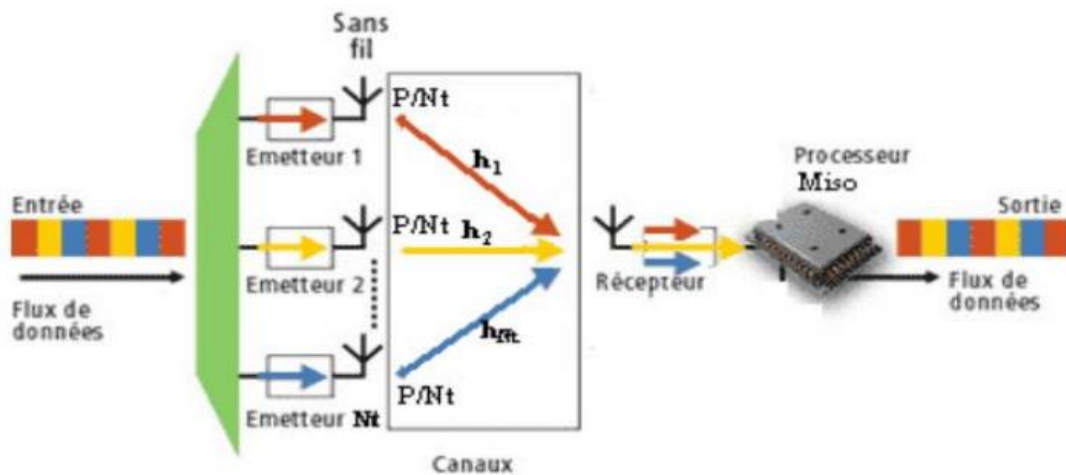


Figure 2. Système MISO[2].

2.1.3 Système SIMO (Single Input Multiple Output)

Le signal reçu est additionné et le rapport signal sur bruit total est la somme des rapports signaux sur bruits de chacun des antennes de la réception (voir figure 3).

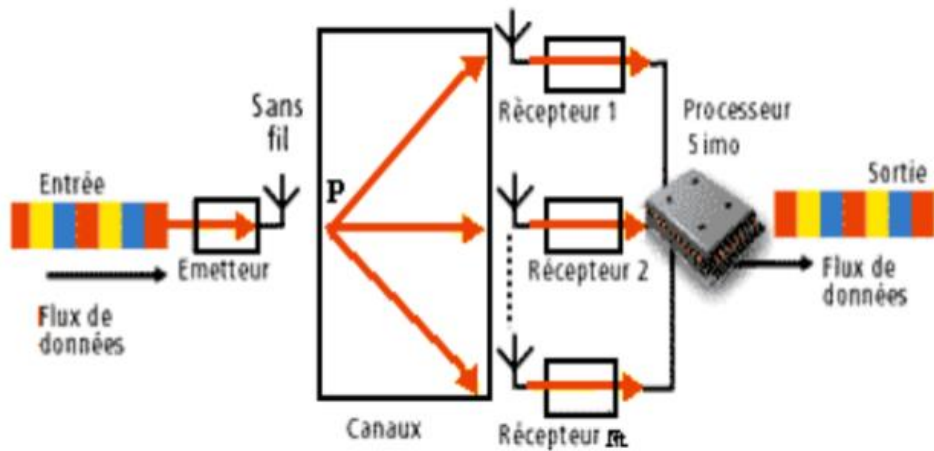


Figure 3. Système SIMO[2].

2.1.4 Système MIMO (Multiple Input Multiple Output)

La technologie MIMO, elle permet d'augmenter le débit de façon linéaire en fonction du nombre d'antennes à la réception et aussi de contrer l'évanouissement du canal. Donc, elle aide à réduire la probabilité d'évanouissement et d'atténuation du signal. La principale différence entre un système MISO et un système MIMO, c'est que le MISO envoie les mêmes paquets aux antennes qui émettent à la même fréquence. Tandis que le MIMO, lui, envoie des paquets différents aux antennes qui émettent à la même fréquence (Figure 4).

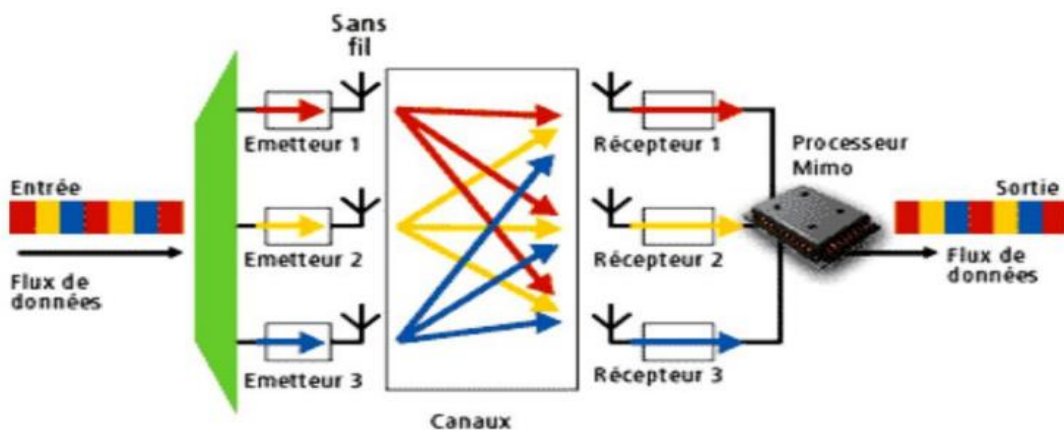


Figure 4. Système MIMO[2].

3 MASSIVE MIMO

3.1 Définition

Le Massive MIMO est vu comme une mise à jour importante des technologies d'antennes multiples, surtout avec l'arrivée de la 4G et 5G. Ça implique l'utilisation de réseaux avec beaucoup d'antennes (jusqu'à 64 antennes) sur un seul eNodeB, qui est un type de station de base.

C'est une technologie poussée pour la communication sans fil qui se sert d'un grand nombre d'antennes pour rendre le réseau plus performant. Contrairement aux systèmes MIMO classiques qui n'ont que quelques antennes, le Massive MIMO en utilise des dizaines, voire des centaines, pour envoyer et recevoir des signaux en même temps. Cette avancée aide à augmenter beaucoup la capacité du réseau et la qualité de service pour les utilisateurs. Grâce à des algorithmes de traitement de signal qui sont avancés, le Massive MIMO peut réduire les interférences et améliorer l'efficacité spectrale. [3]

La figure 5 illustre le principe de la technologie massive MIMO.

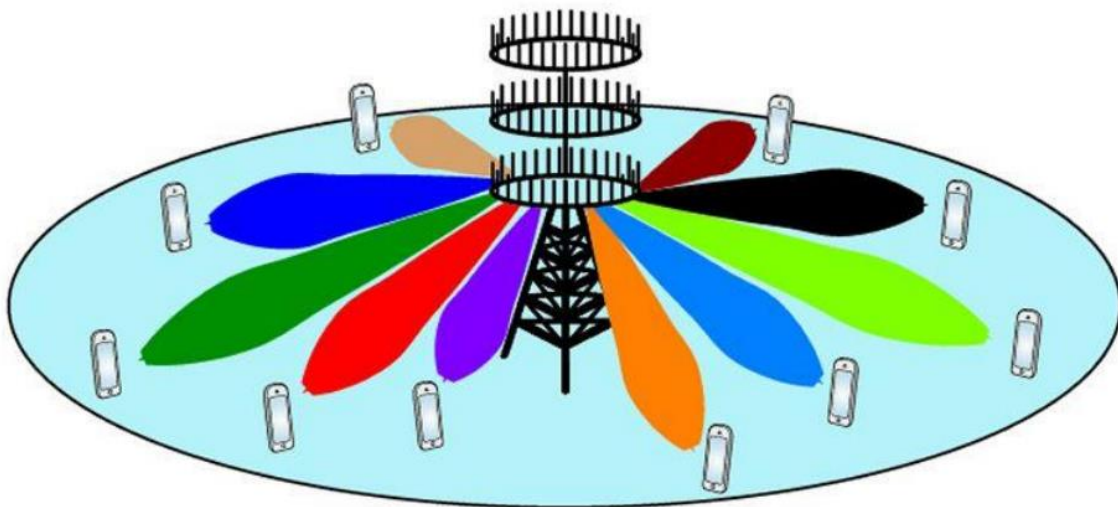


Figure 5. Massive MIMO[3].

3.2 Fonctionnement de Massive MIMO

Cette fonction augmente les gains de multiplexage (voir figure 6). Le Massive MIMO supporte jusqu'à 16 couches pour la liaison descendante MU beamforming, ce qui donne environ 7 fois plus de débit théorique au maximum en liaison descendante comparé à du 2x2 MIMO dans des scénarios de mise en réseau 8T8R.

- Trois "hauts" ; soutient un volume de trafic élevé, des interférences élevées et une bonne couverture au sol.

Une couverture élevée fait référence à la limite de la liaison montante.

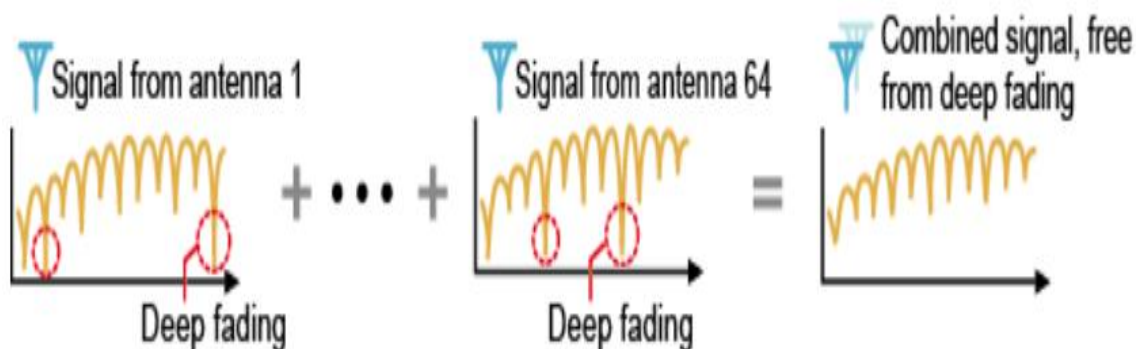


Figure 6. Les gains de multiplexage [4].

Le Massive MIMO (Multiple-Input Multiple-Output massif) présente des avantages pour la diversité de réception à cause de l'utilisation d'un nombre élevé d'antennes dans un réseau. En fait, plus on met d'antennes, plus les capacités de combinaison et de rejet d'interférence (IRC) sont importantes, ce qui aide à améliorer la réception et les performances de démodulation. La diversité de réception élimine bien les effets de l'atténuation sévère, ce qui entraîne une meilleure réception.

La Figure 7 illustre le concept de Massive MIMO 8T8R & 64T64R.



Figure 7. Massive MIMO 8T8R & 64T64R [4].

Le beamforming 3D, c'est une technique qui veut dire beamforming tridimensionnel. Avec l'utilisation des antennes dans les réseaux, on augmente le nombre d'antennes logiques dans la hauteur, ce qui permet de faire la formation de faisceaux verticalement.

- Le Massive MIMO permet à l'eNodeB de régler les faisceaux de diffusion et ceux pour le trafic de liaison descendante, à la fois de façon horizontale et verticale. Ça améliore la liaison montante et descendante, et en plus, ça offre une couverture plus solide que les technologies avec antennes multiples 8T8R. Les bénéfices sont vraiment plus marquants dans le sens vertical. Le Massive MIMO aide aussi à augmenter le débit des cellules en liaison descendante et l'efficacité spectrale. [3].

3.3 Avantages de Massive MIMO

Le Massive MIMO peut relever de manière efficace les défis de trois "hauts" et une limitation des réseaux LTE. En plus de ça, le MIMO massif offre plusieurs avantages par rapport aux réseaux, à l'évolution technologique et aux solutions de sites.

- Le Massive MIMO utilise les technologies 5G pour les réseaux 4G, ce qui améliore vraiment les performances et la capacité. De plus, avec des avantages importants au niveau matériel (architecture et performances), le MIMO massif soutient une transition douce vers le réseau 5G.
- Concernant les solutions de site, il y a une grande intégration des RRU (Remote Radio Units) avec les antennes. Ça permet d'avoir un grand nombre d'antennes qui peuvent recevoir et émettre, de même que des canaux de Le traitement RF permet de garder la taille du site assez petite. Même si on augmente le nombre d'antennes et de canaux RF, le poids total de l'intégration n'augmente pas trop, ça rend l'installation plus facile pour les ingénieurs qui s'occupent des antennes et des équipements. Le concept de Massive MIMO permet de faire du beamforming en 3D et ça ne demande pas beaucoup d'inclinaison. En plus, ça permet d'utiliser des housses pour cacher ou protéger les climatiseurs, ce qui aide à bien cacher les sites et à les intégrer dans l'environnement.

3.4 Évolution de Massive MIMO

Les sites Massive MIMO apportent des nouvelles technologies qui s'appuient sur l'ancien site distribué pour améliorer la structure du site et donc, ses performances.

3.5 3D formation de faisceaux

La formation de faisceau 3D flexible DL est aussi connue sous le nom de formation de faisceau 3D. En utilisant un réseau d'antennes, elle augmente le nombre d'antennes logiques dans le sens vertical. Cela permet de mettre en place la formation de faisceaux dans la direction verticale ; (voir la figure 8).

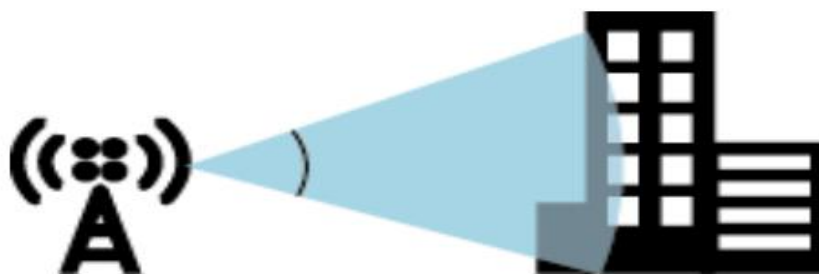


Figure 8.3D Beamforming [4].

3.5.1 Processus de formation de faisceaux

Le processus pour former des faisceaux se fait grâce aux étapes suivantes :

1. Étalonage des canaux : on vérifie que les canaux de liaison montante et descendante fonctionnent bien ensemble.
2. Poids de calcul : on calcule le poids nécessaire pour la formation du faisceau.
3. Pondération et formation de faisceau : on crée un faisceau étroit qui est dirigé vers l'UE. Comme ça, tteeNodeB arrive à distinguer les UE de manière horizontale et verticale.
4. Démodulation : les données PDSCH sont démodulées. (Voir figure 9)

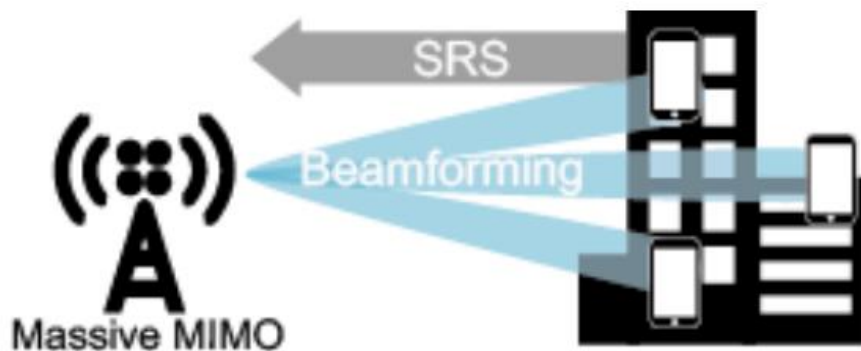


Figure 9. Processus de formation de faisceau[4].

3.5.2 Avantages de la formation de faisceaux et impact sur le réseau

- **Avantage**

Cette fonction a l'avantage d'augmenter les gains de formation des faisceaux.

La formation 3D des faisceaux permet d'avoir de meilleures performances pour la couverture des liaisons montantes, et descendantes, comparé aux techniques d'antennes multiplex 8T8R. Les gains sont vraiment significatifs surtout en vertical. En plus, le beamforming en 3D aide à augmenter le débit cellulaire et l'efficacité spectrale de la liaison descendante. Aucune incidence sur le réseau.

3.5.3 Formation de faisceaux MU (MU Beamforming)

Le Massive MIMO permet de gérer plusieurs flux de données en même temps sur la même connexion. Cela améliore la performance de la liaison descendante en augmentant le débit moyen par cellule.

On peut avoir jusqu'à 16 couches d'appariement au maximum.

3.5.4 Avantages et impacts sur le réseau

- **Avantage**
 - Cette fonctionnalité permet d'augmenter les gains de multiplexage.
 - Le Massive MIMO peut gérer jusqu'à 16 couches pour la liaison descendante MU grâce à la formation de faisceaux, ce qui permet d'avoir environ sept fois plus de débit théorique de crête de liaison descendante par rapport à 2x2 MIMO dans les scénarios de mise en réseau 818R.
- **Impacts sur le réseau :**
 - Le BLER du PDSCH peut augmenter.
 - La fonction de planification étendue et adaptative dans le domaine temporel de la liaison descendante aide à améliorer le taux perçu par l'utilisateur pour les services de liaison descendante qui ont beaucoup de trafic.
 - L'indice MCS spécifique à la formation de faisceaux MU. Cette fonction d'optimisation pour la sélection réduit l'IBLER.
 - Après la reconstruction d'une cellule 4T/8T en une cellule Massive MIMO, on peut voir une hausse de l'IBLER (In-Band Loopback Error Rate) pour les liaisons montantes, et aussi pour celles qui sont descendantes [3].

3.6 Mode de transmission (TM)

3.6.1 TM7

Le mode TM7 (Transmission Mode 7) est un mode de transmission qui est standardisé pour les réseaux de télécom. Ce mode est connu pour sa capacité à envoyer des données à des débits hauts et il offre une bonne qualité de service. Le TM7 est souvent utilisé dans les réseaux de télécommunication de nouvelle génération (NGN) pour transférer un large éventail de services, comme la voix, les images en direct et les vidéos en haute définition.

- **Avantage**

L'un des principaux avantages du mode TM7 est sa capacité à fournir une "garantie" de transmission des données, ce qui signifie qu'il

- Assure une bande passante dédiée pour chaque connexion.
- Une qualité de service élevée, tels que les appels vocaux en temps réel ou les vidéos en direct.
- Une meilleure gestion des ressources réseau et une plus grande flexibilité en termes de routage des paquets.

3.6.2 TM8

Le mode TM8 (Transmission Mode 8) est une norme qui est aussi utilisée dans les réseaux de télécommunication. Le TM8 se différencie du TM7 car il peut transmettre des données à des vitesses encore plus élevées et il propose des fonctions supplémentaires pour mieux répondre aux besoins des utilisateurs.

- **Avantage.**
 - Une vitesse de transmission qui est encore plus rapide que celle du mode TM7.
 - Le TM8 utilise mieux l'infrastructure réseau qui existe déjà, ce qui permet une évolutivité et une flexibilité meilleures.

4 Comparaison entre MIMO et Massive MIMO

Tableau 1. Comparaison MIMO et Massive MIMO.

Critère	MIMO classique	Massive MIMO
Nombre d'antennes	Quelques antennes (2x2, 4x4, etc.)	Des dizaines, voire centaines d'antennes
Capacité	Augmente modérément la capacité réseau	Augmentation massive de la capacité
Interférences	Gestion partielle des interférences	Réduction significative des interférences
Beamforming	Limité	Beamforming avancé et efficace
Applications	4G, Wi-Fi, LTE	Essentiellement pour la 5G
Consommation d'énergie	Modérée	Plus élevée (avec optimisation possible)

5 Technologies utilisées par Mobilis

Mobilis utilise plusieurs technologies pour offrir ses services de télécommunications. Voici quelques-unes des technologies principales qu'elle utilise :

• **Réseau GSM** : Mobilis se sert de la technologie de communication mobile GSM (Système Global pour les Communications Mobiles) pour donner des services de téléphonie mobile. C'est la technologie la plus utilisée dans le monde pour les réseaux de téléphonie mobile.

• **2G** : La bande de fréquence G900/G1800 MHz est utilisée pour le réseau 2G. Dans la bande 900 MHz, l'opérateur utilise une antenne avec deux émetteurs-récepteurs (2TRX) pour permettre la communication entre les utilisateurs et la station de base. Pour la bande 1800 MHz, Mobilis propose une antenne avec huit émetteurs-récepteurs (8TRX) ce qui autorise une communication plus élevée. La bande 900 MHz est utilisée pour donner une couverture plus large, tandis que la bande 1800 MHz permet une capacité de communication plus grande dans les zones où il y a beaucoup de monde. Les antennes dans chaque bande sont adaptées pour répondre aux besoins spécifiques de la bande de fréquence afin d'assurer une bonne qualité de signal.

• **3G** : Mobilis utilise la technologie 3G pour offrir des services de données mobiles rapides à ses utilisateurs en Algérie. Pour cela, elle utilise la bande de fréquence U900/U2100 MHz. La bande U2100 est coupée en trois porteuses de 5 MHz (F1, F2 et F3). À noter que, l'autorité de régulation ARPCE a redonné 5 MHz de la 2G à la 3G, ce qui améliore la capacité 3G. La bande de fréquence 900 MHz permet une couverture plus étendue pour les utilisateurs, tandis que la bande 2100 MHz permet une communication plus élevée dans les zones très peuplées.

• **4G LTE (Long-Term Evolution)** : Mobilis se sert de la technologie 4G pour donner des services de données mobiles rapides à ses utilisateurs en Algérie. Pour cela, le réseau 4G est partagé entre les technologies FDD et TDD. En FDD, les bandes L1800 et L2100 sont utilisées, chacune avec une largeur de bande de 15 MHz. La bande L1800 a été élargie de 10 MHz à 15 MHz, ayant bénéficié des 5 MHz pris à la 2G. Pour TDD, on utilise la bande L2300, qui est divisée en deux porteuses : F1 avec 20 MHz et F2 avec 10 MHz.

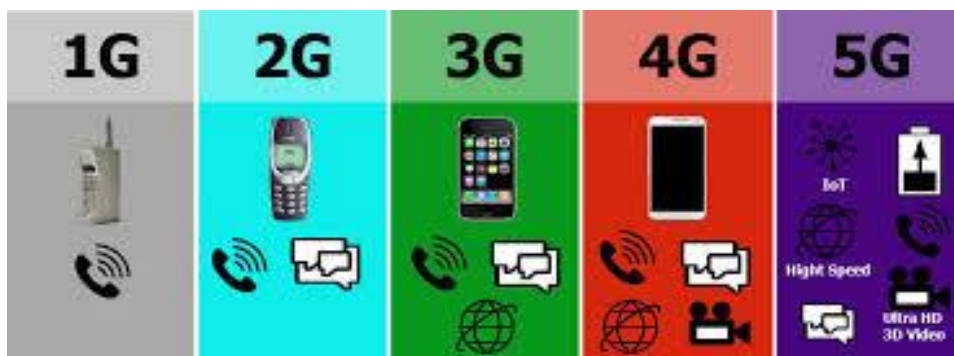


Figure 10.les différentes générations [5].

6 LTE

Le LTE, c'est une norme de communication sans fil qui appartient à la quatrième génération, aussi appelée 4G. Elle est utilisée par les réseaux de téléphones mobiles. Le but de cette norme, c'est de donner une connexion internet plus rapide, plus fiable et plus efficace que les anciennes technologies comme la 3G.

La technologie LTE utilise des bandes de fréquences radio pour envoyer des données numériques entre les téléphones et les stations de base des réseaux mobiles. En plus, elle se sert de techniques de modulation avancées pour améliorer la capacité et la qualité des transmissions de données.

Le LTE est souvent associé à d'autres technologies sans fil comme le Wi-Fi et le Bluetooth pour garantir une connectivité complète. Elle est aussi utilisée pour transmettre des données sur les réseaux cellulaires, surtout pour des choses comme le streaming vidéo, les jeux en ligne, les appels vidéo et les applications de messagerie.

Cette technologie LTE propose plusieurs avantages par rapport aux anciennes technologies de communication sans fil, comme une bande passante plus large, moins de latence, une meilleure qualité de transmission et une plus grande efficacité énergétique. De plus, elle est employée pour les communications entre machines, souvent appelé M2M, ainsi que pour l'Internet des objets et les applications qui concernent les villes intelligentes [6].

6.1 Exigences et objectifs pour LTE

Voici les principales exigences pour LTE concernant le débit de données, la latence et la mobilité :

- **Débit maximal :**

Débit de données DL (DownLink) de 100 Mb/s en instantané dans un spectre de 20 MHz (5 bps/Hz).

Débit de données UL (UpLink) de 50 Mb/s (2,5 bps/Hz) dans un spectre de 20 MHz.

- **Latence du plan de contrôle :**

Temps de transition de moins de 100 ms d'un état campé.

Temps de transition inférieur à 50 ms entre un état dormant et un état actif.

Capacité pour le plan de contrôle : au moins 200 utilisateurs par cellule en état actif pour des attributions de spectre allant jusqu'à 5 MHz.

- **Latence du plan utilisateur :**

Moins de 5 ms en condition de déchargement (c'est-à-dire un seul utilisateur avec un seul flux de données) pour un petit paquet IP.

- **Débit utilisateur :**

DL : débit utilisateur moyen par MHz, 3 à 4 fois la version 6 HSDPA.

UL : débit utilisateur moyen par MHz, 2 à 3 fois la version 6 Enhanced Uplink.

- **Efficacité du spectre :**

DL : Dans un réseau chargé, l'objectif d'efficacité spectrale (bits/sec/Hz/site) est 3 à 4 fois la version 6 HSDPA.

UL : Dans un réseau chargé, cible pour l'efficacité du spectre (bits/sec/Hz/site) est 2 à 3 fois la version 6 Enhanced Uplink.

- **Mobilité :**

E-UTRAN doit être optimisé pour une faible vitesse mobile allant de 0 à 15 km/h.

Il doit aussi supporter une vitesse mobile entre 15 et 120 km/h avec des bonnes performances.

La mobilité sur le réseau cellulaire doit être maintenue à des vitesses comprises entre 120 km/h et 350 km/h (voire jusqu'à 500 km/h selon la bande de fréquence).

- **Couverture :**

Les objectifs de débit, d'efficacité du spectre et de mobilité cités précédemment doivent être atteints pour des cellules de 5 km, avec une légère dégradation pour celles de 30 km. Les cellules allant jusqu'à 100 km ne devraient pas être exclues. [7]

6.2 Bandes passantes des canaux LTE

Un des éléments importants quand on utilise l'OFDM dans la LTE, c'est le choix de la bande passante qu'on a. Ça va influencer pas mal de choses comme le nombre de porteuses qu'on peut mettre dans le signal OFDM, et ça, ça va aussi impacter d'autres paramètres comme la longueur du symbole, etc.

La LTE supporte 6 types de bande passante. En gros, si on a une bande passante plus large, ça veut dire qu'on aura une plus grande capacité de canal, allant de 1,4 MHz à 20 MHz.

En plus, les sous-porteuses sont séparées par 15 kHz. Pour garder l'orthogonalité, ça nous donne un temps de symbole de $1/15$ kHz, soit 66,7 μ s. Chaque sous-porteuse peut transporter des données à un maximum de 15 ksps (kilo symboles par seconde). Donc, un système avec une bande passante de 20 MHz pourrait avoir un débit de symboles brut de 18 Mbps. En fait, il est capable de fournir un débit de données brut de 108 Mbps, puisque chaque symbole modulé en 64QAM peut représenter six bits. [7]

7 Conclusion

Ce chapitre a démontré que les technologies MIMO, Massive MIMO et LTE sont au cœur de la révolution des communications sans fil. Elles permettent non seulement d'augmenter les débits de données et d'améliorer la qualité de service, mais aussi de préparer le terrain pour les futures innovations dans le domaine des télécommunications. Alors que nous avançons vers un monde de plus en plus connecté, ces technologies joueront un rôle crucial dans la réalisation de la vision d'une société numérique ubiquitaire, où la communication à haute vitesse et à faible latence sera la norme plutôt que l'exception.

Chapitre II : LTE

1 Architecture LTE

L'architecture LTE est formée de plusieurs éléments importants qui travaillent ensemble pour offrir des services de communication mobile 4G à haut débit. Voici les principaux éléments de l'architecture LTE :

Équipement utilisateur (UE) : C'est l'appareil mobile ou la carte SIM utilisé pour se connecter au réseau LTE. Le terminal doit être compatible avec la norme LTE pour accéder aux services 4G.

Station de base LTE (eNodeB) : C'est un élément clé de l'architecture LTE qui assure la connectivité sans fil entre les équipements utilisateurs et le réseau mobile. L'eNodeB gère la signalisation et le traitement des données.

Contrôleur de mobilité (MME) : Cet élément du cœur du réseau LTE gère la mobilité des terminaux utilisateurs, ainsi que les sessions et la sécurité.

Point d'accès au réseau (SGW) : Il établit la connexion entre les équipements utilisateurs et les serveurs de données. Le SGW a la responsabilité de l'acheminement des paquets de données entre le terminal et le réseau.

Passerelle de service de paquets (PGW) : Elle assure la connexion entre le réseau LTE et d'autres réseaux externes. Le PGW gère aussi le trafic de données, la gestion de la QoS (Qualité de Service), ainsi que la facturation et la sécurité.

Serveur de passerelle multimédia (MMS) : Ce serveur gère la signalisation et le traitement des données pour les services multimédias, comme la vidéo en streaming, la messagerie instantanée et la voix sur IP.

Serveur d'applications (AS) : Il fournit des services spécifiques à l'utilisateur et gère également la sécurité et la gestion des sessions pour les applications.

Serveur d'abonné domestique (HSS) : C'est la principale base de données d'abonnés dans le sous-système multimédia IP (IMS) qui donne des détails sur les abonnés. L'IMS permet de donner ou de refuser l'accès à d'autres services selon le statut des utilisateurs[3].

L'architecture LTE est pensée pour être adaptable et flexible, ce qui aide les fournisseurs de services de communication mobile à ajouter de nouveaux services et à répondre aux besoins des utilisateurs. La figure 11 montre l'architecture de LTE.

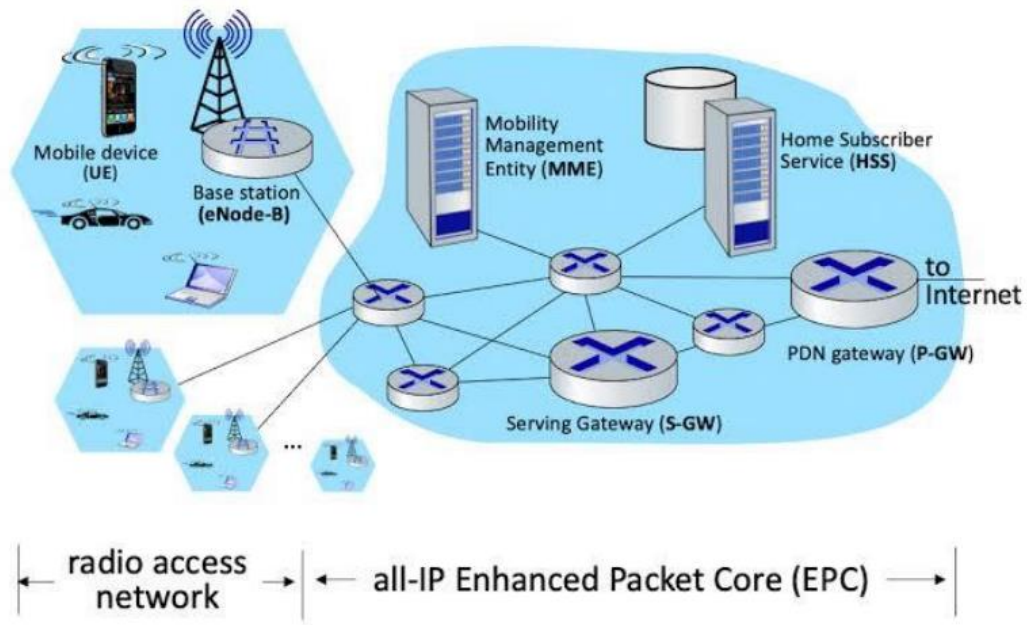


Figure 11. Architecture LTE [4].

2 Déploiement du réseau LTE dans le monde

Le déploiement du réseau LTE a été assez rapide et s'est répandu presque partout dans le monde. Selon les informations de l'observatoire de l'UIT sur les télécoms en 2021, il y avait plus de 5,2 milliards d'abonnements mobiles haut débit LTE à la fin de 2020. Les régions qui ont eu la plus grande croissance de l'adoption du LTE ces dernières années incluent l'Asie pacifique, l'Amérique latine, les Caraïbes et l'Afrique. Les États-Unis, le Japon, la Corée du Sud et la Chine font partie des pays qui ont été les plus avancés dans le déploiement du LTE, et ils ont désormais des réseaux LTE bien établis. En Europe, le déploiement a été plus lent en raison de la fragmentation du marché et de la complexité des réglementations. Cependant, la plupart des pays européens ont maintenant des réseaux LTE en place. Le déploiement du LTE a été guidé par la demande croissante des utilisateurs pour des vitesses de données plus rapides, une meilleure qualité de voix et de vidéo, ainsi qu'une connectivité plus fiable pour les applications mobiles. Le LTE est aussi considéré comme un élément crucial de la transition vers les réseaux 5G, qui fourniront des vitesses de données encore plus élevées et une meilleure connectivité pour les applications IoT (Internet Of Things) et d'autres usages. La figure 12 montre l'évolution de l'utilisation de l'internet dans le monde.

Individuals using the Internet

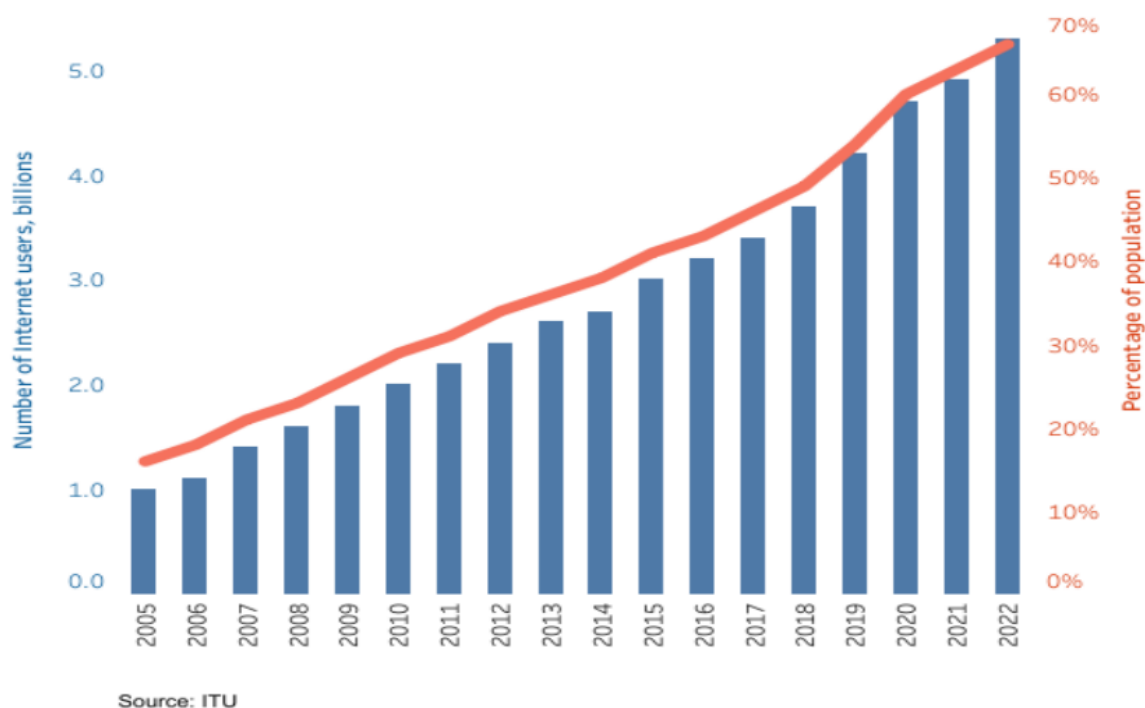


Figure 12. L'évolution de l'utilisation de l'internet dans le monde [3].

3 Canaux LTE

3.1 Définition Canaux : Les canaux désignent les flux d'informations qui circulent entre les différentes couches de protocoles. Ils servent à séparer les divers types de données, ce qui permet de les transporter à travers ces couches. Ces canaux fournissent des interfaces à chaque couche de la pile de protocoles LTE, ce qui amène une séparation ordonnée et précise des données. En effet, le LTE utilise plusieurs types de canaux, notamment logiques, de transport et physiques, qui sont distingués par le type d'informations qu'ils transportent et la façon dont ces informations sont traitées.

3.2 Classification des canaux LTE

- Canaux logiques (Quel type d'information)
- Canaux de transport (Comment ces informations sont transportées)
- Canaux physiques (Où envoyer ces informations)

3.3 Canaux logiques

Le réseau LTE met en œuvre divers types de canaux logiques pour transférer les données entre les terminaux mobiles et les stations de base. Ils sont classés en deux catégories principales : les canaux de contrôle et les canaux de données.

Les canaux de contrôle servent à transmettre des informations concernant la connexion entre les terminaux mobiles et les stations de base. Ces canaux incluent le canal de signalisation de

contrôle de liaison montante (ULSCH), le canal de signalisation de contrôle de liaison descendante (DL-SCH), ainsi que les canaux de commande de planification de liaison montante (UL-CCH) et descendante (DL-CCH). Les canaux de contrôle sont utilisés pour la signalisation, la planification des ressources radio, la gestion de l'allocation de bande passante, et la gestion de la qualité de service (QoS) pour les connexions LTE.

Les canaux de données sont destinés à la transmission des données utilisateur entre les terminaux mobiles et les stations de base. Ils comprennent le canal de transport de liaison montante (UL-TS), le canal de transport de liaison descendante (DL-TS), ainsi que le canal de contrôle de flux de liaison montante (UL-CCCH). Ces canaux transportent des données d'applications telles que la voix, la vidéo, la messagerie et les données Internet. De plus, ils sont utilisés pour le contrôle de flux et la gestion de la QoS pour les connexions LTE [8].

3.4 Canaux de transport

Le réseau LTE emploie des canaux de transport pour acheminer les données utilisateur et de contrôle entre les terminaux mobiles et les stations de base. Les canaux de transport se répartissent en deux catégories : les canaux de transport de liaison montante (UL) et les canaux de transport de liaison descendante (DL).

Les canaux de transport de liaison montante : servent à transmettre les données des terminaux mobiles vers les stations de base. Ils incluent le canal de transport physique (UL-PHY), le canal de transport logique (UL-TS), et le canal de contrôle de flux (UL-CCCH). Le canal de transport physique permet de transmettre les données sur le support physique, le canal de transport logique gère la segmentation et le réassemblage des données, et le canal de contrôle de flux régule le flux de données pour maintenir la qualité de service requise.

Les canaux de transport de liaison descendante : sont utilisés pour transmettre les données des stations de base vers les terminaux mobiles. Ils comprennent le canal de transport physique (DL-PHY) et le canal de transport logique (DL-TS). Le canal de transport physique est responsable de la transmission des données sur le support physique, tandis que le canal de transport logique gère la segmentation et le réassemblage des données.

3.5 Canaux physiques

Les canaux physiques en LTE ont pour but de transmettre les informations de manière fiable entre les terminaux mobiles et les stations de base. Ils sont utilisés pour la communication aussi bien de liaison montante que descendante, et se divisent en plusieurs types selon leur fonction et leur utilisation. Ces canaux sont cruciaux pour la communication en temps réel, donc très importants pour le bon fonctionnement du réseau.

Les canaux physiques de liaison montante incluent le canal de transport physique (UL-PHY) et le canal de contrôle de puissance de liaison (UL-PCCH). Le canal de transport physique transmet les données entre le terminal mobile et la station de base, alors que le canal de contrôle de puissance gère la puissance d'émission des terminaux.

Pour ce qui est des canaux physiques de liaison descendante, ils comprennent le canal de transport physique (DL-PHY), le canal de contrôle de planification (DL-PCCH), le canal de contrôle de ressources (DL-BCCH), et le canal de commande de planification (DL-DCCH).

Le canal de transport physique est utilisé pour faire passer les données depuis la station de base vers le terminal mobile. Les canaux de contrôle suivent pour gérer et superviser les ressources du réseau. [9] La figure 13 représente les canaux de LTE :

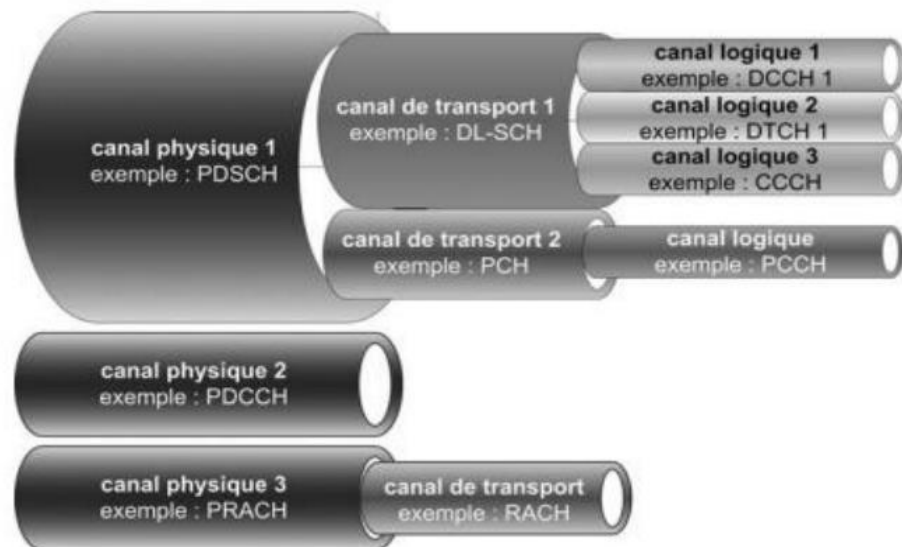


Figure 13. Les canaux de LTE [9].

4 Technique de modulation

Le LTE (Long Term Evolution) utilise des techniques avancées de modulation pour assurer une transmission efficace des données. Trois principaux schémas de modulation sont utilisés : le QPSK, le 16-QAM et le 64-QAM.

Le QPSK, robuste et fiable, est utilisé pour transmettre des informations de contrôle dans des environnements de faible signal.

Le 16-QAM, plus avancé, permet de transmettre plus d'informations par symbole, mais exige une meilleure qualité de signal.

Le 64-QAM, encore plus performant, offre des débits très élevés, mais nécessite des conditions optimales en termes de qualité de signal. Ces schémas de modulation sont sélectionnés en fonction des conditions du réseau, et des techniques supplémentaires de codage sont utilisées pour protéger les données contre les erreurs. Ces caractéristiques garantissent la performance et la fiabilité des réseaux LTE.

5 Techniques d'accès

5.1 Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA)

Est une technique clé utilisée dans les systèmes de communication sans fil, notamment en 4G LTE. Elle combine les avantages de l'OFDM en permettant à plusieurs utilisateurs d'accéder simultanément à différentes sous-porteuses orthogonales, optimisant ainsi l'utilisation du spectre radioélectrique. L'OFDMA permet une meilleure gestion des interférences et une répartition dynamique des ressources, améliorant la qualité du signal dans des environnements complexes. Cette technique est essentielle pour garantir une transmission efficace et simultanée de multiples signaux dans les réseaux 4G LTE. [10]

5.2 Single Carrier Frequency Division Multiple Access (SC-FDMA)

Est une technologie clé utilisée dans les systèmes 4G LTE pour améliorer l'efficacité spectrale, réduire les interférences et augmenter la capacité réseau. Il permet à plusieurs utilisateurs de partager simultanément des ressources de fréquence en combinant le multiplexage par fréquence (FDM) et par temps (TDM). L'un de ses avantages majeurs est la distribution uniforme de la puissance des signaux, limitant ainsi les interférences. De plus, le SC-FDMA améliore la séparation des canaux, s'adapte aux variations des canaux, et optimise l'efficacité spectrale, surtout dans les environnements denses. [10]

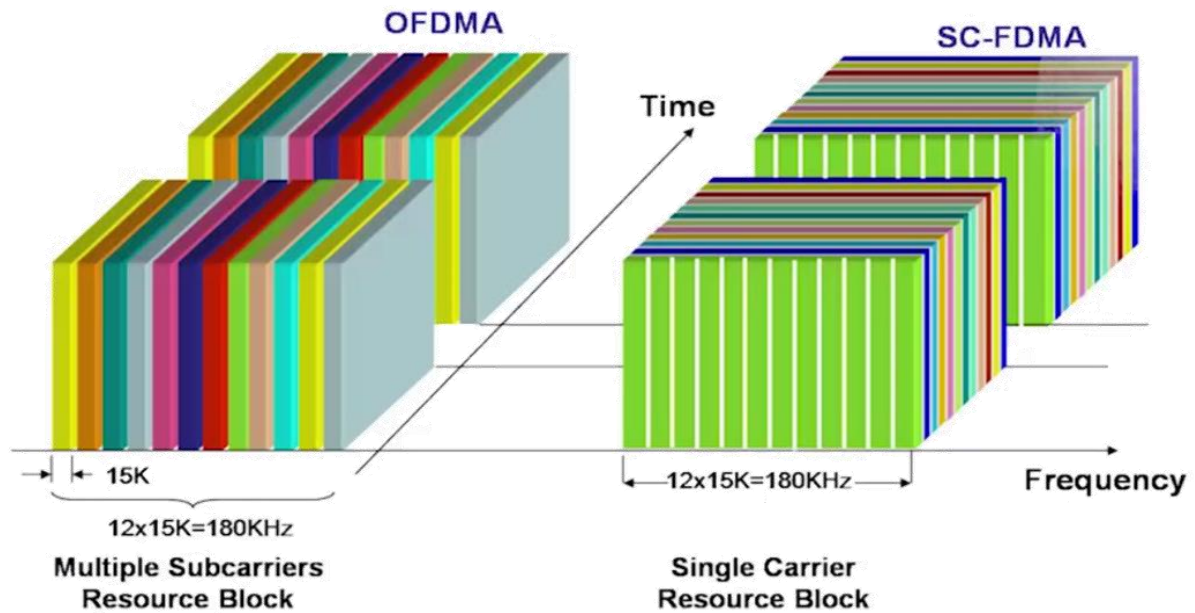


Figure 14. Architecture LTE simplifié. [11].

6 Allocation des ressources

6.1 PRB (Physical Resource Blocks)

Sont essentiels pour l'allocation des ressources radio dans les réseaux 4G LTE. Un PRB se compose de 12 sous-porteuses en fréquence et est alloué aux utilisateurs en fonction de critères comme la qualité du signal et le taux de données requis. L'eNodeB, responsable de cette allocation, utilise divers mécanismes de planification pour optimiser l'utilisation des PRB et garantir une transmission efficace. Les PRB aident à minimiser les interférences entre utilisateurs et à offrir une meilleure qualité de service en adaptant dynamiquement les ressources aux besoins des utilisateurs. [12]

6.2 RE (Resource Élément)

Est une unité de base clé dans l'allocation des ressources radio du système 4G LTE. Il représente une portion de la bande de fréquences utilisée pour transmettre des données entre un terminal (comme un smartphone) et une station de base. Les RE sont constitués de sous-porteuses contiguës, permettant la transmission de données et de signaux de contrôle. Ils jouent un rôle crucial dans la gestion des ressources, permettant une allocation dynamique et flexible en fonction des besoins des utilisateurs et des conditions du réseau. Une gestion efficace des RE, via le Radio Resource Control (RRC), est essentielle pour garantir des performances optimales du réseau.

6.3 RS (Reference Signal)

Est crucial dans la technologie 4G LTE, permettant des mesures précises pour synchroniser et évaluer la qualité du signal entre un terminal mobile et une station de base. Il existe plusieurs types de signaux RS : le C-RS (pour identifier et synchroniser une cellule), le S-RS (pour fournir des informations synchrones supplémentaires), et le DM-RS (pour estimer la qualité du canal dans la transmission de données). Le RS est essentiel dans la gestion des ressources, notamment pour la transmission MIMO, et contribue à optimiser la qualité de service (QoS) et les performances globales du réseau LTE.

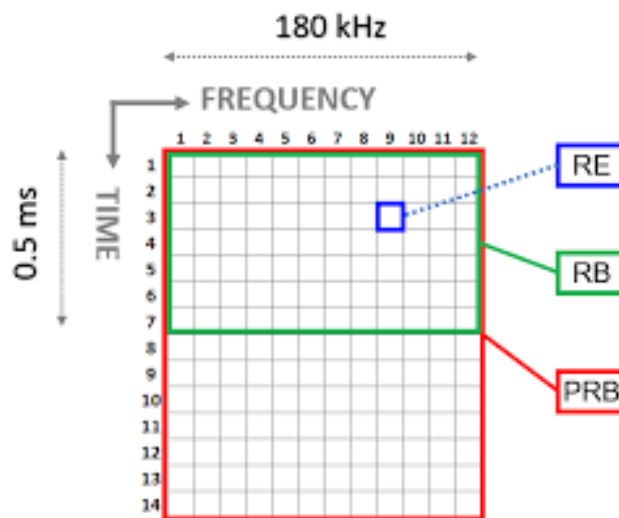


Figure 15. Allocation des ressources[13].

7 Ressources de transmission de LTE

7.1 Frequency Division Duplexing

Le LTE (4G) utilise le duplexage pour permettre une communication bidirectionnelle simultanée entre un terminal mobile et une station de base. Le duplexage par division de fréquence (FDD) est une méthode couramment utilisée dans les réseaux LTE. Il attribue des bandes de fréquence séparées pour les transmissions montantes (uplink) et descendantes (downlink), garantissant ainsi une communication fluide. Bien que le FDD offre des avantages comme la transmission simultanée et des débits élevés, il nécessite une planification minutieuse des fréquences et l'achat de licences, ce qui peut représenter un coût pour les opérateurs.

7.2 Time Division Duplexing

Le Time Division Duplexing (TDD) est une technique utilisée dans les réseaux LTE qui permet la transmission bidirectionnelle de données en alternant les périodes de transmission montante

et descendante sur une même fréquence. Cela optimise l'utilisation du spectre et permet de mieux gérer la bande passante en fonction des besoins. Le TDD offre une flexibilité dans la répartition des ressources et est couramment utilisé dans les réseaux à haut débit, comme la TD-LTE. Il est également employé dans d'autres systèmes de communication sans fil, grâce à son efficacité spectrale et sa capacité à s'adapter aux demandes en temps réel.

7.3 Comparaison de LTE-FDD et LTE-TDD

La comparaison entre LTE-FDD (Frequency Division Duplexing) et LTE-TDD (Time Division Duplexing) met en lumière leurs différences principales en matière de gestion des ressources de transmission. Le LTE-FDD utilise des fréquences distinctes pour les liaisons montantes et descendantes, permettant une transmission simultanée et une latence réduite, ce qui le rend avantageux pour des applications nécessitant une réponse rapide, comme la voix sur IP. Le LTE-TDD, quant à lui, utilise la même fréquence pour l'upload et le download, mais à des moments différents. Cela permet une gestion plus flexible du spectre, particulièrement utile dans des scénarios où la demande de téléchargement dépasse celle de l'envoi de données. Cependant, le LTE-TDD peut introduire un délai supplémentaire dû à l'alternance des transmissions.

Le LTE-FDD est plus répandu dans les réseaux existants et offre une meilleure interopérabilité à l'échelle mondiale, tandis que le LTE-TDD est souvent plus économique et mieux adapté aux zones urbaines denses où la gestion efficace du spectre est cruciale. De nombreux opérateurs utilisent un modèle hybride, combinant les avantages des deux technologies pour optimiser la performance réseau selon les besoins spécifiques de chaque région.

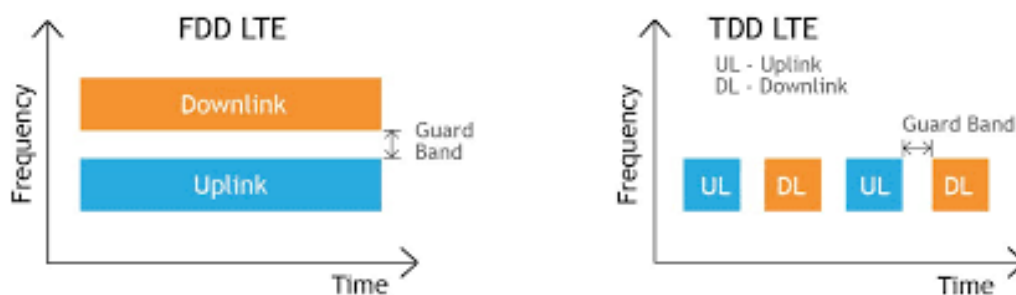


Figure 16.comparaison entre FDD et TDD [14].

8 Les couches LTE

Le LTE fonctionne avec un système à couches qui relie l'utilisateur (UE), l'eNodeB (eNB) et le Mobile Management Entity (MME). Chaque couche parle avec celle du même niveau.

Les différentes couches présentes sont :

La couche physique (PHY) : Elle s'occupe de la modulation et de la démodulation des signaux, de la gestion de la bande passante et de la transmission des données sur les canaux physiques. Elle gère aussi le codage et le décodage des données. MAC (Media Access Control) et RLC (Radio Link Control) font partie de la couche de Liaison de données. La sous-couche MAC s'occupe de l'interface entre les couches supérieures et la couche physique. La sous-couche RLC rend la transmission de données plus fiable en mode paquet.

PDCP (Packet Data Control Protocol) : Cette couche gère la compression et la décompression des données pour leur envoi sur le réseau. Elle est située côté utilisateur ("user plane").

RRC (Radio Resource Control) : Comme son nom le dit, le RRC contrôle les ressources pour assurer la Qualité de Service (QoS). Il y a deux états possibles : RRC_IDLE (aucun équipement connecté) ou RRC_CONNECTED qui est un protocole en mode connecté et qui fonctionne en 3 étapes :

En premier, l'utilisateur fait une demande au réseau E-UTRA (RRC CONNECTION REQUEST), qui peut accepter (RRC CONNECTION SETUP) ou refuser la connexion (RRC CONNECTION REJECT). Si ça s'est bien passé, l'utilisateur envoie un RRC CONNECTION SETUP COMPLETE et la connexion est alors établie. NAS (Non-Access Stratum) : est la couche réseau qui communique entre l'utilisateur et le MME. Elle gère l'établissement des appels et la gestion de la mobilité. [15]

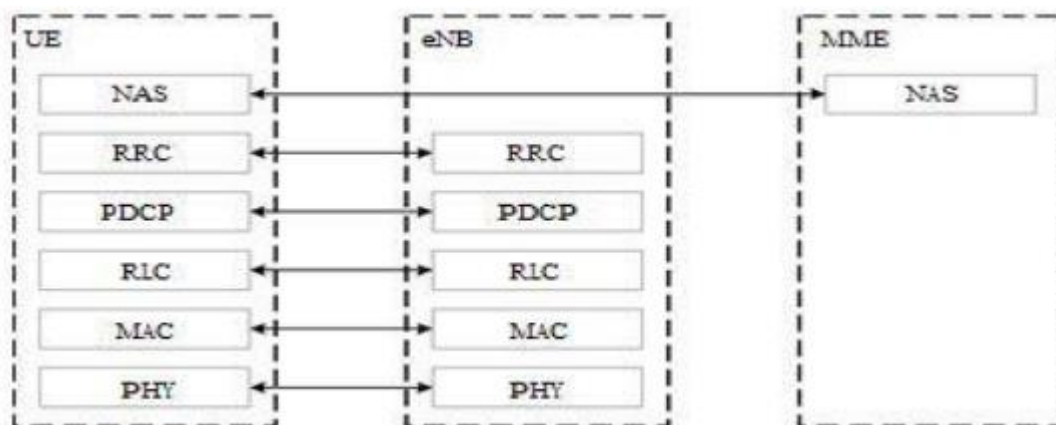


Figure 17. Les couches LTE [9].

9 Handover

9.1 Définition du Handover

Le handover, c'est une des procédures importantes pour permettre aux utilisateurs de se déplacer dans le réseau tout en étant connectés et en bénéficiant d'une bonne qualité de service. Son taux de réussite est un élément essentiel pour mesurer la satisfaction des utilisateurs. Cela permet à

l'utilisateur de changer de cellule radio sans que ça coupe la conversation ou le transfert des données. [16]

9.2 Caractéristiques du Handover

Pour faire un handover, le système LTE se base sur un mélange de mesures de qualité du signal et de gestion des ressources radio pour choisir la meilleure station de base pour l'utilisateur. Les mesures de qualité du signal servent à mesurer la force du signal et les interférences, pour savoir si un handover est nécessaire. Quand un handover est activé, la nouvelle station de base prend la connexion de l'utilisateur et distribue les ressources radio nécessaires pour assurer un transfert de données sans coupure. Le handover en LTE est donc super important pour garantir une bonne expérience de téléphonie mobile, sans interruptions et de bonne qualité pour les utilisateurs. [16]

9.3 Types de Handover

9.3.1 Handover Intra-LTE

Ici, les cellules source et cible sont dans le même réseau LTE. On peut voir deux types de HO intra-LTE :

- **Handover intra-LTE avec interface X2 :**

X2 est l'interface entre deux eNodeB (source et cible). Avec X2, le HO se fait sans impliquer l'EPC (Evolved Packet Core). La libération des ressources à la source eNodeB est gérée par la cible eNodeB.

- **Handover intra-LTE avec interface S1 :**

Quand l'interface X2 n'est pas là et que les eNodeB source et cible sont dans le même MME / SGW, le transfert se fait via l'interface S1. Le SeNodeB commence le transfert en envoyant un message à ce sujet au point de référence S1-MME.

9.3.2 Handover Inter-LTE

Le transfert se fait vers d'autres noeuds LTE, avec deux types de HO inter-LTE possibles :

- **Handover inter-MME :**

Dans ce cas, deux MME participe au transfert (source et cible). La MME source gère l'eNodeB source et la MME cible gère l'eNodeB cible. Ce transfert se fait quand le UE change de MME tout en restant connecté au même SGW.

- **Handover inter-MME / SGW :**

C'est similaire à inter-MME, mais ici, le UE doit changer de MME / SGW. L'eNodeB source appartient à un MME / SGW et l'eNodeB cible est dans un autre MME / SGW.

9.3.3 Handover inter-RAT

Ce type de transfert a lieu entre différentes technologies radio. Par exemple, un transfert de LTE vers WCDMA. Lorsqu'il y a un transfert entre E-UTRAN et UTRAN, l'eNodeB source est connecté aux MME et SGW source, tandis que le contrôleur RNC (Radio Network Controller) cible est lié aux SGSN et SGW cibles. D'abord, les ressources nécessaires sont réservées dans le système UTRAN et ensuite le transfert se fait. [16]

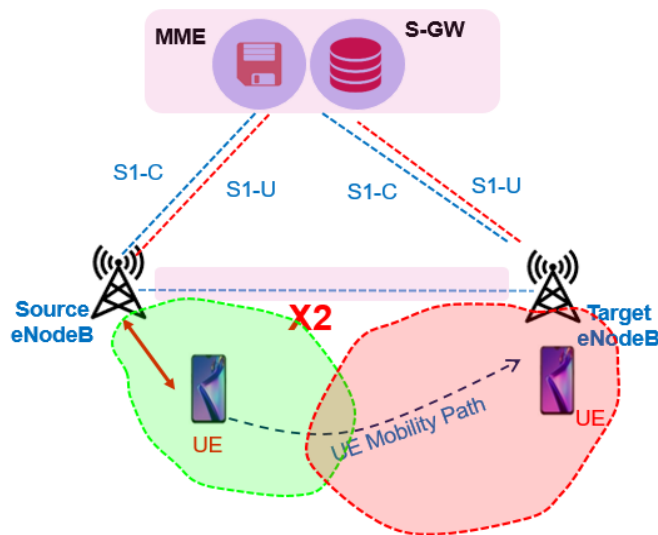


Figure 18. Flux d'appels de transfert X2 en 4G LTE [10].

10 Modes de transmission TM

Les modes de transmission sont des techniques qui servent dans les réseaux de communication mobile pour faire passer des données entre les stations de base et les appareils mobiles. Voici une petite explication de chaque mode :

TM1 (Transmission Mode 1) : c'est utilisé pour communiquer des données sur de courtes distances, surtout pour les appels téléphoniques vocaux.

TM2 (Transmission Mode 2) : c'est pour les transmissions de données sur des distances plus longues, avec une meilleure qualité de service que TM1.

TM3 (Transmission Mode 3) : c'est utilisé pour les transmissions de données sur de longues distances et avec une bonne qualité de service, surtout pour les données de signalisation.

TM4 (Transmission Mode 4) : c'est pour les transmissions de données à longue portée et pour les applications qui ont besoin d'une bande passante plus large que TM3.

TM5 (Transmission Mode 5) : ça sert pour les transmissions de données à courte portée mais à haute vitesse, en particulier pour télécharger des fichiers et regarder des vidéos.

TM6 (Transmission Mode 6) : c'est pour les transmissions de données en mode d'économie d'énergie, surtout pour les applications qui surveillent avec peu de consommation.

TM7 (Transmission Mode 7) : c'est utilisé pour les transmissions de données à très haute vitesse, en particulier pour les vidéos en haute définition.

TM8 (Transmission Mode 8) : c'est pour les transmissions de données à très haute vitesse tout en économisant de l'énergie, surtout pour les vidéos en direct.

TM9 (Transmission Mode 9) : ça sert pour les transmissions de données en mode MIMO, permettant d'augmenter le débit de données et d'améliorer la qualité de la connexion.

TM	Transmission scheme of PDSCH	Number of Antennas	MIMO Operation	SU/MU MIMO	Releases
1	Single-antenna port, port 0.	1	Open-Loop	SU-MIMO	8, 9, 10, 11
2	Transmit diversity	2, 4	Open-Loop	SU-MIMO	8, 9, 10, 11
3	Open-loop spatial multiplexing (with large delay CDD Precoding).	2, 4	Open-Loop	SU-MIMO	8, 9, 10, 11
4	Closed-loop spatial multiplexing	2, 4	Closed-Loop	SU-MIMO	8, 9, 10, 11
5	Multi-user MIMO	2, 4	Closed-Loop	MU-MIMO	8, 9, 10, 11
6	Closed-loop spatial multiplexing with a single transmission layer	2, 4	Closed-Loop	SU-MIMO	8, 9, 10, 11
7	Beamforming, Single-antenna port, port 5.	1, 2, 4	Closed-Loop	SU-MIMO	8, 9, 10, 11
8	Dual layer beamforming (antenna ports 7 and 8)	2, 4	Closed-Loop	SU/MU MIMO	9, 10, 11
9	Closed-loop SU/MU-MIMO (antenna ports 7 to 14, UE-specific and CSI Reference Signals)	2, 4, 8	Closed-Loop	SU/MU MIMO	10, 11

Figure 19. mode de transmission [17].

11 LTE Advanced

Cette technique est une mise à jour du réseau LTE qui apporte de grandes améliorations, surtout en ce qui concerne le débit, la capacité, la fiabilité, et l'efficacité énergétique. [9] Voici quelques-unes des améliorations importantes que le LTE-avancé (LTE-A) offre :

Débit plus élevé : Le LTE-A peut atteindre des vitesses de téléchargement jusqu'à 1 Gbps, ce qui est une grande amélioration par rapport au LTE, qui lui, permet un débit maximum de 300 Mbps.

Agrégation de porteuses : Cette technique consiste à combiner plusieurs bandes de fréquences pour augmenter le débit total du réseau.

MIMO multi-antennes : Le LTE-A utilise la technologie MIMO, qui rend possible la transmission de plusieurs flux de données en même temps en utilisant plusieurs antennes. Cela améliore la qualité de la transmission et la capacité du réseau.

Réseau hétérogène : Cette technologie permet de mélanger différents types de cellules, comme des petites cellules pour une couverture plus dense, et des macro-cellules pour une couverture plus étendue.

QoS améliorée : Le LTE-A offre une qualité de service (QoS) meilleure, ce qui permet aux utilisateurs d'avoir une expérience plus fluide, avec moins de coupures ou de déconnexions.

Efficacité énergétique : Le LTE-A a des techniques d'économie d'énergie pour faire durer la batterie des appareils, ce qui est super important pour les appareils IoT qui peuvent fonctionner des années sur batterie.

12 Conclusion

Le LTE a marqué un tournant majeur dans l'histoire des télécommunications mobiles. À travers ce chapitre, nous avons vu comment son architecture sophistiquée, ses canaux de communication diversifiés et ses techniques avancées d'allocation de ressources ont permis d'atteindre des débits de données sans précédent tout en améliorant l'efficacité spectrale. Les mécanismes de handover et les modes de transmission variés du LTE ont assuré une continuité de service et une adaptabilité remarquables, répondant ainsi aux exigences de mobilité des utilisateurs modernes. L'évolution vers le LTE-Advanced a encore repoussé les limites de la technologie, ouvrant la voie à des applications toujours plus gourmandes en bande passante. Le LTE a non seulement transformé notre façon de communiquer et de consommer des données mobiles, mais il a également jeté les bases technologiques essentielles pour le développement des réseaux 5G et au-delà. Son impact continue de se faire sentir dans notre société de plus en plus connectée, soulignant l'importance cruciale de l'innovation continue dans le domaine des télécommunications mobiles.

Chapitre III : Plateforme iMaster MAE (Huawei)

1 Introduction

Il existe en Algérie 3 fournisseur électronique qui est Ericsson, ZTE et Huawei. Dans cette partie nous allons nous focaliser sur huawei. **iMaster MAE** est une plateforme créée par cette dernière conçue pour la gestion et l'évaluation des performances des réseaux en temps réel, avec un accent particulier sur les **KPI** (Indicateurs Clés de Performance). Il permet aux utilisateurs, tels que les gestionnaires de réseaux et les ingénieurs, de surveiller, analyser et optimiser les performances de réseaux multi-technologies (2G, 3G, 4G). L'interface est intuitive et bien organisée, facilitant la création, l'importation et la gestion des **rapports de performance**. Grâce à des options telles que la création de nouveaux rapports, l'importation de données externes et l'exportation de rapports, l'utilisateur peut gérer les données de manière efficace. L'une des fonctionnalités centrales est l'**analyse des KPI**, qui permet un suivi précis des performances des réseaux à travers des indicateurs clés, facilitant ainsi une prise de décision éclairée.

2 iMaster MAE, l'outil d'évaluation développé par Huawei

2.1 Tableau de bord

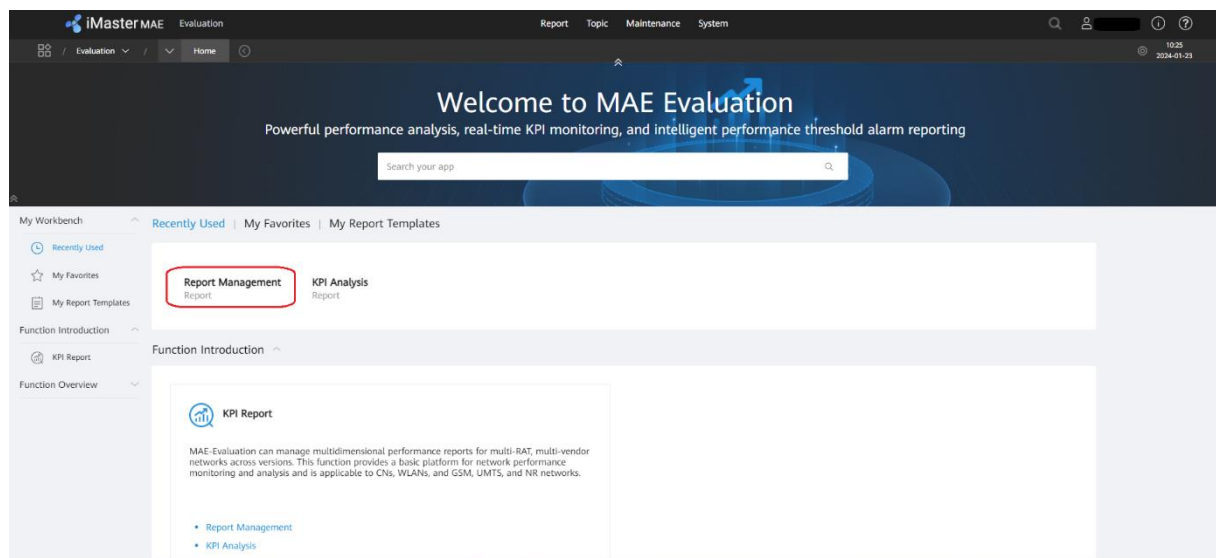


Figure 20. Tableau de bord de la plateforme.

Interprétations

Cette image montre l'interface d'accueil de la plateforme iMaster MAE Evaluation. On peut voir un en-tête bleu avec le message de bienvenue "Welcome to MAE Evaluation". L'interface est divisée en plusieurs sections, dont "My Workspace", "Recently Used" et "My Report Templates". Dans la partie principale, on voit des options pour "Report Management" et "KPI Analysis". Cette interface semble être conçue pour l'analyse de performance et la gestion de rapports.

2.2 Gestion des rapports

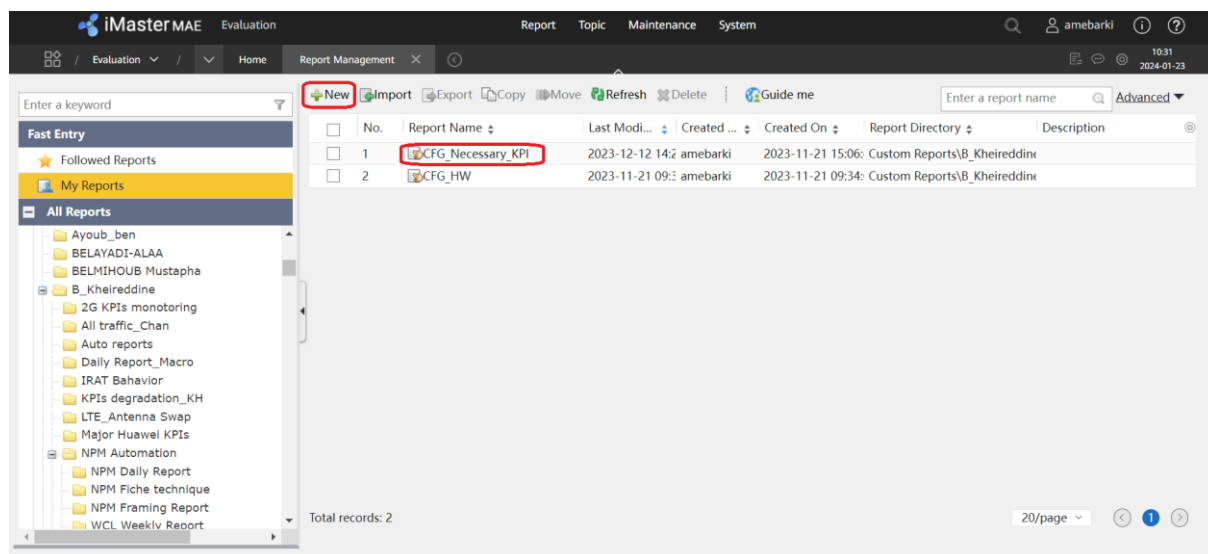


Figure 21. Rapport de l'utilisateur.

Interprétations

Cette image montre la section "Report Management" de l'interface iMaster MAE. On peut voir une liste de rapports avec des colonnes pour le nom du rapport, la dernière modification, etc. Il y a un bouton "+ New" en haut, probablement pour créer un nouveau rapport. À gauche, il y a une arborescence de dossiers qui semble organiser différents types de rapports. Cette interface permet de gérer et d'organiser les rapports générés par le système.

sélectionnée. Cette interface permet de choisir spécifiquement quelles parties du réseau seront incluses dans le rapport.

2.5 Sélection des KPI

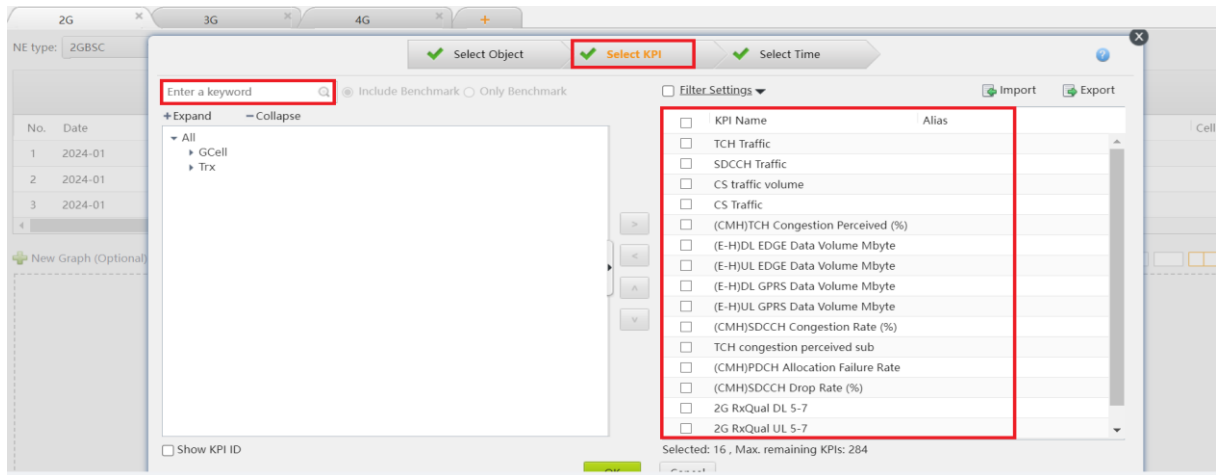


Figure 24. Liste des KPI 2G.

Interprétations

Cette image montre l'interface de sélection des KPI (Key Performance Indicators) dans iMaster MAE. On peut voir une liste de KPI à gauche, avec des cases à cocher pour sélectionner ceux qu'on veut inclure dans le rapport. Les KPI listés semblent être liés aux performances du réseau, comme le trafic, le débit, et les taux de congestion. Cette interface permet aux utilisateurs de choisir précisément quels indicateurs de performance ils souhaitent analyser dans leur rapport.

2.6 Sélections des KPI 3G

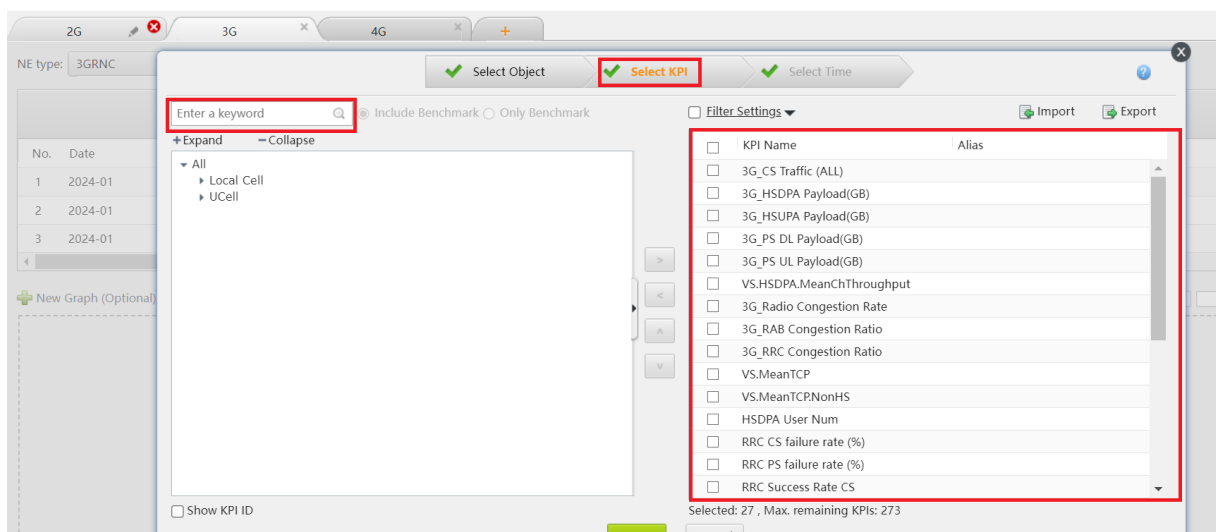


Figure 25. Liste des KPI 3G.

Interprétations

Cette image montre à nouveau l'interface de sélection des KPI, mais avec une liste différente de KPI disponibles. On peut voir des indicateurs spécifiques à différents aspects du réseau, comme "3G_CS Traffic", "3G_PS Traffic", "RAB Congestion Rate", etc. Cela suggère que l'outil est capable de générer des rapports détaillés sur divers aspects des réseaux 2G, 3G et 4G.

2.7 Sélections des KPI 4G

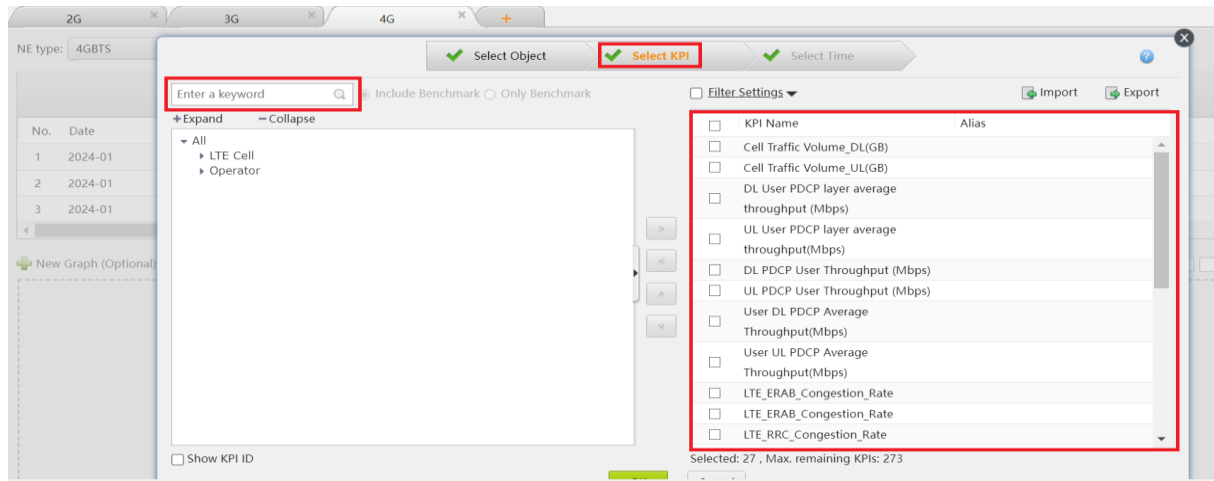


Figure 26. Liste des KPI 4G.

Interprétations

Cette dernière image présente une autre vue de l'interface de sélection des KPI, avec encore une liste différente d'indicateurs relié à la LTE. On peut voir des KPI liés au volume de trafic, au débit, et à d'autres métriques de performance du réseau. La variété des KPI disponibles montre la flexibilité de l'outil pour créer des rapports personnalisés selon les besoins spécifiques de l'utilisateur.

2.8 Sélections de la période de temps

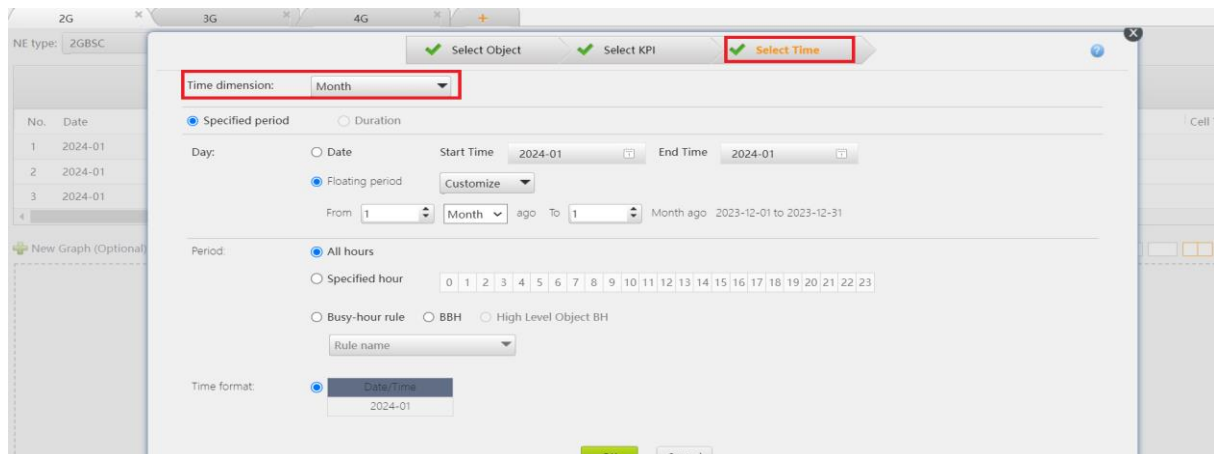


Figure 27. Choix de la période.

Interprétations

Cette image présente l'interface de sélection du temps pour le rapport. On peut voir différentes options pour définir la période du rapport, comme "Specified period" (période spécifiée), "Duration" (durée), et des champs pour entrer les dates de début et de fin. Il y a aussi des options pour sélectionner des heures spécifiques ou tous les jours. Cette interface permet aux utilisateurs de définir précisément la période sur laquelle ils souhaitent générer leur rapport.

2.9 Génération du rapport

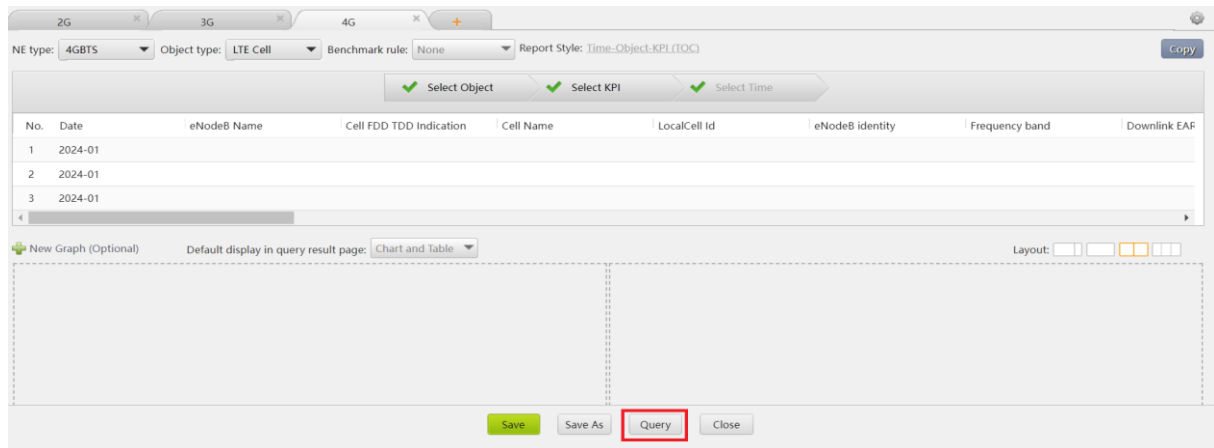


Figure 28. Compilation du rapport.

Interprétations

Cette image montre l'interface de génération de rapport dans iMaster MAE. On peut voir une grille vide qui sera probablement remplie avec les données une fois le rapport généré. En bas de l'écran, il y a trois boutons importants : "Save" (Sauvegarder), "Save As" (Sauvegarder sous), et "Query" (Requête). Le bouton "Query" est mis en évidence en rouge, suggérant que c'est l'étape suivante pour générer le rapport après avoir sélectionné les paramètres (objets, KPI, et temps) comme vu dans les images précédentes.

2.10 Interface de sélection de graphiques pour l'analyse des KPIs

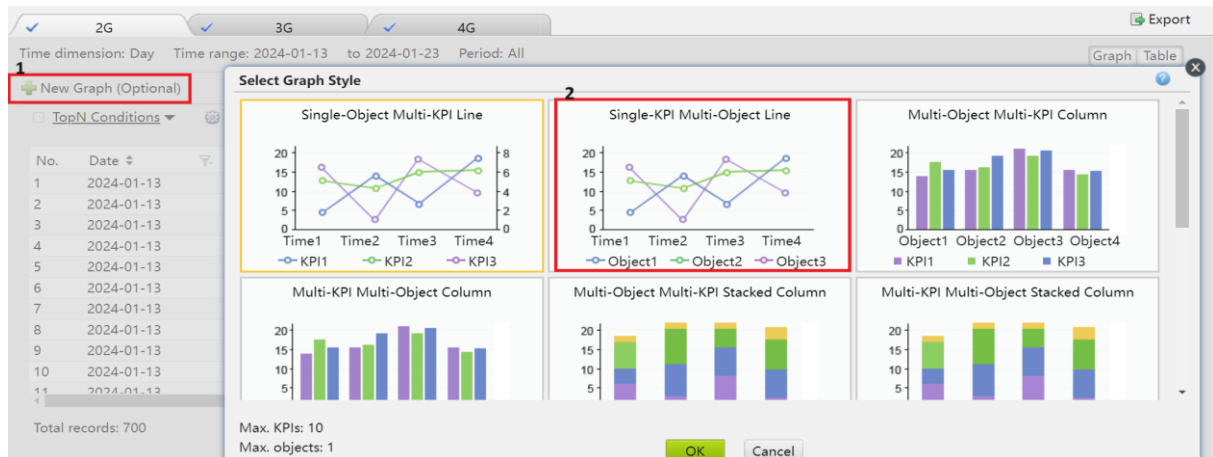


Figure 29. Exemple de graphique.

Interprétations

Concernant les graphiques, l'interface propose plusieurs options pour visualiser les KPI (indicateurs clés de performance) du réseau 2G :

1. "Single-Object Multi-KPI Line" : Ce graphique permet de visualiser plusieurs KPI pour un seul objet (une cellule ou un site 2G) au fil du temps. C'est utile pour voir comment différents aspects de performance évoluent ensemble.
2. "Single-KPI Multi-Object Line" (encadré en rouge) : Ce type de graphique compare un seul KPI entre plusieurs objets. Il est utilisé pour comparer le taux de réussite des appels entre différents sites 2G.
3. "Multi-Object Multi-KPI Column" : Ce graphique en colonnes permet de comparer plusieurs KPI pour plusieurs objets simultanément, offrant une vue d'ensemble plus complète.
4. Les options de graphiques empilés ("Stacked Column") permettraient d'analyser la composition de certains KPI ou de voir la contribution de chaque objet à une métrique globale.

2.11 Rapport 2G

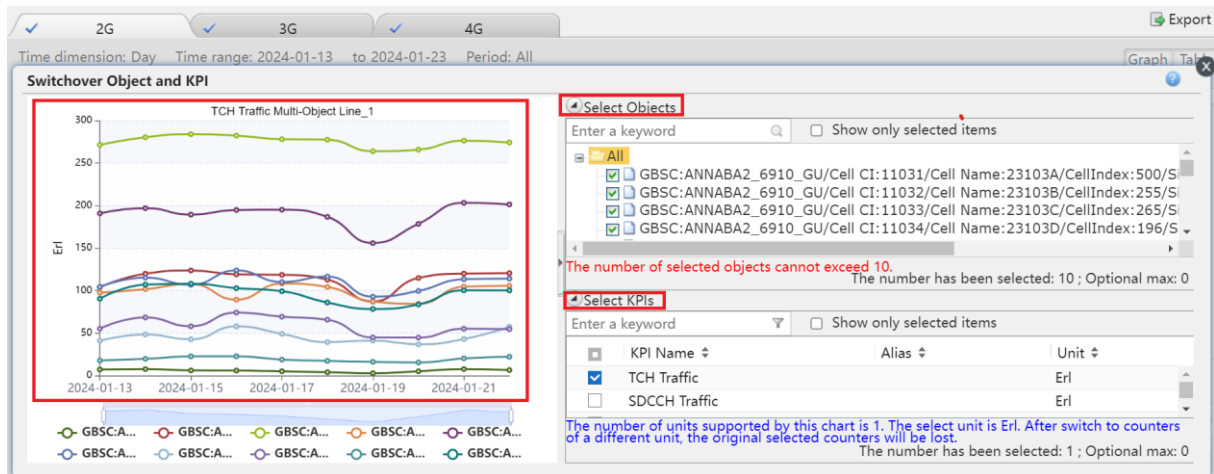


Figure 30.Exemple d'un rapport.

Interprétations

Cette image présente un rapport généré, probablement après avoir cliqué sur le bouton "Query" de l'image précédente. On peut voir un graphique linéaire montrant l'évolution de différents KPI (probablement liés au trafic) sur une période donnée. Chaque ligne de couleur représente un KPI différent pour diverses cellules du réseau (GBSC-A, GBSC-B, etc.).

3 Les KPIs

3.1 Les KPI 4G LTE

Accessibilité (Accessibility) : c'est la capacité d'un utilisateur à se connecter avec succès au réseau GSM, UMTS ou LTE et à utiliser les services disponibles et elle se compose en deux KPIs :

- **LTE ERAB Setup SR (%) :** Taux de réussite de l'établissement de l'ERAB LTE (%)
- **LTE RRC Setup SR (%) :** Taux de réussite de l'établissement de la connexion RRC LTE (%)

Retenabilité (Retainability) : cela est défini comme la capacité d'un utilisateur à maintenir un service demandé pendant la durée spécifiée, [15] voici son KPI :

- **Drop (%) :** Taux de coupure (%)

Mobilité (Mobility) : cela fait référence à la capacité d'un utilisateur à se déplacer entre des cellules voisines LTE, UMTS et GSM tout en maintenant le service demandé (PS ou CS), ce compose de 3 KPIs :

- **LTE intrafreq outgoing HHO SR (%) :** Taux de réussite des transferts sortants intrafréquence LTE (%)
- **LTE CSFB Exec SR (%) :** Taux de réussite de l'exécution du CSFB LTE (%)

- **LTE_IRAT_HO_Success_Rate (%)** : Taux de réussite du transfert inter-réseaux LTE (%)

Débit (Throughput) : Le débit désigne la quantité de données pouvant être transférée sur un réseau dans un laps de temps donné. Il est généralement mesuré en bits par seconde (bps), en kilobits par seconde (kbps) ou en mégabits par seconde (Mbps), voici ses deux KPIs :

- **Cell_Downlink_Average_Throughput (Mbps)** : Débit moyen descendant de la cellule (Mbps)
- **Cell_Uplink_Average_Throughput (Mbps)** : Débit moyen montant de la cellule (Mbps)

Volume de données (Data Volume) : Le volume de données se réfère à la quantité totale de données échangées au cours d'une période spécifique, souvent mesurée en gigaoctets (Go) ou en téraoctets (To). Cela inclut à la fois les données téléchargées (downlink) et celles téléchargées (uplink) sur le réseau, voici ses deux KPIs

- **Cell traffic Volume DL (GB)** : Volume de trafic descendant de la cellule (Go)
- **Cell traffic Volume UL (GB)** : Volume de trafic montant de la cellule (Go)

3.1.1 4G FDD :

PS : Trafic données (Downlink + Uplink Cell Traffic Volume) en GB

Débit : Débit utilisateur PDCP Downlink en Mbps

PRB : Moyenne du taux d'utilisation PRB Downlink

Congestion : Moyenne des taux de congestion ERAB et RRC, en privilégiant ERAB si supérieur. [18]

3.1.2 4G TDD :

PS : Trafic données (Downlink + Uplink Cell Traffic Volume) en GB

Débit : Débit utilisateur PDCP Downlink en Mbps

PRB : Moyenne du taux d'utilisation PRB Downlink

Congestion : Moyenne des taux de congestion ERAB et RRC, en privilégiant ERAB si supérieur. [7]

Tableau 2. 4G TDD.

Cell FDD TDD Indication	Frequency band	LTECell Tx and Rx Mode	DL Throughput per user (Mbps)	UL Throughput per user (Mbps)	DL PRB Usage Rate	UL PRB Usage Rate
CELL_TDD	40	64T64R	7,5604	2,6416	23,1946	40,562
CELL_TDD	40	64T64R	4,3346	2,4388	46,9808	55,7279
CELL_TDD	40	64T64R	4,2716	3,0328	53,5135	57,0439
CELL_TDD	40	64T64R	11,3452	3,6135	48,2628	46,2902
CELL_TDD	40	64T64R	4,2463	3,2455	71,609	59,9231

3.2 Les KPIs 3G

Accessibilité (Accessibility): c'est la capacité d'un utilisateur à se connecter avec succès au réseau GSM, UMTS ou LTE et à utiliser les services disponibles et elle se compose de 5 KPIs :

- **RRC CS SETUP SUCCESS RATE UCELL (%) :** Taux de réussite de l'établissement RRC CS UCELL (%)
- **RRC PS SETUP SUCCESS RATE UCELL (%) :** Taux de réussite de l'établissement RRC PS UCELL (%)
- **HSDPA RAB SSR (%) :** Taux de réussite de l'établissement des RAB HSDPA (%)
- **PS R99 RAB SR (%) :** Taux de réussite des RAB PS R99 (%)
- **CS RAB SSR (%) :** Taux de réussite des RAB CS (%)

Retenabilité (Retainability) : cela est défini comme la capacité d'un utilisateur à maintenir un service demandé pendant la durée spécifiée, voici ses 3 KPI :

- **3G_Drop Call Rate-Speech (%) :** Taux de coupure d'appel 3G (voix) (%)
- **PS R99 Call Drop Ratio (Cell) (%) :** Taux de coupure d'appel PS R99 (cellule) (%)
- **HSDPA CDR (%) :** Taux de coupure d'appel HSDPA (%)

Mobilité (Mobility) : cela fait référence à la capacité d'un utilisateur à se déplacer entre des cellules voisines LTE, UMTS et GSM tout en maintenant le service demandé (PS ou CS), ce compose de deux KPIs :

- **Soft Handover Success Rate (%) :** Taux de réussite des transferts doux (%)
- **3G_CS IRAT HO Success Rate (%) :** Taux de réussite des transferts inter-réseaux CS 3G (%)

Débit (Throughput) : Le débit désigne la quantité de données pouvant être transférée sur un réseau dans un laps de temps donné. Il est généralement mesuré en bits par seconde (bps), en kilobits par seconde (kbps) ou en mégabits par seconde (Mbps), voici ses deux KPIs :

- **Cell Throughput DL (Mbps) :** Débit descendant de la cellule (Mbps)
- **Cell Throughput UL (Mbps) :** Débit montant de la cellule (Mbps)

Traffic (Traffic) : Le trafic désigne la quantité d'informations qui circule sur un réseau à un moment donné. Il peut inclure les appels vocaux, les messages texte et les données Internet. Le trafic est souvent mesuré en Erlangs pour les communications voix ou en Go pour les données, voici ses 3 KPIs :

- **CS Traffic (Erl)** : Trafic CS (Erlang)
- **HSDPA Payload (GB)**: Charge utile HSDPA (Go)
- **HSUPA Payload (GB)**: Charge utile HSUPA (Go)

3.3 Les KPIs 2G

Accessibilité (Accessibility) : c'est la capacité d'un utilisateur à se connecter avec succès au réseau GSM, UMTS ou LTE et à utiliser les services disponibles et elle se compose de 3 KPIs :

- **Random Access Success Rate (%)** : Taux de réussite de l'accès aléatoire (%)
- **TCH Assignment Success Rate (%)** : Taux de réussite de l'attribution de TCH (%)
- **TBF Establishment Success Rate (%)** : Taux de réussite de l'établissement du TBF (%)

Congestion (Congestion) : La congestion est une condition dans laquelle la demande de ressources réseau dépasse la capacité disponible. Cela peut entraîner des retards, des coupures d'appels et une diminution de la qualité du service. Les taux de congestion sont souvent mesurés en pourcentage, voici ses 2 KPIs :

- **SDCCH Congestion Rate (%)** : Taux de congestion SDCCH (%)
- **TCH Congestion (%)** : Taux de congestion TCH (%)

Retenabilité (Retainability): cela est défini comme la capacité d'un utilisateur à maintenir un service demandé pendant la durée spécifiée, voici ses 3 KPI :

- **SDCCH Drop Rate (%)** : Taux de coupure SDCCH (%)
- **TCH Drop Rate (%)** : Taux de coupure TCH (%)
- **PDCH Allocation Failure Rate (%)** : Taux d'échec d'allocation PDCH (%)

Mobilité (Mobility) : cela fait référence à la capacité d'un utilisateur à se déplacer entre des cellules voisines LTE, UMTS et GSM tout en maintenant le service demandé (PS ou CS), ce compose d'un seule KPI :

- **Handover SR (%)** : Taux de réussite des transferts (%)

Débit (Throughput) : Le débit désigne la quantité de données pouvant être transférée sur un réseau dans un laps de temps donné. Il est généralement mesuré en bits par seconde (bps), en kilobits par seconde (kbps) ou en mégabits par seconde (Mbps), voici ses deux KPIs :

- **DL Cell Throughput (kbits/s)** : Débit descendant de la cellule (kbits/s)
- **UL Cell Throughput (kbits/s)** : Débit montant de la cellule (kbits/s)

Trafic TCH (TCH Traffic) : Le trafic TCH (Traffic Channel) fait référence au volume d'appels vocaux et de données qui utilisent les canaux de trafic dans un réseau. Il est souvent exprimé en Erlangs, une unité qui mesure l'utilisation du canal en fonction du nombre d'appels en cours et de leur durée, voici son KPI :

- **TCH Traffic (Erl)** : Trafic TCH (Erlang)

Données PS (PS Data) : Les données PS (Packet Switched Data) désignent les données qui sont envoyées sur des réseaux utilisant la commutation de paquets, comme EDGE et GPRS. Ce type de données permet la transmission efficace de petites quantités d'informations, comme les

messages et les données Internet, en utilisant des paquets de données plutôt qu'une connexion continue, voici son KPI :

- **2G PS Data (EDGE + GPRS) (GB):** Données PS 2G (EDGE + GPRS) (Go)

4 Tableau des KPIs

SITE PHY id	Cell Name ind	Cell ind	Cell FDD TDD Indicati	Freque nc bar	Downlink bandwidth	LTECell Tx and Rx Mod	DL Throughput per us (Mbps)	UL Throughput per use	Cell DL Average Throughput(** bps)	Cell UL Average Throughput(** bps)	DL PRB Usage Rate	UL PRB Usage Rate
Site5558	Cell5558M1	M1	CELL_FDD	3	CELL_BW_N75	8T8R	13,3405	2,2831	18,4178	2,1363	26,4472	13,062
Site5558	Cell5558M2	M2	CELL_FDD	3	CELL_BW_N75	8T8R	8,7874	4,6388	11,1464	3,4687	6,6683	4,5868
Site5558	Cell5558N1	N1	CELL_FDD	3	CELL_BW_N75	8T8R	14,7433	3,2452	17,1893	2,849	13,1049	7,8506
Site5558	Cell5558N2	N2	CELL_FDD	3	CELL_BW_N75	8T8R	11,8563	2,5184	23,7265	2,7572	45,4265	21,9654
Site5558	Cell5558O1	O1	CELL_FDD	3	CELL_BW_N75	8T8R	19,1219	4,3409	24,6229	4,0383	26,6165	11,2912
Site5558	Cell5558O2	O2	CELL_FDD	3	CELL_BW_N75	8T8R	17,0128	3,2141	21,8208	3,0472	26,2634	12,9792
Site23397	Cell23397N1	N1	CELL_FDD	3	CELL_BW_N75	32T32R	12,312	4,6613	10,6807	4,0308	4,3587	5,8245
Site23397	Cell23397N2	N2	CELL_FDD	3	CELL_BW_N75	32T32R	14,5431	1,8173	12,9492	1,6292	8,4504	7,4229

Figure 31.KPI FDD.

SITE PHY id	Cell Name ind	Cell ind	Cell FDD TDD Indicati	Freque nc bar	Downlink bandwidth	LTECell Tx and Rx Mod	DL Throughput per us (Mbps)	UL Throughput per use	Cell DL Average Throughput(** bps)	Cell UL Average Throughput(** bps)	DL PRB Usage Rate	UL PRB Usage Rate
Site57119	Cell57119R1	R1	CELL_TDD	40	CELL_BW_N50	64T64R	7,5604	2,6416	16,0371	2,5054	23,1946	40,562
Site57119	Cell57119R2	R2	CELL_TDD	40	CELL_BW_N50	64T64R	4,3346	2,4388	15,107	3,3418	46,9808	55,7279
Site57119	Cell57119R3	R3	CELL_TDD	40	CELL_BW_N50	64T64R	4,2716	3,0328	17,6127	4,2233	53,5135	57,0439
Site57119	Cell57119T1	T1	CELL_TDD	40	CELL_BW_N100	64T64R	11,3452	3,6135	37,2945	8,4385	48,2628	46,2902
Site57119	Cell57119T2	T2	CELL_TDD	40	CELL_BW_N100	64T64R	4,2463	3,2455	49,6241	12,8264	71,609	59,9231
Site57119	Cell57119T3	T3	CELL_TDD	40	CELL_BW_N100	64T64R	4,7698	3,4471	53,2416	13,6268	76,1613	58,6877
Site51299	Cell51299R1	R1	CELL_TDD	40	CELL_BW_N50	64T64R	5,6435	2,0226	15,6622	2,7475	49,7759	42,7048
Site51299	Cell51299R2	R2	CELL_TDD	40	CELL_BW_N50	64T64R	8,6742	2,069	17,185	2,6873	33,998	36,7903
Site51299	Cell51299R3	R3	CELL_TDD	40	CELL_BW_N50	64T64R	5,8698	2,142	15,0606	2,8442	52,4216	46,6952
Site51299	Cell51299T1	T1	CELL_TDD	40	CELL_BW_N100	64T64R	2,8256	3,0271	35,2354	10,5945	71,4293	70,6103
Site51299	Cell51299T2	T2	CELL_TDD	40	CELL_BW_N100	64T64R	8,2338	3,7898	46,5657	12,1415	68,4321	62,4546
Site51299	Cell51299T3	T3	CELL_TDD	40	CELL_BW_N100	64T64R	3,3592	3,0559	41,9875	11,5486	74,4986	69,8918
Site51436	Cell51436R1	R1	CELL_TDD	40	CELL_BW_N50	64T64R	5,2918	2,1799	17,1443	2,6365	52,0036	49,1284
Site51436	Cell51436R2	R2	CELL_TDD	40	CELL_BW_N50	64T64R	6,3518	2,3391	12,9399	1,9667	12,2779	22,6349
Site51436	Cell51436R3	R3	CELL_TDD	40	CELL_BW_N50	64T64R	8,473	2,7354	15,9968	2,1265	21,4553	28,4416

Figure 32. KPI TDD.

5 Conclusion

iMaster MAE se positionne comme un outil de gestion et d'optimisation crucial, spécifiquement conçu pour les réseaux d'antennes Huawei en Algérie. Cette spécificité souligne l'approche propriétaire de Huawei dans le développement de solutions de gestion de réseau, une stratégie courante dans l'industrie des télécommunications. La plateforme iMaster MAE offre ainsi une solution intégrée et sur mesure pour les opérateurs utilisant l'infrastructure Huawei, permettant une surveillance, une analyse et une optimisation pointues des réseaux 2G, 3G et 4G. Son interface intuitive et ses capacités avancées d'analyse des KPI en font un atout majeur pour les gestionnaires de réseaux et les ingénieurs. Cette approche, bien que limitée aux équipements Huawei, présente l'avantage d'une intégration parfaite et d'une optimisation poussée. Cependant, elle peut aussi présenter des défis pour les opérateurs utilisant des équipements de plusieurs fournisseurs, nécessitant potentiellement l'utilisation de multiples plateformes de gestion. Dans le contexte algérien, où coexistent Ericsson, ZTE et Huawei.

Chapitre IV : Résultats et Discussion

1 Introduction

Cette étude se concentre sur l'analyse des données réelles collectées sur les sites de l'opérateur, en utilisant des KPI (Key Performance Indicators) pour évaluer l'impact de cette nouvelle technologie. L'objectif est de comprendre comment le TDD Massive MIMO influence des paramètres cruciaux tels que le débit utilisateur, l'utilisation des ressources radio (PRB), et la répartition du trafic LTE sur différentes bandes de fréquences.

2 Etude du paramètre User throughput=f(PRB) ou débit en fonction des PRB

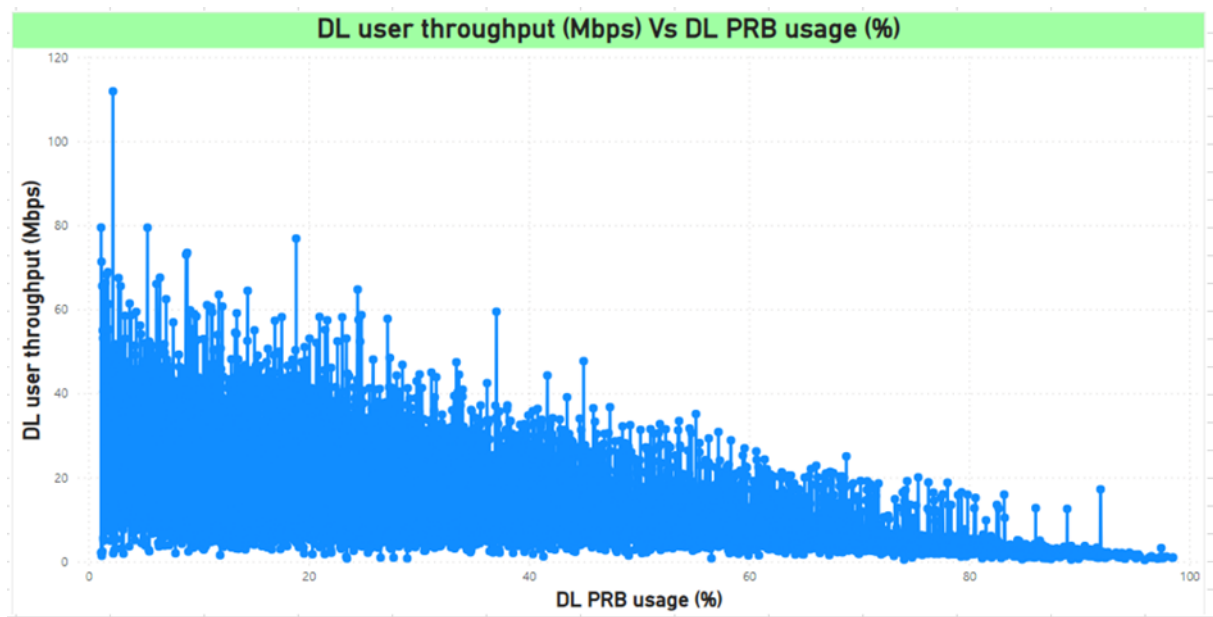


Figure 33. Débit utilisateur par rapport à l'utilisation des PRB.

Discussion des résultats

On observe une tendance générale où le débit diminue à mesure que l'utilisation des PRB augmente, indiquant une saturation progressive des ressources. Pour une utilisation des PRB inférieure à 20%, les débits utilisateurs varient largement, atteignant jusqu'à 120 Mbps. À mesure que l'utilisation des PRB dépasse 20%, les débits utilisateurs commencent à diminuer de manière plus prononcée. À plus de 60% d'utilisation des PRB, les débits utilisateurs chutent considérablement, avec la majorité des valeurs inférieures à 20 Mbps.

Interprétation

Ce graphique illustre l'impact de la congestion du réseau sur le débit utilisateur. Plus les PRB sont utilisés, plus la bande passante disponible pour chaque utilisateur est limitée, ce qui se traduit par une baisse du débit.

3 Relation entre DLpU et la DL.BW

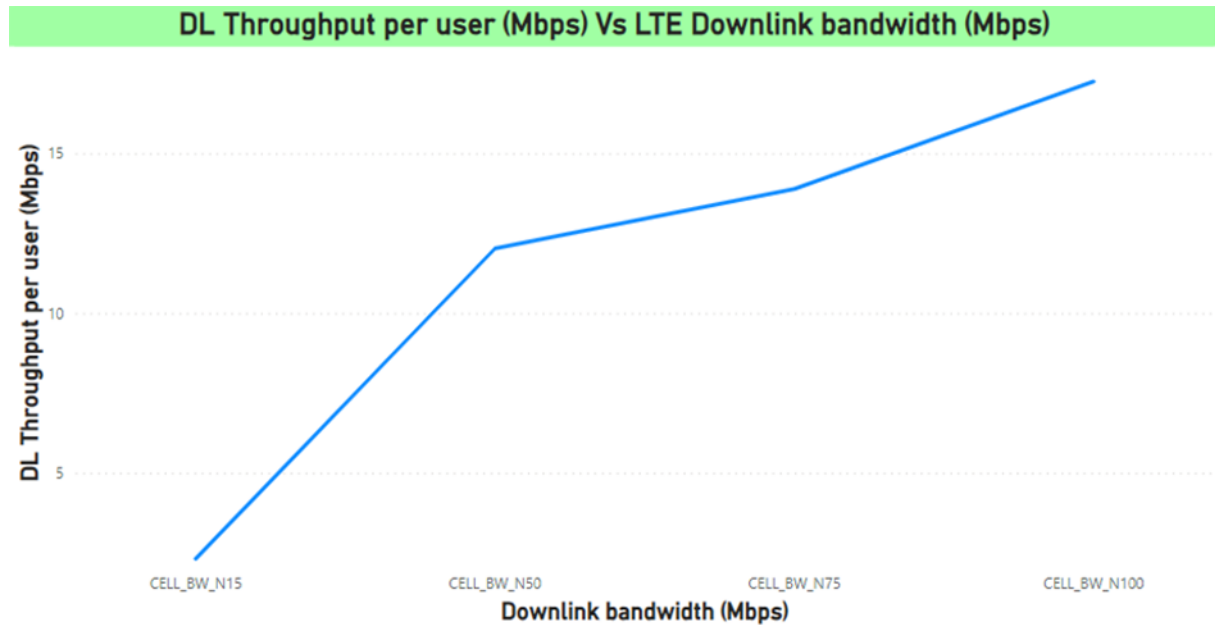


Figure 34. Débit par utilisateur (Mbps) par rapport à la bande passante descendante LTE. .

Tableau 3. Fréquence des Bande passante de liaison descendante.

Downlink bandwidth	MHZ
CELL_BW_N100	20
CELL_BW_N50	10
CELL_BW_N75	15
CELL_BW_N15	3

Discussion des résultats

La courbe présente une tendance ascendante, ce qui indique que lorsque la largeur de bande LTE augmente, le débit descendant par utilisateur augmente également. Cela montre une corrélation positive entre les deux variables.

Interprétation

Le graphique montre que lorsque la largeur de bande LTE augmente (de 3 MHz à 20 MHz), le débit descendant (DL) par utilisateur s'améliore. Cela reflète un comportement attendu dans les réseaux LTE, où une largeur de bande plus importante permet de transmettre plus de données simultanément.

4 Etude de l'influence de TDD et FDD sur le débit

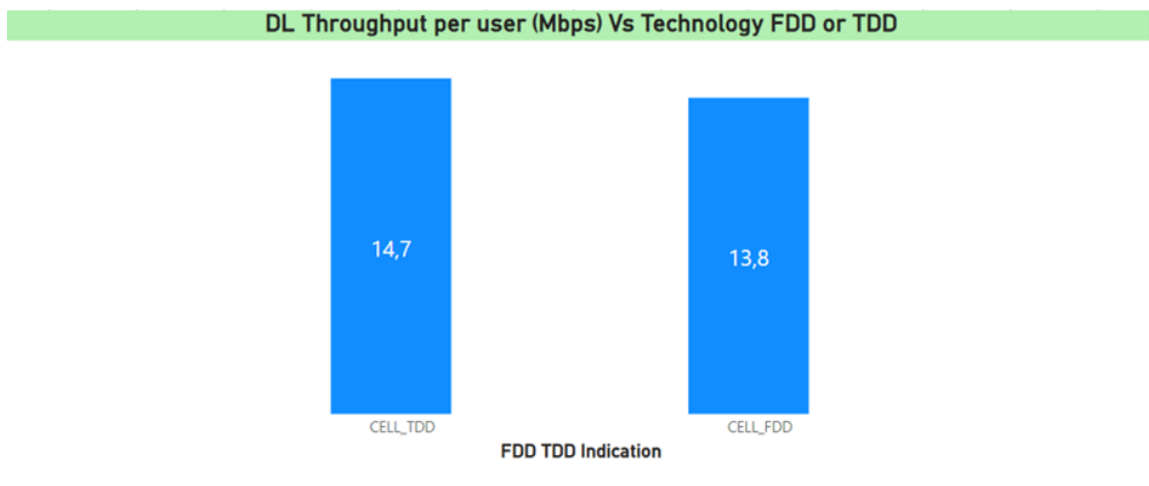


Figure 35. Débit par utilisateur (Mbps) par rapport à la technologie FDD ou TDD.

Discussion des résultats

Le débit descendant par utilisateur est légèrement plus élevé pour la technologie TDD (14,7 Mbps) que pour la technologie FDD (13,8 Mbps).

Interprétation

La demande de données est plus forte pour le downlink (comme la navigation web ou le streaming vidéo), TDD peut offrir une meilleure efficacité spectrale car il peut adapter dynamiquement le temps de transmission. Cela peut aussi dépendre de l'environnement (par exemple, zones urbaines denses vs zones rurales) et du type de réseau (par exemple, 4G LTE). TDD est souvent mieux optimisé pour les environnements urbains denses où il y a beaucoup de petites cellules et un fort trafic de données.

5 Statistiques du réseau

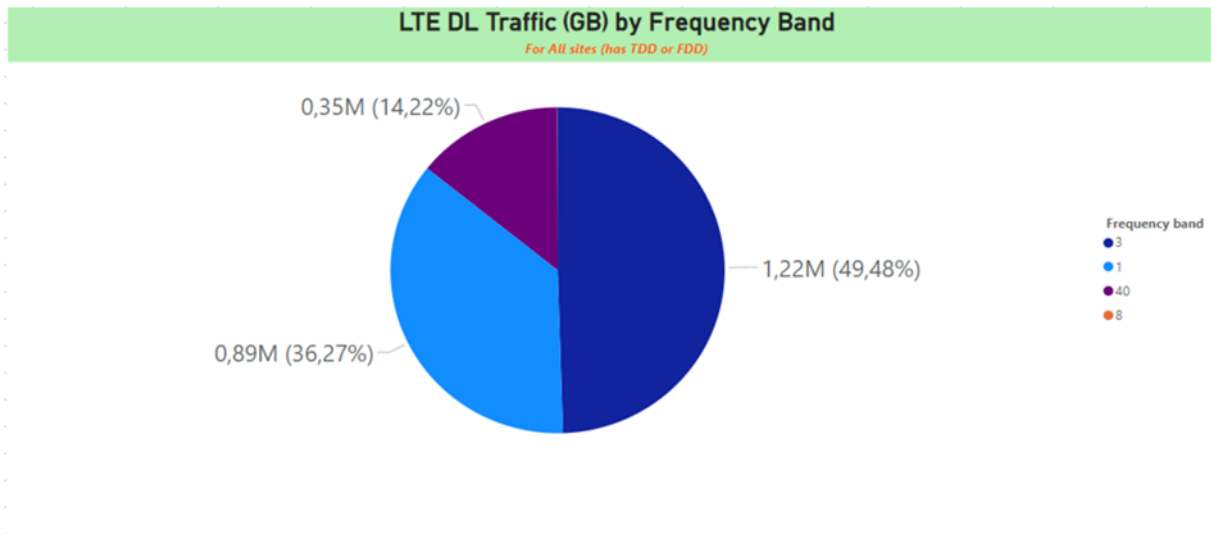


Figure 36. Premier graphe pour tous les sites ayant TDD ou FDD.

Bande 3 (L1800) : 49,48% (1,22 M)

Bande 1 (L2100) : 36,27% (0,89 M)

Bande 40 (TDD/2300) : 14,22% (0,35 M)

Discussion des résultats

La bande 3 (L1800) domine le trafic LTE avec près de la moitié du trafic total.

La bande 1 (L2100) est également significative, représentant un tiers du trafic total.

La bande 40 (TDD/2300) contribue le moins au trafic total avec environ 14% du volume.

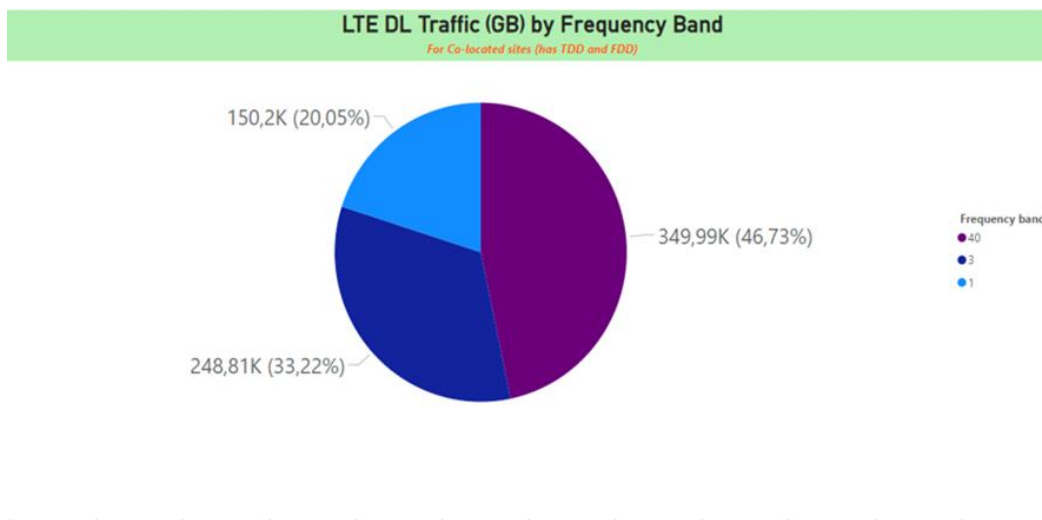


Figure 37. Deuxième graphe pour les sites Co localisés ayant TDD et FDD.

Bande 40 (TDD/2300) : 46,73% (349,99K)

Bande 3 (L1800) : 33,22% (248,81K)

Bande 1 (L2100) : 20,05% (150,2K)

Discussion des résultats

Contrairement au premier graphique, la bande 40 (TDD/2300) domine ici avec près de la moitié du trafic total.

La bande 3 (L1800) reste importante, mais contribue moins que dans le premier cas.

La bande 1 (L2100) a une contribution significativement plus faible par rapport au premier graphique.

Interprétation

Différences dans la répartition : Le premier graphique montre une dominance de la bande 3 (L1800), tandis que le second montre une dominance de la bande 40 (TDD/2300).

Sur les sites colocalisés (deuxième graphique), on observe une nette augmentation de l'utilisation de la bande 40 (TDD/2300), ce qui suggère que les sites colocalisés favorisent davantage l'utilisation de la bande TDD.

Bien que les bandes 1 (L2100) et 3 (L1800) soient importantes dans les deux cas, leur rôle relatif varie en fonction du type de site.

En résumé, la répartition du trafic LTE varie considérablement en fonction du type de site, avec les sites colocalisés favorisant davantage la bande 40 (TDD/2300).

6 Principaux résultats

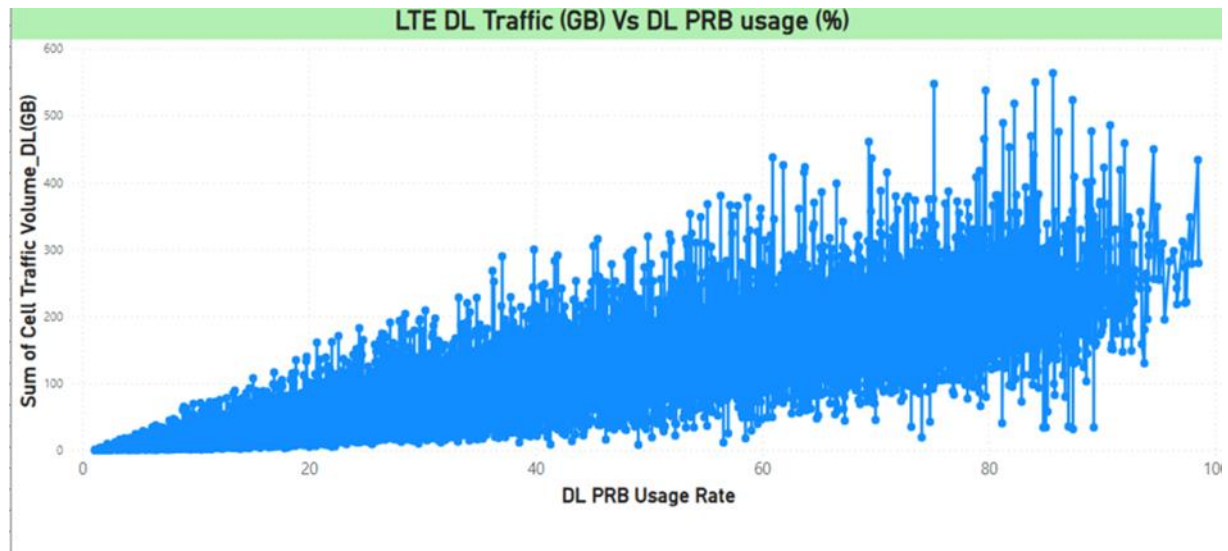


Figure 38. Trafic LTE DL par rapport à l'utilisation des PRB.

Discussion des résultats

On observe une corrélation positive entre le volume de trafic descendant et l'utilisation des PRB en DL. À mesure que l'utilisation des PRB augmente, le volume de trafic en DL augmente également.

Interprétation

Ce graphique montre que le volume de trafic descendant (DL) sur un réseau LTE est généralement proportionnel à l'utilisation des PRB en DL, avec une augmentation du trafic à mesure que l'utilisation des ressources radio s'approche de sa capacité maximale. Cette tendance met en évidence l'importance de la gestion efficace des PRB pour maximiser le trafic et les performances du réseau LTE.

7 Etude des performance LTE

7.1 LTE DL par rapport au Débit

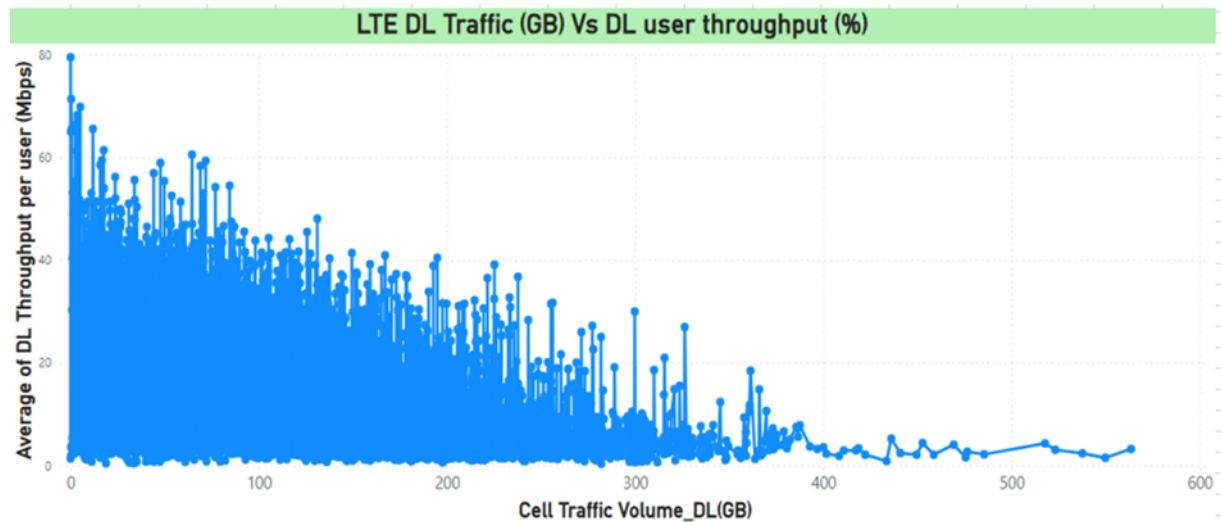


Figure 39. Trafique LTE DL par rapport au Débit utilisateur.

Discussion des résultats

On observe une corrélation positive entre le volume de trafic descendant et l'utilisation des PRB en DL. À mesure que l'utilisation des PRB augmente, le volume de trafic en DL augmente également.

Interprétation

Ce graphique montre que le volume de trafic descendant (DL) sur un réseau LTE est généralement proportionnel à l'utilisation des PRB en DL, avec une augmentation du trafic à mesure que l'utilisation des ressources radio s'approche de sa capacité maximale. Cette tendance met en évidence l'importance de la gestion efficace des PRB pour maximiser le trafic et les performances du réseau LTE.

7.2 Trafic LTE DL par rapport au Débit

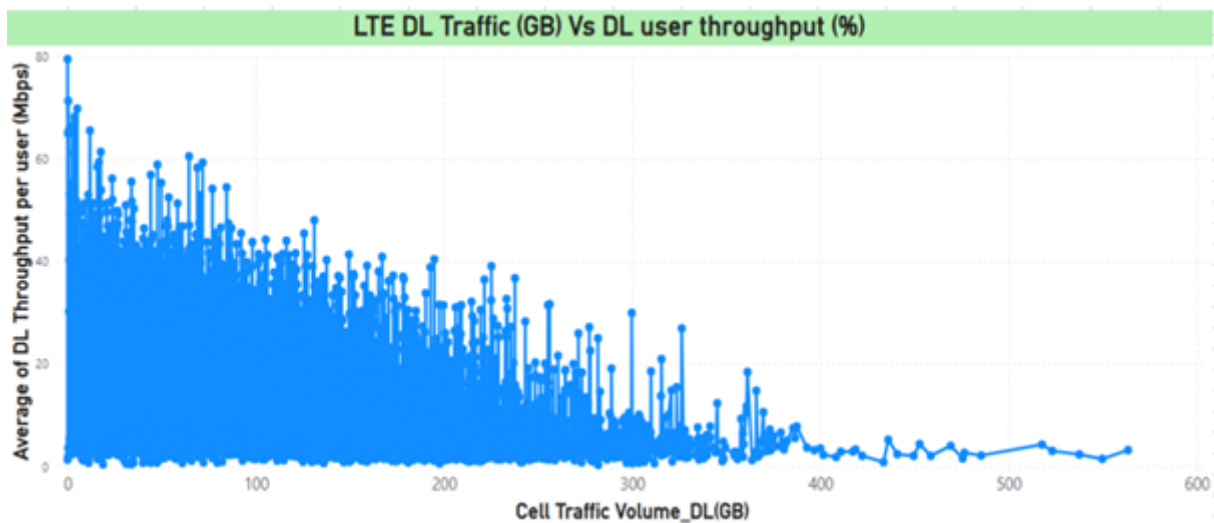


Figure 40. Trafique LTE DL par rapport au Débit utilisateur.

Discussion des résultats

Le graphique présente une tendance générale à la baisse du débit moyen par utilisateur à mesure que le volume de trafic cellulaire augmente. Cela indique que lorsque plus de données sont consommées sur le réseau, le débit disponible pour chaque utilisateur diminue.

Interprétation

L'impact de la congestion du réseau LTE sur le débit moyen par utilisateur : plus le volume de trafic augmente, plus le débit moyen par utilisateur ne tend à diminuer, jusqu'à atteindre un plateau où les performances se stabilisent (5Mbps).

7.3 Débit de téléchargement

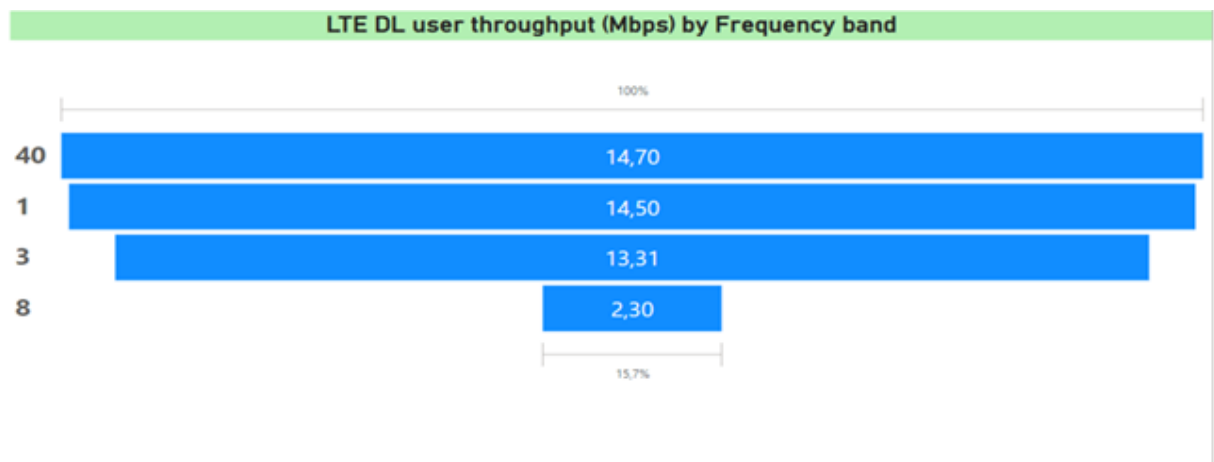


Figure 41. Débit utilisateur en téléchargement (DL) pour différentes bandes de fréquences LTE.

Débits par bande de fréquence :

Bande 40 (TDD/2300) : 14,70 Mbps

Bande 1 (L2100) : 14,50 Mbps

Bande 3 (L1800) : 13,31 Mbps

Bande 8 (900) : 2,30 Mbps

Discussion des résultats

Meilleur débit : La bande 40 (TDD/2300) offre le meilleur débit utilisateur avec 14,70 Mbps, suivie de très près par la bande 1 (L2100) avec 14,50 Mbps. Cela suggère que les bandes 40 et 1 sont capables de fournir des performances de téléchargement similaires et élevées.

Bonne performance de la bande 3 : La bande 3 (L1800) montre un débit légèrement inférieur, à 13,31 Mbps, mais reste assez performant comparé aux bandes 40 et 1.

Faible performance de la bande 8 : La bande 8 (900) a un débit significativement inférieur, avec seulement 2,30 Mbps. Cela indique que cette bande est moins performante en termes de débit utilisateur, ce qui pourrait être dû à des limitations technologiques, à une plus grande congestion, ou à la largeur de bande disponible.

Interprétation

Les bandes 40 (TDD/2300), 1 (L2100), et 3 (L1800) affichent des débits relativement élevés et proches les uns des autres, ce qui en fait de bonnes options pour assurer une expérience utilisateur fluide en LTE.

La bande 8 (900) semble moins performante, et pourrait être plus adaptée à des usages nécessitant moins de bande passante ou dans des zones où les autres bandes ne sont pas disponibles de plus on a limité cette bande à 3 MHz.

Tableau 4. Fréquences FDD et TDD.

FDD/TDD	Référence bande	Fréquence
FDD	1	L2100
FDD	3	L1800
FDD	8	900
TDD	40	TDD/2300

8 Calcul du EARFCN

SITE PHY ind	Cell Name ind	Cell ind	LocalCell Id	Cell FDD TDD Indicatic	LocalCell Id	Frequen cy ba	CRS Port Number	Downlink EARFCN	Downlink bandwidth
Site5558	Cell5558M1	M1	1	CELL_FDD	1	3	CRS_PORT_4	1680	CELL_BW_N75
Site5558	Cell5558M2	M2	4	CELL_FDD	4	3	CRS_PORT_4	1680	CELL_BW_N75
Site5558	Cell5558N1	N1	2	CELL_FDD	2	3	CRS_PORT_4	1680	CELL_BW_N75
Site5558	Cell5558N2	N2	5	CELL_FDD	5	3	CRS_PORT_4	1680	CELL_BW_N75
Site5558	Cell5558O1	O1	3	CELL_FDD	3	3	CRS_PORT_4	1680	CELL_BW_N75
Site5558	Cell5558O2	O2	6	CELL_FDD	6	3	CRS_PORT_4	1680	CELL_BW_N75
Site25997	Cell25997M2	M2	4	CELL_FDD	4	3	CRS_PORT_4	1680	CELL_BW_N75
Site25997	Cell25997N2	N2	5	CELL_FDD	5	3	CRS_PORT_4	1680	CELL_BW_N75
Site25997	Cell25997O2	O2	6	CELL_FDD	6	3	CRS_PORT_4	1680	CELL_BW_N75
Site25997	Cell25997R2	R2	24	CELL_FDD	24	1	CRS_PORT_4	125	CELL_BW_N75
Site25997	Cell25997S2	S2	25	CELL_FDD	25	1	CRS_PORT_4	125	CELL_BW_N75
Site25997	Cell25997T2	T2	26	CELL_FDD	26	1	CRS_PORT_4	125	CELL_BW_N75

Figure 42. Formule pour trouver l'EARFCN.

$$\text{FDL} = \text{FDL}_{\text{low}} + 0.1(\text{NDL} - \text{NOffs-DL})$$

FDL : Fréquence downlink en MHz

FDL_{low} : Fréquence la plus basse de la bande

NDL : EARFCN downlink

NOffs-DL : Offset EARFCN pour la bande spécifique

0,1: Représente la résolution de 100 kHz par pas d'EARFCN

On peut trouver le EARFCN avec cette formule

$$\text{NDL} = 10(\text{FDL} - \text{FDL}_{\text{low}}) + \text{NOffs-DL}[14]$$

9 Résultats mode transmission

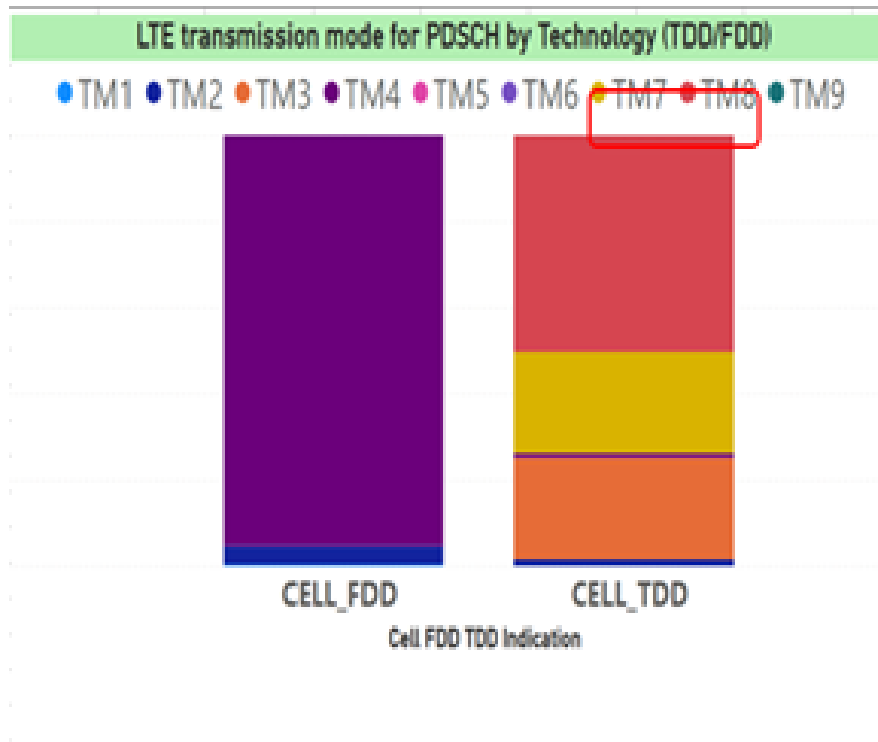


Figure 43. TM (mode de transmission).

Discussion des résultats

CELL_FDD :

On observe que les modes de transmission les plus utilisés sont TM1, TM3, et TM4, avec une présence minimale du TM7 (représenté par la petite bande jaune) et du TM9.

CELL_TDD :

Le TM7 (beamforming) et TM8 (dual layer beamforming) est nettement plus utilisé dans les cellules TDD, comme le montre la bande jaune et rouge brique significative dans le graphe "CELL_TDD".

Interprétation

Le TM7/TM8 (beamforming) est davantage utilisé dans les cellules TDD par rapport aux cellules FDD. Cela peut s'expliquer par les fonctionnalités du TDD, où le beamforming est souvent plus bénéfique en raison de la nature du duplexage temporel et des besoins en gestion de l'interférence.

Dans le FDD, les modes TM3 et TM4 (diversité de transmission et multiplexage spatial) sont dominants, probablement en raison de leur efficacité dans des scénarios où la diversité et le multiplexage spatial sont prioritaires.

Spécificité du TM7/TM8 : Le TM7/TM8 est principalement utilisé pour améliorer la couverture et la capacité dans des environnements où l'orientation précise du faisceau (beamforming) est nécessaire, ce qui est souvent le cas dans les déploiements TDD.

Le TM7/TM8, qui correspond au beamforming, est significativement plus utilisé dans les configurations TDD que FDD, probablement en raison des avantages qu'il procure en termes de gestion de l'interférence et de l'amélioration de la couverture dans les réseaux TDD. Dans les réseaux FDD, les modes TM3 et TM4 restent les plus couramment utilisés, reflétant des besoins différents en termes de diversité et de multiplexage spatial.

10 Résultats de l'appariement (MU pairing)

Multi User pairing of layers	MU pairing	
	FDD	TDD
L.Traffic.MUPairing.2Layer.TB.bits	0	6,55E+14
L.Traffic.MUPairing.3Layer.TB.bits	0	4,39E+13
L.Traffic.MUPairing.4Layer.TB.bits	0	2,79E+13
L.Traffic.MUPairing.5Layer.TB.bits	0	6,75E+12
L.Traffic.MUPairing.6Layer.TB.bits	0	3,74E+12
L.Traffic.MUPairing.7Layer.TB.bits	0	2,51E+12
L.Traffic.MUPairing.8Layer.TB.bits	0	3,17E+12
L.Traffic.MUPairing.10Layer.TB.bits	0	7,10E+11
L.Traffic.MUPairing.11Layer.TB.bits	0	5,56E+11
L.Traffic.MUPairing.12Layer.TB.bits	0	4,29E+11
L.Traffic.MUPairing.13Layer.TB.bits	0	3,18E+11
L.Traffic.MUPairing.14Layer.TB.bits	0	2,29E+11
L.Traffic.MUPairing.15Layer.TB.bits	0	1,66E+11
L.Traffic.MUPairing.16Layer.TB.bits	0	1,36E+11

Figure 44. MU pairing (appariement multi-utilisateurs).

Discussion des résultats

- Toutes les valeurs pour FDD sont à 0.
- Le TDD montre des valeurs significatives pour tous les niveaux de pairing.

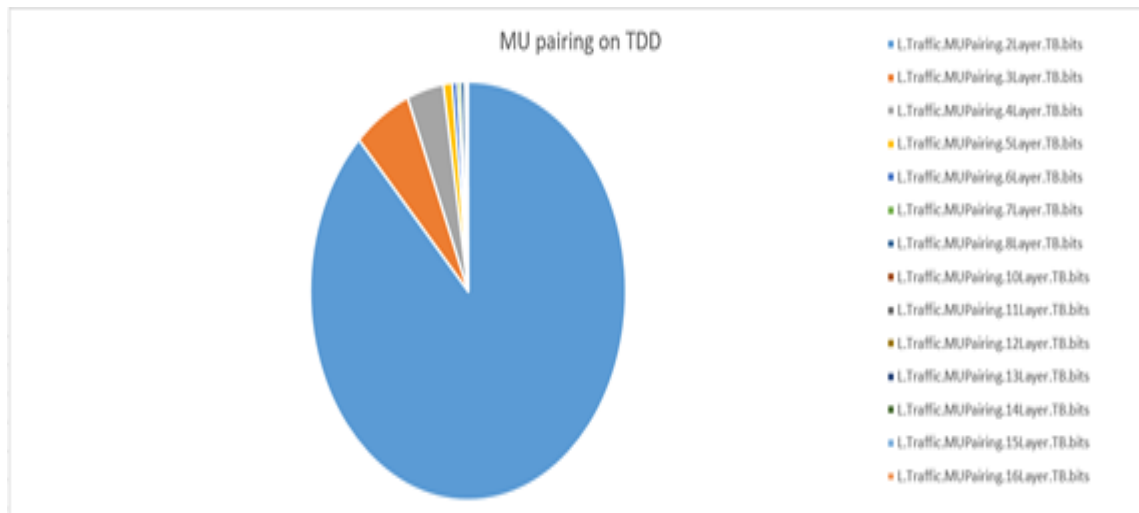


Figure 45. Graphique circulaire MU pairing.

- Il représente la distribution des différents niveaux de pairing pour TDD.
- Le "2Layer.TB.bits" occupe clairement la plus grande part du graphique, ce qui correspond à la valeur la plus élevée dans le tableau.

Perspectives

Le MU pairing est exclusivement utilisé en mode TDD, ce qui suggère une meilleure adéquation de cette technique avec le duplexage temporel.

Cela suggère que le TDD est préféré pour les techniques de MU-MIMO (Multi-User Multiple-Input Multiple-Output/TM8) dans ce réseau (dans le tableau TM MODE).

Ces données indiquent une forte préférence pour l'utilisation du MU pairing en mode TDD, avec une concentration particulière sur les configurations à faible nombre de couches.

11 Comparaison entre TDD (64T64R) et FDD (32T32R)

	MU BF	
Multi User Beamforming	CELL_TDD (TDD MM *64T64R)	CELL_FDD (FDD MM*32T32R)
L.ChMeas.MUBF.1stLayer.PairPRB.Tot	23826.1222	27.4498
L.ChMeas.MUBF.2ndLayer.PairPRB.Succ	13351.7482	10.3886
L.ChMeas.MUBF.3rdLayer.PairPRB.Succ	1021.20570000000001	0.5913
L.ChMeas.MUBF.4thLayer.PairPRB.Succ	456.77640000000001	0.1151
L.ChMeas.MUBF.5thLayer.PairPRB.Succ	199.70639999999997	0.006399999999999994
L.ChMeas.MUBF.6thLayer.PairPRB.Succ	124.1485	0.0007
L.ChMeas.MUBF.7thLayer.PairPRB.Succ	80.542400000000001	0
L.ChMeas.MUBF.8thLayer.PairPRB.Succ	49.058299999999999	0
L.ChMeas.MUBF.9thLayer.PairPRB.Succ	24.9985000000000003	0
L.ChMeas.MUBF.10thLayer.PairPRB.Succ	16.625	0
L.ChMeas.MUBF.11thLayer.PairPRB.Succ		10
L.ChMeas.MUBF.12thLayer.PairPRB.Succ		6
L.ChMeas.MUBF.13thLayer.PairPRB.Succ		3
L.ChMeas.MUBF.14thLayer.PairPRB.Succ		2
L.ChMeas.MUBF.15thLayer.PairPRB.Succ		1
L.ChMeas.MUBF.16thLayer.PairPRB.Succ		0
L.ChMeas.MUBF.17thLayereto24thLayer.PairPRB.Succ		0

Figure 46. MU BF (multi-utilisateurs Beamforming).

Discussion des résultats

- Les valeurs pour TDD (64T64R) sont généralement beaucoup plus élevées que pour FDD (32T32R).
- TDD montre des valeurs significatives jusqu'à la 10e couche, tandis que FDD n'a des valeurs notables que jusqu'à la 6e couche.

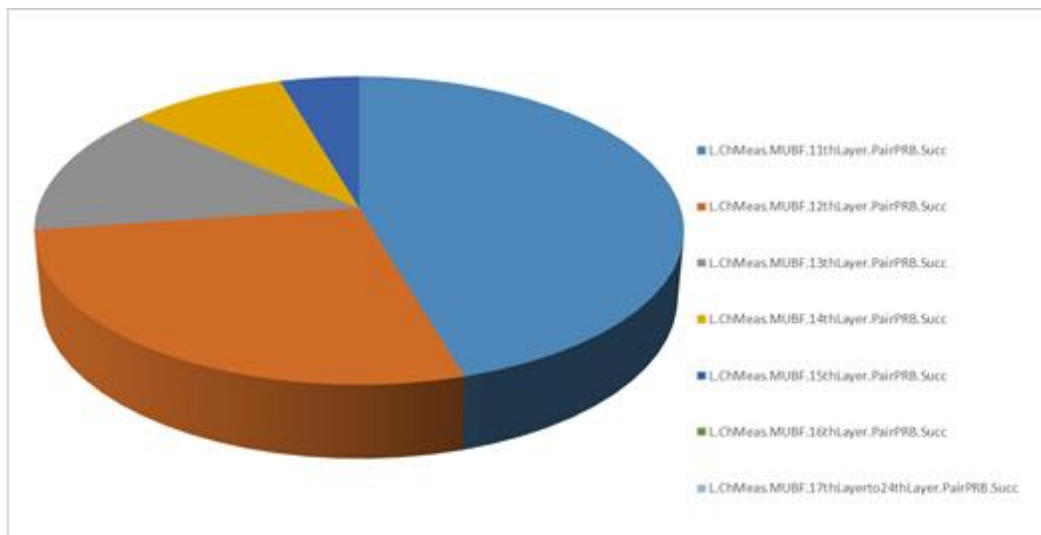


Figure 47. Graphique circulaire MU beamforming.

- Pour TDD, les valeurs les plus élevées sont pour les premières couches (1ère à 3e), avec une diminution progressive pour les couches suivantes.
- Pour FDD, la diminution est plus rapide, avec des valeurs très faibles après la 3e couche.

- Les valeurs pour TDD sont de plusieurs ordres de grandeur supérieures à celles de FDD, surtout pour les premières couches.

Interprétation

- Le système TDD 64T64R semble nettement plus performant pour le MU Beamforming que le système FDD 32T32R.
- Le MU Beamforming est plus efficace sur les premières couches, avec une diminution rapide de l'efficacité pour les couches supérieures.

En résumé, ces données suggèrent que le Multi-User Beamforming est beaucoup plus efficace et largement utilisé dans les systèmes TDD 64T64R par rapport aux systèmes FDD 32T32R.

12 Résultats mode Tx et Rx

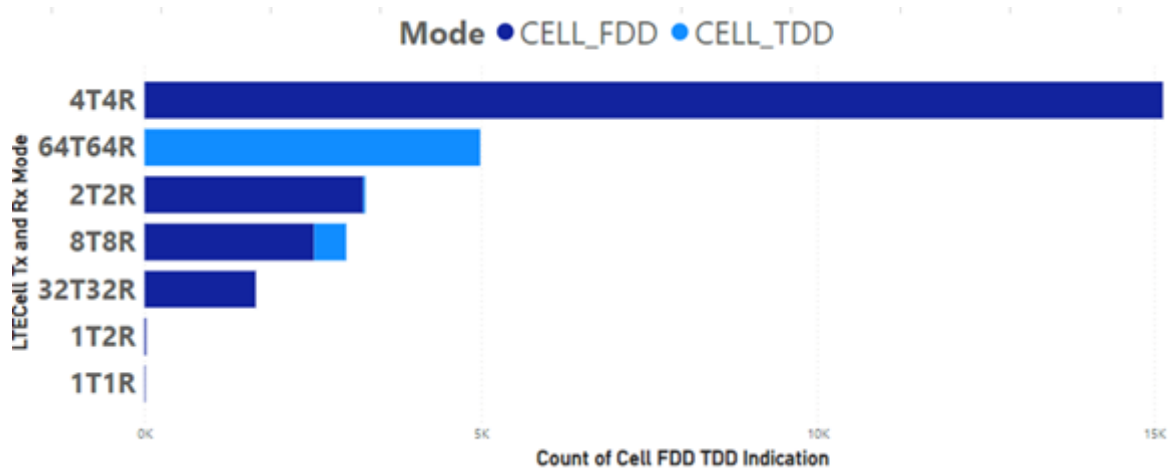


Figure 48. Mode TX and RX.

Tableau 5. Mode TX et RX en fonction de l'indication.

LTECell Tx and Rx Mode	FDD TDD Indication
1T1R	CELL_FDD
1T2R	CELL_FDD
2T2R	CELL_FDD
4T4R	CELL_FDD
8T8R	CELL_FDD/TDD
32T32R	CELL_FDD
64T64R	CELL_TDD

13 Discussion des résultats

- 4T4R : C'est le mode le plus utilisé, exclusivement en FDD.
- 64T64R : Deuxième mode le plus fréquent, utilisé uniquement en TDD.
- 2T2R : Troisième en termes d'utilisation, principalement en FDD avec une petite portion en TDD.
- 8T8R : Utilisé en FDD et TDD, avec une légère prédominance du FDD.
- 32T32R : Utilisé exclusivement en FDD, mais moins fréquemment que les modes précédents.
- 1T2R et 1T1R : Très peu utilisés, apparaissant uniquement en FDD.

Interprétation

Le tableau confirme ces observations, indiquant le mode FDD/TDD pour chaque configuration. On note que 64T64R est le seul mode exclusivement TDD, tandis que la plupart des autres sont en FDD. Le mode 8T8R est le seul à apparaître comme hybride FDD/TDD.

Ces données suggèrent une prédominance du mode FDD dans la plupart des configurations, avec le TDD principalement utilisé pour les configurations à très haute capacité comme le 64T64R.

Conclusion :

L'implémentation du réseau TDD Massive MIMO chez l'opérateur mobile à Alger a démontré des améliorations significatives dans plusieurs aspects clés des performances du réseau : Amélioration du débit utilisateur : Les données montrent que la technologie TDD offre des débits légèrement supérieurs (14,7 Mbps) par rapport à la technologie FDD (13,8 Mbps), particulièrement dans les bandes de fréquences élevées comme la bande 40 (TDD/2300). Utilisation efficace du spectre : L'analyse de l'utilisation des PRB par rapport au débit utilisateur indique une meilleure efficacité spectrale, notamment dans les configurations TDD 64T64R. Répartition optimisée du trafic : Sur les sites colocalisés TDD et FDD, on observe une nette augmentation de l'utilisation de la bande 40 (TDD/2300), passant de 14,22% à 46,73% du trafic total, démontrant l'efficacité du TDD dans les zones à forte densité. Performances du beamforming : Le Multi-User Beamforming s'est révélé nettement plus efficace dans les systèmes TDD 64T64R par rapport aux systèmes FDD 32T32R, offrant des gains significatifs jusqu'à la 10e couche. Flexibilité des modes de transmission : L'utilisation accrue des modes de transmission TM7 et TM8 (beamforming) dans les cellules TDD démontre la capacité du système à s'adapter aux conditions du réseau et à optimiser la gestion de l'interférence. Cependant, l'étude a également mis en lumière certains défis, notamment la nécessité d'une implémentation plus large du TDD pour équilibrer son utilisation par rapport au FDD, qui reste prédominant dans la plupart des configurations. En conclusion, l'implémentation du TDD

Massive MIMO à Alger a prouvé son potentiel pour améliorer significativement les performances du réseau mobile. Les résultats obtenus soulignent l'importance de cette technologie pour faire face à la demande croissante de données mobiles et préparer le terrain pour les futurs déploiements 5G. Néanmoins, une optimisation continue et une expansion stratégique seront nécessaires pour tirer pleinement parti des avantages du TDD Massive MIMO dans l'ensemble du réseau.

Conclusion générale

Conclusion

Ce mémoire met en lumière non seulement les opportunités offertes par le TDD massive MIMO, mais aussi l'importance d'une approche proactive face aux défis qui se posent. En intégrant ces technologies avancées dans les réseaux actuels, les opérateurs peuvent non seulement améliorer leur performance opérationnelle, mais également préparer le terrain pour une connectivité future encore plus robuste et dynamique. Ainsi, le développement et l'adoption de réseaux TDD massive MIMO sont essentiels pour façonner un écosystème de communication sans fil qui répond aux besoins d'un monde en constante.

La recherche souligne que le TDD massive MIMO offre des opportunités significatives pour améliorer les performances des réseaux de communication. En intégrant cette technologie avancée, les opérateurs peuvent non seulement optimiser leur efficacité opérationnelle, mais aussi anticiper et relever les défis liés à la connectivité croissante. Une approche proactive est essentielle pour maximiser les bénéfices de cette technologie, car elle permet d'identifier et de résoudre rapidement les problèmes potentiels, garantissant ainsi un déploiement réussi.

L'implémentation de réseaux TDD massive MIMO est présentée comme une solution innovante face à la demande croissante en bande passante et en connectivité. Cette technologie utilise un grand nombre d'antennes pour améliorer l'utilisation du spectre et optimiser les performances du réseau, ce qui est crucial dans un monde où le besoin de connectivité rapide et fiable ne cesse d'augmenter. Le TDD permet également une flexibilité dans la gestion des ressources, s'adaptant ainsi aux variations de trafic entre l'envoi et la réception de données.

Malgré ses nombreux avantages, le TDD massive MIMO présente des défis techniques notables. L'acquisition de l'état du canal (CSI) est essentielle pour optimiser le traitement du signal, mais elle peut être complexe à réaliser avec un grand nombre d'antennes. De plus, la gestion des interférences entre utilisateurs nécessite des stratégies sophistiquées pour garantir une qualité de service élevée. Ces défis doivent être abordés avec soin pour assurer une mise en œuvre efficace des réseaux.

En somme, notre travail souligne non seulement les bénéfices potentiels de cette approche innovante, mais aussi son rôle crucial dans la transformation numérique des infrastructures de télécommunications. À mesure que la demande pour des services de données rapides et fiables continue d'augmenter, le déploiement de réseaux TDD massive MIMO sera essentiel pour répondre aux besoins futurs en connectivité et soutenir le développement d'applications avancées dans un monde de plus en plus connecté.

L'implémentation d'un réseau TDD massive MIMO représente une avancée majeure dans le domaine des communications sans fil. Elle offre non seulement des solutions innovantes pour répondre à la demande croissante en connectivité, mais elle pose également des défis techniques qui nécessitent une attention particulière. En surmontant ces obstacles, les opérateurs peuvent non seulement améliorer leurs performances opérationnelles, mais aussi préparer un avenir où la connectivité sera encore plus robuste et dynamique. Cette recherche souligne ainsi l'importance du TDD massive MIMO comme élément clé dans l'évolution des systèmes de communication sans fil.

En somme, cette recherche souligne non seulement les bénéfices potentiels de cette approche innovante, mais aussi son rôle crucial dans la transformation numérique des infrastructures de télécommunications. À mesure que la demande pour des services de données rapides et fiables continue d'augmenter, le déploiement de réseaux TDD massive MIMO sera essentiel pour répondre aux besoins futurs en connectivité et soutenir le développement d'applications avancées dans un monde de plus en plus connecté.

Références

- [1] Holger Claussen, David M.Guevorkian et Ahmed R.S.Bahai. Handover in GSM, UMTS and LTE:Performance and Evaluation Aspects. 2010.
- [2] BEKKAI Ryma & BENSALAH Amel, Analyse du PAPR dans les système SISO, MIMO OFDM, 2013
- [3] Huawei, EARFCN formula, BOOK [Operation and maintenance],. publié le 30-03- 2018.
- [4] Huawei Technologies Co., Ltd. KPI Optimization.
- [5] <https://algeriepart.com/wp-content/uploads/2020/12/5-G-evo.jpg>
- [6] Ghilas, F Youva (2018). Etude et optimisation des ressources d'un réseau LTE. UMMTO.
- [7] Huawei. Technologies Co Ltd.
- [8] Ohta, Yasuharu. Time-Domain Synchronous CDMA for TDD-CDMA Mobile Communication. 1995.
- [9] Abdi, Amira. Mémoire LTE : Long Term Evolution, 20 juin 2012.
- [10] Technologies, Agilent. LTE and Evolution to 4G wireless:Design and Measurement challenges. 2009.
- [11] https://www.gta.ufrj.br/ensino/eel879/trabalhos_vf_2014_2/rafaelreis/images/scfdma.png
- [12] Ookla. (2023, 24 octobre). Government and Regulatory Support is Key to Improving 4G Performance in Africa. Ookla. <https://www.ookla.com/articles/africa-4g-performance-2020-2023>
- [13] <https://www.telecomhall.net/t/what-is-the-difference-between-resource-block-rb-and-physical-resource-block-prb/11934>
- [14] <https://www.wiserepeater.com/supports/4g-lte-bands-and-frequencies-tdd-fdd-lte/>
- [15] Sharma, P. Evolution of Mobile Wireless Communication Networks-1 G to 5 G, s.l. : semanticscholar, 2013.
- [16] https://www.sharetechnote.com/image/36_213_Table_7_1_5B_Rel13.png
- [17] A.Khaled. Radio Link Failure, [LTE KPI Optimization], Publier le 11 October 2017.

