

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne démocratique et populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

جامعة سعد دحلب البلدية
Université SAAD DAHLAB de BLIDA

كلية التكنولوجيا
Faculté de Technologie

قسم الإلكترونيك
Département d'Électronique



Mémoire de Master

Filière Télécommunication
Spécialité Système & Télécoms

Présenté par

MERAGA Amina

&

BOUGHAZI Sabrina Nourelhouda

Pour l'obtention du diplôme master en système des télécommunications

Etude de basculement d'un réseau 4G LTE vers un réseau 4G LTE avancé

Encadré par :

Mr.BERSALI Mehdi & Mr.KRAMDI Ismail

Année Universitaire 2020-2021

1 Remerciement et Dédicace

Tout d'abord nous tenons à remercier le bon dieu de nous avoir donné le courage, la volonté et la patience pour compléter ce travail, nous adressons nos remerciements les plus sincères à notre encadreur Mr BRSALI Mehdi à l'Université de SAAD DAHLEB BLIDA pour ses conseils, sa disponibilité et ses encouragements. Nous tenant à remercier les responsables de l'entreprise Algérie Telecom de nous avoir bien reçus et d'avoir mis à notre disposition tous les outils pour faire aboutir ce projet, On exprime de même notre gratitude à notre encadreur Mr. KRAMDI Ismail de nous avoir encadré, conseiller et diriger toute au long de ce projet dans l'entreprise. Nous remercions également les membres du jury d'avoir accepté de juger et d'évaluer notre mémoire, et de nous faire part de leurs précieuses remarques. Sans oublier tous les professeurs du département Génie Électrique, et particulièrement les professeurs de l'option « Télécommunications ». Enfin, nous tenons à remercier de tout cœur nos familles et nos amis qui nous ont toujours encouragées, conseillée et supportée moralement tout au long de cette maîtrise. A jamais merci pour nous pousser à toujours dépasser nos limites.

Nous dédions ce travail à :

Nos chers parents.

Nos frères et sœurs.

Ceux qui nous ont aidé à terminer ce projet.

Nos enseignants et tous nos amis qui n'ont pas cessé de nous encourager afin de réaliser parfaitement ce projet.

Toute personne qui nous ont aidée à franchir un horizon dans notre vie.

ملخص:

يتضمن هذا التحليل وصفاً مقارناً بين شبكة T2R2 و T4R4 لنظام MIMO لتقنية LTE ، بتردد 1800 ميغا هرتز وعرض نطاق 20 ميغا هرتز لموقعين في منطقة سيدي بلعباس. استخدمنا أداة ATOLL لمحاكاة موقعين لدينا ، و Genex Assisatnt لجمع وتحليل مؤشرات الأداء الرئيسية " (RSRP ، SINR ، RSSI ، RSRQ ، CQI ، RI) من أجل حل المشكلات الحالية ، مثل إمكانية الوصول إلى الشبكة قضايا الفشل والسرعة المنخفضة. سمحت لنا تدخلاتنا في الشبكة بتحسين الأداء ، ومن ثم إيجاد حلول للتعامل مع المشكلات القائمة.

كلمات المفتاحية : LTE , MIMO , التخطيط, التحسين, KPI

Résumé :

Cette analyse comprend une description comparative entre un réseau 2T2R et 4T4R pour un système MIMO pour la technologie LTE, avec une fréquence de 1800MHz et une bande passante de 20MHz de deux sites situés dans la région de Sidi Bel Abbes. Nous avons utilisé l'outils ATOLL pour la simulation de nos sites, et logiciel Genex Assistant pour la récolte et l'analyse des KPI (RSRP, SINR, RSSI, RSRQ, CQI, RI) dans le but de résoudre les problèmes existants, tel que les problèmes échec d'accessibilité au réseau et faible débit. Nos interventions dans le réseau nous a permis d'optimiser les performances, et ensuite de trouver des solutions pour faire face aux problèmes existants.

Mots clés : LTE, MIMO, planification, optimisation, KPI.

Abstract :

This analysis includes a comparative description between a 2T2R and 4T4R network for a MIMO system for LTE technology, with a frequency of 1800MHz and a bandwidth of 20MHz of two sites located in the region of Sidi Bel Abbes. We used the ATOLL tools for the simulation of our two sites, and Genex Assistant software for collecting and analyzing KPIs "(RSRP, SINR, RSSI, RSRQ, CQI, rank indicator) in order to resolve existing issues, such as network accessibility failure and low speed issues. Our interventions in the network allowed us to optimize performance, and then to find solutions to deal with existing problems.

Keywords : LTE, MIMO, planning, optimization, KPI.

2 Listes des acronymes et abréviations

1G : première génération

2G : deuxième génération

3G : troisième génération

3GPP : 3rd Génération Partnership Project

4G : quatrième génération

A:

AMC : Adaptive Modulation et Coding

B:

BCCH: Broadcast Control Channel

BCH: Broadcast Channel

C:

CCCH: Common Control Channel

CQI: Channel Quality Indicator

D:

DCCH: Dedicated Control Channel

DTCH: Dedicated Traffic Channel

DL-SCH: Downlink Shared Channel

DL: Downlink

E:

E-UTRAN: Evolved UMTS terrestrial radio access network

E-UTRA: Evolved Universal Terrestrial Radio Access

EPC: Evolved packet core

EMT: Eesti Mobil Telefon

EIRP: Equivalent Isotropic Radiated Power

eNodeB: Evolved Node B

F:

FDD: Frequency Division Duplex

G:

GSM: Global System Mobile

H:

HSOPA: High Speed OFDM Packet Access

HSS: home subscriber service

HO: Handover

I:

IP: internet Protocol

IM: Interference Margin

IMT-Advanced: International Mobile Telecommunications-Advanced

K:

KPI: Key Performance Indicators

L:

LTE : long terme évolution

LNF : Log Normal Fading

M:

MIMO: Multiple-Input Multiple-Output

MISO: multiple input single output

MME: mobility management entity

N:

NTT: Nippon Telegraph & Telephone

O:

OFDMA: orthogonal frequency-division multiple Access

P:

PGW: packet data network Gateway ou Packet Gateway

PCRF: Policy charging Rules function

PCI: ID de cellule physique

PBCH: Physical Broadcast Channel

PDSCH: Physical Downlink Shared Channel

PDCCH: Physical Downlink Control Channel

PMCH: physical Multicast Channel

PCFICH: Physical Control Format Indicator Channel

PUCCH: Physical Up Link Control Channel

PUSCH: Physical Up Link Shared Channel

PRACH: Physical Random Access Channel

PCCH: Paging Control Channel

PCH: Paging Channel

PRB: physical Resource Bloc

PDN: packet data network

Q:

QoS: Quality of Service

QPSK: Quadrature Phase Shift Keying

QAM: Quadrature Amplitude Modulation

R:

RAN: radio access network

RACH: Random Access Channel

RSSI: Received Signal Strength Indication

RSRP: Reference Signal Receive Power

RSRQ: Reference Signal Receive Quality

RI: Rank Indicator

RS: Reference Signal

S:

SC-FDMA: single carrier - frequency division multiple Access

SGW: serving Gateway

SISO: single input single output

SIMO: single input multiple output

SINR: Signal to Noise and Interference Ratio

SSV: Single Site Verification

T:

TCP/IP: Transmission control protocol/IP

TDD: Time Division Duplex

U:

UIT : l'Union internationale des télécommunications

UIT-R : secteur des Radiocommunications

UMTS : Universal mobile télécommunications system

UE: User Equipment

UL-SCH: Up Link Shared Channel

UL: Up Link

V:

VoLTE: Voice over LTE

3 Table de matière

1 Remerciement et Dédicace	
2 Listes des abréviations.	
3 Table des matières.	
4 Introduction générale.....	1
5 Problématique.....	3
Chapitre I : Etude sur le réseau de la quatrième génération	
I.1 Introduction.....	4
I.2 Historique sur la LTE.....	4
I.3 Le réseau LTE.....	5
I.3.1. Architecture générale d'un réseau LTE.....	6
1. Réseau coeur EPC.....	7
2. Réseau E-UTRAN.....	8
I.3.2. Caractéristiques de l'accès LTE.....	9
I.3.3. L'interface air.....	10
1. Les canaux radio.....	10
2. Les canaux logiques.....	10
3. Canaux de transport.....	11
4. Les canaux physiques.....	12
I.3.4. La modulation et le codage adaptatifs AMC.....	13
I.3.5. Fréquences utilisées pour la technologie LTE.....	14
I.3.6. La structure topologique de la trame LTE.....	15
1. Le concept cellulaire.....	15
2. La Trame LTE.....	16
3. Les modes de duplexage en LTE.....	16
4. Concept de bloc de ressources.....	17
I.3.7. OFDMA.....	18
I.3.8. SC-FDMA.....	18
I.3.9. La technologie MIMO.....	18
I.4 la LTE Avancer.....	19

I.5 Conclusion	20
Chapitre II : planification et dimensionnement des réseau LTE	
II.1 Introduction.....	21
II.2 Processus de Dimensionnement.....	21
II.2.1 Prédimensionnement.....	22
II.2.2 Dimensionnement de couverture.....	22
II. 2.3 Organigramme de dimensionnement en 4G LTE fixe.....	22
a. Rayon de la cellule.....	27
b. Nombre de sites.....	28
II.2.4 Dimensionnement de capacité.....	29
a. Calcul dimensionnement de capacité pour les Uplink.....	29
b. Débit de la cellule.....	29
c. Calcul dimensionnement de capacité down Link.....	30
d. Nombre des sites	31
II.3 MIMO.....	31
II.3.1 Technique de transmissions MIMO.....	32
II.3.2 MIMO 2X2.....	33
II.3.3 MIMO 4X4.....	33
II.4 Conclusion.....	35
Chapitre III : Principaux critères d’optimisation pour un réseau 4G	
III.1 Introduction.....	36
III.2 Optimisation Radio Fréquence.....	36
III.2.1 Objectifs d’optimisation.....	36
III.2.2 Processus d’optimisation.....	36
III.2.3 Phases d’optimisation.....	37
1. Vérification par site.....	37
2. Optimisation par cluster.....	37
3. Optimisation de tout le réseau.....	37
4. Amélioration des performances de réseau.....	37
III.3 Méthodes d’optimisations.....	38

1. Tilt mécanique.....	38
2. Tilt électrique.....	39
III.3.1 Ajustement de puissance.....	39
2. Méthode d'ajustement de puissance.....	39
III.4 Paramètres D'analyses D'un Réseau LTE.....	41
III.4.1 Les KPI (Key Performance Indicator).....	41
1. Débit.....	41
2. Le SINR (Signal to Noise and Interference Radio).....	41
3. CQI (Channel Quality Indicator).....	42
4. PCI (ID de cellule physique).....	42
5. Le RSSI (Received Signal Strength Indication).....	43
6. Le RSRP (Reference Signal Receive Power).....	44
7. LE RSRQ (Reference Signal Receive Quality).....	44
8. RI (Rank Indicator).....	44
III.5 Conclusion.....	44
CHAPITRE IV : Analyses et Optimisations des performances d'un réseau LTE	
IV.1 Introduction.....	47
IV.2 Avantages d'un réseau MIMO 4x4 par rapport MIMO 2x2.....	47
IV.3 Planification des sites.....	47
IV.4 Drive test.....	51
IV.5 Analyse des logs MIMO 2x2.....	52
1. Analyse des logs MIMO 2x2 (site ZONE INDUSTRIELLE).....	52
2. Analyse des logs MIMO 2x2 (site CCLT).....	55
IV.6 Basculement du site MIMO 2x2 vers MIMO 4x4.....	57
IV.7 Analyse des logs MIMO 4x4.....	58
1. Analyse des logs MIMO 4x4 (site ZONE INDUSTRIELLE).....	58
2. Analyse des logs MIMO 4x4 (site CCLT).....	61
IV.8 Optimisation des sites.....	63
1. Analyses de premier site ZI.....	64

2. Analyses de deuxième site CCLT.....	66
IV.9 Solution proposée.....	67
IV.10 Résultats final de basculement.....	69
6 Conclusion générale.....	73
7 Références.....	76

Liste des figures

Figure I.1: schéma d'un réseau LTE basé IP LTE.....	6
Figure I.2 : Architecture générale d'un réseau 4G.....	7
Figure I.3 : architecture de réseau coeur EPC.....	7
Figure I.4 : Architecture E-UTRAN.....	9
Figure I.5 : Association entre canaux logiques, de transport et physiques en voie montant....	12
Figure I.6 : Association entre canaux logiques, de transport et physiques en voie descendante.....	13
Figure I.7 : méthode d'application de l'AMC.....	14
Figure I.8 : constellation des modulation QPSK, 16QAM et 64QAM.....	14
Figure I.9 : structure de la trame.....	16
Figure I.10 : le mode TDD et FDD et illustration des liaisons up Link et down Link.....	17
Figure I.11: Grille de ressources temps fréquence en voie montante et descendante.....	17
Figure I.12 : la différence entre la technique OFDMA et SC-FDMA.....	18
Figure I.13 : Schéma représentatif des systèmes SISO, SIMO, MISO, et MIMO.....	19
Figure II.1 : les étapes du processus de dimensionnement.....	21
Figure II.2 : calcul du dimensionnement de couverture.....	23
Figure II.3 : modèle bilan de liaison en Uplink.....	23
Figure II.4 : Bilan de liaison Down Link.....	24
Figure II.5 : Modèle hexagonale de cellule omnidirectionnel.....	28
Figure II.6 : Modèle hexagonale de cellule tri-sectoriel.....	29
Figure II.7 : Illustration du calcul de dimensionnement de capacité.....	30
Figure II.8 : Les propriétés MIMO.....	33
Figure III.1 : Méthodes d'optimisation.....	38
Figure III.2 : Caractéristiques d'antenn.....	39
Figure III.3 : Distribution de puissance.....	40
Figure III.4 : Les groupes de PCIS.....	43
Figure IV.1 : création des sites.....	48
Figure IV.2 : création des 3 secteurs.....	49
Figure IV.3 : configuration de modèle de l'antenne, la bande passante et la puissance de secteur 1.....	50

Figure IV.4 : simulation de site ZI.....	50
Figure IV.5: simulation de site CCLT.....	51
Figure IV.6 : distribution du paramètre avant le basculement pour le site ZI.....	52
Figure IV.7 : distribution du SINR avant le basculement pour le site ZI.....	53
Figure IV.8: distributions du débit avant le basculement pour le site ZI.....	54
Figure IV.9 : distribution de Rank Indicateur MIMO2x2 pour ZI.....	55
Figure IV.10: distribution du paramètre RSRP avant le basculement pour le site CCLT.....	55
Figure IV.11 : distribution du SINR avant le basculement pour le site CCLT.....	56
Figure IV.12 : distribution du débit avant le basculement pour le site CCLT.....	57
Figure IV.13 : distribution de Rank indicateur MIMO2x2 pour CCLT.....	57
Figure IV.14 : basculement MIMO2x2 vers MIMO4x4.....	58
Figure IV.15 : distribution de RSRP après le basculement pour le site ZI.....	59
Figure IV.16 : la distribution de SINR après le basculement pour le site ZI.....	60
Figure IV.17 : la distribution du Débit après le basculement pour le site ZI.....	60
Figure IV.18 : distribution de Rank indicateur MIMO4x4 pour ZI.	61
Figure IV.19 : la distribution de RSRP après le basculement pour le site CCLT.....	61
Figure IV.20 : la distribution de SINR après le basculement pour le site CCLT.....	62
Figure IV.21 : la distribution du Débit après le basculement pour le site CCLT.....	63
Figure IV.22 : distribution de Rank indicateur MIMO4x4 pour CCLT.....	63
Figure IV.23 : Les zones dégradées de site ZI.....	64
Figure IV.24 : Analyses de site ZI (zone 1).....	65
Figure IV.25 : overshooting de site ZI (zone 2,3).....	66
Figure IV.26 : La zone dégradée de site CCLT.....	66
Figure IV.27 : pourcentage de RSRP après les actions pour le site ZI.....	69
Figure IV.28 : pourcentage de SINR après les actions pour le site ZI.....	70
Figure IV.29 : pourcentage de DEBIT après les actions pour le site ZI.....	70
Figure IV.30 : pourcentage de Rank indicateur après les actions pour le site ZI.....	71
Figure IV.31 : pourcentage de RSRP après les actions pour le site CCLT.....	71
Figure IV.32 : pourcentage de SINR après les actions pour le site CCLT.....	72
Figure IV.33 : pourcentage de DEBIT après les actions pour le site CCLT.....	72
Figure IV.34 : Niveau de Rank indicateur après les actions pour le site CCLT.....	73

Liste des tableaux

Tableau IV.1 : pourcentage de RSRP avant le basculement pour le site ZI.....	53
Tableau IV.2: pourcentage de SINR avant le basculement pour le site ZI.....	54
Tableau IV.3 : pourcentage de RSRP avant le basculement pour le site CCLT.....	56
Tableau IV.4 : pourcentage de SINR avant le basculement pour le site CCLT.....	56
Tableau IV.5 : pourcentage de RSRP avant le basculement pour le site ZI.....	59
Tableau IV.6 : pourcentage de SINR avant le basculement pour le site ZI.....	60
Tableau IV.7: pourcentage de RSRP avant le basculement pour le site CCLT.....	62
Tableau IV.8: pourcentage de SINR avant le basculement pour le site CCLT.....	62
Tableau IV.9 : Paramètres physiques proposés pour le site ZI.....	67
Tableau IV.10 : Paramètres physiques proposés pour le site CCLT.....	68
Tableau IV.11 : changement des PCI pour le site ZI.....	68
Tableau IV.12 : changement des PCI pour le site DOT SBA.....	68

Présentation de l'organisme d'accueil



Algérie Télécom est leader sur le marché Algérien des télécommunications qui connaît une forte croissance. Il offre une gamme complète de services de voix et de données aux clients résidentiels et professionnels. Cette position s'est construite par une politique d'innovation forte adaptée aux attentes des clients et orientée vers les nouveaux usages. Algérie Télécom, est une société par actions à capitaux publics opérant sur le marché des réseaux et services de communications électroniques. Sa naissance a été consacrée par la loi 2000/03 du 5 août 2000, relative à la restructuration du secteur des Postes et Télécommunications, qui sépare notamment les activités Postales de celles des Télécommunications, elle est donc régie par cette loi qui lui confère le statut d'une entreprise publique économique sous la forme juridique d'une société par actions SPA. Algérie télécom est organisée en Divisions, Directions Centrales, et Régionales, à cette structure s'ajoutent trois filiales : Mobile (Mobilis), Télécommunications Spatiales (ATS) et un Fournisseur d'accès et de services Internet (Djaweb). Algérie Télécom est le premier opérateur à commercialiser la LTE 4G en Afrique du Nord, et la deuxième au niveau africain, après l'Afrique du sud. La 4G LTE d'Algérie Télécom permet l'accès internet haut débit. Elle utilise la gamme de fréquence de 1800 Mhz.

Introduction générale

1 Introduction générale

Les réseaux de télécommunications ont pris de plus en plus d'importance dans notre société. Cependant, avec le développement et l'augmentation du nombre d'abonnés, l'émergence de l'internet haut débit, les générations précédentes de GSM UMTS ne permettent plus de répondre aux besoins des clients donc améliorer ce dernier pour augmenter le réseau, ce qui a donné naissance à la LTE qui est une norme permet « le très haut débit », des transmissions de données à des débits théoriques de l'ordre de 100 Mb/s.

Dans le cadre des systèmes de communication radio de la 4^{ème} génération, nous nous sommes intéressées à la planification et l'optimisation d'un réseau 4G/LTE chez l'opérateur de la téléphonie fixe Algérie Télécom.

L'objectif de ce travail est de planifier et optimiser, à travers la réalisation d'un basculement d'un réseau 4G LTE basée sur la technique MIMO2X2 vers un réseau MIMO4X4, pour cela un échange d'antennes fait référence à un changement ultérieur d'une configuration préalablement établie du système de téléphonie radiante, des modifications physiques ou logiques sont apportées pour obtenir des améliorations des niveaux de KPI qui établissent une efficacité dans les performances du réseau.

Au cours de notre projet, nous avons fait quatre chapitres à mettre en œuvre. Nous entaillerons le travail par un premier chapitre étude de l'Art permettant de présenter la génération LTE.

Le deuxième chapitre sera consacré pour détailler les techniques de planification d'un réseau LTE ainsi qu'un rappel sur la technique MIMO (MIMO2x2, MIMO4x4). Le troisième chapitre nous verrons les critères de l'optimisation de la LTE qui doivent être effectués et répétés sur le réseau autant de fois que nécessaire afin de répondre à certaines exigences de performance et Le dernier chapitre se scinde en deux parties. Nous analysons tout d'abord la planification de

notre réseau et dimensionnement des paramètres radio. Puis, nous exposons les résultats de notre optimisation.

Et enfin, une conclusion récapitule notre travail et présente les connaissances acquises suite à ce projet fin d'étude.

2 Problématique

Dans le but d'améliorer la qualité de services de nos sites 4G candidats, nous avons mis en place un système MIMO 4x4 au lieu de MIMO 2x2 pour offrir aux utilisateurs un débit plus ELEVEE que celui de la technologie précédente.

Mais le déploiement de ce basculement a été effectuer dans une zone très dense, ce qui nous imposée des problèmes de dégradation de rapport signal le bruit SINR causée principalement sur les chevauchements des sites adjacents (ouvershooting). Pour faire face à ce problème nous avons opté a une phase d'optimisation qui ce fait a partir des modifications dans le désigne des sites voisines ajustement (tilt,azimute power...etc.).

Chapitre I :
**Généralités sur le réseau de la quatrième
génération**

Chapitre I : Généralités sur le réseau de la quatrième génération

I.1 Introduction

À l'heure actuelle, les réseaux mobiles et sans fil sont devenus des outils obligatoires dans le quotidien de nos sociétés et leur évolution n'a pas cessé de croître. Plusieurs générations ont vu le jour et qui sont la 1G (génération de technologie sans fil cellulaire), la 2G, la 3G et la 4G. La LTE (*long terme evolution*) qui est la technologie par excellence des réseaux sans-fil à l'échelle mondiale. Nettement supérieure aux technologies précédentes, elle apporte un débit exceptionnel, une excellente qualité de service, une expérience Internet plus rapide, une faible latence et une capacité très élevée.

LTE est le sujet principal du présent chapitre et où la technologie qui lui est associée sera détaillée. Nous aborderons l'évolution de la LTE, ses caractéristiques, son architecture, ainsi que les technologies qui y sont intégrées comme L'OFDMA (*orthogonal frequency-division multiple Access*), le MIMO (*Multiple-Input Multiple-Output*).

I.2 Historique sur la LTE

En 2002, la vision stratégique pour la 4G, que l'UIT (*l'Union internationale des télécommunications*), a désigné comme IMT-Advanced (*International Mobile Telecommunications-Advanced*), a été aménagée.

En 2005, la technologie de transmission OFDMA a été choisie comme candidat pour la liaison descendante HSOPA (*High Speed OFDM Packet Access*), renommée plus tard 3GPP (*The 3rd Generation Partnership Project*) Long Terme Evolution de l'air l'interface E-UTRA (*Evolved Universal Terrestrial Radio Access*).

En février 2007, la société japonaise NTT (*nippon Telegraph & Telephone*) a testé un prototype de communication 4G système MIMO 4x4 à 100 Mbps tout en se déplaçant, et par 1 Gbps à l'arrêt.

En Avril 2008, le 3GPP A organisé un atelier sur les IMT-Advanced où il a été décidé que LTE-Advanced une évolution de la norme LTE en cours permettra de répondre, voire dépasser les exigences IMT-Advanced qui suit l'ordre du jour de l'UIT-R (*secteur des Radiocommunications*).

Chapitre I : Généralités sur le réseau de la quatrième génération

En décembre 2009, SprintCorporation, qui est une entreprise américaine de télécommunication, a commencé à annoncer les services de la 4G dans certaines villes des États-Unis, en dépit de la moyenne des vitesses de téléchargement de seulement 3-6 Mbps avec une vitesse de pointe de 10 Mbps.

Le 25 février 2010, l'Estonie a ouvert l'EMT (*Eesti Mobil Telefon*) LTE 4G travaille en réseau dans le régime d'essai. Le 5 juin 2010, le premier Smartphone 4G a été publié[1].

I.3 Le réseau LTE

La technologie LTE désigne un projet mené par l'organisme de standardisation 3GPP dans le but de développer la norme UMTS (*Universal mobile telecommunications system*) des réseaux cellulaires 3G vers la 4G et ce pour faire face aux évolutions technologiques. Cette norme s'appuie sur un réseau de transport à commutation de paquet IP (*internet Protocol*), le même protocole qu'on utilise pour Internet. La norme se divise en deux types, la LTE et la LTE-Advanced. Parmi ses principaux objectifs, on retrouve l'assurance de la continuité de la session en cours, la réduction des délais, le trafic de signalisation, l'apport d'une meilleure qualité de service ou QoS (*Quality of service*), la minimisation du coût de signalisation ainsi que l'optimisation de l'utilisation des ressources.

LTE est basée sur des techniques radios d'accès au canal (*Channel Access*) telles que la technique OFDMA (*orthogonal frequency division multiple Access*) pour la liaison descendante ou (DL), et SC-FDMA (*single carrier - frequency division multiple Access*) pour la liaison montante ou *up Link*. La technique MIMO (*multiple input multiple output*) est utilisée pour le *up Link* et pour le downlink. La LTE a une efficacité spectrale très importante qui lui permet le transfert de données à haut débit avec une portée très importante et un nombre d'appels par cellule plus élevé que celui dans toutes les générations précédentes, avec une latence très faible.

Cette norme peut offrir des débits théoriques permettant d'atteindre de 100Mbps en downlink et 50Mbps en *up Link* pour une largeur de bande de 20MHz. Cependant, le débit réel des données observé par l'utilisateur d'un réseau 4G peut être considérablement réduit par rapport au débit théorique annoncé par cette norme[2][3][4].

La figure I.1 représente un schéma simplifié d'un réseau LTE basé IP.

Chapitre I : Généralités sur le réseau de la quatrième génération

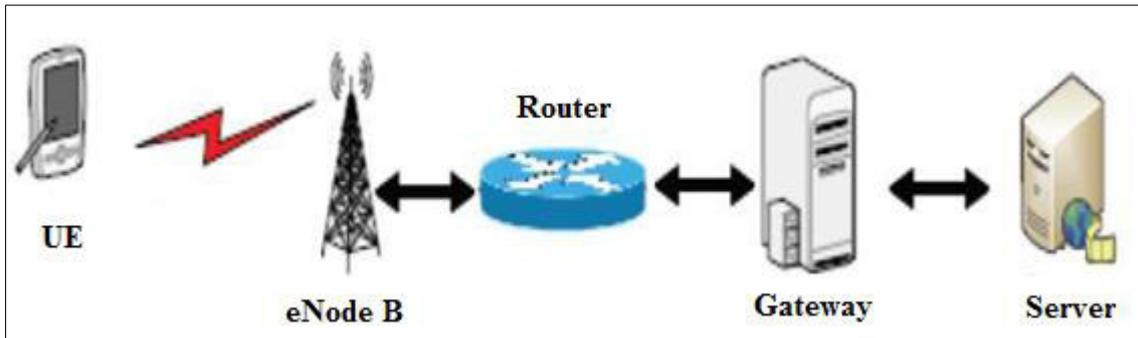


Figure I.1: schéma d'un réseau LTE basé IP LTE[5].

Où :

- UE (*user Equipment*) désigne l'équipement d'un réseau de téléphonie mobile cellulaire 3G ou 4G (téléphone, smartphone, tablette...etc.).
- eNodeB(*Evolved Node B*) est la station de base des réseaux mobiles basés sur les technologies LTE ou LTE Advanced.
- Un routeur (*router*)qui permet d'assurer le routage des paquets, i.e., de faire transiter des paquets d'une interface réseau vers une autre.
- Une passerelle (*Gateway*)permettant de relier deux réseaux informatiques de types différents (*sans fil et filaire par exemple*).
- Une serveur (*server*) qui est un dispositif [informatique](#) ([matériel](#) et [logiciel](#)) offrant des services tels l'accès aux informations du [World Wide Web](#), le [courrier électronique](#) ...etc[18].

I.3.1. Architecture générale d'un réseau LTE

L'architecture générale d'un réseau LTE, illustrée en figure I.2, se compose de deux parties principales : un réseau d'accès E-UTRAN (*Evolved UMTS TerrestrialRadio Access Network*) et un réseau cœur EPC (*EvolvedPacketCore*). Il y a également d'autres sous parties qui contiennent des blocs qui permettent aux réseaux LTE de se connecter avec les réseaux 3GPP [6].

Chapitre I : Généralités sur le réseau de la quatrième génération

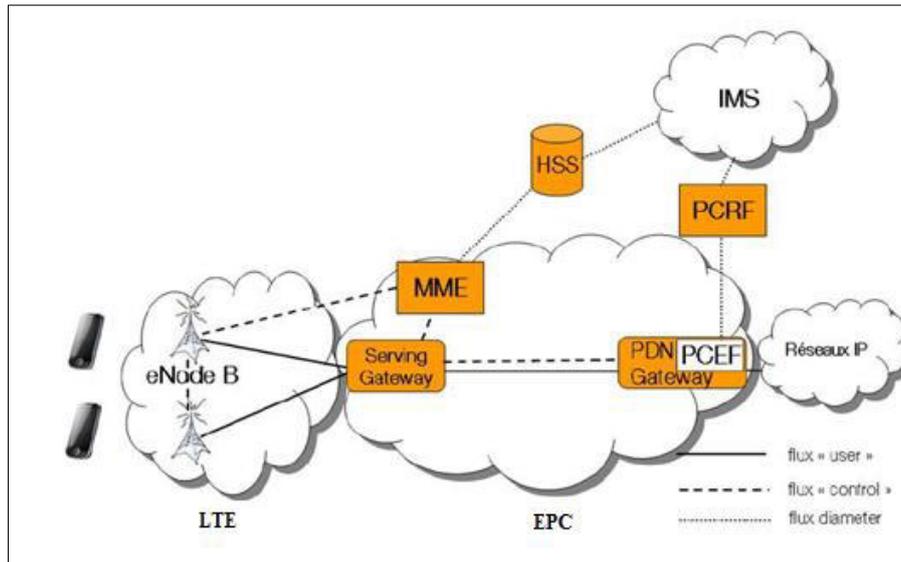


Figure I.2 : Architecture générale d'un réseau 4G [6].

1. Réseau cœur EPC

Le réseau cœur EPC (*Evolved packet core*) se base sur des technologies tout IP (*internet Protocol*). C'est-à-dire qu'il s'appuie sur les protocoles Internet TCP/IP (*transmission control protocol/IP*) pour la signalisation, le transport de la voix et des données. L'EPC peut communiquer avec les réseaux 2G et 3G. La figure I.3 schématise un EPC [6].

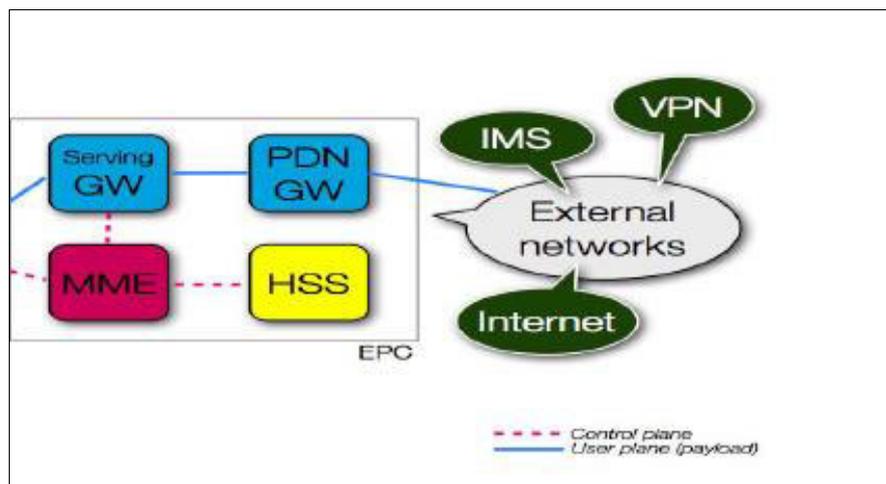


Figure I.3 : architecture de réseau cœur EPC [6].

Ce réseau est décomposé en 5 entités :

Chapitre I : Généralités sur le réseau de la quatrième génération

- MME (*mobility management entity*) : cette entité gère la mobilité et le rattachement des abonnés sur le réseau. Elle est responsable de la localisation de terminales mobiles ou UE(s). Elle permet aussi de gérer la signalisation et la négociation des QoS.
- HSS (*home subscriber service*) : est une base de données centrale qui contient des informations sur tous les abonnés de l'opérateur du réseau. Elle permet d'authentifier les abonnés, de consulter leurs abonnements et de chiffrer les communications
- SGW (*serving Gateway*) : cette partie est responsable à l'acheminement des paquets de données entre le réseau cœur et les E-UTRAN. Elle gère tout l'aspect Handover inter-eNodeB et permet d'effectuer le transfert vers un réseau 2G ou 3G. Elle joue aussi le rôle d'un routeur qui accède la transmission des données entre la station de base et la passerelle PGW.
- PGW (*packet data network Gateway ou Packet Gateway*) : cette entité permet de fournir des connexions entre réseau LTE et d'autres réseaux. Elle effectue le filtrage des paquets de chaque utilisateur et comptabilise les octets échangés. Elle se considère aussi comme une passerelle vers les réseaux externes (entre UE et PDN).
- PCRF (*Policy charging Rules function*) : cette entité est responsable de la décision du contrôle. Elle offre au PGW les règles de taxations nécessaires pour les taxer d'une manière adéquate et peut différencier les flux de données[4][6].

2. Réseau E-UTRAN

Le réseau d'Accès Radio (E-UTRAN) (*Evolved-Universal Terrestrial Radio Access Network*) : c'est le réseau d'accès 4GLTE responsable du management des ressources radio, il permet de fournir la connexion via des ondes radio entre le réseau cœur (*Core Network*) d'un opérateur de téléphonie mobile et les terminaux mobiles. Elle est donc composée de stations de base appelée eNodeB, d'antennes radio qui peuvent être locales ou distantes, de liaisons par fibre optique vers les antennes distantes et, de liaisons IP reliant les eNodeB entre eux et avec le cœur de réseau via un réseau de retour (backhaul). Ce dernier est généralement constitué de liaisons en fibres optiques supportant des protocoles basés sur IP (IPv4 et IPv6) et fait référence au réseau de transport qui relie le réseau central ou *backbone* et le RAN (*Radio Access Network*) du réseau mobile[20].

Chapitre I : Généralités sur le réseau de la quatrième génération

La figure I.4 schématise le réseau e-UTRAN et le rôle de chaque élément est décrit ci-dessous :

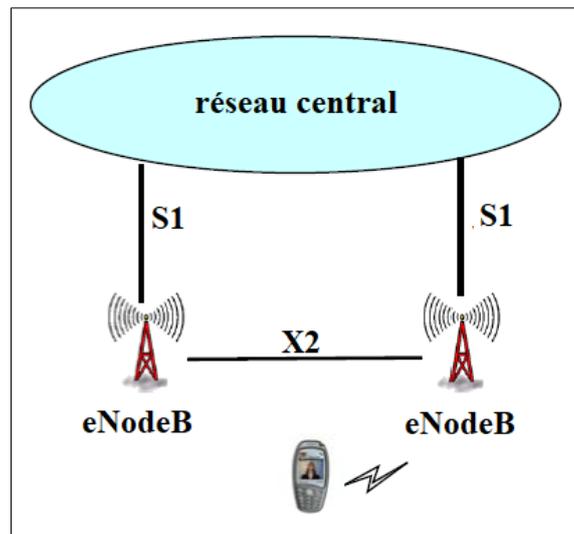


Figure I.4 : Architecture E-UTRAN

Les stations de base (eNodeB) Ce sont des antennes responsables de la transmission et de la réception radio qui relient les UE(s) avec le réseau cœur du LTE. L'eNodeB dispose de deux interfaces :

- L'interface S1 : elle se situe entre le réseau d'accès et le réseau cœur. Elle peut elle-même se diviser en deux (02) sous interfaces.
- S1-U (S1-Usager) entre l'eNodeB et le SGW) pour l'ensemble des trafics utilisateurs destinés ou venant des terminaux mobiles. Ce protocole véhicule à la fois les trafics de données (internet, vidéo, emails...) et le trafic vocal ou VoLTE (*Voice over LTE*)[19].
- S1-MME entre l'eNodeB et le MME pour le trafic de signalisation et de contrôle [19].
- L'interface X2 : est une interface logique, son rôle est de permettre au eNodeB(s) d'échanger des informations de signalisation lors de la mobilité de l'utilisateur en mode ACTIF le handover tout en minimisant les pertes des paquets et aussi pour coordonner une affectation harmonieuse des sous-porteuses entre les mobiles présents dans chaque cellule radio, dans le but de limiter les interférences[20].

I.3.2. Caractéristiques de l'accès LTE

- **Latence** : il existe principalement deux types:

La Latence du plan de contrôle qui est le temps d'établissement d'une connexion avec un service.

Chapitre I : Généralités sur le réseau de la quatrième génération

La latence du plan usager qui est le temps d'émission d'un paquet de données appartenant à l'utilisateur du réseau, et ce, après l'établissement de la connexion.

- **Mobilité** : assurée à des vitesses comprises entre 120 et 350 km/h. Le handover pourra s'effectuer dans des conditions où l'utilisateur se déplace à grande vitesse. La LTE ne permet que le hard handover et non pas le soft handover.
- **Débit sur l'interface radio** : L'interface radio eUTRAN doit pouvoir supporter un débit maximum descendant instantané de 100 Mbit/s en considérant une allocation de bande de fréquence de 20 MHz pour le sens descendant et un débit maximal montant instantané de 50 Mbit/s en considérant aussi une allocation de bande de fréquence de 20 MHz.
- **Connexion permanente** : principe des accès haut débit où la connectivité est permanente pour l'accès à Internet. Même si la connexion est permanente au niveau du réseau, il est nécessaire pour le terminal de passer de l'état IDLE à l'état ACTIF lorsqu'il s'agira d'envoyer ou de recevoir un trafic. Ce changement d'état s'opère en moins de 100 ms. Le réseau pourra recevoir le trafic de tout terminal rattaché puisque ce dernier dispose d'une adresse IP, mettre en mémoire ce trafic, réaliser l'opération de paging afin de localiser le terminal et lui demander de réserver des ressources afin de pouvoir lui relayer son trafic[16].

I.3.3. L'interface air

Cette interface est une liaison de communication entre les deux stations de communication mobile ou sans fil, elle implique à la fois la couche physique et celle de liaison de donnée.

1. Les canaux radio

Ces éléments sont utilisés pour identifier les différents types de données et leur permettre d'être transportés à l'interface radio. Les différents canaux fournissent des interfaces aux plus hautes couches dans la structure de protocole LTE et permettent une séparation arrangée et définie des données. Il existe trois types de canaux radio à distinguer :

2. Les canaux logiques

Ils permettent de connaître le type d'informations qu'ils transportent et non pas la façon dont elles vont être véhiculées

Il existe deux types de canaux logiques qui permettent de diviser les informations en deux types : les informations du plan de contrôle et les informations du plan d'usage

Chapitre I : Généralités sur le réseau de la quatrième génération

Les canaux logiques fournis par la couche MAC sont :

- BCCH (*Broadcast Control Channel*) : c'est celui qui contrôle et qui permet de diffuser les informations de base d'une cellule permettant l'accès, comme son identifiant, la largeur de bande à utiliser, la liste des cellules voisines LTE 3G ou GSM etc...
- PCCH (*Paging Control Channel*) : c'est celui qui permet de diffuser des notifications d'appel.
- CCCH (*Common Control Channel*) : c'est celui qui permet de véhiculer toute la signalisation d'appel quand un canal dédié au mobile n'existe pas.
- DCCH (*Dedicated Control Channel*) : celui permet de véhiculer toute la signalisation d'appel quand un canal dédié au mobile existe.
- DTCH (*Dedicated Traffic Channel*) : c'est un canal logique du plan usager qui permet de véhiculer toutes les informations usager.

3. Canaux de transport :

Un canal de transport se distingue d'un autre par la manière dont les données vont être transportés sur la couche physique.

- BCH (*Broadcast CHannel*) : Le BCH contient seulement le BCCH, il permet de diffuser le Master Information Block (MIB). Ce message broadcasté contient donc toutes les informations nécessaires pour que le mobile puisse reconnaître le réseau d'accès et s'attacher sur la cellule.
- DL-SCH (*Down Link SharedCHannel*) : utilisé pour la transmission de données dédiées ou d'informations cellules non basiques pour le sens descendant.
- PCH (*Paging CHannel*) : utilisé pour diffuser les informations de paging sur la cellule.
- RACH (*Random Access CHannel*) : ce canal sert uniquement à gérer l'accès initial du mobile ou lors d'un handover sur une cellule.
- UL-SCH (*Up Link SharedCHannel*) : utilisé pour la transmission des données dédiées (contrôle ou usager) pour le sens montant.

Chapitre I : Généralités sur le réseau de la quatrième génération

4. Les canaux physiques

Ils offrent le moyen de transmettre par radio les informations qui correspondent à la couche physique. La plupart des canaux physiques sont employés pour la liaison descendante :

- PBCH (*Physical Broadcast Channel*) : Dédié la transmission des canaux de transport BCH
- PDSCH (*physical Down Link Shared Channel*) : qui transporte les données usager et la signalisation des couches hautes.
- PDCCH (*Physical Down Link Control Channel*) : il sert à la transmission d'informations de contrôle comme les schémas de modulation et le codage.
- PMCH (*Physical Multicast Channel*) : qui transporte l'information Multicast/Broadcast.
- PCFICH (*Physical Control Format Indicator Channel*) : qui informe l'UE sur le nombre de symboles OFDM utilisé pour le PDCCH.

Les canaux physiques pour la liaison montante :

- PUCCH (*Physical Up Link Control Channel*) : sa fonction est d'apporter les acquittements de HARQ.
- PUSCH (*Physical Up Link Shared Channel*) : ce canal est l'équivalent du canal PDSCH en liaison descendante.
- PRACH (*Physical Random Access Channel*) : est déployé pour les fonctions d'accès aléatoires et il sert à la transmission du RACH[8].

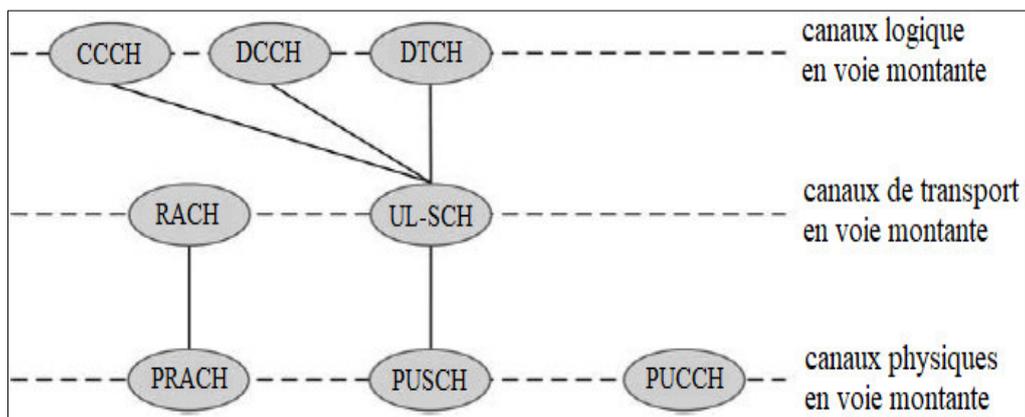


Figure I.5: Association entre canaux logiques, de transport et physiques en voie montant [8].

Chapitre I : Généralités sur le réseau de la quatrième génération

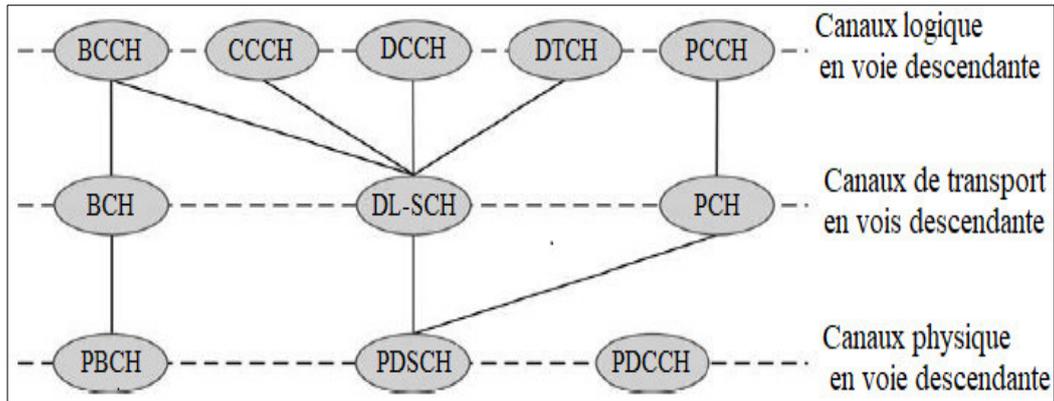


Figure I.6 : Association entre canaux logiques, de transport et physiques en voie descendante [8].

I.3.4. La modulation et le codage adaptatifs AMC

AMC (Adaptative Modulation et Coding) C'est une technique qui consiste à adapter les modulations utilisées en fonction de l'état du canal, utilisé notamment dans les transmissions radio et spécialement dans la norme LTE. Les modulations disponibles sont le QPSK (*Quadrature Phase Shift Keying*) et le 16-QAM (16 Quadrature Amplitude Modulation à 16 états).

Le QPSK consiste à utiliser deux porteuses de même fréquence déphasées de 90 degrés, soit $2^2 = 4$ états d'information.

Le 16-QAM est une forme de modulation d'une porteuse par modification de l'amplitude de la porteuse elle-même et d'une onde en quadrature (une onde déphasée de 90° avec la porteuse) selon l'information transportée par deux signaux d'entrée.

Dans le cas où le canal est marqué comme bon, on utilisera la modulation 16-QAM, qui offre un meilleur débit mais une plus faible robustesse. Par contre, si le canal est marqué comme dégradé, on utilisera la modulation QPSK, permettant un débit plus faible, mais plus robuste qui est moins sensible aux interférences [9][10].

Chapitre I : Généralités sur le réseau de la quatrième génération

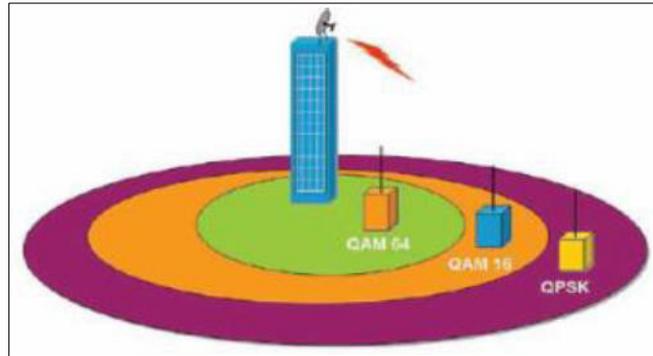


Figure I.7 : méthode d'application de l'AMC [10].

Nous avons QPSK, 16QAM et 64QAM qui sont des Modulations Down Link et QPSK et 16QAM qui sont des Modulations Up Link.

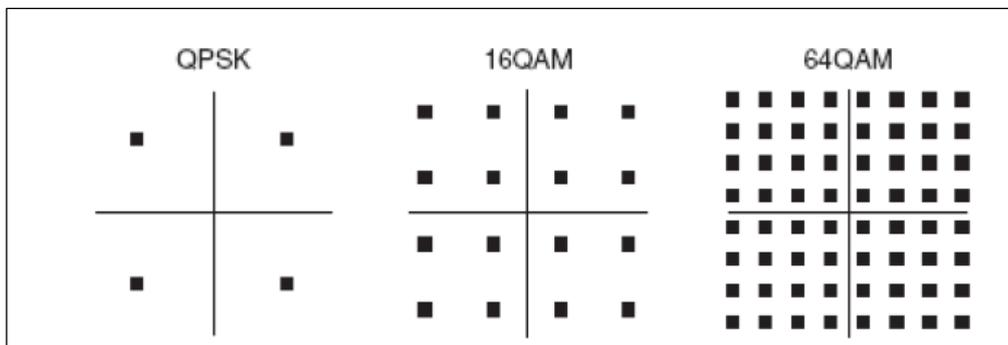


Figure I.8: constellation des modulation QPSK, 16QAM et 64QAM [10].

I.3.5. Fréquences utilisées pour la technologie LTE

Les bandes de fréquences hertziennes prévues pour la norme LTE sont très nombreuses et s'étalent de 600 MHz à 3,8 GHz. Celles situées dans la zone des 800 et 900 MHz ont une plus grande portée que celles des ondes radio de fréquences plus élevées. On peut donc les utiliser sur tout le territoire et spécialement dans les zones rurales [11].

Chapitre I : Généralités sur le réseau de la quatrième génération

Numéro de la bande LTE	Liaison montante (MHz)	Liaison descendante (MHz)	Largeur de la bande (MHz)	Espace entre les liaisons (MHz)
1	1920 - 1980	2110 - 2170	60	130
2	1850 - 1910	1930 - 1990	60	20
3	1710 - 1785	1805 - 1880	75	20
4	1710 - 1755	2110 - 2155	45	355
5	824 - 849	869 - 894	25	20
6	830 - 840	875 - 885	10	25
7	2500 - 2570	2620 - 2690	70	50
8	880 - 915	925 - 960	35	10
9	1749.9 - 1784.9	1844.9 - 1879.9	35	60
10	1710 - 1770	2110 - 2170	60	340
11	1427.9 - 1452.9	1475.9 - 1500.9	20	28
12	698 - 716	728 - 746	18	12
13	777 - 787	746 - 756	10	41
14	788 - 798	758 - 768	10	40
15	1900 - 1920	2600 - 2620	20	680
16	2010 - 2025	2585 - 2600	15	560
17	704 - 716	734 - 746	12	18
18	815 - 830	860 - 875	15	30
19	830 - 845	875 - 890	15	30
20	832 - 862	791 - 821	30	71
21	1447.9 - 1462.9	1495.5 - 1510.9	15	33
22	3410 - 3500	3510 - 3600	90	10
23	2000 - 2020	2180 - 2200	20	160
24	1625.5 - 1660.5	1525 - 1559	34	135.5
25	1850 - 1915	1930 - 1995	65	15

Tableau I.1: Bandes de fréquences allouées au LTE FDD[11].

Numéro de la bande LTE	Allocation (MHz)	Largeur de la bande (MHz)
33	1900 - 1920	20
34	2010 - 2025	15
35	1850 - 1910	60
36	1930 - 1990	60
37	1910 - 1930	20
38	2570 - 2620	50
39	1880 - 1920	40
40	2300 - 2400	100
41	2496 - 2690	194
42	3400 - 3600	200
43	3600 - 3800	200

Tableau I.2: Bandes de fréquences allouées au LTE TDD[11].

I.3.6. La structure topologique de la trame LTE

1. Le concept cellulaire

C'est un concept qui a permis de résoudre le problème de la congestion spectrale et de la capacité des utilisateurs. Le principe de ce système est de diviser le territoire en de petites zones, appelées cellules et de partager les fréquences radio entre celles-ci. La forme de la cellule prend généralement la forme d'un hexagone, et la division globale de l'espace

Chapitre I : Généralités sur le réseau de la quatrième génération

ressemble à un motif de ruche. Sa taille dépend de plusieurs facteurs comme le relief la densité d'abonnés. Il y en a plusieurs types :

- i. Pico-Cellules : Ces cellules ont un rayon de service de 10 à 100m.
- ii. Micro-cellules : Ces cellules ont un rayon de service de 1 à 4km. Elles sont adaptées à l'environnement urbain dense.
- iii. Macro-cellules : Il s'agit de cellules dont le rayon de service est de 1 à 35km.

2. La Trame LTE

La trame générique du LTE, est constitué de 20 slots de 0,5 ms chacun, numérotés de 0 à 19. Sa durée est de 10 ms.

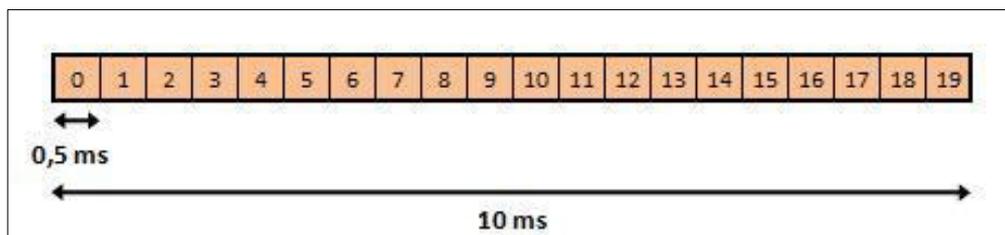


Figure I.9 : structure de la trame.

3. Les modes de duplexage en LTE

Le duplexage définit la manière dont sont séparées les transmissions sur la voie descendante et sur la voie montante. Le canal d'une station de base vers les mobiles dans sa cellule définit la liaison descendante (down Link) de la cellule, et le canal des mobiles dans une cellule vers la station de base de cellule définit la liaison montante (up Link). Il existe deux principaux modes de duplexage, tous les deux gérés par l'interface radio du LTE:

Le duplexage en fréquence ou Frequency Division Duplex (FDD) : les deux sens de liaison radio opèrent sur des fréquences différentes.

Le duplexage en temps ou Time Division Duplex (TDD) : la liaison montante (up Link) et la liaison descendante (down Link) utilisent la même bande de fréquence, mais avec des intervalles de temps différents (appelé slot)[12].

Chapitre I : Généralités sur le réseau de la quatrième génération

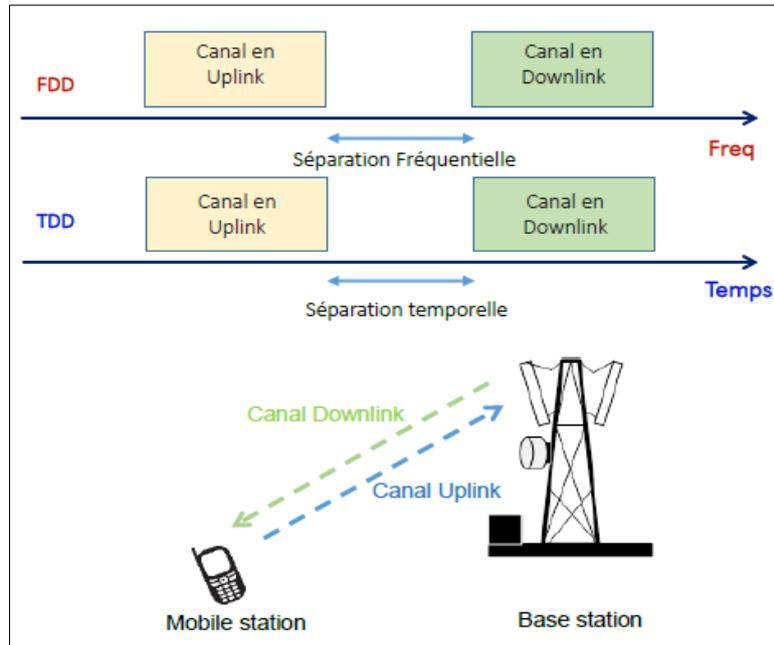


Figure I.10 : le mode TDD et FDD et illustration des liaisons up Link et down Link [12].

4. Concept de bloc de ressources

Dans cette technologie, les bandes de fréquences sont divisées en PRB (*Physical Resource Bloc*). Chaque un contient 6-7 symboles modules et est composé de 12 sous porteuses consécutives avec une largeur de bande de $B=15$ KHz.

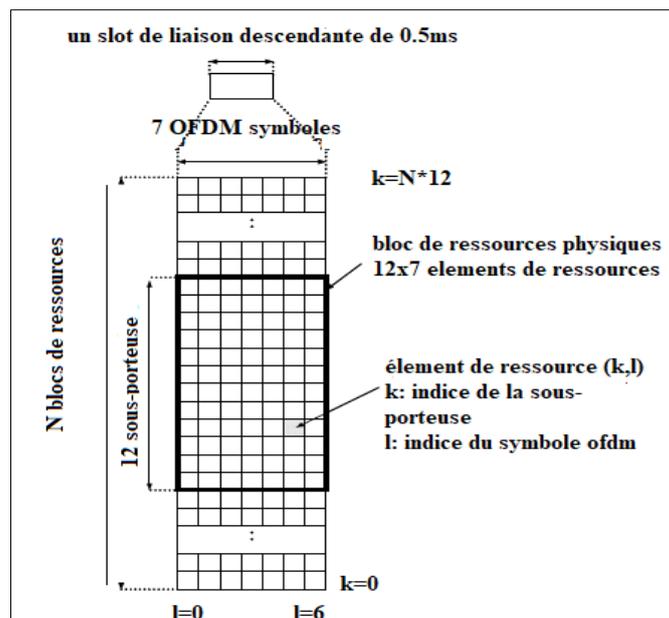


Figure I.11: Grille de ressources temps fréquence en voie montante et descendante [13].

Chapitre I : Généralités sur le réseau de la quatrième génération

I.3.7. OFDMA

OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Modulation Access*) Est une technologie de codage radio de type « accès multiple par répartition en fréquence » qui est utilisée notamment dans les réseaux de téléphonie mobile de 4^{ème} génération dans la liaison descendante LTE. Ce multiplexage fréquentiel avec chevauchement est réalisé avec des sous porteuses orthogonales. Les sous-porteuses peuvent être réparties sur différents utilisateurs. Le principe de la distribution est basé sur les conditions du canal adaptation et le débit souhaité [12].

I.3.8. SC-FDMA

SC-FDMA (*Single Carrier - Frequency Division Multiple Access*) Est une technologie de codage radio numérique qui a été adoptée pour les liaisons montantes de certaines normes 3GPP, ou chaque symbole est étalé sur l'ensemble des sous porteuses attribuée. Cette technique a des performances similaires et essentiellement la même structure globale que celle de la technique OFDMA. Elle offre l'avantage de minimiser la consommation électrique du terminal et contribue à l'augmentation de l'autonomie de la batterie [14].

Voici une figure qui représente la différence entre les deux technologies :

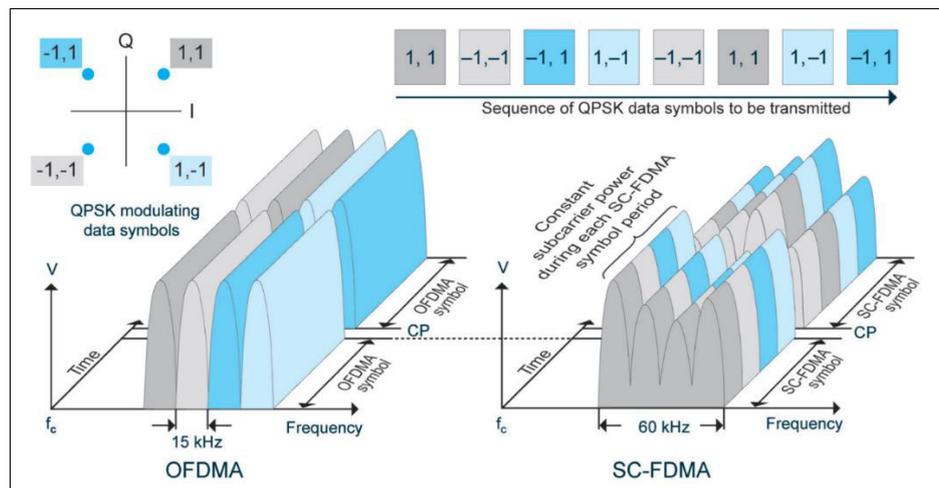


Figure I.12: la différence entre la technique OFDMA et SC-FDMA [14].

I.3.9. La technologie MIMO

MIMO (*Multiple Input Multiple Output*) Cette technique consiste à l'utilisation de plusieurs antennes aussi bien du côté de l'émission que celui de la réception. Elle a été conçue dans un

Chapitre I : Généralités sur le réseau de la quatrième génération

but d'augmentation de la capacité et du débit. La porte a un usage majeur dans la plupart des applications de communication sans fil. En effet cette technologie permet de donner la quantité maximum d'information en bits/s/Hz qu'il est possible de transmettre sur un canal afin d'obtenir une probabilité d'erreur nulle à la réception. Cela répond parfaitement à la technologie LTE[15].

Il existe différents types de systèmes transmissions :

Le système SIMO (*Single Input Multiple Output*) : qui utilise une seule antenne à l'émission et plusieurs antennes à la réception.

Le système MISO (*Multiple Input Single Output*) : qui utilise plusieurs antennes à la réception et une seule antenne à l'émission.

Le système SISO (*Single Input Single Output*) : ou l'émission et la réception comptent une antenne chacun.

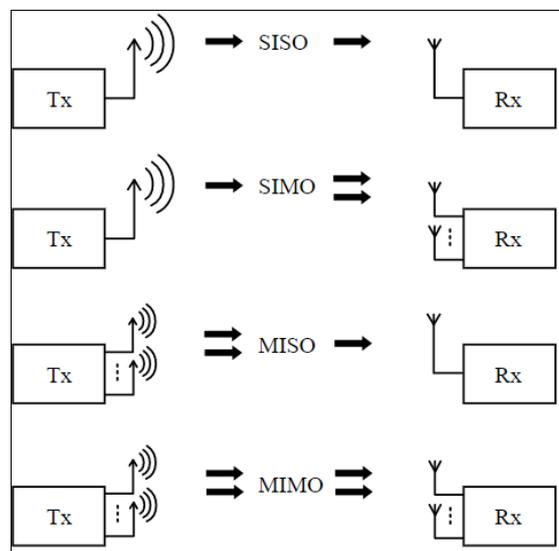


Figure I.13 : Schéma représentatif des systèmes SISO, SIMO, MISO, et MIMO [15].

I.4 la LTE Avancer

Ce nouveau standard est une évolution du LTE retenu par la plupart des opérateurs pour la 4G. Il permettrait d'atteindre un débit descendant maximal de 1 Gb/s en situation fixe, et de 100 Mb/s en mobilité. Cette nouvelle norme sera capable de mieux distribuer la charge sur le réseau, et pourra supporter plus d'utilisateurs sur une même cellule. La LTE-Advanced utilisera [17] :

Chapitre I : Généralités sur le réseau de la quatrième génération

- Principe de transmission multi-antennes MIMO.
- Agrégation du spectre.
- Étalement de la bande 40 -100 MHz.

I.5 Conclusion

Ce premier chapitre de notre mémoire nous aura permis de présenter les points fondamentaux de notre sujet à savoir, la norme LTE. Nous avons tout d'abord commencé par un historique de cette technologie, puis nous avons donné une brève définition de ce réseau. Par la suite, nous avons réalisé une présentation de son architecture générale, des principales techniques utilisées et intégrées au LTE comme le système MIMO.

Pour finir, nous pouvons ajouter que ce chapitre permet de bien comprendre le principe de ce réseau cellulaire qu'est la 4^{ème} génération. Cela nous facilitera pour les prochaines tâches de notre mémoire.

Chapitre II :
Planification et dimensionnement des réseau
LTE

II.1 Introduction

Pour un opérateur de télécommunication la phase de dimensionnement est primordiale avant la mise en œuvre de son réseau puisqu' elle nous permet d'avoir, entre autres, une première estimation de la densité et de la configuration des sites requis, de la capacité offerte des éléments du réseau à planifier et de la couverture à estimer conjointement avec la capacité. Une phase très importante dans le cycle de vie de tout réseau [21].

Dans ce chapitre nous passerons en revue les concepts de base et les calculs mathématiques nécessaires au dimensionnement du réseau sur les plans couverture et capacité et nous passerons en revue les technologies MIMO, en particulier celles de MIMO 2x2 et MIMO 4x4 en multiplexage spatiale puisqu'une partie de notre travail consiste dans le basculement entre ces deux dernières.

II.2 Processus de Dimensionnement

La planification en LTE est une tâche complexe qui commence généralement par la phase de dimensionnement. Cette dernière est directement liée à la qualité et l'efficacité du réseau qui, en cas de mauvaise conception, peut affecter profondément son développement.

Le dimensionnement a pour but de déterminer le rayon de chaque cellule et le nombre des sites des eNodeB(s). Il doit tenir compte des exigences en termes de capacité et de de la couverture [21][26].

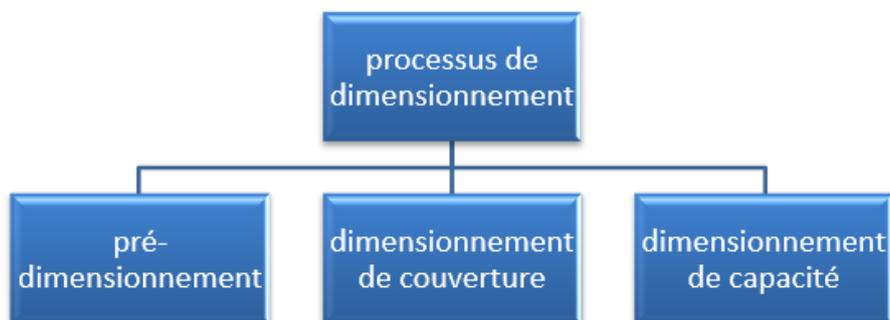


Figure II.1 : les étapes du processus de dimensionnement.

II.2.1 Prédimensionnement

- Le prédimensionnement nécessite la collecte des informations qui portent sur la zone de déploiement nous citons quelques-unes [27] :
- Les informations détaillées sur l'eNodeB et l'UE.
- Les services à offrir : voix et données.
- Les informations sur la zone de déploiement (superficie, information démographiques...etc.)
- Les données géographiques : cartographie, population, zone à couvrir et taux de pénétration des abonnés dans cette zone (services demandés, trafic offert ...etc.).
- La liste des sites : identifier les lieux pour placer les eNodeB(s).
- Le type d'antenne à utiliser (omnidirectionnel).

II.2.2 Dimensionnement de couverture :

La couverture d'une station de base possède des limites comme celles dues aux perturbations provoquées par certains phénomènes météorologiques. Le problème de couverture apparaît lorsque les ondes émises par le mobile n'arrivent pas à la station de base la plus proche, ou bien lorsque celles émises par l'antenne des eNodeB(s) n'arrivent pas avec une puissance suffisamment détectable par la station mobile. La mauvaise couverture provoque une élévation du taux d'échec d'accès tels ceux dus aux coupures des communications et ceux dus au Handover. Nous prenons donc le bilan de liaisons radio RLB qui permet d'avoir la perte de propagation maximale MAPL (Maximum Allowable Pathloss) et l'obtention de rayon de couverture et enfin une prévision du nombre des sites [28].

II. 2.3 Organigramme de dimensionnement en 4G LTE fixe

Ci-dessous (figure 2.2) est présenté l'organigramme du dimensionnement d'un site 4G LTE fixe.

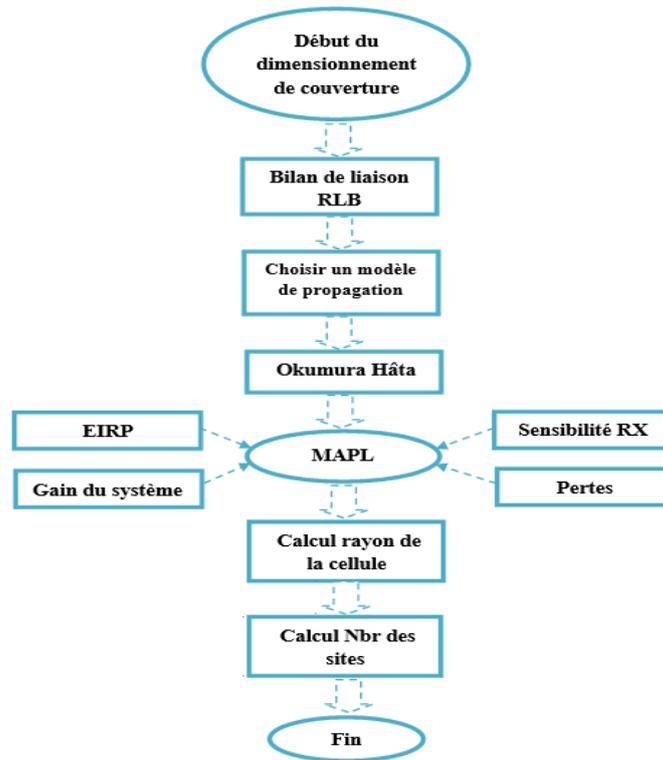


Figure II.2 : calcul du dimensionnement de couverture

a. Bilan de liaison en Uplink

Le bilan de liaison dans la liaison montante peut être schématisé comme suit (figure II.3)

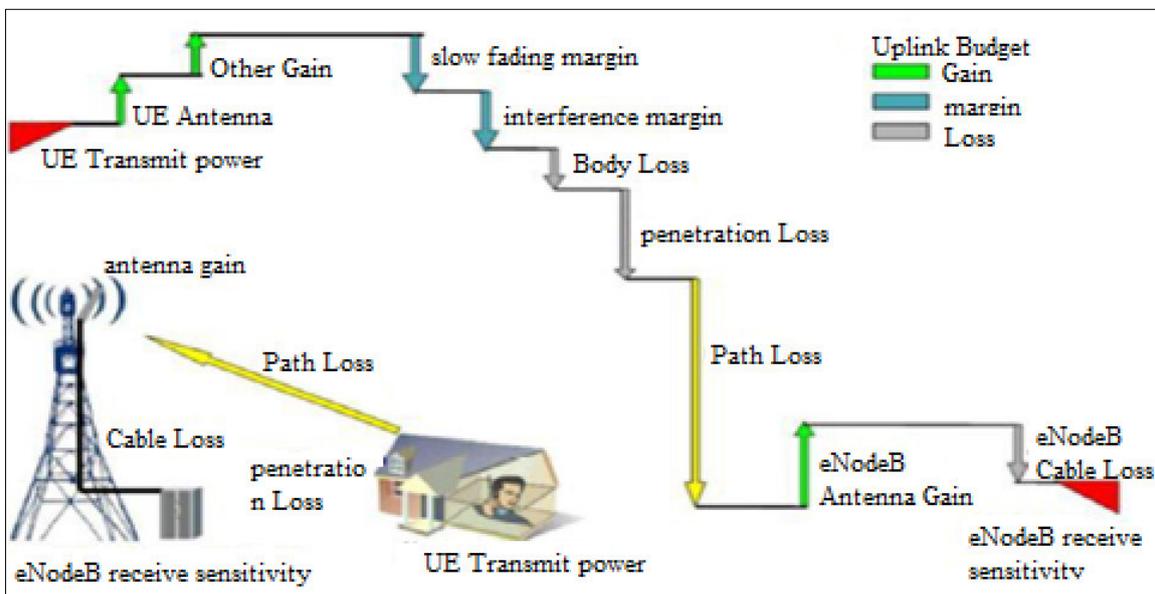


Figure II.3 : modèle bilan de liaison en Uplink [10].

Les pertes dans la liaison montante sont :

$$MAPL_{UL} = EIRP_{UL} - S_{eNB} - LNF - IMUL - L_{bodyloss} + G_{eNBAntenna} + G_{eNBAntenna} \quad (2.1)$$

b. Bilan de liaison en Down Link

La figure ci-dessous illustre l'équation de bilan de liaison pour les liens descendants :

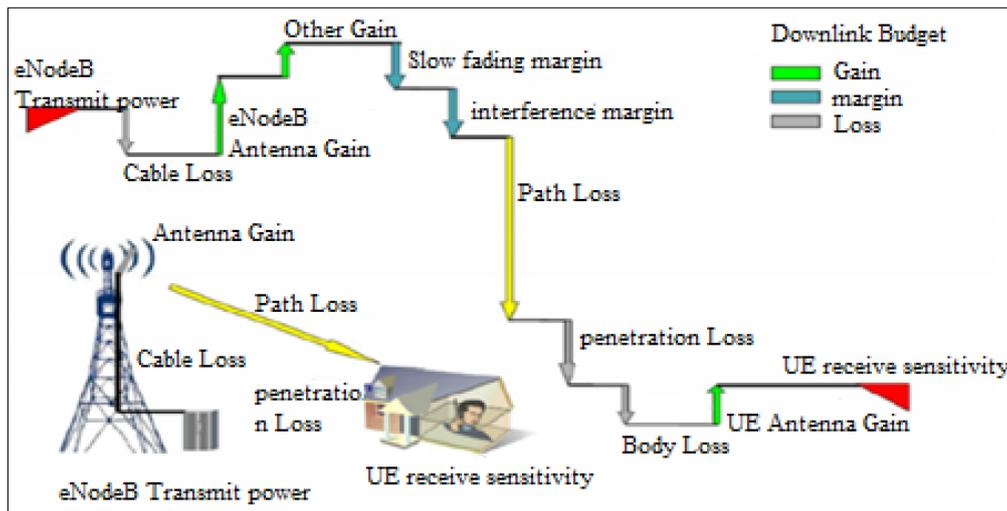


Figure II.4 : Bilan de liaison Down Link [10].

Les pertes dans la liaison descendante sont :

$$MAPL_{DL} = EIRP_{DL} - S_{UE} - LNF - IMDL - L_{pen} - L_{bodyLoss} + G_{eNB TMA} \quad (2.2)$$

c. EIRP (Equivalent Isotropic Radiated Power):

C'est la puissance isotrope perdue dans les câblages et les supports de l'antenne. Elle est calculée sur les deux liaisons grâce aux deux formules [11].

$$EIRP_{DL} = P_{eNB-Tx} + G_{Antenna} - L_{eNB-feeders} - L_{eNB-jumpers} - L_{eNB-connectors} \quad (2.3)$$

$$EIRP_{UL} = P_{UE-TX} (dBm) + G_{Antenna}(dB) - L_{body} \quad (2.4)$$

Avec :

P_{eNB_Tx} : Puissance de l'eNodeB.

$G_{Antenna}$: Gain de l'antenne.

$L_{eNB-feeders}$, $L_{eNB-jumpers}$, $L_{eNB-connectors}$: Pertes de câblage [28].

d. La sensibilité du l'équipement utilisateur récepteur

La sensibilité des récepteurs (S_{UE} , S_{eNB}) indique la puissance minimale nécessaire pour garantir une certaine qualité de service ou un certain débit en présence de bruit seul. Elle est calculée comme suit [29] :

$$S_{UE,eNB} = N_{Sub-T} + SINR + F_{Noise} + N_{RB} \quad (2.5)$$

N_{Sub-T} : est la puissance du bruit thermique par sous-porteuse (correspondant à la largeur de bande passante de 15 KHz dans le cas d'un espacement de sous-porteuse standard). Elle a pour équation :

$$N_{Sub-T} = K \times T \times B \quad (2.6)$$

- T : Température (en °Kelvin).

- K : constante de Boltzmann ($1,3806503 \times 10^{-23} J/^\circ K$).

- B : Bande Passante d'une sous porteuse (B=15 KHz).

– *SINR (Signal to Interference and Noise Ratio)* : c'est le rapport de puissance entre le signal utilisé et les interférences des cellules voisines et le bruit thermique.

– F_{noise} : Bruit du récepteur.

– N_{RB} : Nombre de ressources blocs.

1. LNF (*Log Normal Fading*)

Identifiant la marge d'évanouissement normal, Il est utilisé pour prédire la perte de propagation pour un large éventail d'environnements.

2. IM (*Interférence Margin*)

La marge d'interférence correspond au niveau d'augmentation du bruit dû à la l'augmentation de la charge (trafic) dans la cellule.

3. L_{peu} (*Penetration Loss*)

La perte de pénétration dans LTE indique l'évanouissement des signaux radio d'un UE à une station de base en raison d'une obstruction par un bâtiment.

4. L_{bodyLoss} (*Body Loss*)

C'est la perte corporelle qui est générée par le blocage du signal et l'absorption lorsqu'une antenne terminale est proche du corps de l'utilisateur.

5. $G_{\text{UE,NB Antenna}}$ (*Antenna Gain*)

C'est le rapport entre la densité de puissance moyenne rayonnée par l'antenne et la densité de puissance à rayonnement isotrope.

6. $G_{\text{eNB TMA}}$ (*tower mounted amplifier gain*)

C'est le gain de l'amplificateur, qui réduit le bruit et améliorer la sensibilité [30].

e. Type de modèles de propagation

Modèles empiriques ont l'avantage d'être simples et de faiblement dépendre des caractéristiques d'un site. C'est pourquoi ils sont couramment employés pour les communications cellulaires pour une première estimation de la perte de propagation. et le choix de modèle de propagation sa fait partie des procédures les plus essentielles car il permet d'estimer la valeur d'atténuation de trajet qui dépend du type de zone à étudier. On distingue plusieurs types de ces modèles [31].

1. Modèle Okumura-Hata

C'est le modèle empirique le plus connu il tient compte de la fréquence, de la radiosité, de la distance entre l'émetteur et le récepteur et de la hauteur de la station de base et du mobile. Il prend en considération également la nature de l'environnement en qualifiant son degré d'urbanisation.

La formule standard du pathloss empirique dans les zones urbaines sous le modèle Hata est :

$$P_{L,\text{urban}}(d) \text{ dB} = 69.55 + 26.16 \log_{10}(f) - 13.82 \log_{10}(hb) - a(hm) + (44.9 - 6.55 \log_{10}(hb)) \log_{10}(R) + kc \quad (2.7)$$

Le modèle de Hata a été adapté pour les limites suivantes :

f : fréquence de transmission 150MHz à 1000MHz.

hb : Hauteur de la station de base 10m à 200m.

hm : Hauteur du terminal mobile 1m à 10m.

R : Distance entre la station de base et l'UE 1 à 30 Km.

Kc : facteur de correction morphologie.

Hm : facteur de correction de hauteur d'antenne sa formule est donnée par

$$(hm) = (1.1 \log_{10}(f) - 0.7)m - (1.56 \log_{10}(f) - 0.8) \quad (2.8)$$

2. Modèle de COST 231-Hata

Le modèle COST 231-Hata a les mêmes conditions que le modèle d'Okumura-Hata sauf qu'il est développé pour étendre son utilisation pour les bandes allons de 1500 à 2600MHz.

L'affaiblissement de parcours pour ce modèle est donné par cette expression.

$$PL, \text{urban}(d), \text{dB} = 46.3 + 33.9 \log_{10}(f) - 10.82 \log_{10}(hb) - a(hm) + (44.9 - 6.55 \log_{10}(hb)) \log_{10}(r) + Kc \quad (2.9)$$

Ce modèle est appelé extension COST 231 du modèle Hata et est limité aux paramètres suivants :

$$1,5 \text{ GHz} < f < 2 \text{ GHz}$$

$$30\text{m} < hb < 200\text{m}$$

$$1\text{m} < hm < 10\text{m}$$

$$1 \text{ km} < d < 20 \text{ km}$$

a. Rayon de la cellule

La perte de trajet maximum autorisé est utilisée pour déterminer le rayon de la cellule suivant le modèle de propagation choisi [28].

La formule pour calculer le rayon en kilomètres R est la suivante : $R=10^\alpha$

$$\alpha = \frac{MAPL - 46.3 - 33.9 \log(fc) + 13.82 \log(h) + a(hm) + Cm}{44.9 - 6.55 \log(hb)} \quad (2.10)$$

b. Nombre de sites

Nous avons deux types des sites omnidirectionnels et le tri-sectoriel, Le nombre de sites peut se calculer à partir de la zone de la cellule et de la valeur d'entrée de la zone de déploiement notée Z_d [28].

Nous avons R : rayon de la cellule, d : distance intersites

Pour un site omnidirectionnel, le calcul se fait comme suit :

$$d = \sqrt{3} \times R \quad (2.11)$$

$$S_{\text{Site1}} = \frac{3\sqrt{3} \times R^2}{2} = 2.6 \times R^2 \quad (2.12)$$

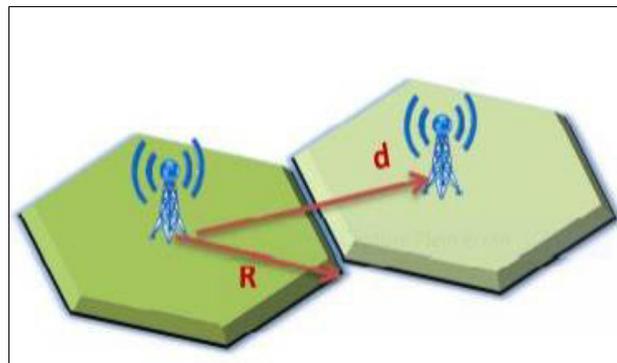


Figure II.5 : Modèle hexagonale de cellule omnidirectionnel [10].

Et pour un site à 3 secteurs :

$$d = \sqrt{3} \times R \quad (2.13)$$

$$S_{\text{Site 3}} = \frac{3\sqrt{3} \times R^2}{2} = 2.6 \times R^2 \quad (2.14)$$

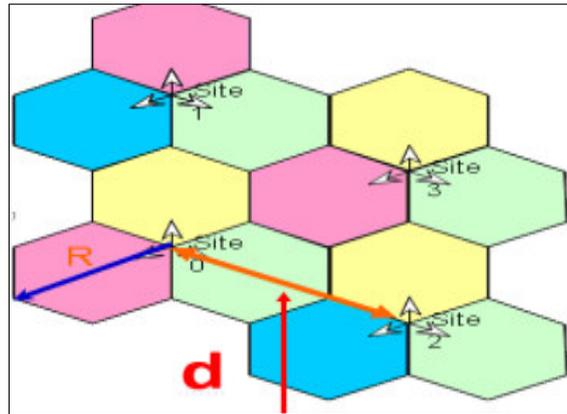


Figure II.6 : Modèle hexagonale de cellule tri-sectoriel [10].

II.2.4 Dimensionnement de capacité

Afin de satisfaire les trafics des abonnés l'étude de dimensionnement de la capacité est une étape indispensable, ce dimensionnement nous permet de trouver la capacité maximale que la cellule cible peut supporter momentanément, compte tenu de la charge du système dans les cellules environnantes.

Il est improbable que toutes les cellules d'un système soient complètement chargées en même temps que celles observées dans les réseaux réels de différentes technologies [28].

a. Calcul dimensionnement de capacité pour les Uplink

Voici les étapes à suivre lorsqu'on veut évaluer les besoins des capacités :

- Estimer le débit de cellule.
- Faire une analyse complète de la demande de trafic (répartition géographique des abonnés et leurs consommations).

Le principal indicateur de la capacité est bien la distribution SINR dans la cellule : l'augmentation du nombre d'utilisateurs augmente les interférences et le bruit ce qui diminue la couverture cellulaire et force le rayon de la cellule à devenir plus petit [28].

b. Débit de la cellule

Notre objectif est d'obtenir une estimation du nombre d'eNodeB nécessaire pour suffire à la capacité, ces derniers sont définis par les opérateurs de réseau en fonction du trafic. Le débit de la cellule est nécessaire pour calculer le nombre de sites, son équation est la suivante [28].

$$T_{Cell,L} = Q_{UL} \times R_{avg,UL} \tag{2.15}$$

Avec :

$$R_{avg,UL} = R_{RB,UL} \times (n_{RB} - n_{PUCCH} - n_{PRACH}) \tag{2.16}$$

- $T_{Cell,L}$: Débit de la cellule en lien montant.
- $R_{avg,ul}$: Débit binaire moyen de l'utilisateur par cellule en lien montant.
- Q_{UL} : La charge en lien montant.
- $R_{RB,ul}$: Débit binaire d'un seul RB pour le lien montant.
- n_{RB} : Nombre total de blocs de ressources de la bande passante.
- n_{PRACH} : Nombre de blocs des ressources attribuées aux canaux contrôle PRACH.
- $-n_{pucch}$: C'est le nombre de blocs de ressources attribués aux canaux de contrôle PUCCH illustré par la figure suivante :

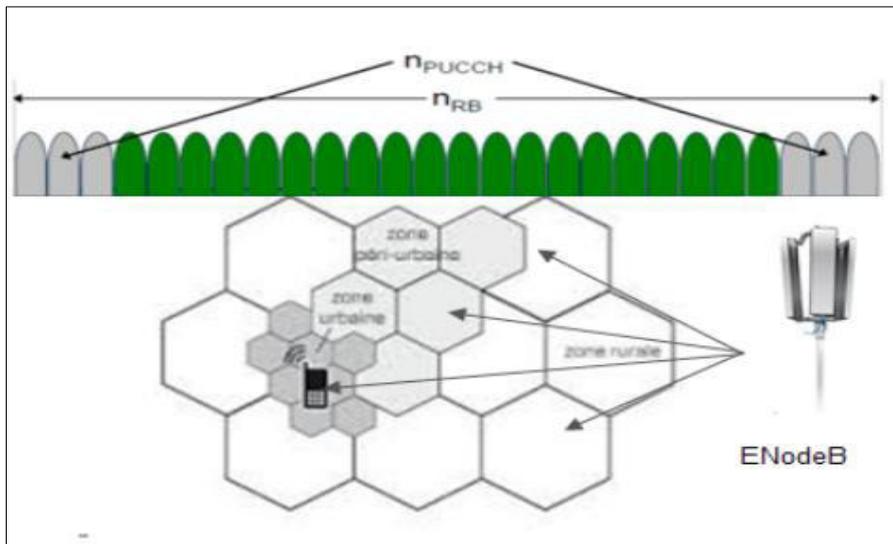


Figure II.7 : Illustration du calcul de dimensionnement de capacité [28].

c. Calcul dimensionnement de capacité down Link

La capacité de liaison descendante est basée sur le SINR à l'emplacement moyen à l'intérieur d'une cellule, et Le débit moyen de l'utilisateur par cellule est réduit proportionnellement avec le nombre des blocs de ressource. On obtient un débit de la cellule qui est présenté par l'équation suivante [28] :

$$T_{Cell,L} = Q_{DL} \times R_{avg,DL} \tag{2.17}$$

Avec :

$$R_{\text{avg,DL}} = n_{\text{RB}} \times R_{\text{RB,DL}} \quad (2.18)$$

- $T_{\text{Cell,L}}$: Débit de la cellule en lien descendant.
- $R_{\text{avg,L}}$: Débit binaire moyen de l'utilisateur par cellule en lien descendant.
- Q_{DL} : La charge en lien descendant.
- $R_{\text{RB,L}}$: Débit binaire d'un seul RB pour le lien descendant.
- n_{RB} : Nombre total de blocs de ressources de la bande passante.

d. Nombre des sites

A l'étape finale, nous allons calculer le nombre des sites à partir des deux dimensionnements précédents : Par le dimensionnement de la couverture [28] :

- Le calcul du nombre de sites (N_{Site}) devient très simple, c'est la division entre la surface de la zone à couvrir (S_{Zone}) et la surface du site (S_{Site}).

$$N_{\text{Site}} = \frac{S_{\text{Zone}}}{S_{\text{Site}}} \quad (2.19)$$

- S_{Zone} : est la surface totale de la zone, elle dépend du type de la zone à étudier.

Par le dimensionnement de la capacité :

- Le débit d'un site de N cellules devient :

$$T_{\text{Site}} = T_{\text{cell}} \times N_{\text{cellule}} \quad (2.20)$$

L'utilisateur va entrer comme des inputs le nombre des abonnés et le débit moyen de chacun, afin de calculer le nombre des sites :

$$N_{\text{site}} = \frac{T_{\text{Abonné}}}{T_{\text{site}}} \times N_{\text{Abonnés}} \quad (2.21)$$

- $T_{\text{Abonné}}$: Débit d'un usager.
- $N_{\text{Abonnés}}$: Le nombre des abonnés

II.3 MIMO

MIMO (*Multiple-Input Multiple-Output*) Cette technique fait partie de la norme 802.11n et fait référence à l'acronyme entrées multiples et sorties multiples, elle se pose comme

une solution, à la propagation par trajets multiples. La perte du signal lorsqu'il est déphasé en raison de la réflexion ou de la réfraction, plusieurs copies sont générées par rapport au signal d'origine, ce qui peut impliquer une plus grande probabilité de chemins pour transporter les informations simultanément, produisant une augmentation de l'efficacité spectrale, des performances, de la fiabilité, de la couverture dans les zones reculées, de la vitesse sans fil et une plus grande portée.

En fonction des multiples signaux obtenus à partir d'un signal d'origine, une diversité :

- Des utilisateurs.
- Du temps.
- De fréquence.
- De polarisation.
- Spatiale.

Peut être donnée. Cette dernière se référant à la diversité des antennes en émission et en réception, là où comme précédents au MIMO il y a SISO, MISO et SIMO, ce qui implique que l'intégration de plusieurs antennes dans une même station fonctionnant simultanément et avec intégration d'algorithmes de traitement du signal numérique, évite la perte de paquets d'informations assurant ainsi moins de retransmissions [22].

II.3.1 Technique de transmissions MIMO

- La diversité spatiale MIMO

Lorsque nous transmettrons simultanément un même message sur différentes antennes à l'émission. Les signaux reçus sur chacune des antennes de réception sont ensuite remis en phase et sommés de façon cohérente. Cela permet d'augmenter le rapport signal sur bruit (SINR grâce au gain de diversité) de la transmission. Pour que cette technique soit efficace, il faut que les sous canaux MIMO soient dés corrélés les uns des autres [28].

- Le multiplexage spatial MIMO

Dans cette technique chaque message est découpé en sous messages. Nous transmettant donc simultanément les sous-messages différents sur chacune des antennes d'émission. Les signaux reçus sur les antennes de réception sont réassemblés pour reformer le message entier d'origine [28].

- Le MIMO Beamforming (formation de faisceau)

Le réseau d'antennes MIMO est utilisé pour orienter et contrôler le faisceau d'onde radio (amplitude et phase du faisceau). Nous pouvons ainsi créer des lobes constructifs / destructifs et optimiser une transmission entre l'émetteur et la cible.

Les techniques de Beamforming permettent à la fois d'étendre une couverture radio (d'une station de base ou d'un point d'accès par exemple) et de limiter les interférences entre utilisateurs et la pollution électromagnétique environnante [23].

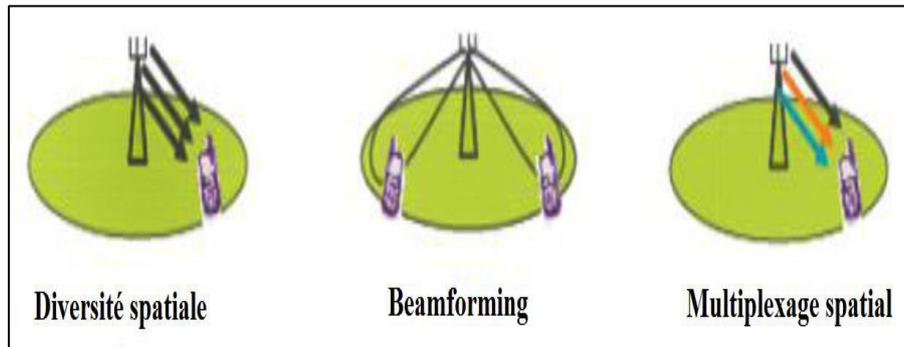


Figure II.8 : Les propriétés MIMO [23].

II.3.2 MIMO 2X2

La demande inexorable d'un volume accru de données mobiles nécessite des capacités toujours croissantes dans les réseaux de radio mobile. La mise en œuvre de fonctions MIMO d'ordre supérieur dans les réseaux radio existants augmentera les débits de données de pointe sur l'ensemble du réseau et fournira un gain de capacité supplémentaire. Les antennes de chaque site (eNodeB et UE) doivent être décorrélées pour fournir des routes indépendantes comme référence pour jusqu'à quatre canaux de données différents en même temps. Les premiers réseaux LTE offrent 2x2 fonctions MIMO avec un maximum de deux flux de données différents simultanément. Le nombre de flux de données indépendants est appelé « plage ». Ce système a deux antennes en émission et deux en réception envoie des signaux simultanément via le même canal et a la capacité de doubler le débit et donc doubler l'efficacité spectrale dans la partie émettrice [24].

II.3.3 MIMO 4X4

Il est considéré actuellement comme une approche de pointe pour améliorer les réseaux LTE existants. Quatre antennes Tx sur le site de la station de base (eNodeB) et quatre antennes Rx

sur l'équipement utilisateur (UE) sont la condition préalable. Avec de bonnes conditions radio (SINR élevé) au centre de la cellule, le MIMO 4x4 doublera le débit de données maximal car quatre flux de données indépendants sont utilisés au lieu de deux. L'intégration de quatre antennes à la fois en émission et en réception implique un plus grand nombre de voies pour un transport plus efficace des informations. Quatre flux de données simultanés seront obtenus selon le multiplexage spatial, offrant une plus grande efficacité par rapport à un système MIMO 2x2. Il utilisera le pré-codage et la formation de faisceaux comme techniques de traitement spatial, de sensibilité du récepteur et de contrôle du diagramme de rayonnement pour effectuer des transmissions multidimensionnelles [25].

La technologie MIMO améliore les performances de tout système de communication sans fil, multipliant son efficacité spectrale. Cela se traduit par les avantages suivants pour notre réseau ou appareil MIMO :

- **Débit binaire** : Le débit effectif ou débit augmente d'un facteur égal au nombre de signaux transmis en parallèle sur le même canal radio et en même temps. Les experts estiment que des débits maximums de 600 Mbps peuvent être atteints, avec un débit de 108 Mbps.
- **Efficacité spectrale** : MIMO est le seul système qui améliore l'efficacité spectrale en multipliant au moins deux fois les bits transmis par Hz. Par exemple, il est prévu que les premiers appareils MIMO pour WLAN distribueront 108Mbps dans 20MHz de spectre, ce qui fait 5,4Mbps/ MHz.
- **Nombre d'utilisateurs**. Augmenter la capacité permet d'augmenter le nombre d'utilisateurs qui pourraient se connecter simultanément à notre réseau sur le même canal de fréquence.
- **Couverture**. Grâce aux techniques de diversité, nous atteindrons de plus grandes distances sans augmenter la puissance de transmission. Avec un seul point d'accès, nous pouvons couvrir une région de l'espace plus grande qu'auparavant.
- **Fiabilité**. Augmente avec MIMO la probabilité d'erreur est plus faible.
- **Coût**. Étant donné qu'un seul point d'accès est capable de prendre en charge plus d'utilisateurs et avec la même puissance, nous améliorons sa portée, nous aurons besoin de moins d'appareils, ce qui réduira le coût de notre réseau [22].

II.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons passé en revue les concepts de base et les calculs mathématiques nécessaires pour le dimensionnement d'un réseau mobile LTE qui se divise lui-même en deux composantes principales qui sont couverture et capacité, nous avons fait un rappel sur les techniques MIMO 2x2 et 4x4 nécessaires dans notre projet. Ainsi, avec toutes ces informations utiles nous pouvons aborder l'étape phare de notre projet et qui est l'optimisation du réseau 4G LTE fixe ce ci fera l'objet du chapitre numéro 3.

Chapitre III :
Principaux critères d'optimisation pour un
réseau 4G

III.1 Introduction

Après la phase de déploiement de réseau, l'objectif principal de pré-lancement de l'optimisation est de rendre le réseau LTE fixe prêt pour la phase de commercialisation. Pour ce faire, une série de tests et méthodes de réglage doivent être effectués et répétés autant de fois que nécessaire afin de répondre à certains critères de performance. En effet, l'optimisation est l'une des principales étapes d'amélioration des performances des réseaux de télécommunications. Une telle amélioration peut concerner la couverture, la qualité du lien radio ou d'autres paramètres.

Dans ce chapitre nous allons présenter le processus d'optimisation qui permet, grâce à son cycle périodique, d'exécuter et d'élaborer les actions à entreprendre suite aux différentes analyses effectuées. Nous préciserons aussi toutes les parties prenantes du processus d'optimisation et les statistiques des KPIs (*Key Performance Indicator*).

III.2 Optimisation Radio Fréquence

III.2.1 Objectifs d'optimisation

Afin de satisfaire les clients, les opérateurs œuvrent à assurer la continuité de la délivrance des services avec une qualité optimale. Une fois le réseau actif, l'opérateur doit veiller à son bon fonctionnement. Il est nécessaire de réaliser un suivi de la QoS (*Quality of Service*) et adapter le réseau aux différentes fluctuations en vue de son amélioration et de son expansion. L'optimisation d'un réseau cellulaire est destinée principalement à résoudre des problèmes constatés après la mise en service du réseau. Le but est d'améliorer et optimiser les KPIs du réseau existant selon les exigences des KPIs sur la couverture.

III.2.2 Processus d'optimisation

Cette étape commence après la planification et l'installation des sites dans une zone géographique. Il existe donc beaucoup de paramètres variables qui doivent être constamment surveillés et corrigés lors du processus d'optimisation. Ce processus doit être effectué à des phases spécifiques en fonction de la nature et de la mise en œuvre des progrès du projet d'optimisation de réseau.

Les opérations d'optimisation sont exécutées cycliquement dans le but d'apporter des améliorations au réseau. Ce processus fait appel à plusieurs outils (voir l'annexe B) afin de

réaliser une étude globale sur le réseau et d'en ressortir les différents problèmes, ensuite essayer de trouver pour chacun la solution la plus adéquate [32].

III.2.3 Phases d'optimisation

L'optimisation RF doit être effectuée à des fins spécifiques en fonction de la nature et des progrès de la mise en œuvre du projet d'optimisation. Elle se compose des quatre phases suivantes :

1. Vérification par site

C'est la première phase d'optimisation du réseau. Elle comprend la vérification du fonctionnement de chaque nouveau site SSV (*Single Site Verification*). Le SSV a pour but de contrôler que chaque site soit correctement installé et que ses paramètres sont correctement configurés. Par ailleurs nous pouvons dire que le SSV implique l'exécution d'une méthode de vérification, où nous avons besoin de vérifier l'ensemble des KPIs qui permettent d'analyser la couverture et la qualité d'un site unique de l'eNodeB [32].

2. Optimisation par cluster

Cette phase d'optimisation démarre lorsque plus de 80% des eNodeB(s) dans un cluster ont été construits. Comme l'une des principales phases d'optimisation RF, cette phase est destinée à optimiser la couverture du signal. Précisément, elle concerne également l'optimisation de la liste des paramètres de chaque cellule. Si les KPIs obtenus après l'optimisation RF répondent aux exigences de KPIs du client, les phases d'optimisation RF se terminent [32].

3. Optimisation de tout le réseau

Cette phase débute généralement après la phase d'optimisation par cluster. Elle est destinée à rendre la couverture du signal présente sur tout le réseau en répondant aux besoins des KPI(s) liés aux tests. Cette optimisation doit être réalisée quasiment de la même manière au niveau mondial. Ses principales tâches sont les mêmes que celles de l'optimisation par cluster [32].

4. Amélioration des performances de réseau

Cette phase est destinée à améliorer le fonctionnement du réseau et la QoS en permanence. Les tâches spécifiques comprennent l'amélioration des performances de couverture, l'optimisation et le traitement des plaintes des utilisateurs [32].

III.3 Méthodes d'optimisations

Pour optimiser un réseau LTE, il est nécessaire de choisir une ou plusieurs méthodes selon le cas donné. La figure III.1 montre ces dernières :



Figure III.1 : Méthodes d'optimisation.

Parmi les méthodes utilisées, nous nous sommes intéressés, dans ce travail, à trois (03) méthodes que nous allons décrire dans la section suivante :

- Ajustement des tilts.
- Ajustement de puissance.
- Changement des équipements.

Le tilt est une inclinaison verticale du lobe principale d'une antenne, il existe deux types de tilt :

1. Tilt mécanique

Il est appliqué par une simple inclinaison physique de l'antenne dans la direction souhaitée, mais en effet l'inclinaison n'est appliquée que sur le lobe principal tandis que les lobes secondaires restent constants. Ce phénomène n'est pas pris en considération durant la planification (antérieure) du système et peut engendrer des effets indésirables comme le problème d'interférences entre sites [33].

2. Tilt électrique

Est appliqué en jouant sur une petite partie mécanique au-dessous de l'antenne, en appliquant un tilt électrique de 0° à 10° , on joue sur le déphasage des signaux dans les différents dipôles et ainsi le changement de ce paramètre est appliqué pour tous les lobes et sur tout le rayon de l'azimut sans toucher à l'inclinaison de l'antenne [34].

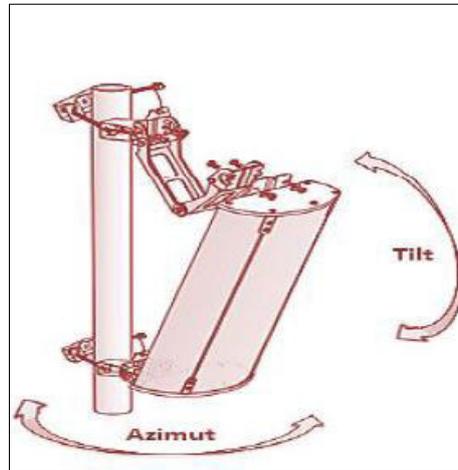


Figure III.2 : Caractéristiques d'antenne [36].

III.3.1 Ajustement de puissance

1. Définition

Le contrôle de puissance est un mécanisme qui permet de régler la puissance de transmission sur les différentes ressources de fréquences pour améliorer les performances du système. L'allocation de puissance varie d'une cellule à l'autre et elle a un impact sur le débit et la couverture. Pour cela plusieurs travaux ont été effectués pour proposer des algorithmes de contrôle de puissance qui fournissent des débits plus élevés pour les utilisateurs mobiles et améliorent la qualité de service dans les deux sens montant et descendant [34] [35][36].

2. Méthode d'ajustement de puissance

La puissance d'émission de l'eNodeB est réglée sur la base des trois paramètres : la puissance de signal de référence RS (Reference Signal), et les rapports de puissance de type P_a et P_b expliquées ci-dessous. La figure III.3 illustre ces paramètres dans l'élément de ressource.

a) Puissance de signal de référence RS :

La couverture cellulaire a une corrélation positive avec la puissance de RS. Cependant, une puissance trop élevée conduit à une couverture chevauchée et provoque des interférences pour les cellules voisines ; une puissance trop faible de RS conduit à une couverture faible (*Weak Coverage*). Une puissance élevée des RS(s) apporte une estimation plus précise du canal mais aussi une diminution de la capacité du système à cause des faibles puissances pour les canaux de transmissions de données. Par conséquent, régler la puissance des RS(s) sur la base du compromis entre la capacité et la couverture permet une efficacité de l'estimation de canal et la suppression des interférences. La plage des valeurs RS est présentée [-60 50] en dBm, [35] [38][39].

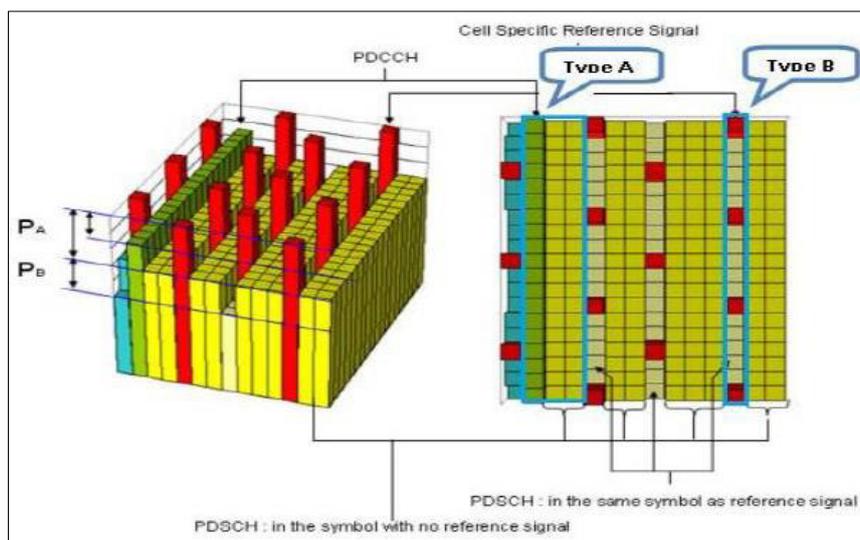


Figure III.3 : Distribution de puissance [35].

b) Rapport de puissance de type Pa

P_a est le rapport entre la puissance du symbole de type A (la sous-porteuse de données sans RS) et la puissance du symbole RS (voir figure III.4). La plage de valeurs de P_a (dB) est [-6, -4,77, -3, -1,77, 0, 1,2, 3] varient pour la puissance de différentes RS. [35] [38].

c) Rapport de puissance de type Pb

P_b est le rapport entre la puissance du symbole de type B (la sous-porteuse de données avec RS) et la puissance du symbole de type A (voir figure III.5). P_b est une valeur linéaire dans la gamme de [0, 1, 2, 3] [35] [38].

Une grande valeur de P_b indique une forte augmentation de la puissance de RS à la valeur initiale, et réduit la puissance d'émission de PDSCH (Physical Down Link Shared Channel) de type B. Pour maintenir l'équilibre de puissance entre les symboles OFDM de type A et type B du PDSCH, P_b est déterminé en fonction de la configuration d'antenne, puissance de RS [34].

III.4 Paramètres D'analyses D'un Réseau LTE

III.4.1 Les KPI (*Key Performance Indicator*)

Les indicateurs clés de performance KPI(s) (*Key Performance Indicators*), correspondent aux mesures donnant des informations sur les performances du réseau. Ils permettent d'optimiser le réseau et à l'opérateur mobile d'analyser les événements qui établissent un bon ou un dysfonctionnement des services que le fournisseur fournit à l'utilisateur via le réseau [46].

1. Débit

Le débit (*throughput*) fait référence à la capacité du système sur la quantité totale de bits de données par unité de temps, qui est transmis sur un lien direct. Et il détermine l'efficacité et la vitesse de transmission d'un réseau que l'utilisateur reçoit. Pour un service de téléphonie, le débit en DL est considéré comme une livraison de paquet de données à l'utilisateur sur une liaison logique à partir de l'eNodeB. Ce paramètre détermine l'efficacité du débit de transmission des données.

2. Le SINR (*Signal to Noise and Interference Radio*)

C'est le rapport signal sur interférence plus bruit. C'est une quantité utilisée pour donner des limites supérieures théoriques sur la capacité du canal [42]. Le SINR est très utilisé par les opérateurs et l'industrie du LTE en général, car elle quantifie mieux la relation entre les conditions radio fréquence et le débit [16].

La SINR est défini comme suit :

$$\text{SINR} = \frac{S}{I+N} \quad (3.1)$$

- S: indique la puissance des signaux utilisables mesurés.

- I : indique la puissance des signaux mesurés ou des signaux d'interférence de canal à partir d'autres cellules du système actuel.

- N : indique le bruit de fond, qui est lié à des bandes passantes et aux coefficients de bruit du récepteur.

3. CQI (*Channel Quality Indicator*)

Indicateur de Qualité du Canal détermine l'état du canal de communication et dépend de la valeur SINR, c'est un paramètre d'information de contrôle établi par la station de base et sur la base de cette valeur, le type de modulation et le débit de code utilisé pour la transmission sont sélectionnés pour notifier ultérieurement l'UE. La valeur estimée du CQI à LTE est de 14 ou 15 [44].

CQI index	modulation	code rate x 1024	efficiency
0	out of range		
1	QPSK	78	0.1523
2	QPSK	120	0.2344
3	QPSK	193	0.3770
4	QPSK	308	0.6016
5	QPSK	449	0.8770
6	QPSK	602	1.1758
7	16QAM	378	1.4766
8	16QAM	490	1.9141
9	16QAM	616	2.4063
10	64QAM	466	2.7305
11	64QAM	567	3.3223
12	64QAM	666	3.9023
13	64QAM	772	4.5234
14	64QAM	873	5.1152
15	64QAM	948	5.5547

Tableau III.1 : Modulation en fonction des valeurs de CQI.

4. PCI (*ID de cellule physique*)

C'est un identifiant de la cellule pour établir le secteur dans lequel l'UE reçoit le signal l'eNodeB. Il peut avoir une valeur comprise entre 0 et 503, l'allocation correcte du PCI dans une station évite les collisions, les appels interrompus et l'optimisation des ressources du réseau.

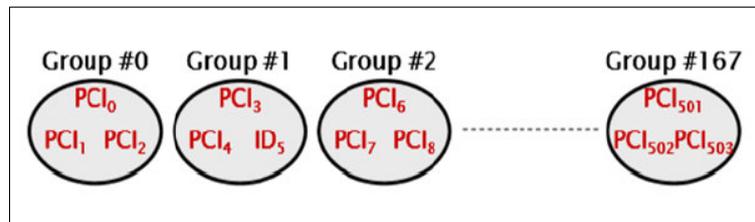


Figure III.6 : Les groupes de PCIS.

Le PCI est utilisé pour identifier les signaux de synchronisations : PSS (Primary Synchronization Signal) et SSS (Secondary Synchronization Signal), pour calculer le PCI de chaque cellule par la formule suivante [40] :

$$PCI = 3 \times SSS + PSS \quad (3.2)$$

Le PSS est détecté pour déduire le numéro de la cellule (0 à 2) et le SSS est détecté afin d'acquérir le numéro du groupe (0 à 167). L'intervalle de temps entre PSS et SSS fournit le mode de duplexage de la cellule (FDD ou TDD), ainsi que la durée du préfixe cyclique (CP). Les figures II.7 et II.8 représentent la synchronisation temporelle des modes FDD et TDD respectivement [40].

- Règles de planification PCI

Les différentes règles de planification PCI sont les suivants :

- Les 504 [0 503] valeurs différentes de PCI doivent être réutilisées dans la zone de couverture et doivent être suffisamment isolé pour éviter la duplication de la valeur PCI dans les secteurs voisins. Pour cela la distance de réutilisation doit être très large pour éviter toutes interférences.

Dans le cas de multiples antennes, les cellules avec les même $PCI \bmod 3$ ne doit pas être planifié en face de l'autre [41].

5. Le RSSI (*Received Signal Strength Indication*)

C'est l'indicateur de la puissance de signal reçu. C'est la mesure de la puissance totale moyenne reçue sur une antenne de réception, le RSSI inclut la puissance des cellules desservant et non desservant le canal, le bruit dans le canal adjacent, le bruit thermique...etc. En LTE les valeurs usuelles de *RSSI* pour un terminal varient de -30 dBm à -140 dBm [42].

6. Le RSRP (*Reference Signal Receive Power*)

Le signal de référence de la puissance reçue est un type de mesure RSSI en terme simple, le RSRP mesure uniquement la partie utilisable de signal ce qui fait une mesure plus précise que le RSSI car il exclut les interférences et le bruit. Sa valeur sera normalement inférieure à environ -20dB que le RSSI.

Le RSRP est le principal paramètre utilisé pour classer les différentes cellules candidats en fonction de la force de leur signal. Cette mesure s'exprime en *mW* ou en *dBm* et est comprise entre -140 dBm à -44 dBm elle est déterminée à partir de la distribution des signaux sur l'ensemble du réseau, En général la valeur *RSRP* à proximité d'une cellule est de -85 dBm , de -95 dBm au milieu d'une cellule et de -105 dBm au bord d'une cellule [42] [43].

7. LE RSRQ (*Reference Signal Receive Quality*)

La qualité de signal de référence reçu RSRQ indique la qualité de signal de référence reçu utilisée comme une information supplémentaire pour prendre une décision fiable de transfert ou de sélection des cellules lorsque le RSRP n'est pas suffisant [42].

$$\text{RSRQ} = 10 \times \log\left(N \times \frac{\text{RSSP}}{\text{RSSI}}\right) \quad (3.3)$$

Avec N : étant le nombre de ressource block.

8. RI (*Rank Indicator*)

C'est un indicateur de portée de l'eNodB, dans la partie émission de données de la liaison descendante, qui établit les modes de transmission et le multiplexage spatial pour l'UE et détermine le fonctionnement des antennes. Habituellement en LTE, le système est réglé sur le mode de transmission 3 (TM3) [33].

III.5 Conclusion

Dans ce chapitre Nous avons passé en revue le processus d'optimisation radio fréquence en LTE, particulièrement la LTE fixe qui est notre domaine d'investigation. Nous avons relaté la notion des clés de performances et comment ils sont définis en introduisant les différentes classes des KPIs et la définition de chacune d'elle dans le processus d'optimisation. Nous

signalons que les ingénieurs radio sont confrontés à différents types de problèmes tels que ceux de la couverture, l'accessibilité et le handover...etc.

Le chapitre suivant, qui fait office de la partie pratique de notre travail de recherche, sera consacré à la partie d'analyse et d'optimisation des performances du réseau LTE fixe.

CHAPITRE IV :
Analyses et Optimisations des performances
d'un réseau LTE

IV.1 Introduction

Ce chapitre sera dédié au basculement que nous avons étudié, il s'agit d'un réseau 4G LTE basé sur la technique MIMO 2*2 vers un réseau MIMO 4*4.

Nous avons donc étudié un cas réel de planification et optimisation de deux sites situés dans la région de Sidi Bel Abbès, Pour Atteindre nos objectifs nous avons procédé par l'analyse des fichiers logs, récolté lors d'un drive test, à l'aide de logiciel « Genex Assistant » afin de détecter les problèmes dans les sites candidats. Ensuite nous avons proposée des modifications (Actions) pour les appliquer sur OSSU2000.

IV.2 Avantages d'un réseau MIMO4x4 par rapport MIMO2x2

Le déploiement d'un réseau MIMO4x4 au lieu de MIMO2x2 permet d'augmenter les débits de transmission (grâce au gain de multiplexage). Impliquent un plus grand nombre de voies pour transporter les informations d'une manière plus efficace. Nous obtiendrons donc quatre flux de données simultanées selon le multiplexage spatial, offrant une plus grande efficacité par rapport à un système MIMO2x2 avec un maximum de deux flux de données différents simultanément.

Une transmission simultanée du même message sur différentes antennes à l'émission permet d'augmenter le ratio signal sur bruit (grâce au gain de diversité) de la transmission, Les signaux reçus sur chacune des antennes de réception sont ensuite remis en phase et sommés de façon cohérente. L'utilisation de la diversité spatiale en MIMO4x4 permettrait une augmentation de la portée.

IV.3 Planification des sites

1. Choix des sites

D'abord nous avons commencé par l'étape de choix des sites, qui est primordiale pour la réalisation de notre étude, cette dernière se fait à partir d'une configuration théorique donnée et en fonction de la géographie de la zone à étudier et des caractéristiques spécifiques comme le nombre d'utilisateurs.

Nous avons choisi deux sites qui se situent dans la région de Sidi Bel Abbès. Le premier site c'est une zone industrielle qui contient un nombre important d'utilisateurs, Ces derniers ont en effet des obligations de couverture spécifiques qui constituent une zone de déploiement prioritaire.

Le deuxième site nommé CCLT se caractérise avec sa forte densité de population qui est parmi les principaux critères d'un choix de site.

2. Présentation de logiciel de planification ATOLL

Atoll est un outil de planification et d'optimisation qui supporte différentes technologies telles que le GSM, le GPRS, l'EDGE, l'UMTS et LTE. C'est un logiciel de dimensionnement, planification, prédiction et couverture des réseaux cellulaires qui peut être utilisé sur tout le cycle de vie des réseaux. L'outil possède plusieurs fonctionnalités et modules permettant d'exécuter les tâches suivantes :

1. Créer et configurer un réseau.
2. Ajouter et modifier des sites.
3. Configurer un plan de fréquences.
4. Utiliser des modèles de propagation pour générer des couvertures.
5. Prédire la couverture d'un site dans un environnement donné.

3. Simulation des sites

Nous avons d'abord créé notre premier site ZI (ZONE INDUSTRIELLE) Sidi Bel Abbas en entrant ses coordonnées GPS (longitude altitudes).

Nom	Longitude	Latitude	Altitude (m)	Commentaires	Hauteur du support (m)	Débit max interface S1 (DL) (Mbps)	Débit max interface S1 (UL) (Mbps)	Type de site
SITE ATM 43664 RAS EL BIR S.MEROUANE	6,24067	36,50277	4541	ZTE	50	950 000	950 000	
Site client - sid Ahmed wila	-0,184687922	33,008613655	1120		50	950 000	950 000	
Site namra kesdir	-1,41686013	33,71870347	862		50	950 000	950 000	
SITE MOBILES COUDRANE	4,55288	36,33968	1599		50	950 000	950 000	
SITE MOBILES EL KEDIR	4,837999	36,68063	1466		50	950 000	950 000	
Site redjemet wila	-0,118793547	32,839997925	11 079		50	950 000	950 000	
SIM COUVR ATM	3,734368444	34,89697778	11 106		50	950 000	950 000	
SOUAÏBA	4,66882	35,59288	915		50	950 000	950 000	
SOUK EL TENINE RELAIS TDA	5,34019	36,62706	138		50	950 000	950 000	
Souk Ahmed KES Boudra	3,623714	36,29125	2040	NSN	24	950 000	950 000	
SOUR EL GHOUANE	3,68883	36,14766	874		20	950 000	950 000	
SU Drouar Laabaisse	3,310308	35,784219	1531		50	950 000	950 000	
Tafraout medjana	4,908472	36,53283	1 665		50	950 000	950 000	
Takembout	4,3448806	36,421114	9239	NSN	23	950 000	950 000	
TAKOURA	5,33619	36,30532	1 239		50	950 000	950 000	
TAKROUT	3,64832	36,56621	1907		20	950 000	950 000	
TALAHLOU	3,58981	36,42637	894		20	950 000	950 000	
TALAHINE	4,02222	36,23484	857		20	950 000	950 000	
Taoura	3,040203	36,140583	1088	ZTE	18	950 000	950 000	
tarraff	8,29997	36,5945	437		25	950 000	950 000	
TARBOURNET ATM	4,276693	35,83517	845		50	950 000	950 000	
Tassart	6,063121	36,536278	905	ZTE	50	950 000	950 000	
TBRACOURNE ANNEXE APC	6,458637	35,37822	1 497		50	950 000	950 000	
Tighit Bouake	4,491133	36,75607	956		50	950 000	950 000	
Tighem	4,187343	36,340018	1671	NSN	15	950 000	950 000	
Tigraouine 2	4,4609	36,60567	1446		50	950 000	950 000	
Tirraouine	4,28221	36,31436	164		20	950 000	950 000	
Tindaghphone	3,5467	32,32053333	534		25	950 000	950 000	
TIZI MAED SITE MOBILES	5,14616	36,19315	1275		50	950 000	950 000	
Tu, Tighout	4,48105	36,738717	799		50	950 000	950 000	
teou Aia	1,41371	36,28375	1099		25	950 000	950 000	
URAL, Oued Endja	6,118142	36,432875	1738	ZTE	50	950 000	950 000	
URAD ACOURA	8,039411111	36,1668856	852	ZTE	20	950 000	950 000	
URAD Tighma	6,355162	36,118013	1747	ZTE	50	950 000	950 000	
VILLAGE - PARCOLE SIDI BHAMMED Annexe A	4,29573	34,84546	841		50	950 000	950 000	
WALI SIDALI BELDIBALI	3,37198	36,376286	851		25	950 000	950 000	
Zafra	4,838897122	33,03783833	808		50	950 000	950 000	
Zghalia	4,17469	36,478813	1550	ZTE	50	950 000	950 000	
Zouira	5,937131	36,40271	896		25	950 000	950 000	
ZONE INDUSTRIELLE	-0,563878	35,18443	489		50	950 000	950 000	

Figure IV.1 : création des sites.

Puis nous avons créé nos 3secteurs en configurant leurs paramètres :

L'azimut : 90°, 240°, 350°

La hauteur HBA : 18 mètres

Tilt électrique 4°.

Tilte mécanique 0°.

Nombre de ports d'antennes : Emission 2, Réception 2

Modèle de propagation : Cost-Hata for LTE

Le rayon de calcul principal : 10 000 m

Site	Emetteur	Activé	Type d'émetteur	Antenne	DX (m)
Timdaghmine	Timdaghmine_1	✓	Intra-réseau (émetteur et brouilleur)	65deg 17dbi 4TIR 1800MHz	
Timdaghmine	Timdaghmine_2	✓	Intra-réseau (émetteur et brouilleur)	65deg 17dbi 4TIR 1800MHz	
Timdaghmine	Timdaghmine_3	✓	Intra-réseau (émetteur et brouilleur)	65deg 17dbi 4TIR 1800MHz	
TIZI HMED SITE MOEBILIS	TIZI HMED SITE MOEBILIS_1	✓	Intra-réseau (émetteur et brouilleur)	65deg 17dbi 4TIR 1800MHz	
TIZI HMED SITE MOEBILIS	TIZI HMED SITE MOEBILIS_2	✓	Intra-réseau (émetteur et brouilleur)	65deg 17dbi 4TIR 1800MHz	
TIZI HMED SITE MOEBILIS	TIZI HMED SITE MOEBILIS_3	✓	Intra-réseau (émetteur et brouilleur)	65deg 17dbi 4TIR 1800MHz	
Touafine	Touafine_1	✓	Intra-réseau (émetteur et brouilleur)	65deg 17dbi 4TIR 1800MHz	
Touafine	Touafine_2	✓	Intra-réseau (émetteur et brouilleur)	65deg 17dbi 4TIR 1800MHz	
Touafine	Touafine_3	✓	Intra-réseau (émetteur et brouilleur)	65deg 17dbi 4TIR 1800MHz	
URAD Oued Endja	URAD Oued Endja_1	✓	Intra-réseau (émetteur et brouilleur)	65deg 17dbi 4TIR 1800MHz	
URAD Oued Endja	URAD Oued Endja_2	✓	Intra-réseau (émetteur et brouilleur)	65deg 17dbi 4TIR 1800MHz	
URAD Oued Endja	URAD Oued Endja_3	✓	Intra-réseau (émetteur et brouilleur)	65deg 17dbi 4TIR 1800MHz	
URAD TAOURA	URAD TAOURA_1	✓	Intra-réseau (émetteur et brouilleur)	65deg 17dbi 4TIR 1800MHz	
URAD TAOURA	URAD TAOURA_2	✓	Intra-réseau (émetteur et brouilleur)	65deg 17dbi 4TIR 1800MHz	
URAD TAOURA	URAD TAOURA_3	✓	Intra-réseau (émetteur et brouilleur)	65deg 17dbi 4TIR 1800MHz	
URAD Telaghma	URAD Telaghma_1	✓	Intra-réseau (émetteur et brouilleur)	65deg 17dbi 4TIR 1800MHz	
URAD Telaghma	URAD Telaghma_2	✓	Intra-réseau (émetteur et brouilleur)	65deg 17dbi 4TIR 1800MHz	
URAD Telaghma	URAD Telaghma_3	✓	Intra-réseau (émetteur et brouilleur)	65deg 17dbi 4TIR 1800MHz	
VILLAGE AGRICOLE SIDI MHAMED Anne	VILLAGE AGRICOLE SIDI MHAMED Anne	✓	Intra-réseau (émetteur et brouilleur)	65deg 17dbi 4TIR 1800MHz	
VILLAGE AGRICOLE SIDI MHAMED Anne	VILLAGE AGRICOLE SIDI MHAMED Anne	✓	Intra-réseau (émetteur et brouilleur)	65deg 17dbi 4TIR 1800MHz	
VILLAGE AGRICOLE SIDI MHAMED Anne	VILLAGE AGRICOLE SIDI MHAMED Anne	✓	Intra-réseau (émetteur et brouilleur)	65deg 17dbi 4TIR 1800MHz	
WIL SEBAÏ BELDIBALAI	WIL SEBAÏ BELDIBALAI_1	✓	Intra-réseau (émetteur et brouilleur)	65deg 17dbi 4TIR 1800MHz	
WIL SEBAÏ BELDIBALAI	WIL SEBAÏ BELDIBALAI_2	✓	Intra-réseau (émetteur et brouilleur)	65deg 17dbi 4TIR 1800MHz	
WIL SEBAÏ BELDIBALAI	WIL SEBAÏ BELDIBALAI_3	✓	Intra-réseau (émetteur et brouilleur)	65deg 17dbi 4TIR 1800MHz	
Zafaf	Zafaf_1	✓	Intra-réseau (émetteur et brouilleur)	65deg 17dbi 4TIR 1800MHz	
Zafaf	Zafaf_2	✓	Intra-réseau (émetteur et brouilleur)	65deg 17dbi 4TIR 1800MHz	
Zafaf	Zafaf_3	✓	Intra-réseau (émetteur et brouilleur)	65deg 17dbi 4TIR 1800MHz	
Zephah	Zephah_1	✓	Intra-réseau (émetteur et brouilleur)	65deg 17dbi 4TIR 1800MHz	
Zephah	Zephah_2	✓	Intra-réseau (émetteur et brouilleur)	65deg 17dbi 4TIR 1800MHz	
Zephah	Zephah_3	✓	Intra-réseau (émetteur et brouilleur)	65deg 17dbi 4TIR 1800MHz	
Zemra	Zemra_1	✓	Intra-réseau (émetteur et brouilleur)	65deg 17dbi 4TIR 1800MHz	
Zemra	Zemra_2	✓	Intra-réseau (émetteur et brouilleur)	65deg 17dbi 4TIR 1800MHz	
Zemra	Zemra_3	✓	Intra-réseau (émetteur et brouilleur)	65deg 17dbi 4TIR 1800MHz	
ZONENINDUSTRIELLE	ZONENINDUSTRIELLE_1	✓	Intra-réseau (émetteur et brouilleur)	65deg 17dbi 4TIR 1800MHz	
ZONENINDUSTRIELLE	ZONENINDUSTRIELLE_2	✓	Intra-réseau (émetteur et brouilleur)	65deg 17dbi 4TIR 1800MHz	
ZONENINDUSTRIELLE	ZONENINDUSTRIELLE_3	✓	Intra-réseau (émetteur et brouilleur)	65deg 17dbi 4TIR 1800MHz	

Figure IV.2 : création des 3 secteurs.

Puis nous allons sur la carte en sélectionnant le site ZI, nous cliquons deux fois sur l'émetteur du site ainsi sur l'onglet émetteur qui permettra de choisir le modèle d'antenne 65deg17dbi0Tilt1800MHz.

Sur la même fenêtre et précisément sur l'onglet cellules nous choisissons la bande de fréquence associée à 20MHz, la puissance max 46 dBm 40 watt, et nous vérifions les autres paramètres restant comme le montre les figures IV.3 et IV.4.

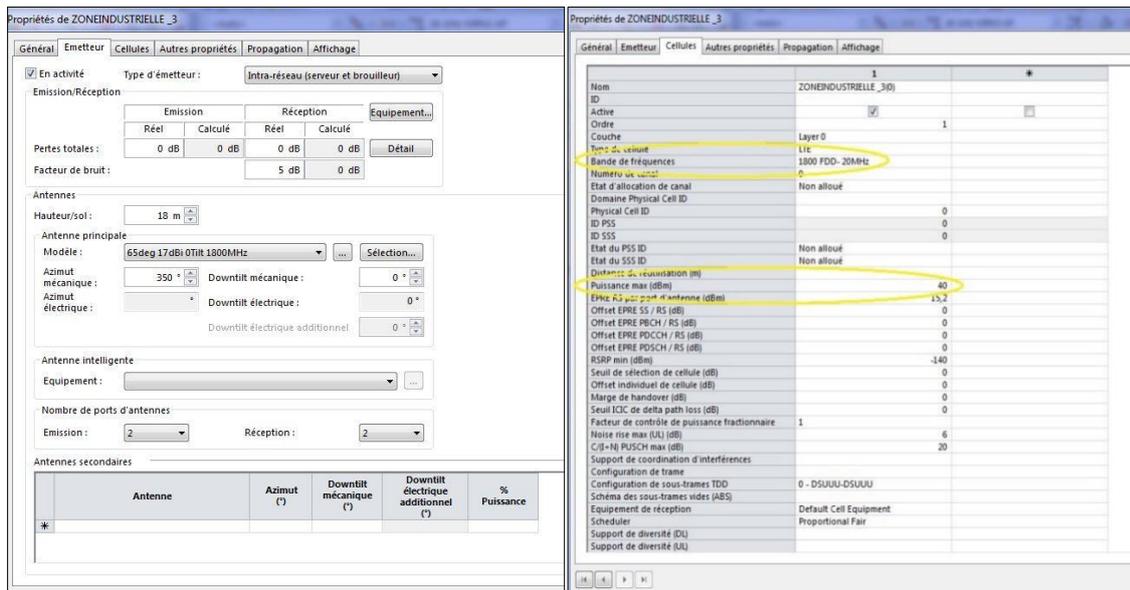


Figure IV.3 : configuration de modèle de l'antenne, la bande passante et la puissance de secteur 1.

Dans cette partie nous allons vers « prédiction » pour lancer la simulation.

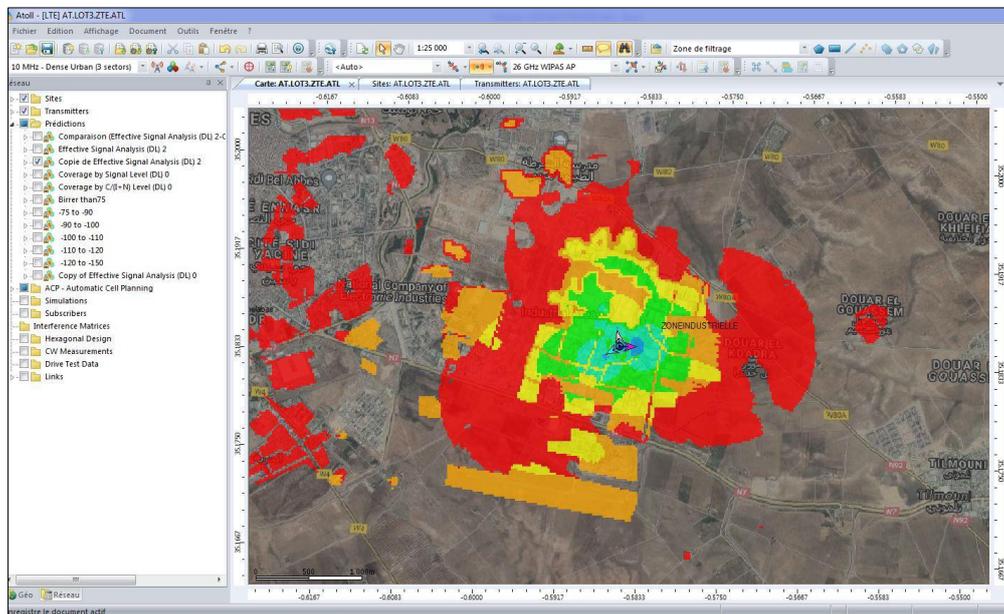


Figure IV.4 : simulation de site ZI

Nous appliquant les mêmes étapes pour créer le deuxième site (CCLT sidi BelAbbes) avec la modification des paramètres suivantes :

L'azimut : 75°, 180°, 325°

La hauteur HBA : 18 mètres

Tilt électrique 4°.

Tilt mécanique 0°.

Nombre de ports d'antennes : Emission 2, Réception 2

Modèle de propagation : Cost-Hata for LTE

Le rayon de calcul principal : 10 000 m

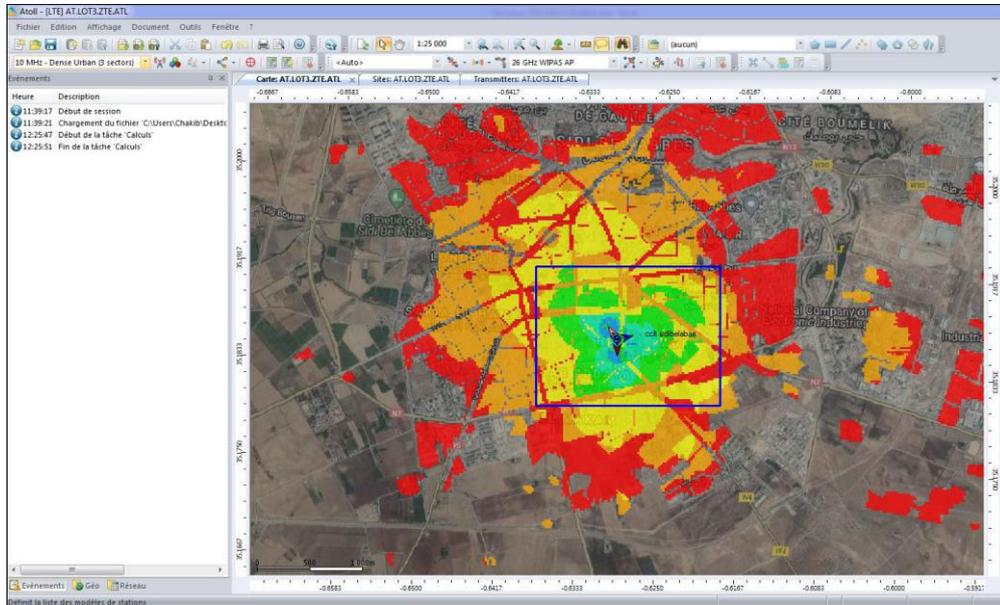


Figure IV.5: simulation de site CCLT.

Après la validation des deux sites nous avons passé à l'étape suivante qui consiste au drive test.

IV.4 Drive test

Un drive test est une méthode de collecte des mesures et des données transférées entre l'utilisateur et l'eNodeB, l'objectif principale est l'analyse des performances après installation et intégration d'un nouveau site par une mesure appelée SSV (single site verification), aussi le drive test est la meilleure façon pour analyser l'expérience utilisateur sur une zone, les données collectées (fichiers logs) vont être par la suite interprétées par un outil de reporting, ex : Genex Assistant, les résultats affichés par l'outil nous permettent d'analyser le niveau et la qualité de signal ou plus précisément une trace de mesure effectuée par le mobile à différents moments.

Il s'effectue à travers le logiciel Genex Cloud (voir Annexe A) et à l'aide de l'application PHU (Probe Handset Unit) qui représente un téléphone mobile de test d'interface radio pour GSM, UMTS, LTE et WLAN. L'outil affiche des informations et KPI en temps réel. Il est portable, puissant dans ses fonctions et facile à utiliser.

Pour plus de détails concernant les étapes d'activation du Drive test voir (Annexe A).

IV.5 Analyse des logs MIMO2x2

1. Analyse des logs MIMO 2x2 (site ZONE INDUSTRIELLE)

- **Genex Assistant :**

Est un logiciel d'analyse des fichiers logs de Drive Test, il est utilisé pour analyser des données collectées sur les réseaux GSM, WCDMA, CDMA et les réseaux LTE. Genex Assistant peut également générer des rapports des indicateurs de performance de réseau pour répondre aux besoins d'analyse de réseau. Les rapports de performance générés reflètent effectivement l'état de fonctionnement des réseaux et fournissent des lignes directrices pour la vérification du réseau, l'évaluation du réseau, l'optimisation du réseau, et la localisation des défauts. Par conséquent, les rapports de test aident les ingénieurs à localiser rapidement les problèmes de réseau, et améliorer l'efficacité du travail.

Les figures suivantes montrent la distribution de quatre paramètres (RSRP, SINR, DEBIT, RI) prise par Genex Assistant dans notre premier site (ZI) avant le basculement.

- **Niveau de RSRP avant le basculement**

La figure IV.6 indique le niveau RSRP reçu par le mobile le long de la route, où cinq niveaux sont spécifiés sous forme de légende en tant que plage RSRP sur le côté droit de l'image, chacun étant indiqué par une couleur différente. Où la couleur verte dans la plage de [-30,-70] représente les meilleures valeurs et la couleur rouge les valeurs avec les sections les plus dégradées.

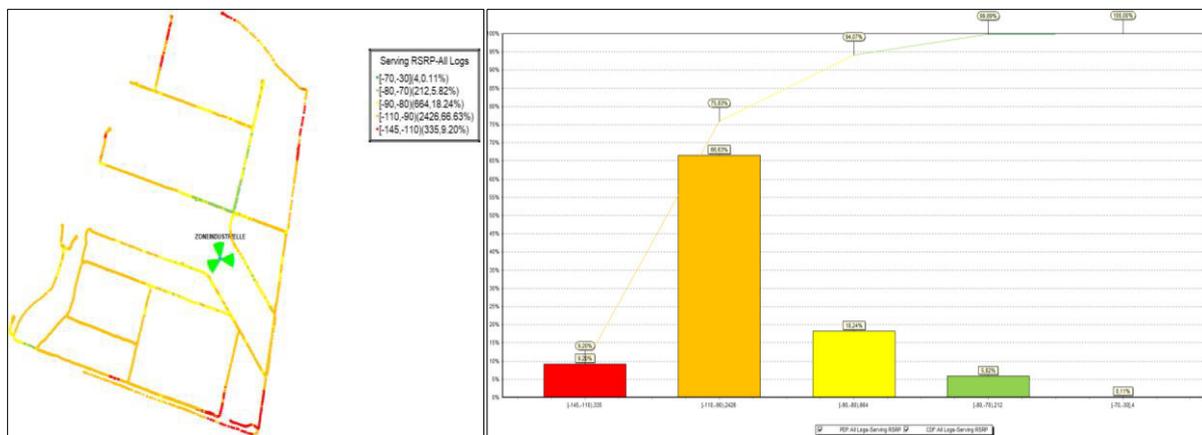


Figure IV.6 : distribution du paramètre avant le basculement pour le site ZI.

Le tableau ci-dessous fait référence au nombre exact d'échantillons obtenus selon la visualisation de la figure IV.6. Ces données ont été obtenues à partir du logiciel Genex Assistant et sont également décrites en pourcentage dans le tableau IV.1.

Il est établi qu'un bon niveau de RSRP correspond à une valeur supérieure à -90 dBm, selon le tableau IV.1 en jaune il remplit cette condition de bonne réception pour 664 échantillons avec 18,24% et un niveau plus dégradé de RSRP visualisé par une couleur rouge pour 335 échantillons avec un 9,20%.

RSRP (dBm)	Valeurs					
		-30 a -70	-70 a -80	-80 a -90	-90 a -110	-110 a -145
	Nombre D'échantillon	4	212	664	2426	335
	Pourcentages	0.11 %	5.82 %	18.24 %	66.63 %	9.20 %

Tableau IV.1 : pourcentage de RSRP avant le basculement pour le site ZI.

• Niveau de SINR avant le basculement

Dans la partie inférieure droite de la figure IV.7, la couleur des légendes établies pour le KPI SINR est précisée où l'on en déduit qu'une bonne valeur de SINR doit être supérieure à 17dB, cependant, le long du parcours, des valeurs inférieures à celles attendus sont également enregistrés. Plus la valeur SINR est élevée, meilleure est la qualité du signal.

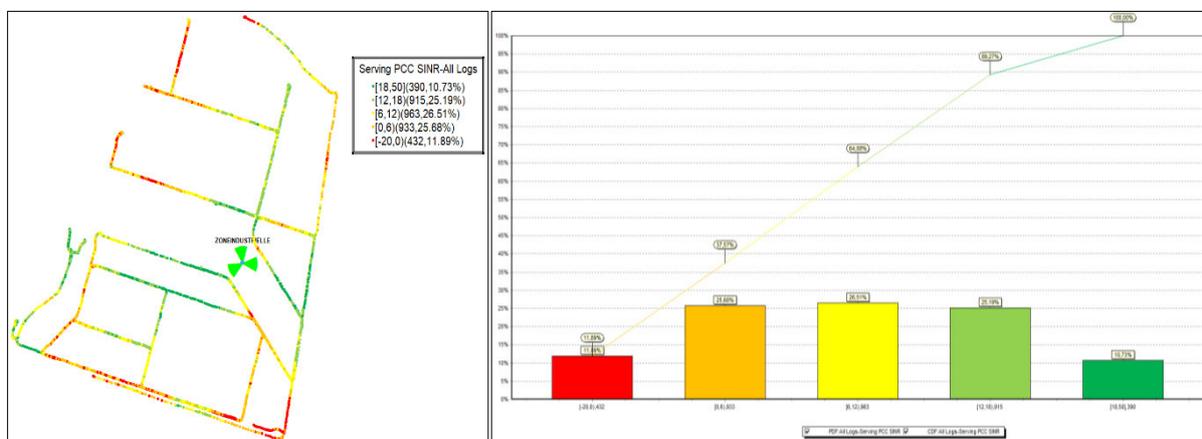


Figure IV.7 : distribution du SINR avant le basculement pour le site ZI.

Le tableau IV.2 reflète le nombre d'échantillons obtenus par rapport au niveau SINR. Nous avons remarqué que le pourcentage de 10,73 % est atteint avec 390 échantillons, illustré en

vert notamment dans la figure IV.7. Un enregistrement inférieur à 0 dB représenté en rouge avec 432 échantillons dont le pourcentage 11,89% a été constaté, ce qui implique une très faible vitesse de connexion dans cette section, qui veut dire dans cette réception il y a plus de bruit qu'une partie utile de signal, qui va causer une perte de connexion LTE.

SINR (dBm)	Valeurs	50 à 18	18 à 12	12 à 6	6 à 0	0 à -20
		Nombre D'échantillon	390	915	963	933
	Pourcentages	10.73 %	25.19 %	26.51 %	25.68 %	11.89 %

Tableau IV.2: pourcentage de SINR avant le basculement pour le site ZI.

- Niveau de Débit avant le basculement

La figure suivante représente le débit pour la liaison descendante obtenue pour le premier site ZI dont la moyenne est de 10,92Mbps.

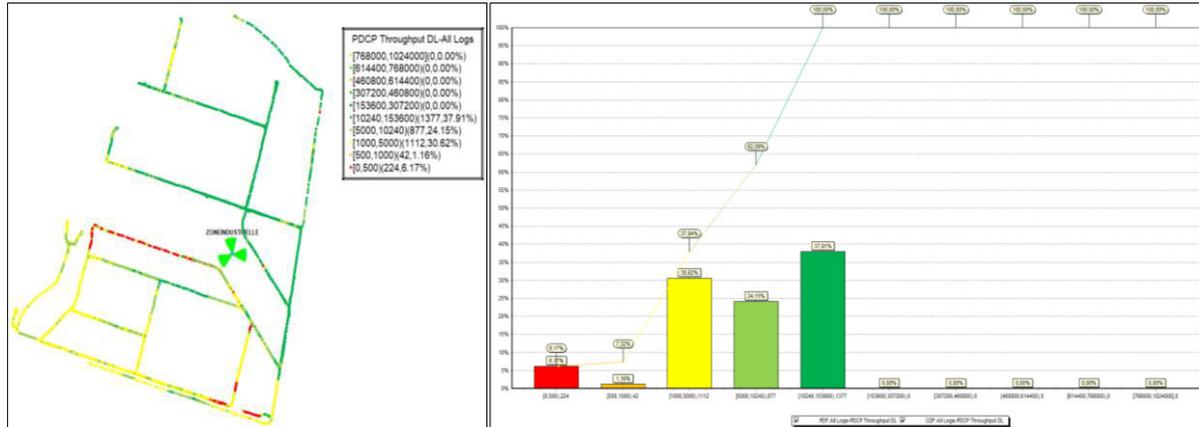


Figure IV.8: distributions du débit avant le basculement pour le site ZI.

- RI avant le basculement

Pour l'indicateur de Rank, les valeurs sont calculées par les UE et signalées à l'eNodeB via le canal de liaison montante. Nous remarquons d'après la figure IV.9 donc un bon pourcentage de Rank 2 MIMO2x2 avec 75,18% et une absence de MIMO(SISO) avec un pourcentage 24,82%.

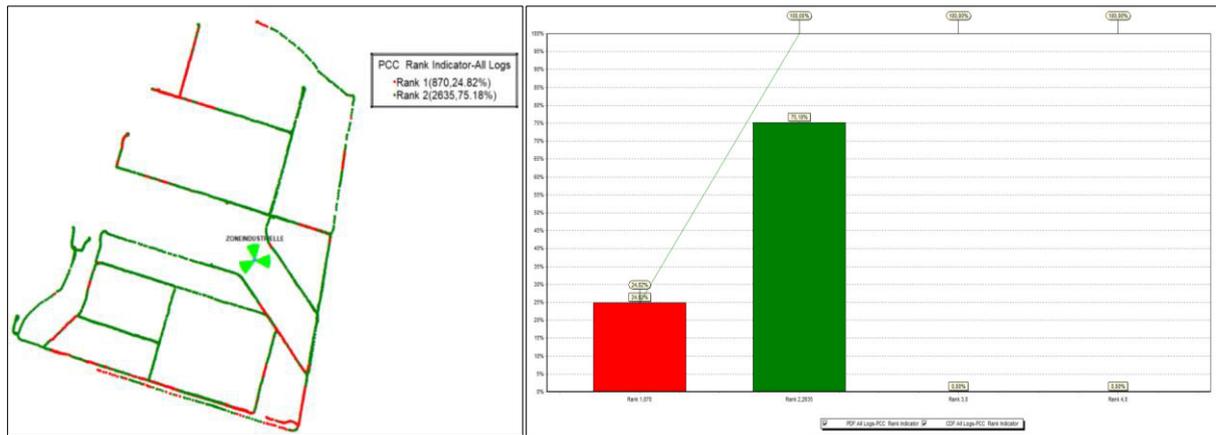


Figure IV.9 : distribution de Rank Indicateur MIMO2x2 pour ZI.

2. Analyse des logs MIMO2x2 (site CCLT)

Voici les figures qui représentent la distribution des paramètres RSRP, SINR et Le débit dans notre deuxième site CCLT.

- **Niveau RSRP avant le basculement**

Dans ce site nous observons selon la figure IV.10 et le tableau IV.3 la couleur en jaune est de bonne réception pour 1258 échantillons avec 35,83%, et un niveau plus dégradé de RSRP visualisé par une couleur rouge pour 25 échantillons avec un 0,71%.

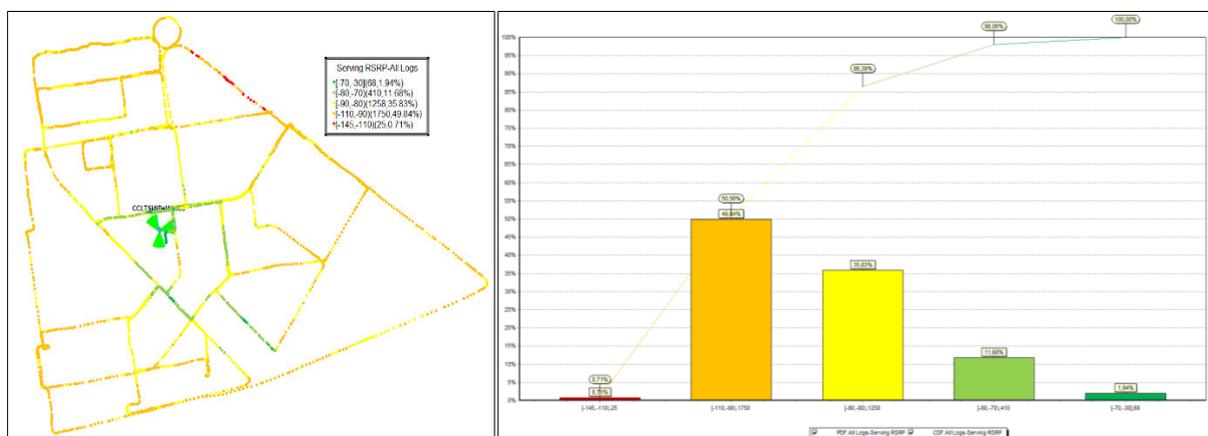


Figure IV.10: distribution du paramètre RSRP avant le basculement pour le site CCLT.

RSRP (dBm)	Valeurs	-30 a -70	-70 a -80	-80 a -90	-90 a -110	-110 a -145
	Nombre D'échantillon	68	410	1258	1750	25
	Pourcentages	1.94 %	11.68 %	35.83 %	49.84 %	0.71 %

Tableau IV.3 : pourcentage de RSRP avant le basculement pour le site CCLT

• Niveau de SINR avant le basculement

Le tableau IV.4 représente le nombre d'échantillons obtenus par rapport au niveau SINR relative au deuxième site, nous remarquons un pourcentage de 1,31 % dans 46 échantillons illustré en vert dans la figure IV.11. Un enregistrement inférieur à 0 dB représenté en rouge dans 425 échantillons avec un pourcentage de 12,12%.

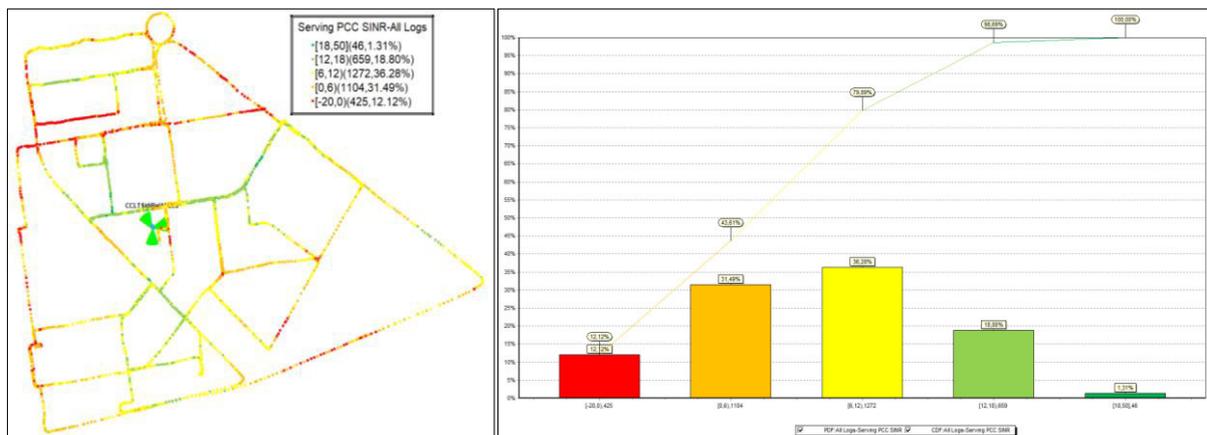


Figure IV.11 : distribution du SINR avant le basculement pour le site CCLT.

SINR (dBm)	Valeurs	50 à 18	18à12	12à6	6à0	0 à -20
	Nombre D'échantillon	46	659	1272	1104	425
	Pourcentages	1.31 %	18.80 %	36.28 %	31.49 %	12.12 %

Tableau IV.4 : pourcentage de SINR avant le basculement pour le site CCLT.

- Niveau de Débit avant le basculement

Représentons maintenant le débit pour le deuxième site avant le basculement dont la moyenne est de 12.25Mbps.

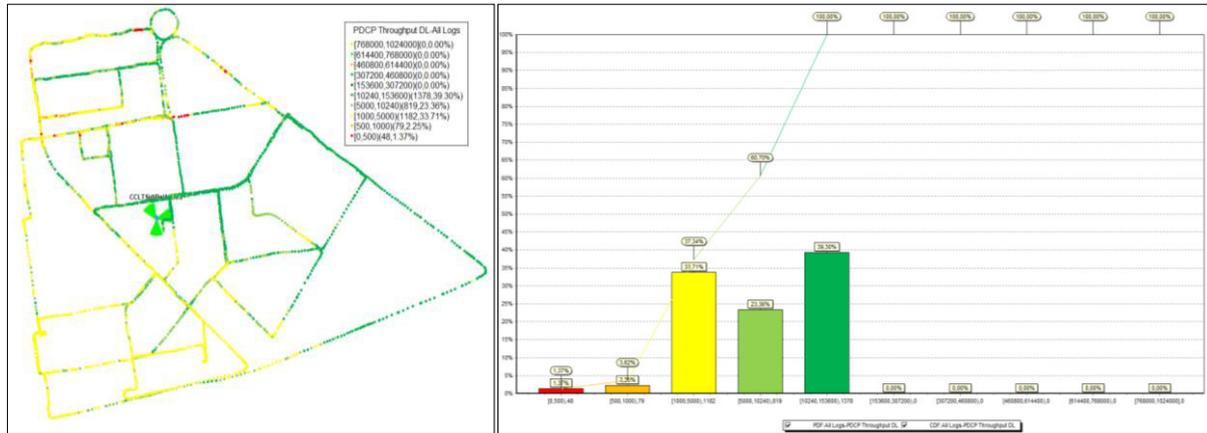


Figure IV.12 : distribution du débit avant le basculement pour le site CCLT.

- RI avant le basculement

Nous observons un bon pourcentage de Rank 2 MIMO 2x2 avec 80,81% et une absence de MIMO avec un pourcentage 19,19%.

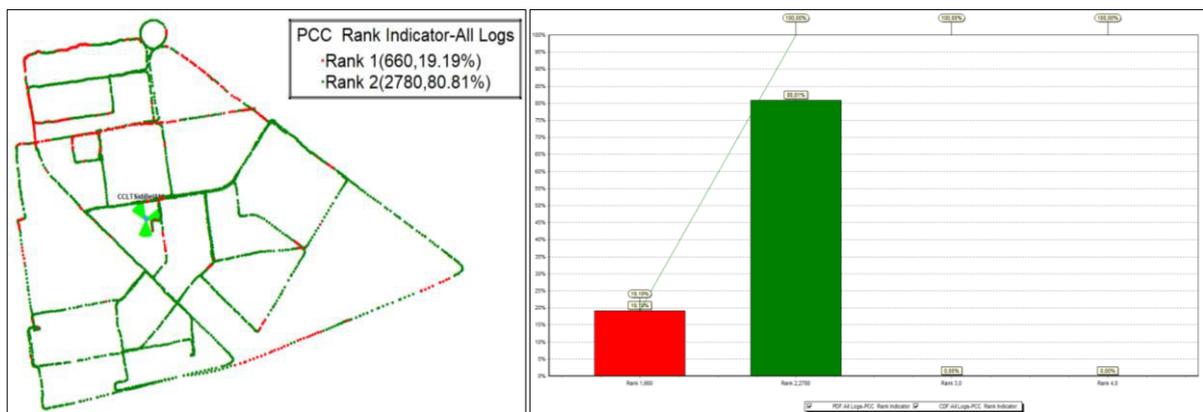


Figure IV.13 : distribution de Rank indicateur MIMO2x2 pour CCLT

IV.6 Basculement du site MIMO 2x2 vers MIMO 4x4

Un changement des équipements (d'antennes) a été effectué, pour installer les systèmes MIMO 4x4 pour nos deux sites. La figure suivante montre l'installation des antennes.

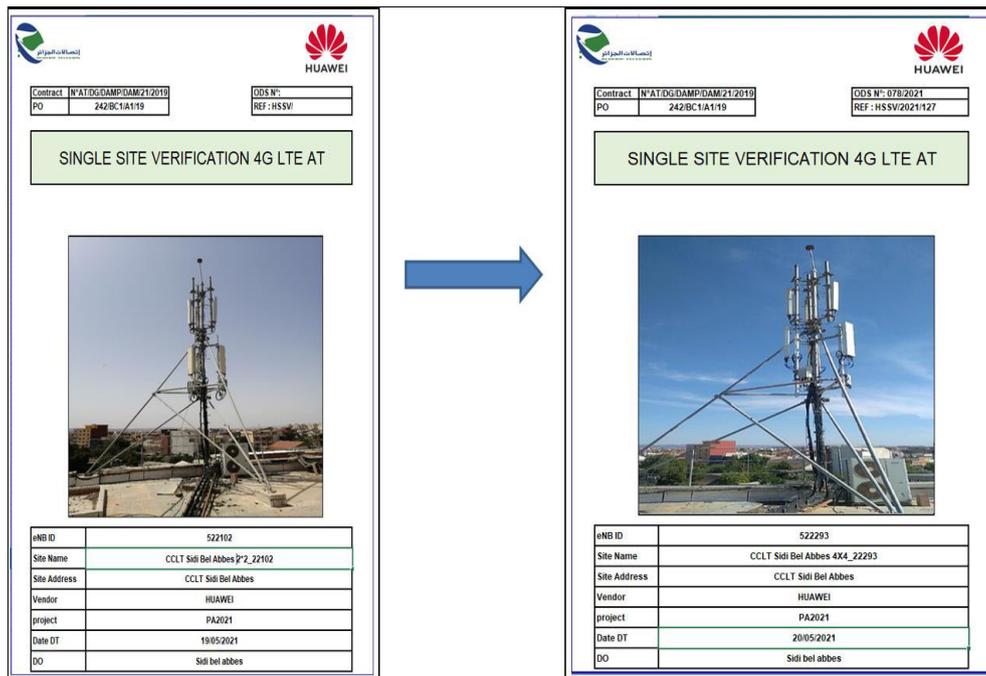


Figure IV.14 : basculement MIMO2x2 vers MIMO4x4.

IV.7 Analyse des logs MIMO4x4

1. Analyse des logs MIMO4x4 (site ZONE INDUSTRIELLE)

Après le basculement nous avons effectué un deuxième Drive test qui nous a permis d'obtenir les résultats suivants :

Les résultats de drive test du site ZI

- Niveau de RSRP après le basculement

Un niveau acceptable de RSRP correspond à une valeur supérieure à -90 dBm selon le tableau IV.5 cette condition est remplie pour 1111 échantillons avec un pourcentage de 23,50 % comme montré par la couleur jaune dans la figure ci-dessous.

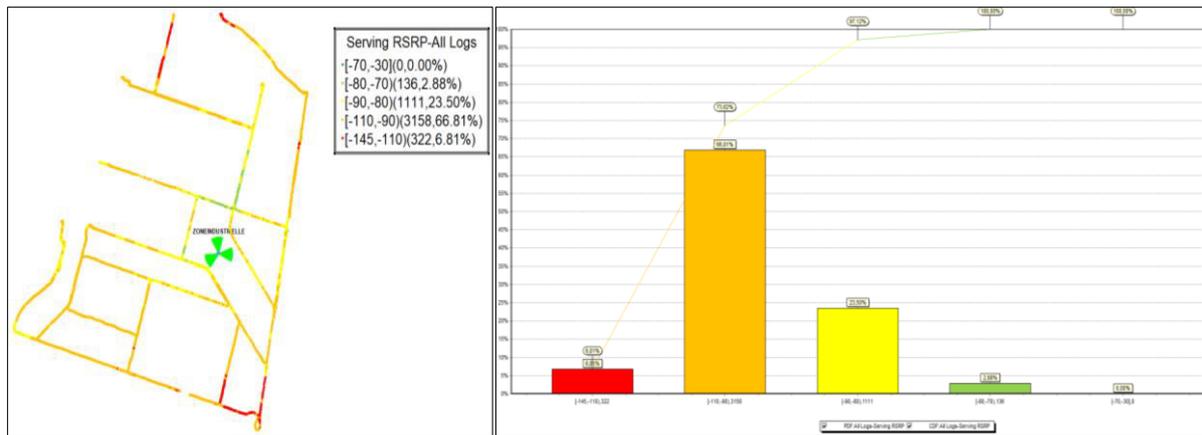


Figure IV.15 : distribution de RSRP après le basculement pour le site ZI.

Nous pouvons mentionner qu'il y a une différence sur le nombre d'échantillons avant et après le basculement. Par conséquent, une amélioration par rapport à la valeur -90dBm a été constaté selon les tableaux IV.1 et IV.5, dont le pourcentage a augmenté de 18,24 % à 23,5%.

RSRP (dBm)	Valeurs					
		-30 a -70	-70 a -80	-80 a -90	-90 a -110	-110 a -145
	Nombre D'échantillon	0	136	1111	3158	322
Pourcentages	0 %	2.88 %	23.50 %	66.81 %	6.81 %	

Tableau IV.5 : pourcentage de RSRP avant le basculement pour le site ZI.

• Niveau de SINR après le basculement

Nous observons un niveau de SINR supérieur à 17dB dans 617 échantillons avec 13,03 % ce qui est considéré acceptable et 990 échantillons avec 20,91% inférieur à 0dB.

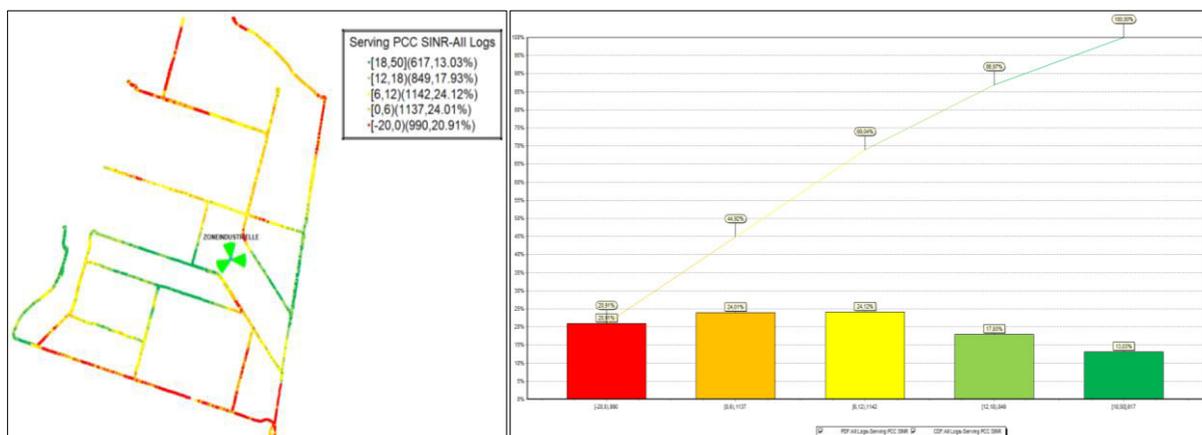


Figure IV.16 : la distribution de SINR après le basculement pour le site ZI.

En comparant les valeurs SINR obtenues avant et après basculement selon les tableaux IV.2 et IV.6, une dégradation considérable de ce paramètre a été constatée, ou le pourcentage inférieur à 0dB est passé de 11,89% à 20,91%.

SINR (dBm)	Valeurs					
		50 à18	18 à12	12à6	6à0	0 à -20
Nombre D'échantillon		617	849	1142	1137	990
Pourcentages		13.03 %	17.93 %	24.12 %	24.01 %	20.91 %

Tableau IV.6 : pourcentage de SINR avant le basculement pour le site ZI.

- **Niveau de Débit après le basculement**

Voici le débit de notre premier site après l'opération de basculement, nous constatons donc une augmentation considérable qui est passée de 10,92 à 31,66Mbps.

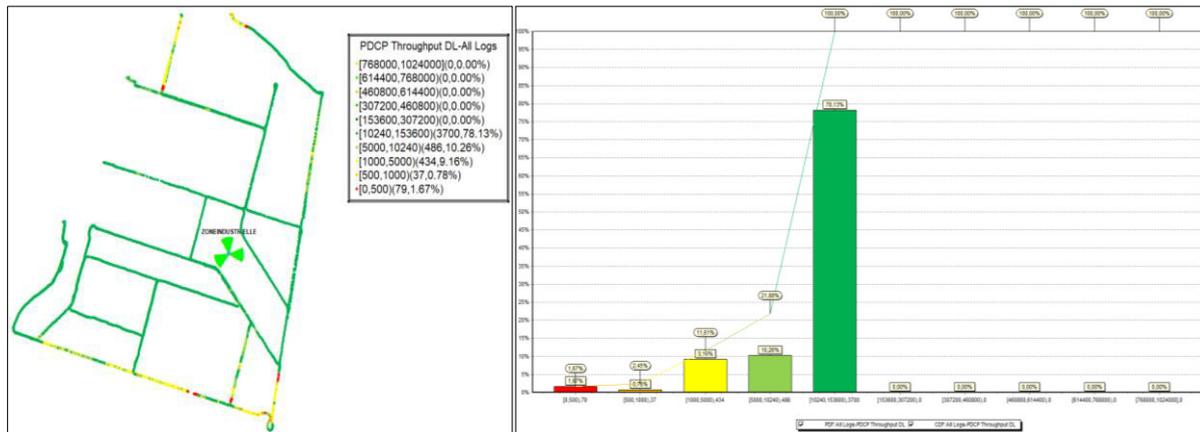


Figure IV.17 : la distribution du Débit après le basculement pour le site ZI.

- **RI après basculement**

Après ce basculement Nous pouvons observer l'apparition de Rank 3 qui est le MIMO4x4 avec un pourcentage de 9.32%. En ce qui concerne Rank1 il est passé de 24.82% à 17.41% ainsi qu'une diminution de Rank 2 MIMO 2x2 de 75.18% à 73.85%.

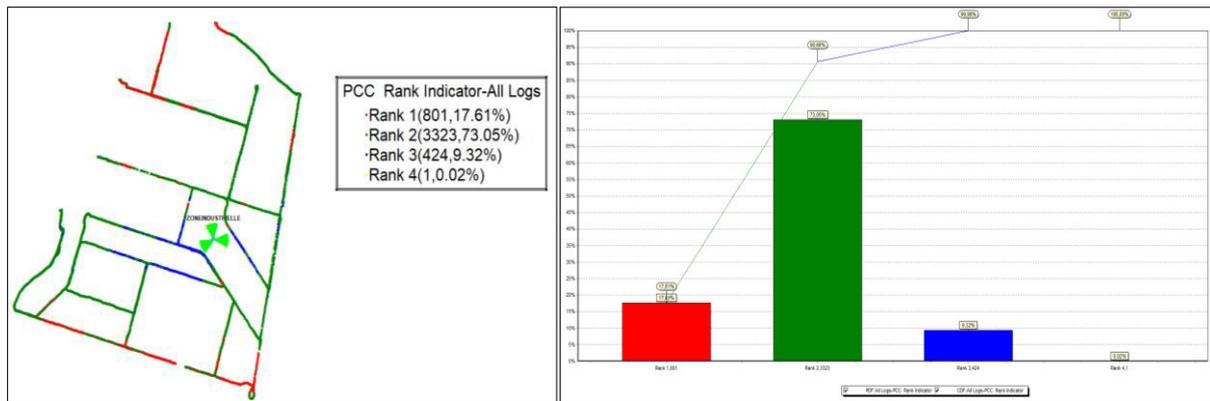


Figure IV.18 : distribution de Rank indicateur MIMO4x4 pour ZI.

2. Analyse des logs MIMO 4x4 (site CCLT)

Voici les figures qui représentent les distributions des paramètres RSRP, SINR, RI et le débit dans le deuxième site CCLT.

• Niveau de RSRP après le basculement

Un niveau acceptable de RSRP correspond à une valeur supérieure à -90 dBm selon le tableau IV.7 cette condition est décrite pour 2007 échantillons avec 29,58% sous la couleur jaune.

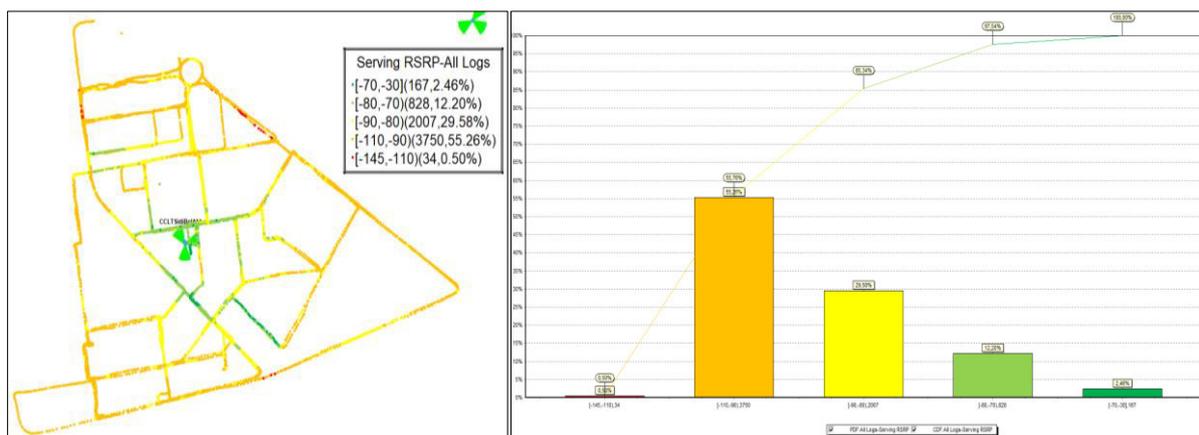


Figure IV.19 : la distribution de RSRP après le basculement pour le site CCLT.

Nous pouvons voir la différence entre les valeurs obtenues avant et après basculement par rapport au KPI RSRP selon les tableaux IV.3 et IV.7, un pourcentage qui est passé de 35,83 % à 29,58% est enregistré.

RSRP (dBm)	Valeurs					
		-30 a -70	-70 a -80	-80 a -90	-90 a -110	-110 a -145
	Nombre D'échantillon	167	828	2007	3750	34
Pourcentages	2.46 %	12.20 %	29.58 %	55.26 %	0.50 %	

Tableau IV.7: pourcentage de RSRP avant le basculement pour le site CCLT.

• Niveau de SINR après le basculement

Nous observons un niveau de SINR supérieur à 17dB avec 88 échantillons et un pourcentage de 1,30 % qui est considéré comme acceptable et 1528 échantillons avec 22,50% inférieur à 0dB.

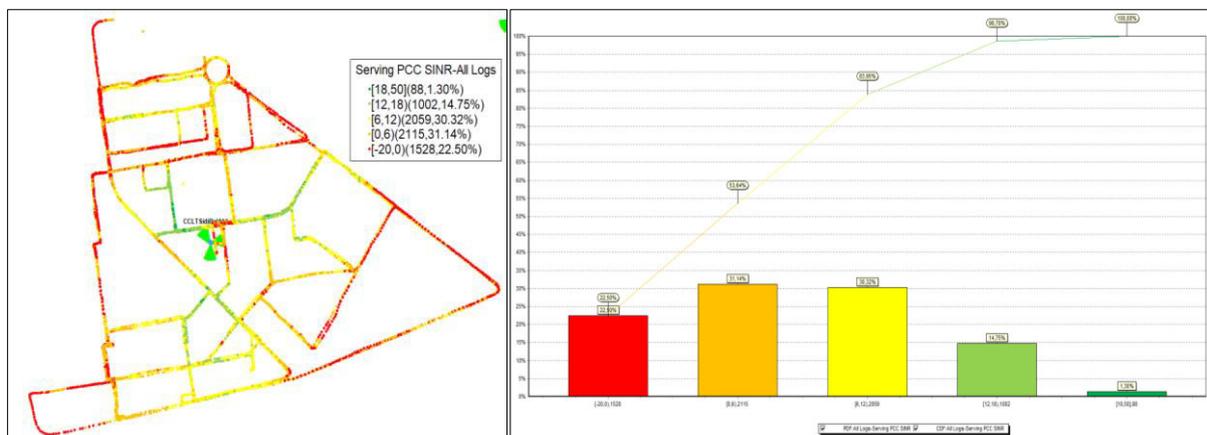


Figure IV.20 : la distribution de SINR après le basculement pour le site CCLT.

En comparant les valeurs obtenues avant et après basculement par rapport au SINR selon le tableau IV.8, une dégradation significative de pourcentage inférieur à 0dB qui est passé de 12.12 à 22,50%.

SINR (dBm)	Valeurs					
		50 à18	18 à12	12à6	6a0	0 a-20
	Nombre D'échantillon	88	1002	2059	2115	1528
Pourcentages	1.30 %	14.75 %	30.32 %	31.14 %	22.50 %	

Tableau IV.8: pourcentage de SINR avant le basculement pour le site CCLT.

- Niveau du Débit après le basculement

Nous constatons pour ce deuxième site une augmentation du pourcentage de moyenne de ce KPI de 11,25 à 14,15Mbps.

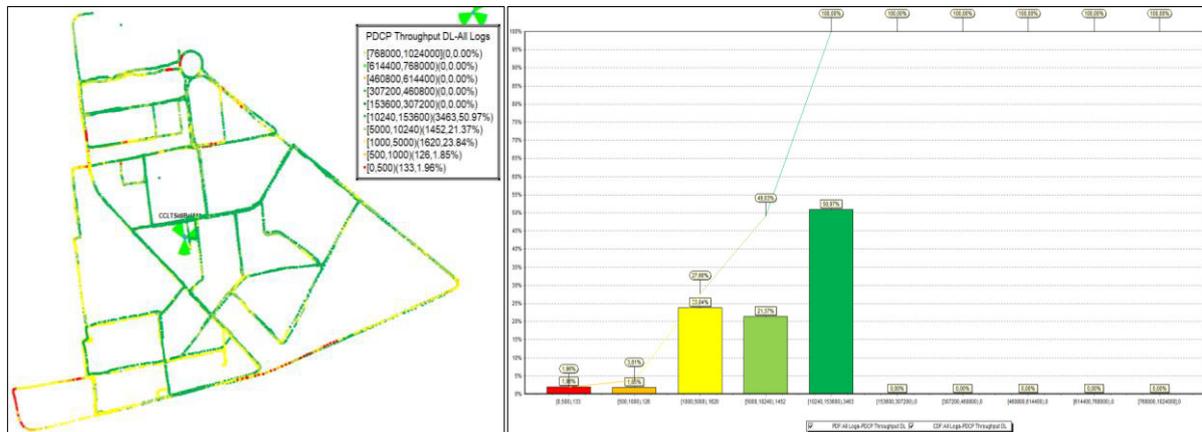


Figure IV.21 : la distribution du Débit après le basculement pour le site CCLT.

- RI après basculement

En comparant les résultats avant et après basculement nous voyons l'apparition de Rank 3 qui est le MIMO4x4 avec un pourcentage de 4.69%. En ce qui concerne le Rank1 il est passé de 19.19% à 17.88% ainsi qu'une diminution du Rank 2 MIMO 2x2 de 80.81% à 77.42%.

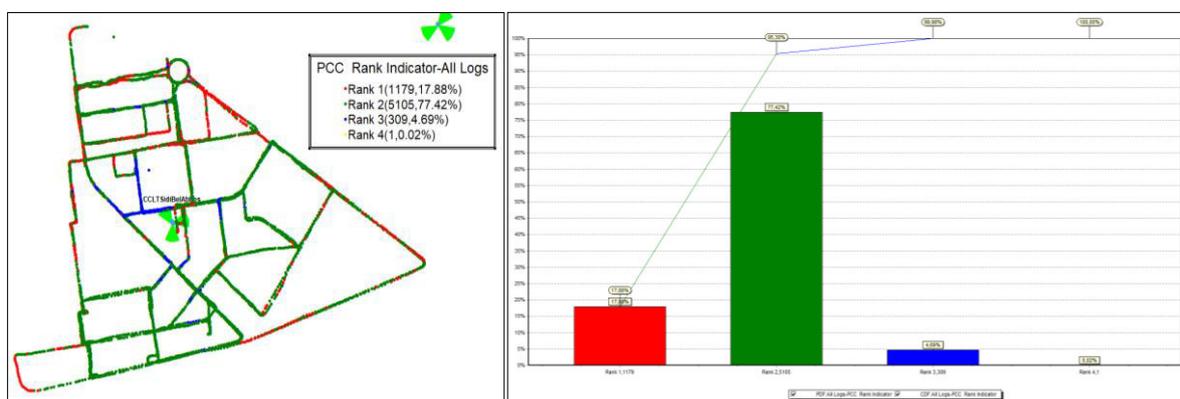


Figure IV.22 : distribution de Rank indicateur MIMO4x4 pour CCLT.

IV.8 Optimisation des sites

En comparant et analysant les résultats avant et après le basculement des deux sites, nous avons constaté que nos objectifs n'étaient pas atteints en ce qui concerne l'augmentation de débit binaire pour la liaison descendante, dû à la dégradation considérable du niveau de signal

sur le bruit qui a été doublé à cause de doublement des antennes. Nous allons donc opter à une phase d'optimisation qui va nous aider à optimiser ce KPI et ce qui nous permettra par la suite d'augmenter davantage notre débit binaire. Cette phase se fait à l'aide du logiciel OSSU2000.

- **OSS U2000(Opérationnel Support System)**

OSS est un outil de supervision et d'optimisation, reçoit les données envoyées par eNodeB. L'OSS supporte les différentes technologies telles que le GSM, le GPRS, l'EDGE, l'UMTS et 4G LTE. L'outil possède plusieurs fonctionnalités et modules permettant d'exécuter les tâches suivantes :

- Créer et configurer un réseau.
- Ajouter et modifier des sites.
- Configurer un plan Radio.
- Générer les KPI(s) à l'aide des conteurs envoyés par eNodeB.
- Visualiser les PM (Performance Management), FM (Fault Management) et les Alarmes.

1. Analyses de premier site ZI

L'image suivante représente les zones qui ont eu une forte dégradation de rapport signal sur le bruit SINR.



Figure IV.23 : Les zones dégradées de site ZI.

Zone 1 :

- **Problème de Mobilité**

Lorsque les utilisateurs essaient de s'attacher au réseau, ils cherchent le meilleur niveau de signal, dans notre cas nous remarquons que le site ZI (-87.41 dBm) a un niveau de signal meilleur par rapport au site DOTSBA (-100.39 dBm) mais l'opération de HANDOVER n'a pas été accomplie.

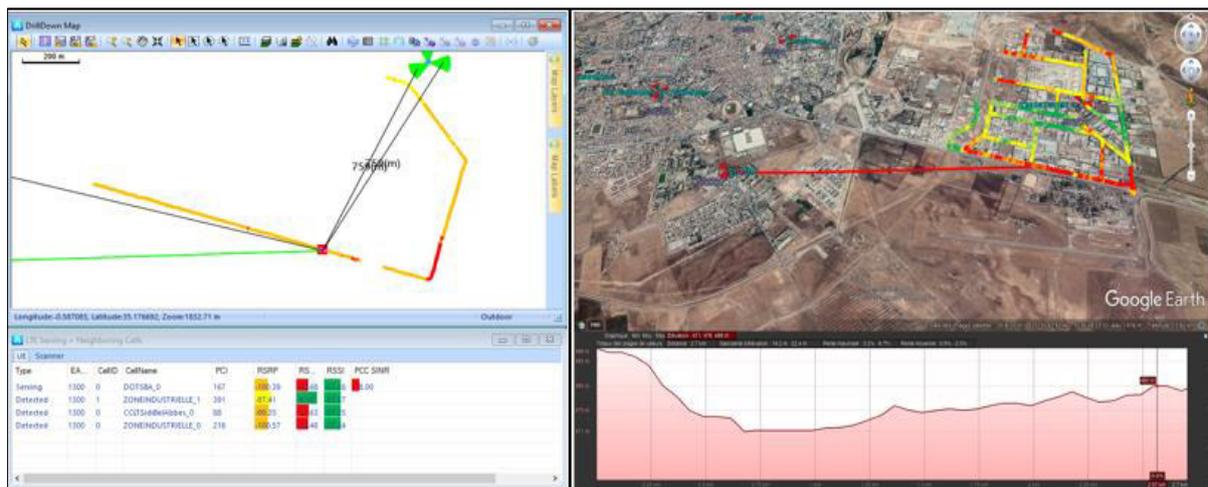


Figure IV.24 : Analyses de site ZI (zone 1).

- **Problème de planification PCI**

Un autre problème a été introduit dans cette zone. Une règle de planification des PCI n'a pas été respectée. Nous avons trouvé des cellules avec les même *PCI mod 3* planifié l'un en face de l'autre.

Zone 2 et 3 :

- **Problème d'overshooting**

En ce qui concerne ces zones nous voyons bien que la cellule de site ZI est considérée comme meilleure cellule (-108.53 dBm), par ailleurs nous remarquons qu'il y a des chevauchements (overshooting) de plusieurs sites adjacents avec un mauvais niveau de signal RSRP [-117 -123 dBm] qui ont fortement dégradé le niveau signal de notre site.

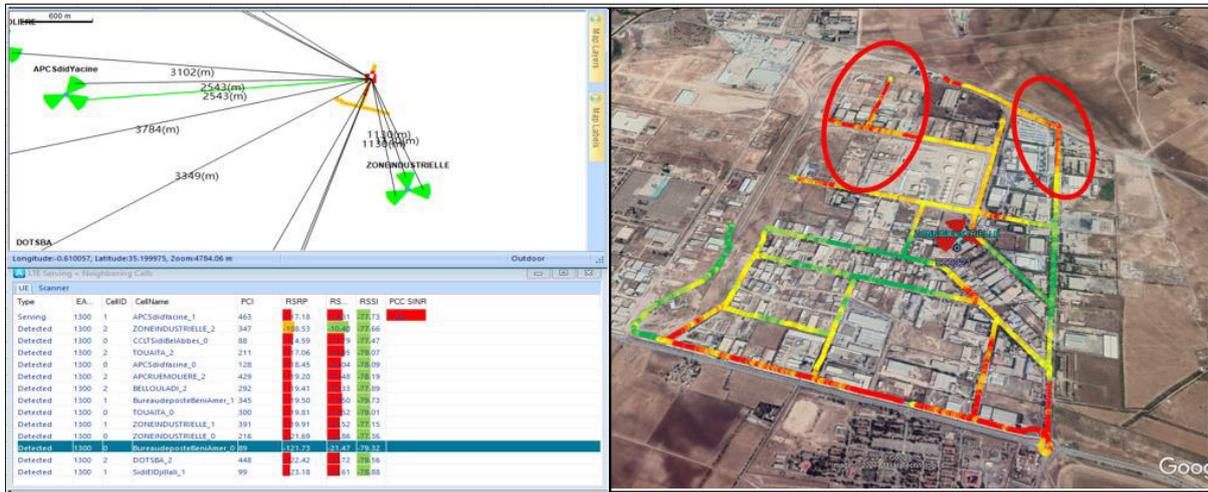


Figure IV.25 : overshooting de site ZI (zone 2,3).

2. Analyses de deuxième site CCLT

Voici l'image qui montre les zones dégradées au niveau de SINR pour ce site.

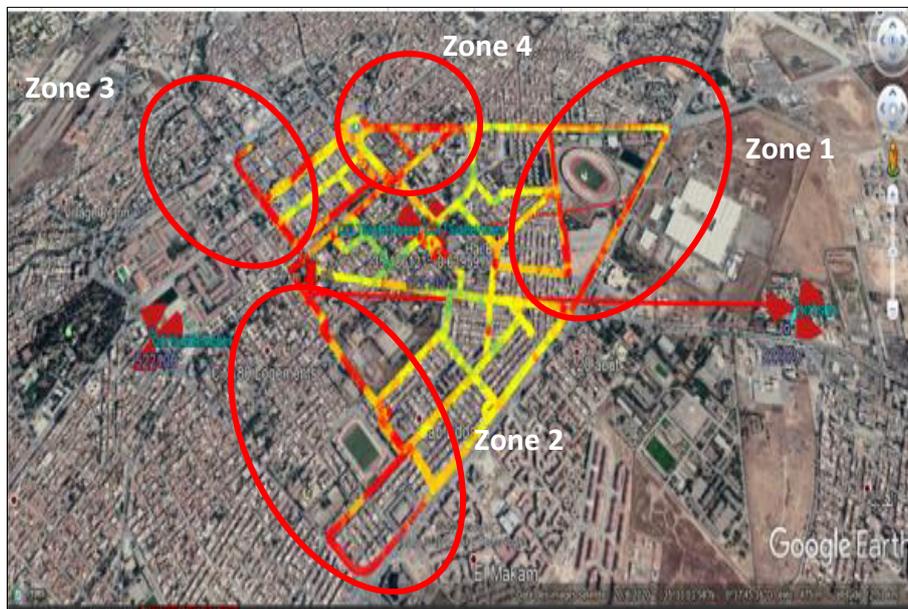


Figure IV.26 : La zone dégradée de site CCLT.

Zone 1 :

- Un problème de mobilité. Manque de relation de voisinage (handover).
- Présence des cellules avec les même *PCImod 3* planifié l'une face de l'autre.
- Les chevauchements (overshooting) des sites voisins.

Zone 2 et 3 :

- Les chevauchements (overshooting) des sites voisins.

Zone 4 :

- Les chevauchements (overshooting) des sites voisins.

• Problème 4

- Ajustement de puissance, nous remarquons des chevauchements de site voisin causées par la puissance de son signal de référence RS sur notre site CCLT.

IV.9 Solution proposée

- Pour régler le problème de la mobilité (Handover) nous avons configurée à travers logiciel OSSU2000 l'activation de handover entre nos sites et les sites adjacents (voir l'annexe B).
- Pour régler le problème « d'overshooting » des sites, nous avons proposé les changements suivants :

Des changements physiques que nous avons testés sur l'outil de planification « OSSU2000 » (voir l'annexe B). Plus précisément le niveau du tilt électrique afin de changer la direction d'antenne, comme montre les tableaux suivants :

Tilt électrique			
Les sites adjacents	Secteur	Avant l'action	Après l'action
TOUAITA	1 et 3	2°	4°
BELLOULADI	3	6°	8°
SIDI DJLALALI	2	2°	4°
APCS DID YACINE	2	3°	5°
APC RUE MOLIER	3	1°	2°
BUREAU DEPOSTE BENI AMER	2	2°	4°

Tableau IV.9 : Paramètres physiques proposés pour le site ZI

Les sites adjacents	Secteur	Avant l'action	Après l'action
CAH SIDI BELABES	2	6°	8°
SAKIA ALHAMRA	1	2°	4°
	2	2°	4°
DOT SBA	3	2°	4°
BREAUDEPOSTE	2	3°	5°
ADIMFATIHA	3	0°	2°
APC RUE MOLIER	6	1°	3°

Tableau IV.10 : Paramètres physiques proposés pour le site CCLT.

- Pour remédier le problème des PCI MOD3 identique, nous avons modifié les PCI de site ZI SBA comme montre le tableau suivant :

Changements des PCI		
ZI SBA	AVANT	APRES
Secteur 1	216	391
Secteur 3	391	216

Tableau IV.11 : changement des PCI pour le site ZI.

- Pour remédier au problème des PCI MOD3 identique dans le site CCLT (secteur 3 PCI 88) et le site DOT SBA (secteur 1 PCI 448) nous avons apportées les modifications suivantes :

Changements des PCI		
DOT SBA	AVANT	APRES
Secteur 1	448	167
Secteur 3	167	448

Tableau IV.12 : changement des PCI pour le site DOT SBA.

- Pour régler le problème de puissance et afin d'améliorer la qualité de service, nous avons augmenté la puissance RS de site CCLT (secteur 1 PCI 88) de 15.2 dBm à 18.2 dBm dans le but d'augmenter la propagation du signal. pour plus de détails voir l'annexe B.

IV.10 Résultats final de basculement

- Niveau de RSRP Final pour ZI

Nous observons une augmentation significative au niveau de ce KPI comparant avec son niveau RSRP avant l'application des changements. D'ailleurs nous voyons que l'intervalle [-90,-80] dbm est passé de 23,50 % à 41,41 %.

Et pour le niveau dégradé visualisé par la couleur rouge nous remarquons qu'il est passé de 6,81% à 0 % ce qui est considéré comme une amélioration remarquable.

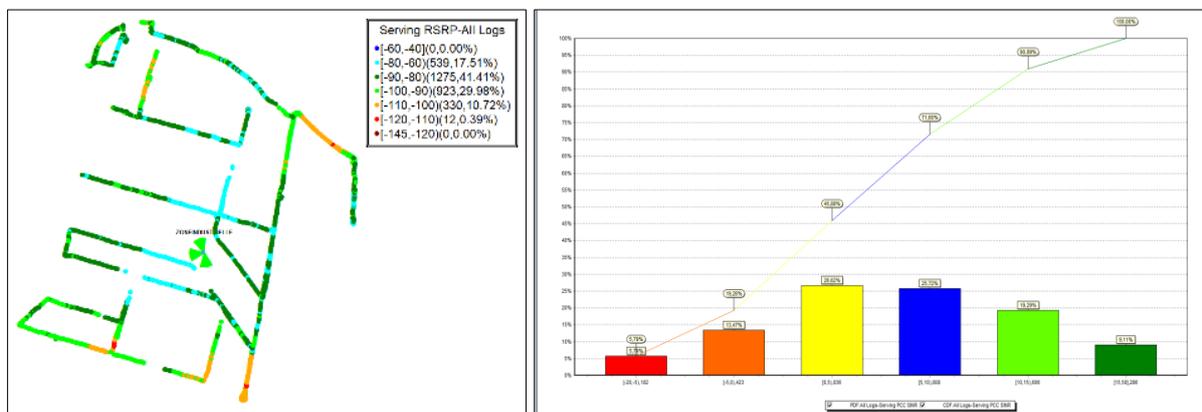


Figure IV.27 : pourcentage de RSRP après les actions pour le site ZI.

- Niveau de SINR Final pour ZI

Nous observons d'après la figure IV.24 une amélioration remarquable pour les zones dégradées ou le niveau le plus dégradé représenter en rouge est passé de 20.91% à 5,79% après les changements effectués ce qui est vraiment bénéfique pour la qualité de notre signal vu que c'est un paramètre très influant sur le signal.

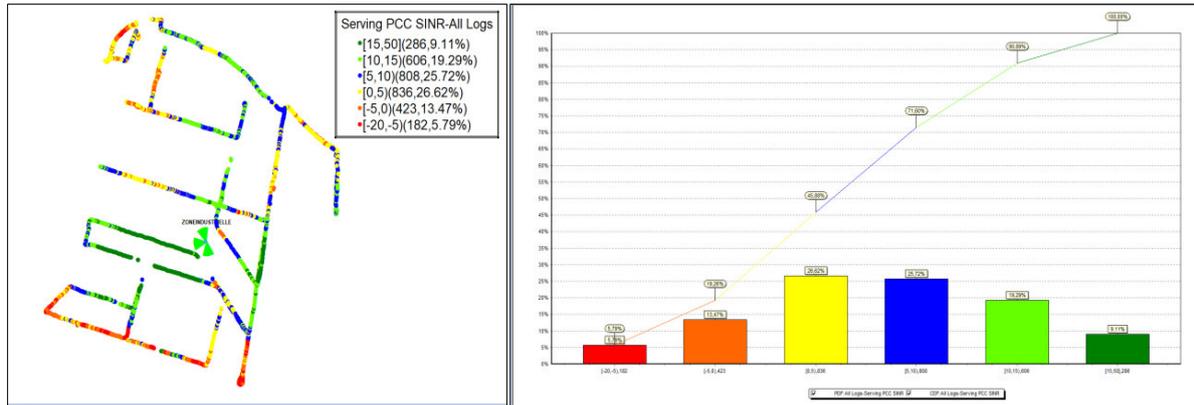


Figure IV.28 : pourcentage de SINR après les actions pour le site ZI

- **Niveau de débit Final pour ZI**

Nous remarquons une grande amélioration de débit pour les intervalles [10000,50000] bit/s dont le pourcentage est de 57,75%, ce qui signifié que les actions menées durant le processus d'optimisation ont été de grande importance et d'influence sur le débit et la qualité de couverture.

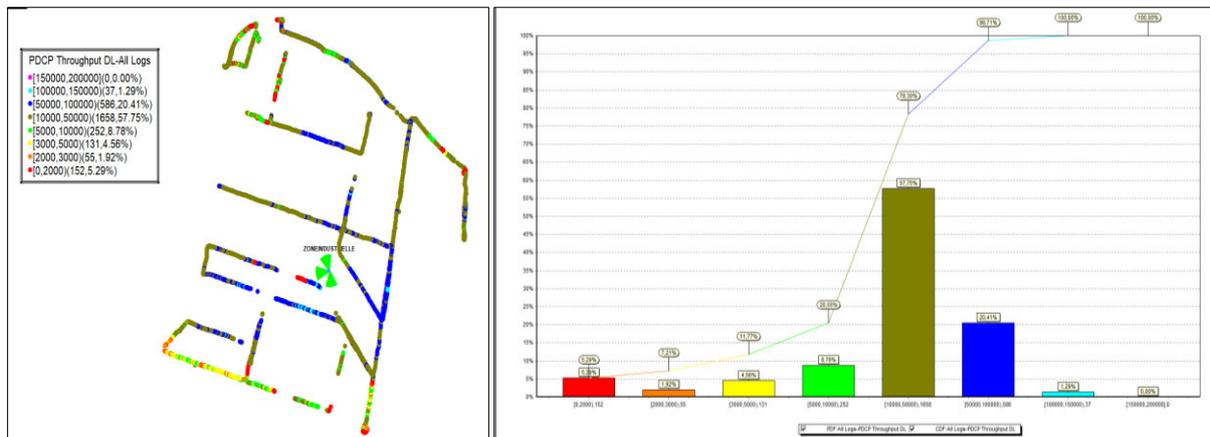


Figure IV.29 : pourcentage de DEBIT après les actions pour le site ZI.

- **Niveau de Rank indicateur Final pour ZI**

Après l'application des changements on peut constater qu'il n'y a pas eu un vrai changement pour cet indicateur dans ce site.

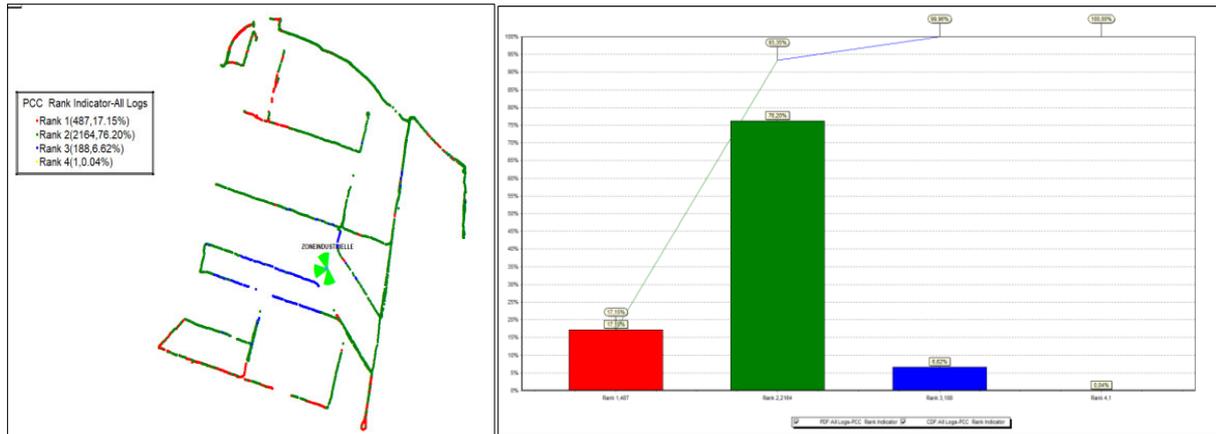


Figure IV.30 : pourcentage de Rank indicateur après les actions pour le site ZI.

- **Niveau de RSRP Final pour CCLT**

En ce qui concerne ce KPI nous remarquons la différence dans l'intervalle [-110 -90] où la puissance de signal est passée de 55,26% à 13,56%.

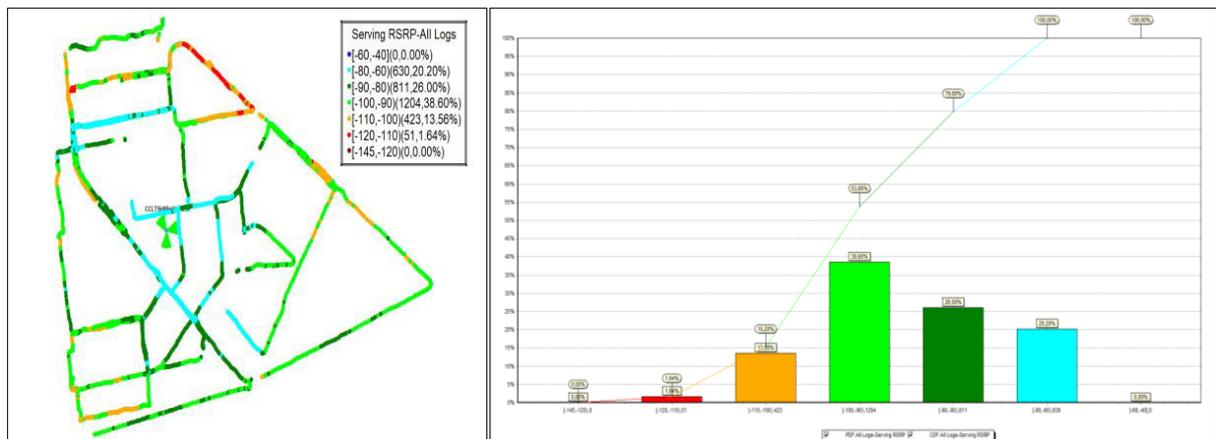


Figure IV.31 : pourcentage de RSRP après les actions pour le site CCLT.

- **Niveau de SINR final pour CCLT**

Une amélioration significative en ce qui concerne les zones dégradées valorisées de moins 0 dB et reflété en rouge notre SINR est passé de 22,50% à 2,62% ce qui nous montre réellement l'utilité des actions appliquées.

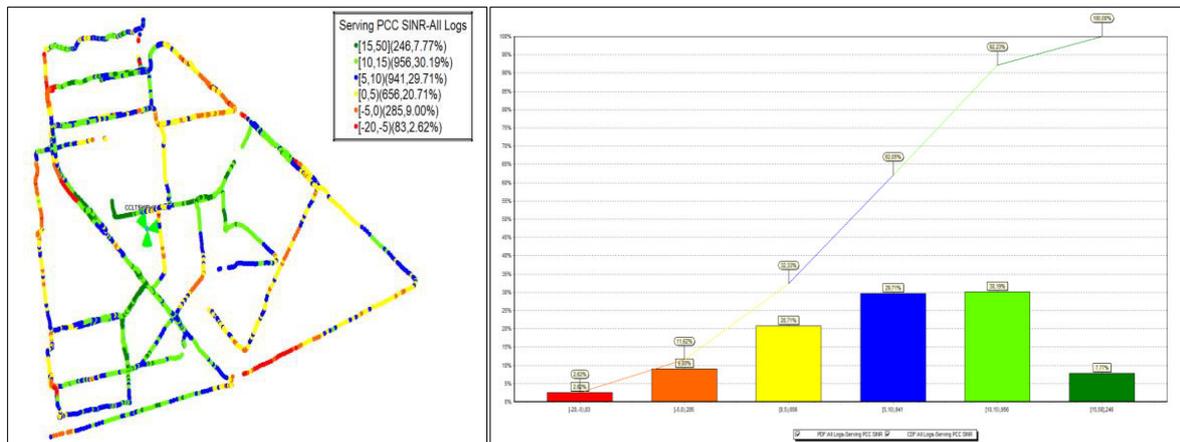


Figure IV.32 : pourcentage de SINR après les actions pour le site CCLT.

- Niveau de Débit Final pour CCLT

Nous remarquons une grande amélioration de débit pour les intervalles [10000,50000] bit/s dont le pourcentage est de 57,75%, ce qui signifié que les actions menées durant le processus d'optimisation ont été de grande importance et d'influence sur le débit et la qualité de couverture.

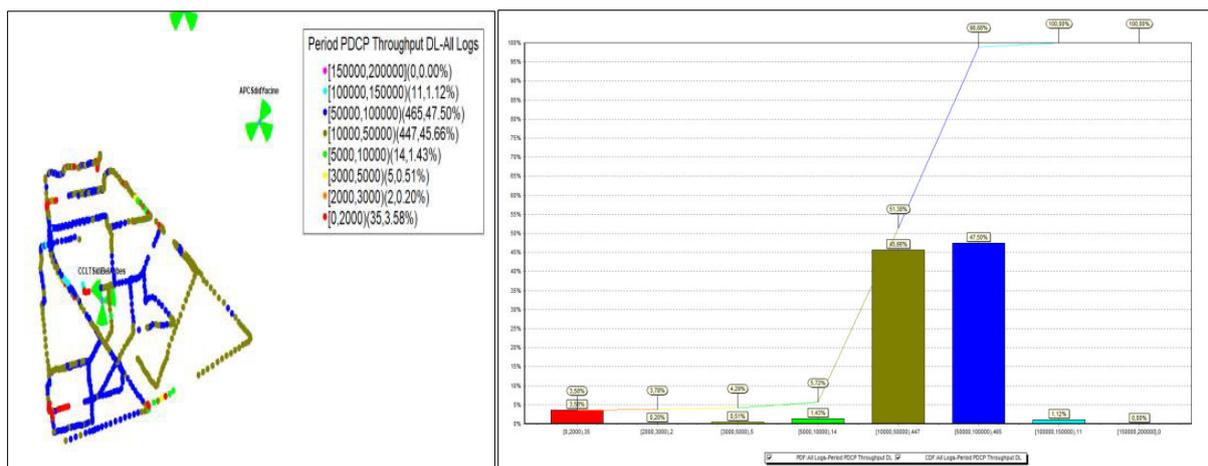


Figure IV.33 : pourcentage de DEBIT après les actions pour le site CCLT.

- Niveau de Rank Indicateur Final pour CCLT

Après cette optimisation nous avons constaté une amélioration de Rank 2 et 3 et une diminution de Rank 1. Ce changement a été très bénéfique pour le signal.

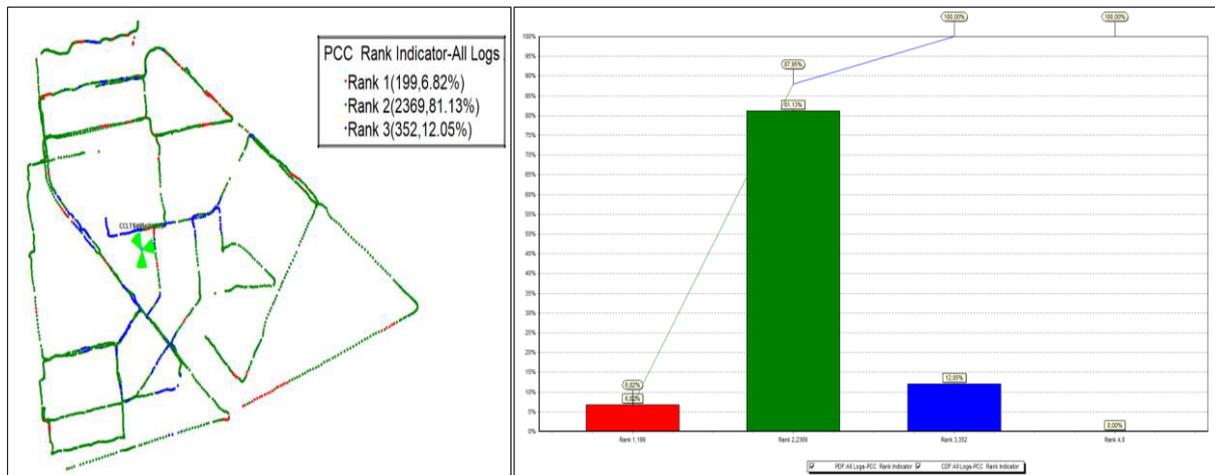


Figure IV.34 : Niveau de Rank indicateur après les actions pour le site CCLT.

Après l'application des changements (actions) que nous avons proposée dans le but d'améliorer la dégradation de SINR et de résoudre le problème de faible débit nous pouvons dire que notre étude à mener à des résultats satisfaisants dans la qualité de service de nos deux sites candidats.

IV.12 Conclusion

Cette étude de planification et d'optimisation d'un basculement de réseau 4G nous a permis d'appliquer les notions théoriques acquises et de savoir de près le métier d'ingénieur télécom. Ainsi de proposer des solutions dédiées aux problèmes détectés qui apportent des améliorations aux performances du réseau LTE, en se basant sur les KPI(s).

Conclusion générale

6 Conclusion générale

Le réseau LTE est une norme qui vise à améliorer la qualité de service en termes de débit, mobilité...etc. Dans notre cas le système MIMO nous a permis d'améliorer l'efficacité spectrale en 4G et grâce aux tests obtenus avant et après l'opération de basculement, des améliorations ont été obtenues dans les performances du réseau et l'expérience utilisateur et la qualité de service.

Dans ce mémoire, nous avons étudié les techniques d'optimisation, de planification et de dimensionnement d'un réseau d'accès 4G par l'utilisation des outils de Drive Test et le Genex Assistant. Un ensemble de tests et des mesures réelles des différentes données et paramètres (niveau du signal reçu, la qualité du signal reçu, ...), en collaboration avec l'opérateur Algérie télécom, ont été fait dans le but de trouver des solutions à tout problème conduisant à un débit faible. L'objectif principal de notre étude, était d'assurer un débit optimal dans nos deux sites candidats et d'offrir aux utilisateurs de ces zones une bonne qualité de service car ce sont des zones de déploiement prioritaire.

Nous avons constaté que Le MIMO4x4 par rapport au MIMO2x2, apporte un gain de performances significatif sur le réseau ainsi qu'une augmentation linéaire du débit binaire et de la portée. Dans ce document, il est cité que MIMO 4X4 ne fait pas référence à quatre antennes physiques par secteur, mais à l'existence de quatre pistes dans la même antenne physique, où la quantité d'équipement utilisée est optimisée, ainsi que le nombre de connecteurs.

Nous avons exposé les applications que nous avons eu la chance d'optimiser en dégagant les solutions appropriées, comme résoudre les problèmes d'interférences. Enfin, on peut dire que les phases de planification et d'optimisation sont des phases indispensables pour les

opérateurs afin d'éviter des coûts supplémentaires d'optimisation pouvant apparaître lors de l'exploitation du réseau.

7 Références

- [1] Etudes des performances des réseaux 4G, par Alban Hounton UATM GASA FORMATION - Licence Professionnelle 2015
- [2] CHAABANE, Imen BEN. 4G LTE. In : *Long Term Evolution* », *Regional Forum for ARAB Region: IMT Systems Technology, Evolution and Implementation Tunis, Tunisia*. 2013. p. 7-9.
- [3] SAAD TASSADIT, TALEB THIZIRI "Dimensionnement et planification d'un réseau 4G/LTE », Mémoire Pour l'obtention du diplôme de MASTER en Télécommunication Option Réseaux et télécommunication Université de Tizi Ouzou, 2017
- [4] DJEDDI FATMA, OUTALEB FAIZA "Planification et optimisation d'un réseau 4G LTE », Mémoire Pour l'obtention du diplôme de MASTER en Télécommunication Option Réseaux et télécommunication Université de Tizi Ouzou, 2017
- [5] ABED, Ghassan A., ISMAIL, Mahamod, et JUMARI, Kasmiran. Modeling and performance evaluation of LTE networks with different TCP variants. Proc. of World Academy of Science, Eng. and Tech, 2011.
- [6] Documentation technique Orange 'Développer Généralités et architecture de la 4G'
- [7] EFORT <http://www.efort.com> 'LTE + SAE = EPS Principes et Architecture'
- [8] BOUGUEN, Yannick, HARDOUIN, Éric, et WOLFF, François-Xavier. Réseaux 4G. 2012.
- [9] Contributeurs à Wikipédia, 'Adaptative modulation and coding', Wikipédia, l'encyclopédie libre, 14 septembre 2018

- [10] BOUCHAKI OUSSAMA, MOSBAH ABD ELMOUNIEM « Dimensionnement et planification d'un réseau LTE », Mémoire Pour l'obtention du diplôme de MASTER en Télécommunication Option Réseaux et télécommunication Université de Blida,2020
- [11] KIEFFER, Julien. Contribution au dimensionnement des PLL pour des modulations polaires larges bandes. 2014. Thèse de doctorat. Université de Grenoble.
- [12] AIT SAADI, HOCINE, principe des réseau cellulaire, université de Blida1,2021
- [13] BOUGUEN, Yannick, HARDOUIN, Éric, et WOLFF, François-Xavier. Réseaux 4G. 2012
- [14] "SC-FDMA." Wikipédia, l'encyclopédie libre. 30 juin 2020
- [15] MELIANI, HAMZA, système d'antennes multiples en émission et en réception, université de Blida1,2020
- [16] ERICSSON Proprietary and confidential, « LTE Overlay Networks », ERICSSON Design Guideline, December 2011.
- [17] S.B. Abdul, « Dimensioning of LTE Network Description of Models and Tool, Coverage and Capacity Estimation of 3GPP Long Term Evolution radio interface », Helinsky University of Technology, 2006
- [18] LTE (réseaux mobiles)." Wikipédia, l'encyclopédie libre.
- [19] LTE interface: LTE RAN to Evolved packet Core – cableFree.
- [20] "ENode B." Wikipédia, l'encyclopédie libre. 17 avr. 2018.
- [21] H. Hanen, S. Saidane, « Dimensionnement des réseaux Radio 3G et 4G », Université de Tunis, AU: 2012/2013
- [22] Horno, J.J. (mars 2008). Réseaux locaux sans fil : Wheelers Lane Technology WLAN Design. Obtenu auprès de l'UNIVERSIDAD DE SEVILLA ESCUELA SUPERIOR DE ENGENIEROS. Extrait de : <http://docshare02.docshare.tips/files/15183/151835999.pdf>. (consulté le 09 juin 2021)
- [23] MIMO (télécommunications)." Wikipédia, l'encyclopédie libre. 10 juin 2021,

- [24] Serrano, A.D. (2015). MISE EN OEUVRE D'UN SYSTEME D'ANTENNES MIMO 2X2 DANS LABVIEW. Obtenu à l'Université Carlos III de Madrid : <https://core.ac.uk/download/pdf/79176735.pdf> .(consulté le 11 juin 2021)
- [25] Lorenz, M. (4 juillet 2018). Comment 4 × 4 MIMO peut booster votre réseau mobile. Obtenu auprès de Rohde & Schwarz : https://www.rohde-schwarz.com/lat/soluciones/test-and-measurement/mobile-network-testing/stories-insights/article-how-4-4-mimo-can-boostez-votre-reseau-mobile_253229.html .(consulté le 10 juin 2021)
- [26] M. Razafimana, « Planification du réseau d'accès de la technologie LTE 4G », Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo, AU: 2012/2013.
- [27] A.syed “dimensioning of LTE network” these master 2009.
- [28] E. Jammazi, “Optimisation d'un réseau pilote 4G pour Tunisie Telecom ”, mémoire d'ingénieur, Ecole nationale d'ingénieurs de Gabès, Tunisie, Juin 2013.
- [29] S. Tabbane, “Long Term Evolution: Radio Network Planning”, ITU Islands, November 2013.
- [30] M. Coupechoux, “Bilans de liaison : de la 2G à la 4G”, Telecom ParisTech, Paris, 2007.
- [31] AITSAADI, HOCINE, résumé sur les modèles de propagation, université de Blida1,2021
- [32] HUAWEI document, “LTE RF Optimization Guide V1.1”.
- [33] Huawei RAN KPI Introduction– eRAN 6.0, 2012, HUAWEI confidential.
- [34] eRAN Power Control Feature Parameter Description, 2015, HUAWEI confidential
- [35] <http://www.sharetechnote.com/>(consulté le 29/04/2021).
- [36] eRAN6.1 Guide to Power Configuration in LTE TDD Networks, 2012, HUAWEI confidential.
- [37] LTE Cell Planning 20121016, 2013, HUAWEI confidential.
- [38] LTE Basic Principle V2.0, 2013, HUAWEI confidential.

- [39] LTE Basic Signaling Procedure 20120903, 2013, HUAWEI confidential.
- [40] Y. Bouguen, E. Hardouin, F-X. Wolff, “LTE et les réseaux 4G”, Paris: Groupe Eyrolles, 2012.
- [41] Y. Boucherit, S. Madani, “LTE RAN Design and Optimisation”, mémoire d’ingénieur, INTTC Oran, 2015.
- [42] La Fibre.info « Interprétation des valeurs RSRQ, SINR, RSRP »
- [43] HUAWEI document, “LTE RF Optimization Guide V1.1”.
- [44] Jose Fajardo, I.T. (mai 2015). Analyse des traces CQI des déploiements LTE MIMO et impact sur les ordonnanceurs classiques. Extrait de la 13e Conférence internationale sur l'Internet filaire/sans fil : <https://hal.inria.fr/hal-01728818/document> .(consulté le 05 juillet 2021)
- [45] LTE Network Planning and Optimization, 2012, HUAWEI confidential.
- [46] HUAWEI document, “eNodeB V1R005C00-KPI Reference”, Mars 2012.

Annexes

Annexe A

Avant l'optimisation RF, il faut une bonne maîtrise des logiciels pour garantir la démarche d'optimisation, ces logiciels appartiennent à la famille des logiciels GENEX de HUAWEI, à savoir :

- GENEX CLOUD
- GENEX ASSISTANT
- OSSU2000

GENEX CLOUD

Pour faire un DRIVE TEST il faut d'abord créer un Task.

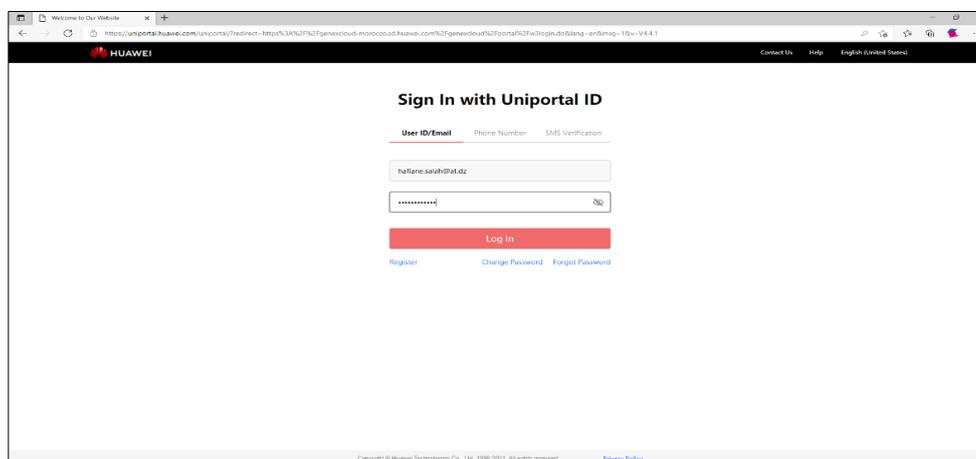


Figure A.1 : La plateforme du logiciel Genex cloud.

Après l'ouverture de lien de Genex Cloud nous cliquons sur « Smart PHU single site vérification » comme le montre la figure A-2.

Figure A.5 : les étapes création de task.

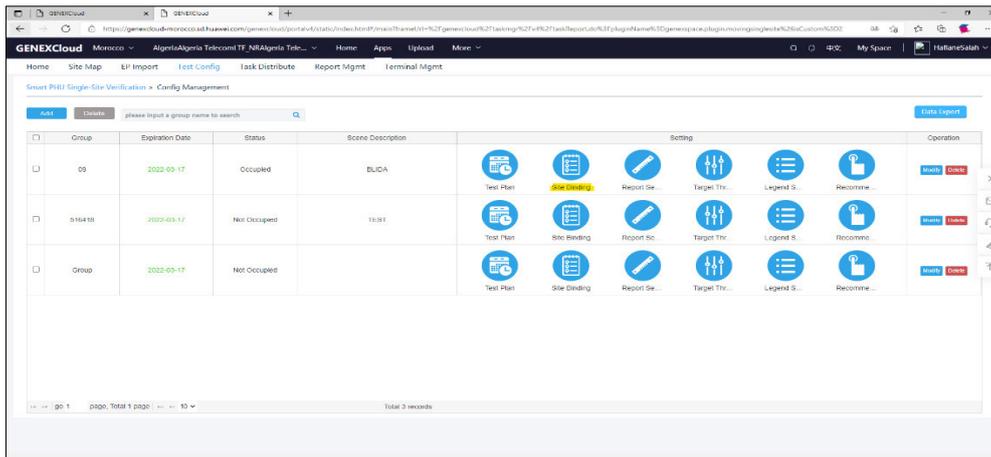


Figure A.6 : les étapes création de task.

Après nous cliquons sur « add » pour ajouter notre site

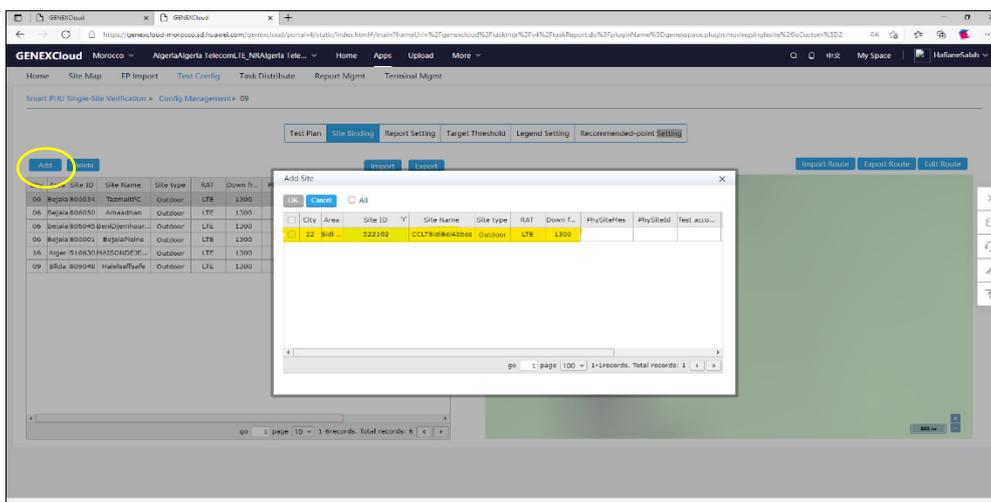


Figure A.7 : Importation de site.

Après d'avoir créé notre task nous passons à l'étape suivante pour lancer le drive test qui est Le PHU (Probe HandsetUnitè) une application installer sur un téléphone mobile spécial de test pour afficher les données (KPI).

Les figures suivantes montrent les étapes de PHU.

- 1- Démarrer PHU par défaut : écrire le nom d'utilisateur et le mot de passe
- 2- La figure A-2 s'ouvre : cliqué sur (le carré jaune) pour importer les données.
- 3- Cliqué sur « tasklist » comme montre la figure A.3.

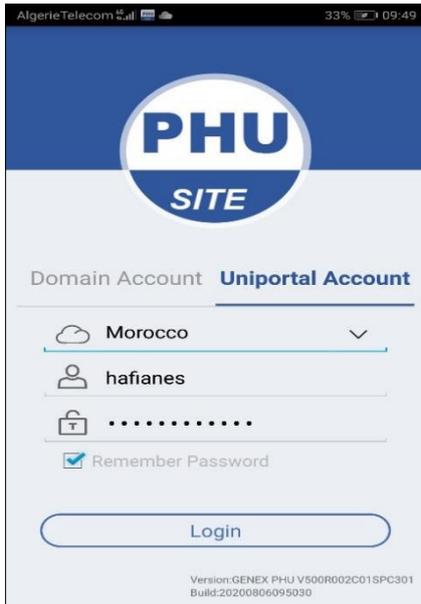


Figure A.8 : l'ouverture de PHU

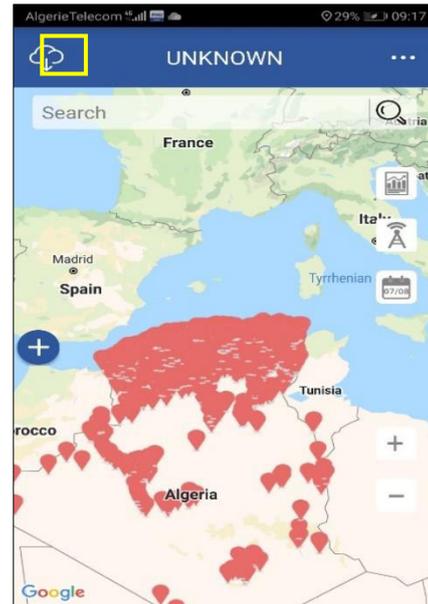


Figure A.9 : application PHU

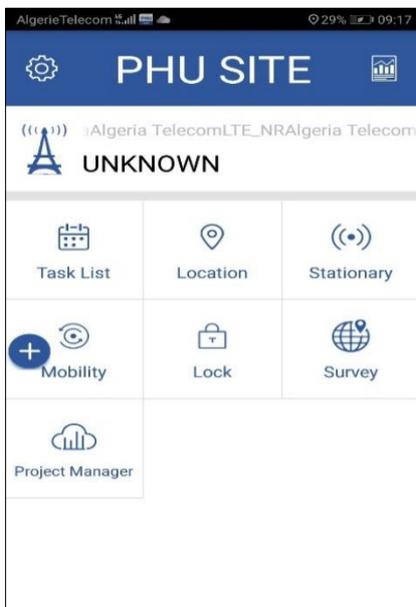


Figure A.3 : importation de Task.

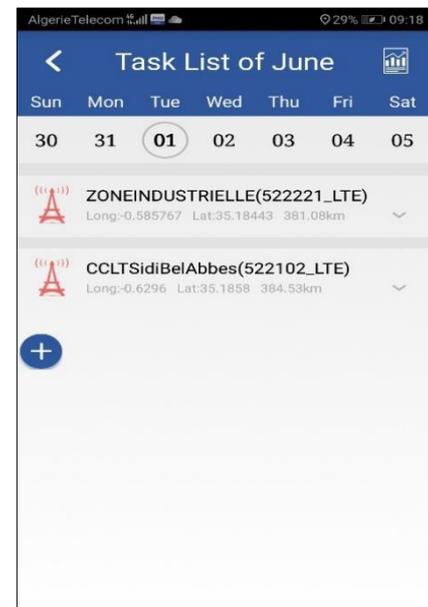


Figure A.4 : Task des deux sites.

4- Une fois nous cliquons sur le task nous obtiendrons la figure A.5.

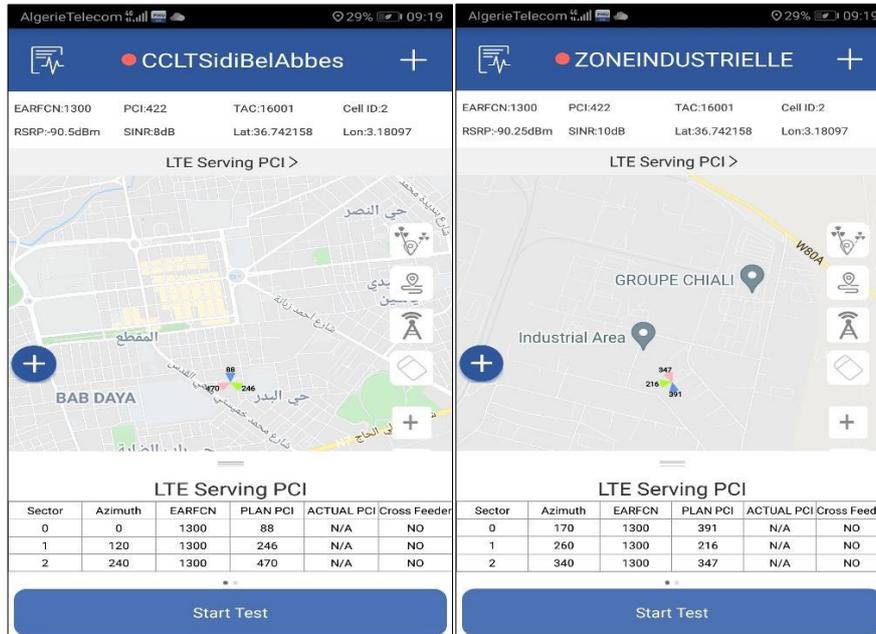


Figure A.5 : la position et les donnees des sites.

5- Nous cliquons sur « start test » pour demarrer le drive test.

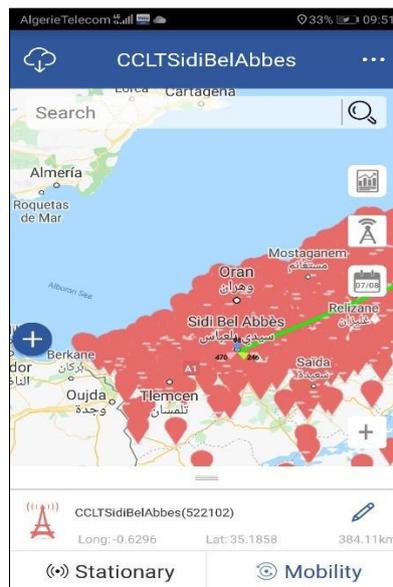


Figure A.6 : lancement de drive test.

Après cette dernière étape, les données collectées (des fichiers logs) par le drive test sont analysées à l'aide de logiciel GENEX ASSISTANT.

Annexe B

Logiciel OSSU2000

Pour effectuer les actions que nous avons proposée, il faut d'abord :

1. Démarrer logiciel OSSU2000.

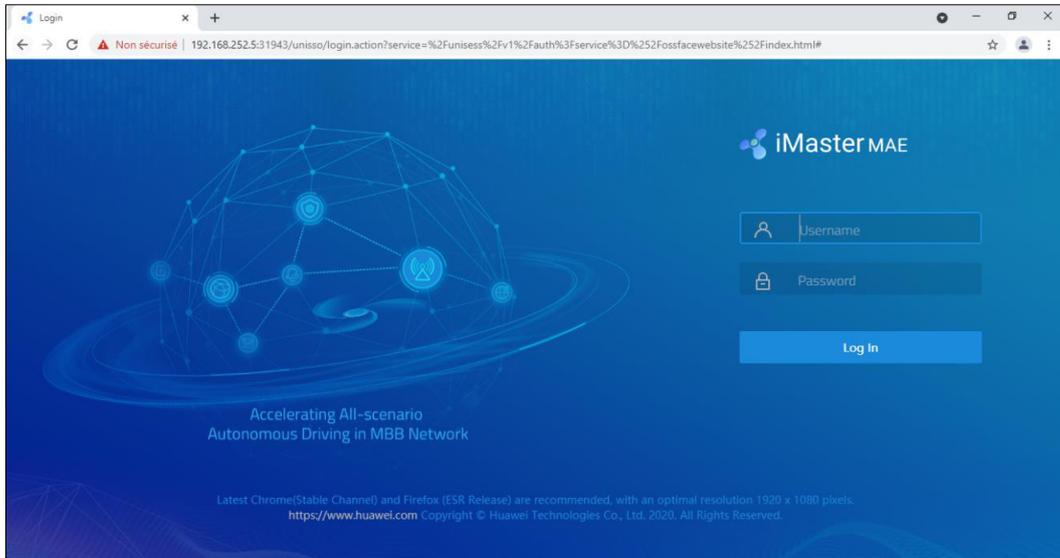


Figure B.1 : la plateforme de logiciel OSSU2000.

2. Cliqué sur « MML command »
3. Entrer le ID de site : pour sélectionner le site.

Changements des tilts :

4. Ecrire la commande « LST RETSUBUNIT » pour vérifier les tilts.

La figure suivante montre les étapes mentionnées.

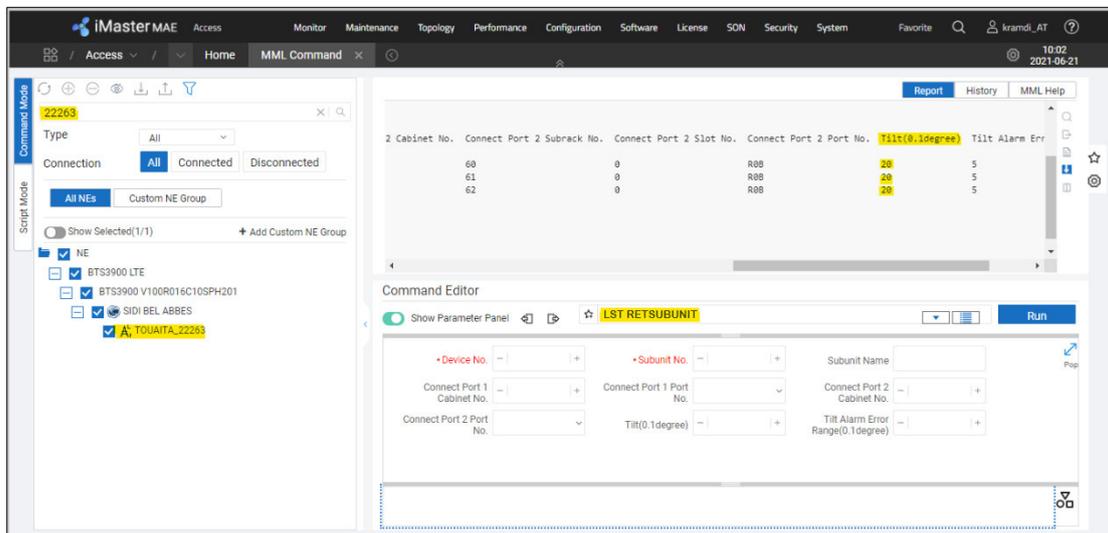


Figure B.2 : Vérification des tilts.

5. Ecrire la commande « MOD RETSUBUNIT » pour changer les tilts.

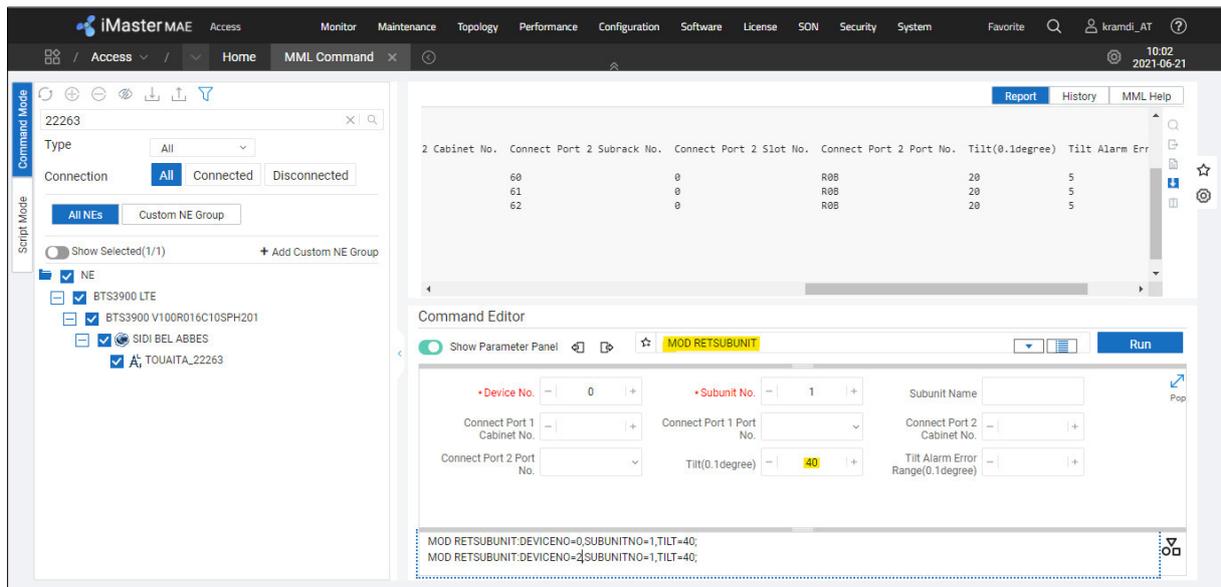


Figure B.3 : changement des tilts.

6. Ecrire la commande « LST RETSUBUNIT » pour vérifier si lacions a été modifier.

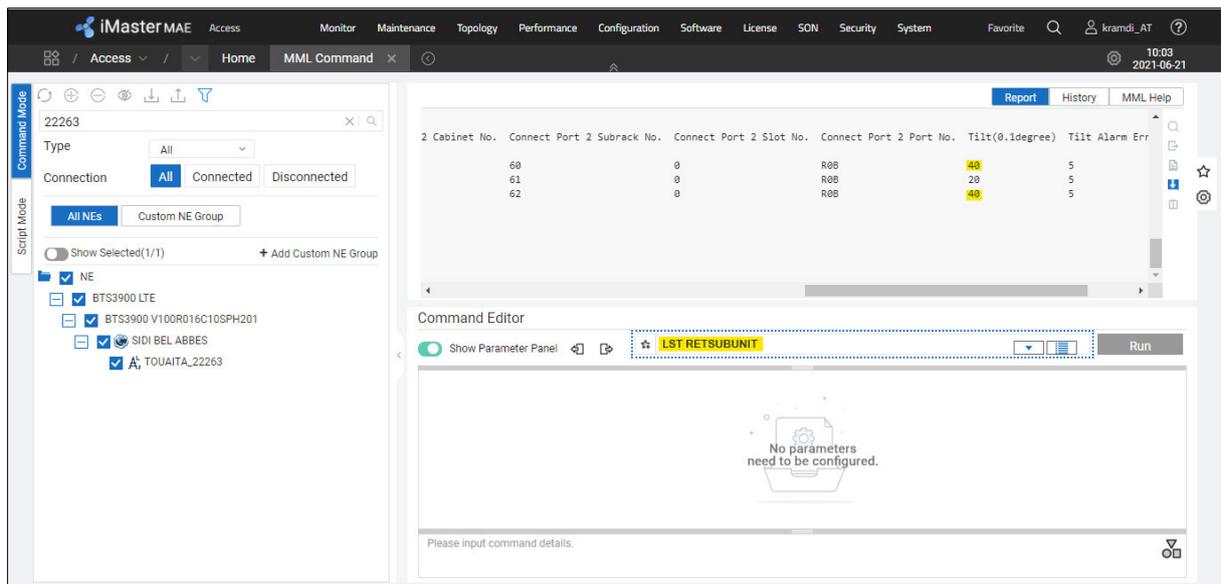


Figure B.4 : vérification des action (des changements).

Changements des PCI :

Pour changer les PCI d'un site il faut d'abord :

1. Désactiver les cellules avec la commande « DEA CELL », dans notre site pour les secteurs 1(cellule 0) et secteur 3 (cellule2).

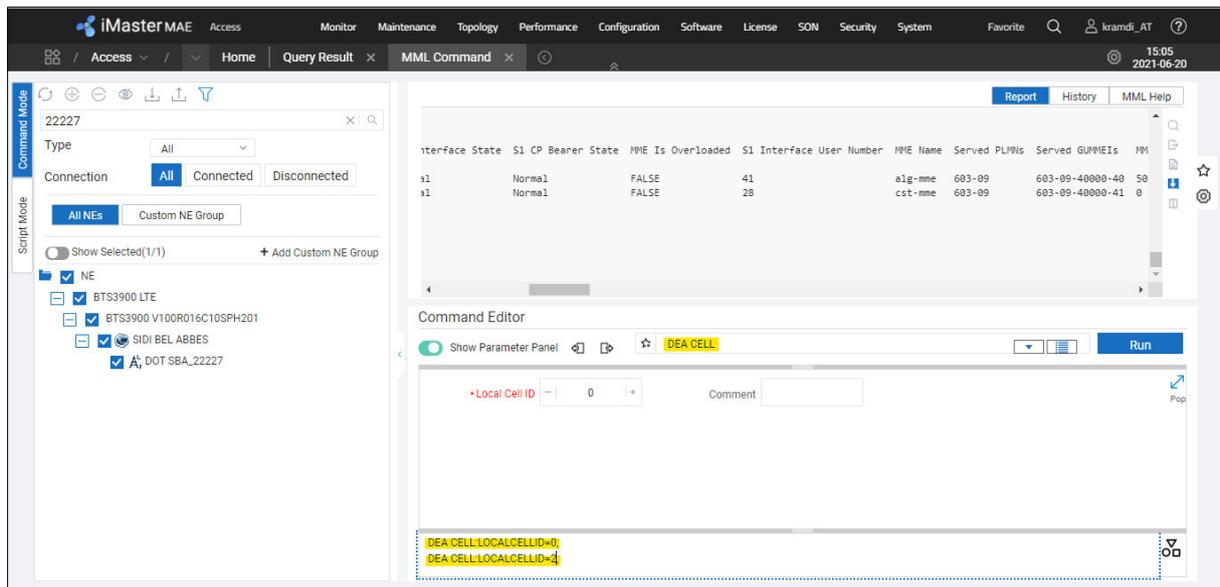


Figure B.5 : désactivation des cellules.

2. Modifier les PCI avec la commande « MOD CELL »

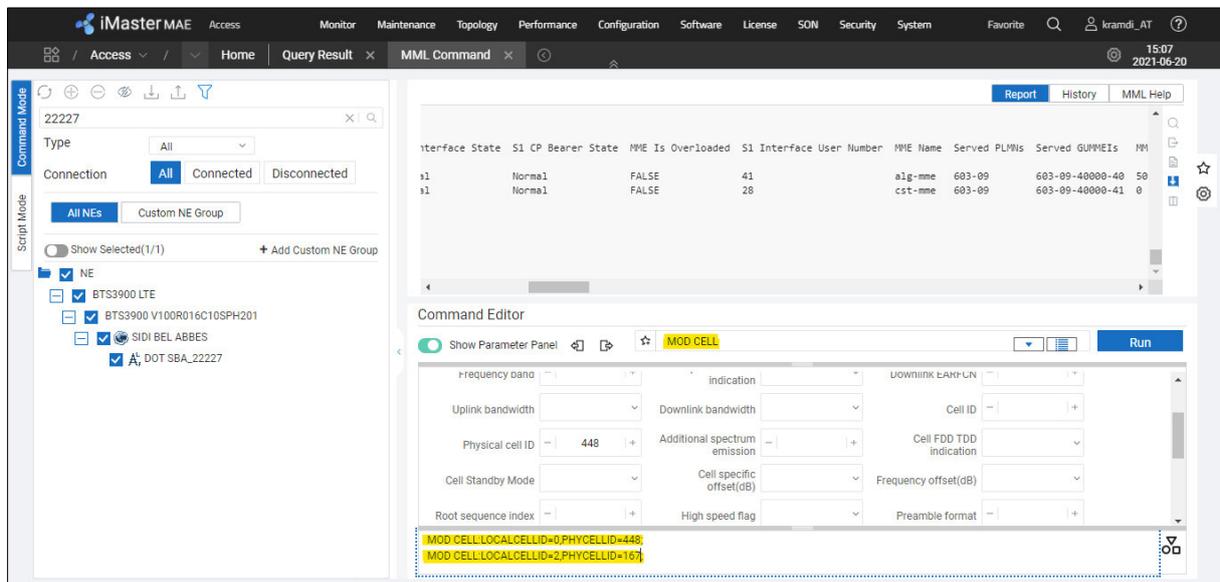


Figure B.6 : modification des PCI.

3. Activer les cellules avec la commande « ACT CELL ».

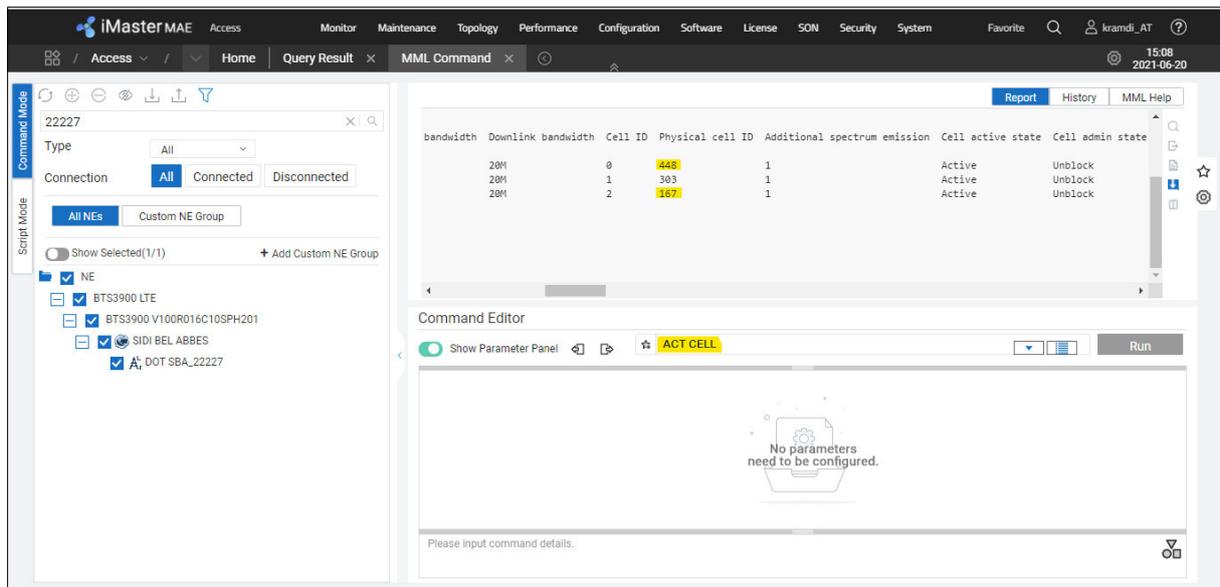


Figure B.7 : activation des cellules.

Activation de Handover :

Pour activer le Handover entre les sites il faut:

1. Ecrire la commande « LST ENODEBALGOSWITCH » pour vérifier les switches responsable des relations de voisinage.

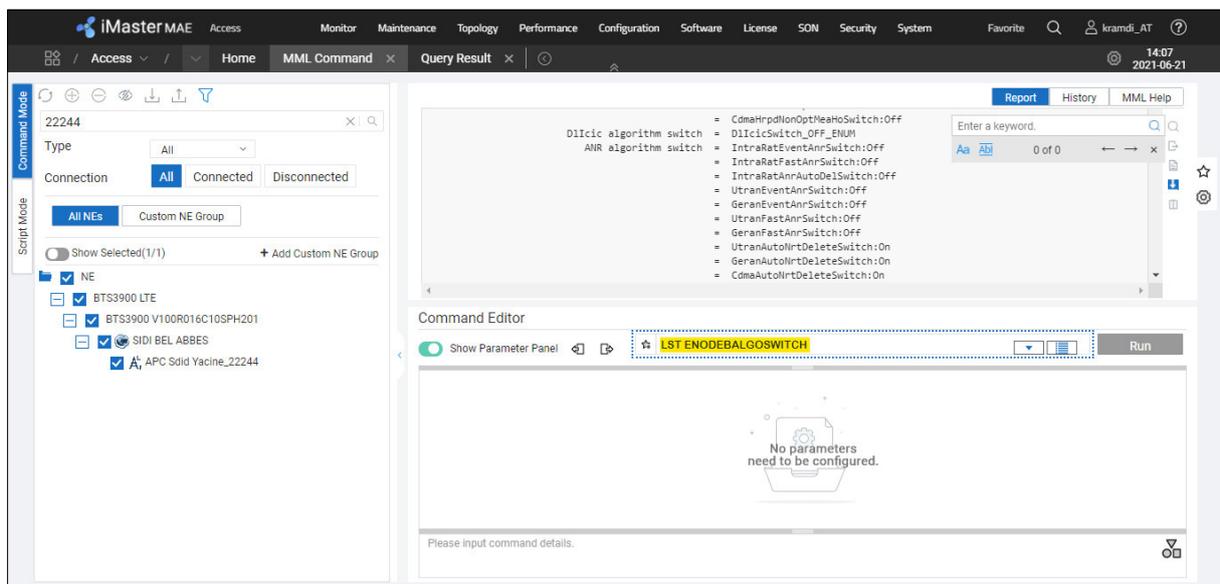


Figure B.8 : vérification des switches.

2. Ecrire la commande « MOD ENODEBALGOSWITCH » pour activer les switches.

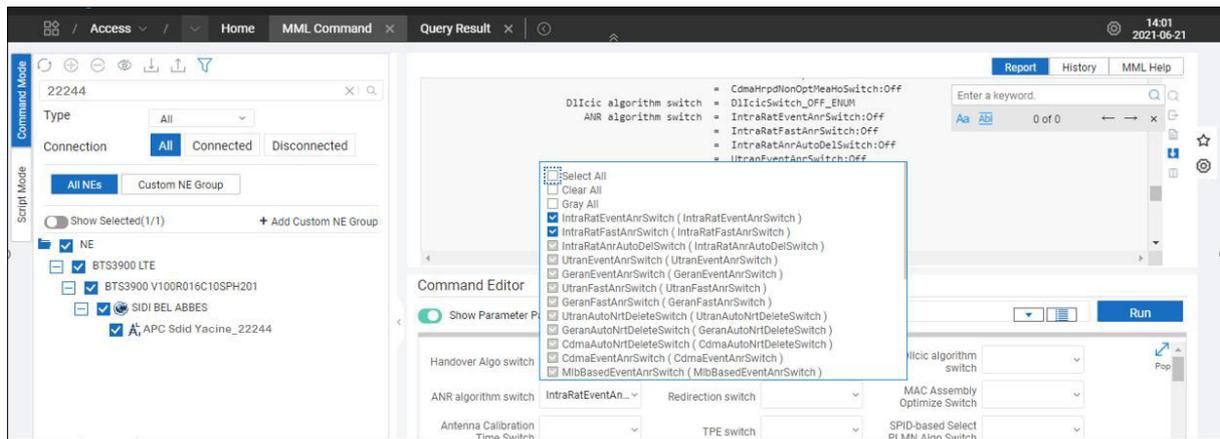


Figure B.9 : Activation du Handover.

Ajustement de puissance :

Pour booster la puissance RS de 15.2 dBm a 18.2 dBm nous avons augmenté les puissances Pb et Pa comme montre les étapes suivantes :

1. Ecrire la commande « MOD CELLDLPCPDSCHPA » pour changer la valeur de la puissance Pa (0 → -3).

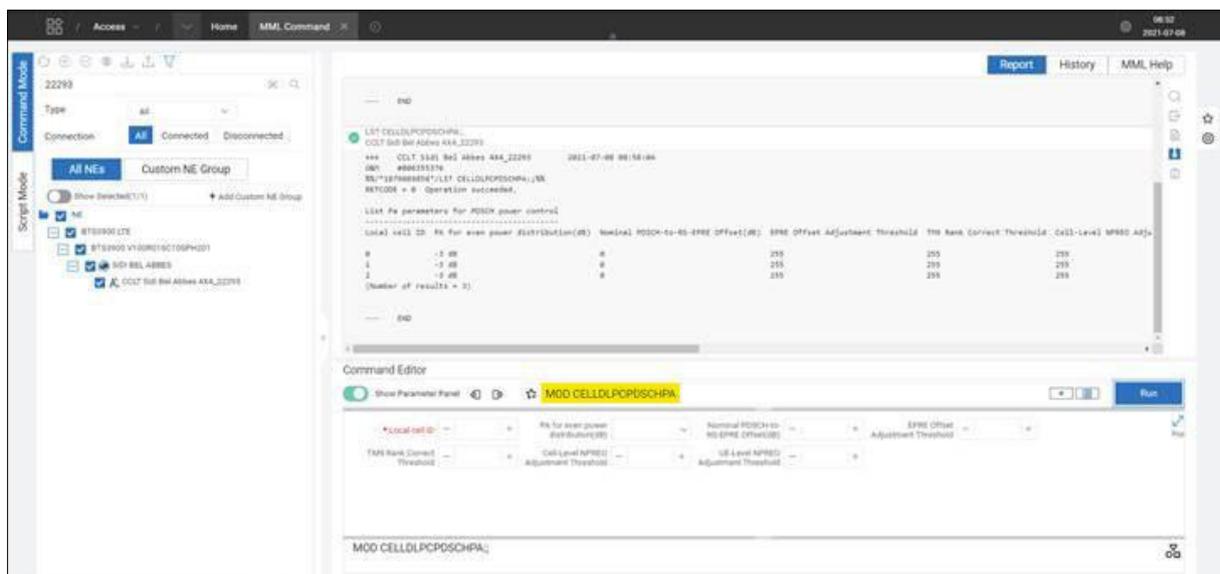


Figure B.10 : modification de la puissance Pa.

2. Ecrire la commande « MOD PDSCHCFG » pour changer la valeur de la puissance Pb

The screenshot displays the iMasterMAE interface with the following components:

- Navigation Bar:** Access, Monitor, Maintenance, Topology, Performance, Configuration, Software, License, SON, Security, System, Favorite, and user profile 'brandi_AT'.
- Command Editor:** Shows the command 'MOD PDSCHCFG;' with a 'Run' button.
- Output Panel:** Displays the execution results, including a table of power parameters.

Command Execution Output:

```

MOD PDSCHCFG:
COLT 500 B40 AddrX 4X4.22295
*** - COLT 500 B40 AddrX 4X4.22295 2021-07-08 06:16:14
URL: 888810171
URL: 888810171
URL: 888810171
MML: 14700000047.1.17 PDSCHCFG;/S
RTRCDE = # Operation succeeded.

LIST PDSCH Configuration
-----
Total cell ID Reference signal power(Pb) Pb Reference signal Power margin(Pb) Offset of Ant0 to Tx Power(Pb) Offset of Ant0 to Tx Power(Pb) Offset of Ant0
# 382 1 # 235 239 239
1 382 1 # 235 239 239
2 382 1 # 235 239 239
[Number of results = 3]
...
  
```

Command Editor Parameters:

Parameter	Value
Reference signal power(Pb)	Pb
Reference signal Power margin(Pb)	Reference signal Power margin(Pb)
Offset of Ant0 to Tx Power(Pb)	Offset of Ant0 to Tx Power(Pb)
Offset of Ant0 to Tx Power(Pb)	Offset of Ant0 to Tx Power(Pb)
Offset of Ant0 to Tx Power(Pb)	Offset of Ant0 to Tx Power(Pb)
TS Channel Power Config Switch	Cell Power Control (TS)
TS Channel Power Config Switch	Cell Power Control (TS)
Signal Port Swap Switch	PDSCH Power Beamforming Switch
Signal Port Swap Switch	PDSCH Power Beamforming Switch

Figure B.11 : modification de la puissance Pb.