

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique
Université Abderrahmane Mira
Faculté de la Technologie



Département d'Automatique, Télécommunication et d'Electronique

Projet de Fin d'Etudes

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Télécommunications

Spécialité : Réseaux et télécommunications

Thème

**Densification et paramétrage des sites Radio
mobiles 4G/LTE d'ATMobilis à Bejaia**

Préparé par :

Mlle MEGROUS CYLIA & Mlle HAMA KENZA

Dirigé par :

M. M. TOUNSI

M. D. OUADI(ATMobilis)

Examiné par :

Mr A. KHIERREDINE

Mme N. MEZHOUD

Année universitaire : 2022/2023

Remerciement

Avant tout, nous exprimons notre gratitude envers Dieu, le tout-puissant, pour nous avoir accordé la santé, le courage et la patience nécessaires pour mener à bien cette humble tâche.

Nous souhaitons exprimer notre sincère gratitude envers notre encadreur, M.TOUNSI, pour l'immense honneur qu'il nous a fait en nous guidant tout au long de ce projet.

Un grand merci à M. OUADI Djamel, chef du département exploitation et maintenance de la direction régionale de Sétif d'ATMobilis pour sa disponibilité tout au long de notre stage pratique, ses orientations éclairées et ses conseils avisés.

Nous tenons aussi à exprimer nos vifs remerciements aux membres du jury, M. A.KHIERREDINE pour avoir accepté de présider le jury, et Mme.N. MEZHOUD pour nous avoir fait l'honneur d'examiner ce document.

Nous souhaitons remercier également toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à l'achèvement de notre travail.

Dédicace

Je souhaite consacrer ce travail à toute ma famille : maman, mon père, mes sœurs Siham, Rosa, Ibettisem et mon frère Bilal qui ont été une source inépuisable d'amour, de soutien indéfectible et d'encouragements constants tout au long de notre parcours universitaire.

Je souhaite également exprimer la reconnaissance envers mes amis: Bachir, Imen, Silia, Nawel dont la présence, la compréhension et le soutien ont été précieux lors des moments de stress et de doutes.

A mon binôme HAMA KENZA, avec qui j'ai partagé les meilleurs moments malgré toutes les difficultés et les souffrances.

Enfin, je souhaite remercier chaleureusement toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce travail, que ce soit par leurs suggestions, leurs ressources ou leur assistance technique. Votre participation a été d'une importance cruciale, et nous vous en sommes profondément reconnaissants.

CYLIA

Dédicace

Je souhaite consacrer ce travail à toute ma famille : maman, mon père, ma sœur Amina et mes frères Lyes, Aymen qui ont été une source inépuisable d'amour, de soutien indéfectible et d'encouragements constants tout au long de notre parcours universitaire.

Je souhaite également exprimer la reconnaissance envers mes amis: Adel, Fateh, Omar, Katia, Basma, Cilia dont la présence, la compréhension et le soutien ont été précieux lors des moments de stress et de doutes.

A mon binôme MEGROUS CYLIA, avec qui j'ai partagé les meilleurs moments malgré toutes les difficultés et les souffrances.

Enfin, je souhaite remercier chaleureusement toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce travail, que ce soit par leurs suggestions, leurs ressources ou leur assistance technique. Votre participation a été d'une importance cruciale, et nous vous en sommes profondément reconnaissants.

KENZA

Liste des Figures**Liste des Tableaux****Liste des abréviations**

Introduction générale	1
Chapitre I. Généralités Sur Les Réseaux 4G/LTE.....	2
I.1 Introduction	2
I.2 Réseau 4G/LTE.....	2
I.3 Architecture du réseau LTE	2
I.3.1 L'équipement usager (UE)	3
I.3.2 Réseau d'Accès Radio (E-UTRAN).....	3
I.3.3 Notion de plan de contrôle et plan usagers :.....	5
I.3.4 Le réseau cœur EPC.....	6
I.4 Structure d'une trame LTE.....	7
I.4.1 Type de trame LTE.....	8
I.5 Les technologies utilisées en LTE.....	9
I.5.1 Méthode d'accès OFDMA :	9
I.5.2 Méthode d'accès SC-FDMA :	10
I.5.3 La différence entre les deux accès SC-FDMA et OFDMA	10
I.6 Systèmes MIMO et Massive MIMO.....	11
I.6.1 MIMO	11
I.6.2 Massive MIMO	12
I.7 Services et Performances de LTE	12
I.7.1 La capacité accrue.....	12
I.7.2 Le débit	13
I.7.3 La latence.....	13
I.7.4 La mobilité.....	14
I.7.5 QOS (Quality of service)	14
I.8 Conclusion.....	14
Chapitre II. Dimensionnement d'un Réseau LTE	15
II.1 Introduction.....	15
II.2 Le processus de Dimensionnement.....	15
II.2.2 Le pré-dimensionnement	15
II.2.3 Dimensionnement de couverture.....	16
II.2.4 Dimensionnement de capacité.....	24
II.2.5 Nombre d'eNodeB final requis	27
II.2.6 Optimisation Radio Fréquence	27

II.3 Conclusion	32
Chapitre III.Solutions de densification du réseau 4G/LTE ATMobilis à Bejaïa	33
III.1 Introduction	33
III.2 Organisation de la procédure de densification	33
III.3 Collecte et Analyse de KPI « Drive Test ».....	34
III.3.1 Zone de test	35
III.3.2 Analyse selon le niveau de puissance de réception des signaux de références	35
III.3.3 Analyse selon la qualité des signaux de référence à la réception	37
III.3.4 Analyse selon le rapport signal sur bruit SINR	38
III.3.5 Analyse selon le débit en liaison descendante	39
III.4 Solutions de densification des sites ATM sur le plan de couverture sous ATOLL	41
III.4.1 Importation des sites défaillants.....	41
III.4.2 Prédiction de couverture avec atoll	45
III.5 Solutions de densification des sites ATM sur le plan de capacité.....	49
III.5.1 Etude d'un cas réel de basculement vers le massive MIMO :.....	49
III.5.1.1 Choix de site à faible capacité.....	49
III.6 Conclusion.....	52
Conclusion Générale	51
Bibliographie	
Annexe	

Liste des figures

Figure.I.1: L'Architecture générale d'un réseau LTE	3
Figure.I.2: Equivalent de l'eNodeB	4
Figure.I.3: Plan de contrôle vs plan utilisateur	5
Figure.I.4: Structure d'une trame LTE.	8
Figure.I.5: : Principe du FDD.	8
Figure.I.6: Principe du TDD	9
Figure.I.7: Différence entre SC-FDMA et OFDMA.	11
Figure.I.8: Système MIMO	11
Figure.I.9: Modèle Massive MIMO.	12
Figure.II.1: Le processus de dimensionnement.	15
Figure.II.2: Processus de dimensionnement par couverture.	16
Figure.II.3: RLB Montant	18
Figure.II.4: RLB descendante	18
Figure.II.5: principe de l'affaiblissement maximal.	19
Figure.II.6: Modèle hexagonal de la cellule et types de secteur/site	24
Figure.II.7: Procédure de dimensionnement par capacité.	25
Figure II.10: Equipement du drive test.	29
Figure II.11 : les groupes des PCIs.	31
Figure.III.1: Organigramme de densification.	34
Figure.III.2: DT route tracé sous Google earth.	35
Figure.III.3: Plot du RSRP du DT.	35
Figure.III.4: Différentes gammes RSRP.	36
Figure.III.5: Zone à faible couverture.	36
Figure.III.6: Plot du RSQR obtenu lors du DT.	37
Figure.III.7: Différentes gammes SNIR.	37
Figure.III.8: Plot du SINR obtenu lors du DT.	38
Figure.III.9: Différentes gammes SNIR.	38
Figure.III.10: Plot du débit Down Link sur la zone.	39
Figure.III.11: Zones à faible débit.	40
Figure.III.12: Menu de configuration des paramètres d'un nouveau site.	41
Figure.III.13: Position des sites planifié (coordonnés GPS).	42
Figure.III.14: Définition des paramètres de l'émetteur.	43
Figure.III.15: Paramètres calibrés de la formule de COST-HATA pour l'environnement urbain et suburbain sur Atoll.	44

Figure.III.16: Position des sites planifiés sous Atoll.	44
Figure.III.17: Création d'une nouvelle couverture par le niveau du signal.	45
Figure.III.18: Résultat de prédiction de la couverture par le niveau de signal.	46
Figure.III.19: Histogramme de couverture des sites défectueux.	46
Figure.III.20: Trous de couverture.	47
Figure.III.21: Description des sites de correction installée.	47
Figure.III.22: Résultats de Prédiction des nouveaux sites.	48
Figure.III.23: Histogramme de la nouvelle couverture par le niveau de signal.	48
Figure.III.24: Histogramme des résultats de prédiction avant et après la densification.	49
Figure.III.25: Installation de Massive MIMO.	50
Figure.III.26: Distribution de PRB_utilisateur et le Débit en DL avant le basculement.	50
Figure.III.27: Distribution de PRB_utilisateur et le Débit en DL après le basculement.	51

Liste des Tableaux

<i>Tableau II.1</i> : Paramètre de bilan de liaison.	17
<i>Tableau II.2</i> : La variation de <i>ahm</i> pour Okumura-Hata [15 , 18].	21
<i>Tableau II.3</i> : La variation de <i>ahm</i> pour COST231-Hata [16].	22
<i>Tableau III.1</i> : Distribution en pourcentage du RSRP.	35
<i>Tableau III.2</i> : Distribution en pourcentage du RSRQ.	37
<i>Tableau III.3</i> : Distribution en pourcentage du SINR.	38
<i>Tableau III.4</i> : Distribution en pourcentage du débit Down Link.	39
<i>Tableau III.5</i> : Différentes gammes de débit DL.	40

Liste des Abréviations

#

3GPP: Third-Generation Partnership Project

2G: 2nd Generation

3G: 3rd Generation

4G: 4th Generation

A

AuC: Authentification Center

C

CDMA : Code Division Multiple Access

DFT: Discrete Fourier Transform

DL : Down Link

BHSA: Busy Hour Session Attempts

E

eNodeB: Evolved Node B

E-UTRAN: Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network

EPC: Evolved Packet Core

EIRP: Equivalent Isotropic Radiated Power

F

FDD: Frequency Division Duplex

FDMA: Frequency Division Multiple access

G

GSM: Global system of Mobile

GTP-U: GPRS Tunneling Protocol-User plane

G_{TMA}: Tower Mounted Amplifier Gain

H

HSS: Home Subscriber Server

I

IP: Internet Protocole

IM: Interference Margin

K

KPI: Key Performance Indicators

L

LTE: Long Term Evolution

Lpen : Penetration Loss

LNF: Log Normal Fading

M

MIMO: Multiple Input Multiple Output

ME: équipement mobile

MME: Mobility Management Entity

MAPL: Maximum Allowable PathLoss

N

NAS: Non-Access Startum

O

OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplexing

OFDMA: Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access

P

PDN-GW: Packet Data Network Gateway

PCRF: Policy and Charging Rules Fonction

PAPR: Peak-to-Average Power Ratio

PRB: Physical Resource Bloc

PSS: Primary Synchronization Signal

PAR: Peak to Average Ratio

PCI: Physical Cell Identifier

Q

QoS: Quality of Service

R

RF: Radio Frequency

RRM: Radio Resource Management

RLB: Radio Link Budget

RSRP: Reference Signal Received Power

RSRQ: Reference Signal Received Quality

RSSI: Received Signal Strength Indicator

S

SSS: Secondary Synchronization Signal

SC-FDMA: Single Carrier - Frequency Division Multiple Access

SAE: System Architecture Evolution

S-GW: Serving Gateway

SINR: Signal to interference Noise Ratio

T

TE: Equipement Terminal

TTI: Transmission Time Interval

TDMA: Time Division Multiplexing Access

U

L'UIT/IMT-advanced: International Mobile Telecommunications-Advanced

UMTS: Universal Mobile Telecommunications System

UL: Up Link

W

WIMAX: Worldwide Interoperability for Microwave Access

INTRODUCTION GENERALE

Depuis les années 1990, la téléphonie mobile est en constante évolution. Plusieurs générations de réseaux, à très forte valorisation, se sont succédé et ont drainé de lourds investissements de la part de nombreux opérateurs. Le téléphone mobile (smartphone de nos jours) est ainsi devenu un outil incontournable dans le quotidien de nos sociétés.

Avec une évolution rapide des technologies de transmission numériques et des nouvelles techniques multimédia, il est devenu crucial pour les opérateurs des réseaux mobiles de rentabiliser leurs investissements en offrant à leurs abonnés de plus en plus nombreux, une large panoplie de services avec une qualité sans cesse améliorée. L'optimisation des performances des systèmes installés est devenue ainsi un enjeu capital pour les investisseurs.

C'est dans ce cadre que s'inscrit l'objet de notre projet de fin d'étude. Nous nous intéressons à la densification de systèmes 4G/LTE de l'opérateur national de téléphonie mobile, AT Mobilis, dans la région de Bejaia. Notre objectif est d'étudier les procédures théoriques, de maîtriser les outils pratiques afin d'arriver à proposer des solutions d'optimisation des performances des sites en tenant compte des tendances de la technologie.

Nos différentes investigations sont rapportées dans ce mémoire structuré de la manière suivante :

- D'abord, le contexte théorique est introduit au premier chapitre avec un rappel des concepts de base des réseaux mobiles et des caractéristiques des réseaux 4G/ LTE ;
- Le deuxième chapitre est consacré à l'étude théorique du dimensionnement orienté capacité et couverture de tels systèmes. Nous y synthétisons les diverses étapes à suivre et les différentes formulations mathématiques nécessaires pour réussir le dimensionnement sur les deux plans ;
- Au dernier chapitre, nous nous appliquerons à proposer des solutions adéquates de densification de quelques sites 4G/LTE après une collecte de mesures d'indicateurs clé de performances (KPI) obtenus par un Drive test dans la ville de Bejaia. Nous validerons nos choix par une simulation sous ATOLL qui est un logiciel professionnel de planification à destination des opérateurs de téléphonie mobile.
- Nous terminons par une conclusion générale suivie des références bibliographiques utilisées.

Chapitre I

Généralités sur les réseaux 4G/LTE

Chapitre I. Généralités Sur Les Réseaux 4G/LTE

I.1 Introduction

LTE est la technologie par excellence des réseaux sans fils à l'échelle mondiale. Nettement supérieure aux technologies précédentes, cette technologie qu'est le sujet principal du présent chapitre apporte une qualité de service certaine, un débit considérablement élevé par rapport à ses prédécesseurs avec un temps de latence réduit.

I.2 Réseau 4G/LTE

4G représente la première génération des réseaux cellulaires basée sur une architecture IP plate, il utilise le protocole IP (Internet Protocole) pour la voix et les données, différente de la 3G qui n'utilise que l'IP pour les données, tout en permettant la voix avec un réseau à commutation de circuits. En tant que réseau entièrement IP, la 4G est plus efficace pour les fournisseurs de réseaux à exploiter et à optimiser que la gestion de différentes technologies de réseau pour la voix et les données. Les capacités de transmission et de réception de la 4G sont alimentées par les technologies MIMO et OFDM et des techniques d'accès qui y sont associées (OFDMA/SC-FDMA). MIMO et OFDM permettent tous les deux plus de capacité et de bande passante par rapport aux générations précédentes. Les deux normes 4G importantes sont le WIMAX et le LTE qui a connu un déploiement généralisé.

Son objectif est de fournir une haute vitesse pouvant aller jusqu'à 1 Gbps en vitesse fixe (stable), et 100 Mbps pour les utilisateurs mobiles selon les critères de l'UIT, une latence réduite d'environ à moins de 100 ms et une congestion nettement inférieure, haute qualité et une haute capacité, aux utilisateurs tout en améliorant la sécurité et en réduisant le coût des services vocaux et de données du multimédia et de l'internet sur IP. Les applications potentielles qui sont offertes par cette génération comprennent l'accès Web mobile, la téléphonie IP, les services de jeux, la télévision mobile haute définition, la vidéoconférence et la télévision 3D... etc.

I.3 Architecture du réseau LTE

L'architecture LTE répond à de nombreuses exigences techniques, qui ont conduit à des évolutions majeures par rapport à l'architecture définie pour les réseaux 2G et 3G. Ces exigences non exhaustives ont motivé les évolutions d'architecture définies par le 3GPP, que nous allons à présent détailler.

D'un point de vue physique, l'architecture LTE est composée de trois domaines :

- l'UE (User équipement) ;
- le réseau d'accès, appelé LTE ou E-UTRAN (Evolved-UTRAN) ;
- le réseau cœur, appelé EPC ;

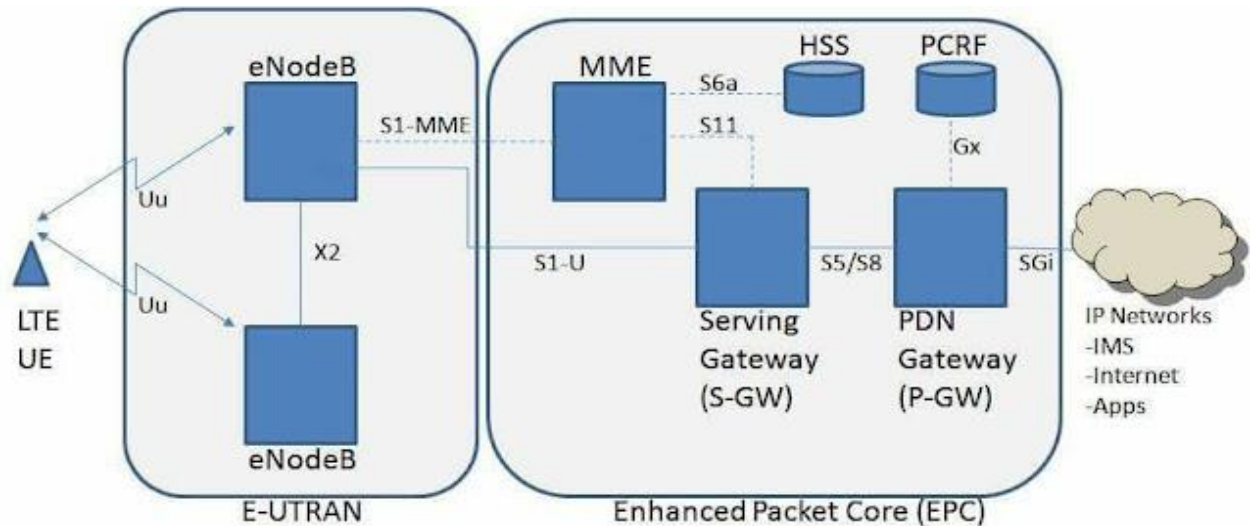


Figure.I.1: L'Architecture générale d'un réseau LTE [1].

I.3.1 L'équipement usager (UE)

Le domaine de l'Équipement utilisateur (l'UE) regroupe les éléments suivants :

I.3.1.1 L'équipement mobile (ME)

Équipement responsable de la gestion de la connexion avec le réseau mobile, ainsi que la garantie de la continuité de service en mobilité.

I.3.1.2 L'équipement terminal (TE)

Également appelé Terminal Equipment en anglais, est l'élément physique utilisé par les utilisateurs pour accéder aux services du réseau mobile. Cela peut être n'importe quel équipement (smartphone, tablette,...) utilisant un équipement mobile externe ou intégré (carte SIM) pour se connecter au réseau mobile.

I.3.2 Réseau d'Accès Radio (E-UTRAN)

Réseau universel évolué d'accès radio terrestre en français, Le terme EUTRA est aussi parfois utilisé. Désigne la partie radio d'un réseau de téléphonie mobile LTE, A la différence de l'UTRAN 3G ou sont présentés les entités Node B et RNC, l'architecture E-UTRAN 4G ne présente que des

eNode B dont les fonctions de contrôles sont intégrées c'est pour cela l'architecture définie pour le LTE est dite : architecture plate et simplifiée.

I.3.2.1 Entité eNodeB (Evolved NodeB)

L'échange radio avec l'E-UTRAN est assuré par ces composants unique les eNodeB qui sont l'équivalent de l'RNC et le NodeB pour la 3G comme (la figure2) le montre :

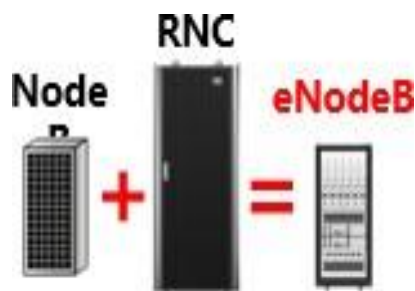


Figure.I.2: Equivalent de l'eNodeB [2].

Les stations de base « eNode B » réalisent la passerelle entre les terminaux mobiles UEs, et le cœur du réseau des opérateurs LTE, via les RF (radio frequency) air interface.

Les stations de bases eNodeBs sont des entités intelligentes responsables de toutes les fonctions radio.

Parmi ces tâches principales :

- La gestion des ressources radio ou RRM telles que le contrôle d'admission, la gestion de la mobilité et l'allocation dynamique des ressources dans les sens UL et DL.
- Elle permet la compression d'en-tête IP et le chiffrement des données pour avoir un bon usage de ressources radios sécurisés [3].

I.3.2.2 Interfaces du réseau d'accès

On distingue trois interfaces dont dispose l'eNodeB soit :

a. L'interface Uu

C'est l'interface radio qui adopte la communication entre l'eNodeB et l'UE. Elle est utilisée pour la mise en place, la reconfiguration et la libération des services du support radio.

b. L'interface S1

Les eNodeBs sont également connectés à l'EPC via l'interface S1, qui est divisé en plan utilisateur et plan de contrôle :

- L'interface du plan de contrôle est appelée S1-MME ou S1-C (S1-Contrôle) utilisé entre l'eNodeB et le MME est dite aussi une interface de signalisation.
- L'Interface S1-U (S1-Usager), quant à elle, se termine au Serving GW et gère le trafic du plan utilisateur.

c. L'interface X2

Est définie entre les eNodeB adjacents. Son rôle est de minimiser la perte de paquets lors de la mobilité de l'utilisateur en mode ACTIF (handover). Cette nouvelle interface permet à l'utilisateur de se déplacer en mode ACTIF d'un eNodeB à un autre en allouant des nouvelles ressources.

I.3.3 Notion de plan de contrôle et plan usagers :

Plan usager : Correspond aux protocoles et fonctions mis en œuvre pour le traitement des données d'utilisateurs (voix, internet, streaming vidéo) envoyées et reçues entre l'UE et le PDN. Ses flux de données sont gérés par l'interface S1-U en utilisant le protocole GTP-U (GPRS Tunneling Protocol-User plan) entre l'eNodeB ET S-GW.

Plan de control : comme son nom l'indique il permet de contrôler le plan usager, par l'échange d'informations et de contextes associés à l'utilisateur, ce plan est l'endroit où les nœuds échangent des messages de signalisations [4].

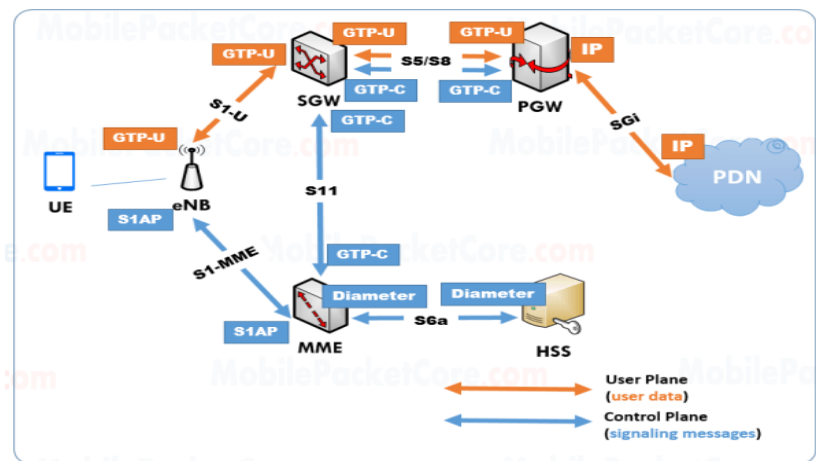


Figure.I.3: Plan de contrôle vs plan utilisateur [4].

I.3.4 Le réseau cœur EPC

En LTE, le cœur réseau est appelé EPC ou SAE. Elle est conçu pour être un réseau tout IP c'est -à-dire basées sur les protocoles internet, avec une architecture plate. Il comprend plusieurs domaines fonctionnels tels que la gestion des appels et l'authentification de l'UE.

L'EPC se compose de plusieurs éléments clé, notamment :

I.3.4.1 MME

Un ou plusieurs équipements gérant la localisation appelés MME, qui est le nœud principal de contrôle du réseau d'accès (LTE/EPC). Elle manipule un certain nombre de fonctionnalités telles que :

- Gestion de mobilité en mode veille.
- l'enregistrement et la mise à jour de localisation de l'UE : Lorsqu'un terminal s'attache au réseau, met à jour sa localisation (changement de zone de suivi ou tracking area).
- le MME est le nœud de contrôle qui gère la signalisation entre l'UE et le réseau cœur par l'intermédiaire de l'eNodeB.
- Établissement des bearers : Le MME est responsable de la gestion des bearers et notamment des phases d'établissement, de reconfiguration et de relâche des bearers.
- la sécurité de niveau NAS (non-access startum): Enfin, le MME maintient un contexte de l'UE tant que celui-ci est enregistré au réseau. Ce contexte contient notamment les paramètres de sécurité NAS et les capacités radio et réseau de l'UE [5].

I.3.4.2 S-GW

Ou Passerelle de service, est la jonction principale entre le réseau cœur et le réseau accès, elle opère comme une ancre locale qui sert à la mobilité inter-eNodeB .Tout les paquets IP qui transmises par les utilisateurs sont acheminés et transférés à travers la SGW, comme elle permet de faire la relève entre les systèmes mobiles de différentes générations (inter-3GPP) comme (LTE et UMTS) en gérant la mobilité entre ces derniers.

Pour les UE à l'état inactif, le S-GW conserve le contexte des UE et génère des demandes de pagination lorsque l'UE reçoit des données de liaison descendante Le S-GW effectue également la réplication du trafic utilisateur en cas d'interception légale [6].

I.3.4.3 PDN-GW

Ou simplement (P-GW) elle constitue une porte d'entrée unique entre le réseau IP de l'opérateur et Internet. Elle achemine donc les paquets de données internet vers le terminal et réciproquement les données du terminal vers Internet. Au-delà de cela elle attribue également une adresse IP à tous les

utilisateurs au moment de l'attachement au réseau. P-GW s'occupe, du filtrage des paquets (par exemple, inspection approfondie des paquets) utilisateur par utilisateur, de l'interception légale, de prendre en charge certaines fonctionnalités du réseau et de facturer leur utilisation.

Chaque terminal peut être exploité par plusieurs PGW simultanément, il peut donc accéder à de nombreux réseaux de paquets externes tel que systèmes 3GPP et non 3GPP (WIMAX, WIFI...).

I.3.4.4 HSS

Le serveur d'abonné à domicile est une base de données centrale qui contient des informations relatives aux utilisateurs et aux abonnements, Il contient également les informations concernant les réseaux de données (PDN) auxquels l'utilisateur peut se connecter.

Les fonctions du HSS comprennent :

- La gestion de la mobilité.
- Le HSS peut aussi intégrer le centre d'authentification ou AuC (Authentication center) qui permet l'authentification des abonnés et l'autorisation d'accès.
- Le MME peut dialoguer avec le HSS, par exemple pour vérifier que l'abonné est bien autorisé sur le réseau considéré.

I.3.4.5 Fonctions de politique et règles de tarification (PCRF)

Un nouvel élément optionnel du cœur de réseau 4G, responsable de la prise de décision principal du contrôle parmi ses fonctions on cite :

PCRF permet d'appliquer des règles de gestion évoluées sur le trafic et la facturation de l'utilisateur en fonction de son offre, qui doivent être prises en compte par le PDNGW et applicables en fonction des actions de l'utilisateur.

Il fournit une QoS d'autorisation pour décider le traitement des données en respectant l'abonnement des utilisateurs. Pour cette raison il communique avec le PCEF (Policy Control Enforcement Function), qui est intégré dans la PGW.

I.4 Structure d'une trame LTE

En LTE les données sont émises dans une trame découpées en 10 sous trames dont la durée est de 1 ms (nommée aussi TTI : Transmission Time Interval).

Chaque sous trame est composée d'une paire de slots de 0,5 ms chacun, cela signifie que nous avons 20 slots dans une trame qui sont numérotés de 0 à 19[7].

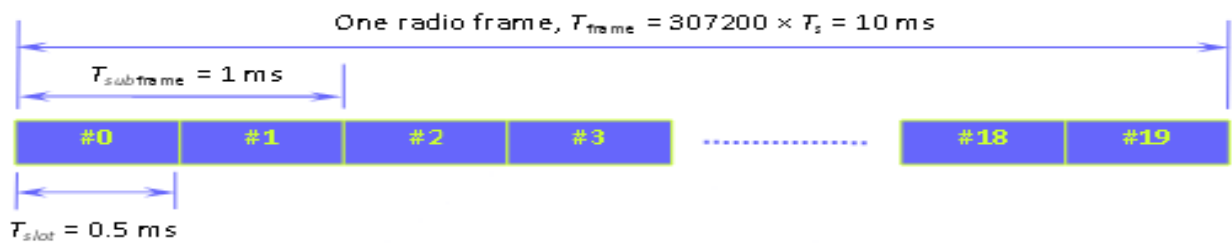


Figure.I.4: Structure d'une trame LTE.

I.4.1 Type de trame LTE

Les structures de trame pour LTE diffèrent entre les modes duplex par répartition dans le temps TDD, et duplex par répartition en fréquence FDD, car il existe différentes exigences en matière de séparation des données transmises.

Il existe deux types de structure de trame LTE :

I.4.1.1 Trame de Type 1 (FDD)

Avec le FDD, l'UE ne peut transmettre et recevoir simultanément ; une porteuse est utilisée pour la voie descendante et une autre pour la voie montante. Pendant une sous-trame, on a donc simultanément deux transmissions.

Le FDD requiert également un temps de garde afin que l'UE puisse basculer de l'émission à la réception, et inversement [8].

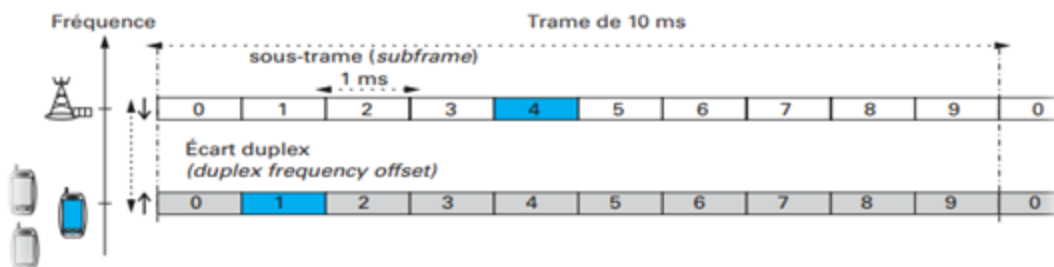


Figure.I.5: : Principe du FDD [8].

I.4.1.2 Trame de Type2 (TDD) :

Avec le TDD, la même porteuse est utilisée, mais une sous-trame est réservée à un sens de transmission et cette sous trame peut être une liaison descendante, une liaison montante, ou une sous trame spéciale qui contient notamment un temps de garde noté GP nécessaire au basculement entre les deux voix. .

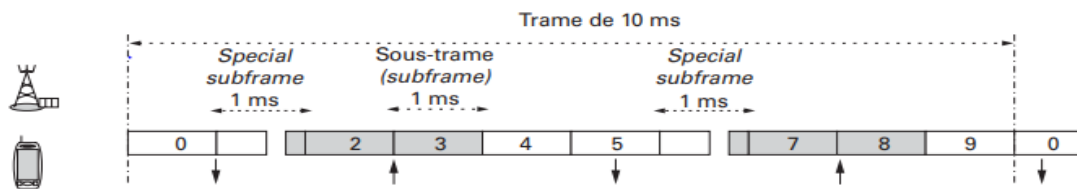


Figure.I.6: Principe du TDD [8].

I.5 Les technologies utilisées en LTE

Un principe élémentaire pour accroître un débit d'un facteur n est de transmettre plusieurs informations en parallèle sur n voies. C'est ce qui est réalisé en OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), ce qui était impossible pour des transmissions radios avec les technologies analogiques car cela supposait de disposer réellement de n émetteurs et n récepteurs.

Il est utile donc de retenir que la transmission OFDM s'effectue en parallèle sur plusieurs porteuses à bande étroite appelées sous porteuses. Ces sous-porteuses sont orthogonales, de sorte qu'un symbole de modulation transmis sur une sous-porteuse ne subit pas d'interférence de la part des sous-porteuses adjacentes. De plus, l'OFDM est immunisé contre l'interférence entre symboles dans les domaines temporel et fréquentiel.

En LTE deux variantes de techniques d'accès qui appartiennent à la même famille que L'OFDM sont utilisées :

I.5.1 Méthode d'accès OFDMA :

La technique nommée OFDMA est une technique de Multiplexage d'accès par fréquences orthogonales reposant sur l'OFDM utilisé dans liaison descendante des réseaux LTE. Elle désigne la combinaison de TDMA et FDMA en adoptant le couple temps-fréquence. Cette technique a pu s'imposer comme solution qui offre un meilleur compromis entre débit élevé, bande de fréquence optimisée et interférences réduites.

En particulier, elle permet de dimensionner le nombre de sous-porteuses allouées à un UE en fonction de ses besoins en débit. Par exemple, un UE effectuant un appel voix, ne nécessitant qu'un faible débit, se verra allouer un nombre de sous-porteuses bien inférieur à un UE téléchargeant un fichier volumineux.

Cependant, comme tous les systèmes de modulation, la technique OFDMA souffre d'un inconvénient majeur en comparaison avec les systèmes mono porteurs [10].

I.5.1.1 Le PAPR élevé de l'OFDMA:

Appelé aussi facteur de crête, c'est une mesure sans dimension. Le PAPR est le rapport entre l'amplitude maximale du signal et sa valeur moyenne, son expression est donnée par :

$$PAPR = \frac{P_{max}}{P_{moy}} = \frac{\max_{0 \leq t < T} |s(t)|^2}{\frac{1}{T} \int_0^T |S(t)|^2 dt} \quad (I.1)$$

L'inconvénient majeur du signal issu d'un modulateur OFDMA est son PAPR élevé. Ceci est dû à la transmission en parallèle, sur un nombre important de porteuses, il est évident donc que plus le nombre de sous porteuses est important plus grand est la probabilité d'avoir un PAPR élevé de plus cette transmission nécessite des amplificateurs de haute puissance, entraîne une réduction de l'efficacité énergétique au niveau de l'émetteur [9].

I.5.2 Méthode d'accès SC-FDMA :

Le SC-FDMA peut être considéré comme une variante linéaire des codages OFDM et OFDMA, dans le sens où il consiste aussi à répartir sur un grand nombre de sous-porteuses du signal numérique, mais il utilise en complément, une « DFT » (Transformation de Fourier discrète du signal) supplémentaire pour pré-coder l'OFDMA conventionnel.

Il a été adopté pour les liaisons UpLink de certaines normes 3GPP, plus particulièrement pour la partie radio (eUTRAN) des réseaux mobiles « LTE ».

Ce codage permet de diminuer la consommation électrique du terminal et donc d'augmenter l'autonomie de sa batterie, D'où son PAPR (peak-to-average power ratio) plus faible que celui de l'OFDMA bénéficie au terminal mobile en termes d'efficacité énergétique, en diminuant la puissance crête d'émission et donc le poids et le coût du terminal [10].

I.5.3 La différence entre les deux accès SC-FDMA et OFDMA

La norme 3GPP LTE et LTE-A ont choisi deux techniques d'accès multiples qui appartiennent à la même famille OFDM. L'OFDMA a été choisi pour la liaison descendante et le SC-FDMA pour la liaison montante. Nous avons vu dans les paragraphes précédents qu'une seule composante a été ajoutée à l'OFDMA pour obtenir le SC-FDMA, il s'agit d'un bloc de précodage DFT.

La différence majeure entre elles, réside dans le fait que l'OFDMA est une technique de transmission des données d'une manière multi-porteuses tandis que le SC-FDMA est mono porteuse.

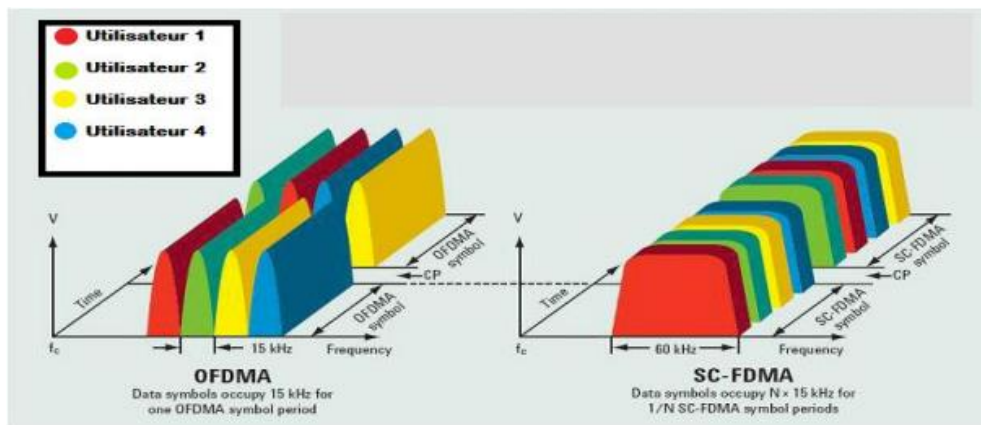


Figure.I.7: Différence entre SC-FDMA et OFDMA.

I.6 Systèmes MIMO et Massive MIMO

I.6.1 MIMO

Le MIMO (Multiple-Input Multiple-Output), est une technologie émergente qui est considérée comme l'une des méthodes les plus prometteuses pour les systèmes de communication révolutionnaires comme les réseaux wifi, la 4G et la 5G. Cette technologie permet d'exploiter de manière efficace la diversité spatiale des trajets multiples pour améliorer considérablement les performances des communications sans fil. Grâce à l'utilisation de multiples antennes d'émission (Tx) et de réception (Rx), les systèmes MIMO sont l'un des principaux axes de développement capables d'augmenter la capacité de transmission, d'atteindre des débits de 100 mégabits par seconde pour les applications vidéo et d'améliorer la qualité du signal [11].

Il peut être implémenté avec différentes technologies, telles que SU-MIMO (Single User MIMO) où chaque antenne est utilisée pour transmettre/recevoir des données à un seul utilisateur et MU-MIMO

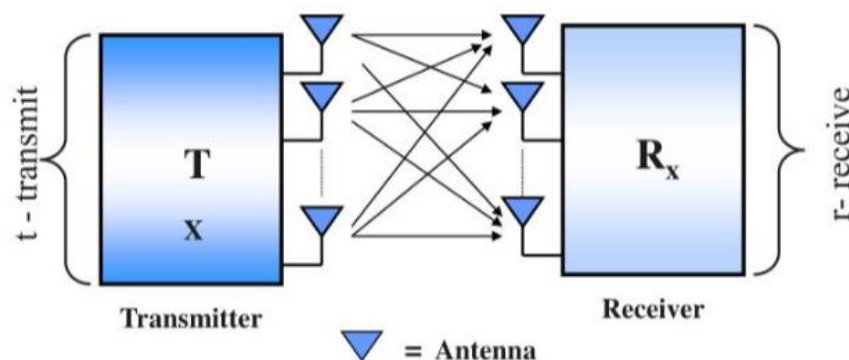


Figure.I.8: Système MIMO.

Cependant, ces nouvelles technologies ne suffisent pas à répondre à la demande toujours croissante. Le nombre d'utilisateurs sans fil a augmenté de manière exponentielle ces dernières années, générant des quantités massives de données qui doivent être utilisées de manière efficace et fiable.

I.6.2 Massive MIMO

Représente une avancée captivante dans le domaine de l'accès sans fil, offrant des perspectives prometteuses. Elle se définit comme une technique d'antennes radio qui implique l'utilisation d'un nombre beaucoup plus élevé d'antennes sur la station de base (des dizaines, des centaines ou même des milliers d'antennes dans un seul réseau) par rapport aux systèmes MIMO traditionnels (en général deux à quatre antennes sur la station de base) [12]. Cette technique est capable d'éliminer les évanouissements rapides, les interférences et le bruit du système de communication. Massive MIMO est ainsi l'une des techniques clés pour les gains de capacité et de débit promis pour une meilleure expérience de l'utilisateur.

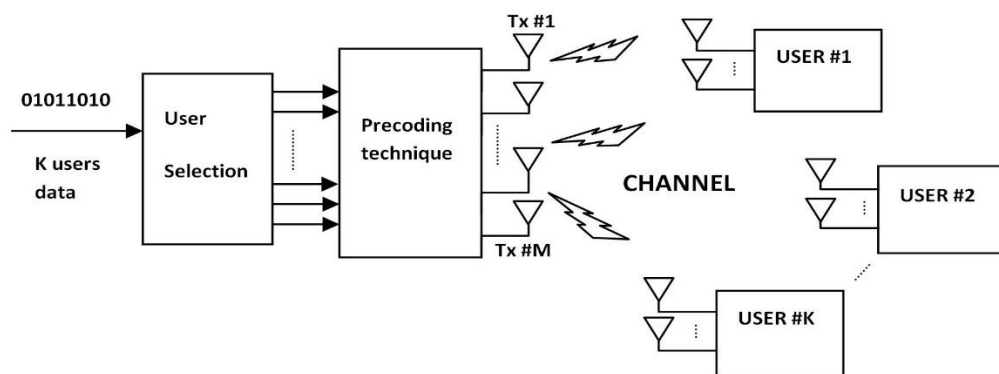


Figure.I.9: Modèle Massive MIMO.

I.7 Services et Performances de LTE

Pour satisfaire au mieux les besoins et les intérêts des clients, les opérateurs doivent pouvoir offrir, au meilleur prix, des services d'excellente qualité.

En synthèse, l'objectif majeur du LTE est d'améliorer le support des services de données via une meilleure qualité de service, une capacité accrue, une augmentation des débits et une réduction de la latence. En complément de ces exigences de performance, le 3GPP a aussi défini des prérequis fonctionnels tels que la flexibilité spectrale est la mobilité avec les autres technologies 3GPP, Dans cette partie on parlera de l'analyse de ces performances des réseaux 4G.

I.7.1 La capacité accrue

Initialement, la capacité des réseaux mobiles se traduisait par le nombre maximal de communications téléphoniques pouvant être maintenues simultanément sous couverture d'une même cellule. Plus généralement, la capacité d'un réseau peut être représentée aussi par le débit total maximal pouvant être écoulé par une cellule fortement chargée.

La présence de plusieurs UEs actifs sous une même cellule se traduit par une réduction du débit fourni à chacun et la capacité est divisée par le nombre d'UEs actifs dans cette cellule. En revanche LTE permet alors d'accroître la capacité des réseaux mobiles. Il est attendu qu'au moins 200 utilisateurs simultanés par cellule soient acceptés à l'état actif pour une largeur de bande de 5 MHz, et au moins 400 utilisateurs pour des largeurs de bande supérieures [3].

I.7.2 Le débit

Il définit le volume maximal pouvant être atteint pour la transmission de l'information (bits) par unité de temps (s) dans une communication entre un émetteur et un récepteur.

Les objectifs de débit maximal définis pour le LTE sont les suivants [3] :

- ✓ 100 Mbit/s en voie descendante pour une largeur de bande allouée de 20 MHz, soit une efficacité spectrale crête de 5 bit/s/Hz
- ✓ 50 Mbit/s en voie montante pour une largeur de bande allouée de 20 MHz, soit une efficacité spectrale crête de 2,5 bit/s/Hz.
- ✓ Le débit de cellule doit être atteignable au moins par 95% des utilisateurs de la cellule.

I.7.3 La latence

C'est le temps écoulé entre l'envoi et la réception d'une requête sur le réseau elle est généralement mesurée en ms.

Les réseaux 4G LTE offrent une latence plus faible que la 3G et la 2G, ce qui se traduit par un temps de réponse plus rapide pour les applications en temps réel telles que les jeux en ligne, les appels vidéo et le téléchargement des données. Elle se résume en latence du plan de contrôle et latence du plan usager :

- **Latence du plan de contrôle** : Le LTE vise à améliorer la latence de traitement des commandes par rapport à l'UMTS en garantissant que le temps nécessaire pour passer de l'état de veille à l'état actif est inférieur à 100 ms, ce qui permet d'établir le plan de l'utilisateur.
- **Latence du plan usager** : définie par le temps nécessaire à la transmission d'un paquet entre la couche IP d'un équipement d'utilisateur et la couche IP d'un nœud de réseau d'accès ou vice versa. Dans une situation de non-charge avec un seul terminal actif sur l'interface radio, la latence du LTE est inférieure à 5 ms, tandis que dans une situation de charge moyenne de l'interface radio, elle est d'environ 20 ms.

I.7.4 La mobilité

La mobilité est un élément clé qui permet aux utilisateurs de se déplacer dans une zone de couverture sans perdre leur connexion au réseau. Elle met en œuvre plusieurs procédures telles que la recherche de cellule, la sélection de cellule, la mesure de signal ...(Handover) basculant l'UE vers la meilleure cellule qui peut l'accueillir.

En LTE La mobilité est assurée à des vitesses élevées, allant jusqu'à 350 km/h, voire 500 km/h selon la bande de fréquences, tout en étant optimisé pour les vitesses faibles de l'UE, allant de 0 à 15 km/h.

I.7.5 QOS (Quality of service)

La QoS est définie dans la recommandation E-800 de l'UIT par un effet global produit par la qualité de fonctionnement d'un service qui détermine le degré de satisfaction de l'utilisateur [13].

Elle correspond à un ensemble de technologies mises en œuvre afin d'assurer les meilleures performances pour la transmission des données dans les bonnes conditions en respectant certaines valeurs minimales des attributs du réseau tels que la disponibilité, le débit, la latence, la gigue, le taux de perte en paquets. Tous ces paramètres doivent être choisis pour que le service soit le plus adapté possible car la QoS offerte, en dépend.

I.8 Conclusion

Au cours de ce chapitre, nous avons examiné en détail la structure globale du réseau LTE. Nous avons fourni un aperçu des fonctionnalités offertes par le réseau cœur et le réseau d'accès E-UTRAN, tout en présentant les différentes composantes et caractéristiques de ces derniers. Notre attention s'est portée sur les technologies clés telles qu'OFDMA, SC-FDMA et MIMO, qui permettent d'atteindre des débits plus élevés et d'autres avantages précédemment mentionnés.

Dans le prochain chapitre, nous aborderons les différentes étapes du processus de dimensionnement de tels réseaux.

Chapitre II

Dimensionnement d'un Réseau LTE

Chapitre II. Dimensionnement d'un Réseau LTE

II.1 Introduction

La phase de dimensionnement est d'une importance capitale dans le succès d'un réseau pour un opérateur de télécommunication. Elle offre une première estimation essentielle de la densité et de la configuration des exigences, de la capacité offerte par les éléments du réseau à planifier, ainsi que la couverture à estimer. Cette étape est d'une grande importance tout au long du cycle de vie d'un réseau. Ce chapitre met l'accent sur l'importance du dimensionnement du réseau 4G/LTE et présente les principaux aspects à considérer lors de ce processus. Nous examinons les différentes étapes du dimensionnement, les paramètres clés à prendre en compte, ainsi que les outils et méthodologies utilisés pour évaluer la capacité, la couverture et les performances du réseau.

II.2 Le processus de Dimensionnement

Le dimensionnement est une étape cruciale dans la planification et le déploiement d'un réseau LTE, qui permet d'estimer le nombre d'éléments du réseau et leur capacité pour répondre aux besoins de trafic de données dans une zone de couverture donnée. L'objectif principal du dimensionnement est d'estimer le nombre de stations de base radio (eNodeB) nécessaires pour supporter une charge de trafic spécifiée, tout en garantissant une qualité de service optimale pour les utilisateurs [14].

Le dimensionnement d'un réseau LTE est un processus complexe qui nécessite une planification minutieuse et une évaluation précise des besoins de trafic, des caractéristiques de couverture et de capacité et des paramètres du réseau. La figure suivante montre les étapes clé de ce processus.

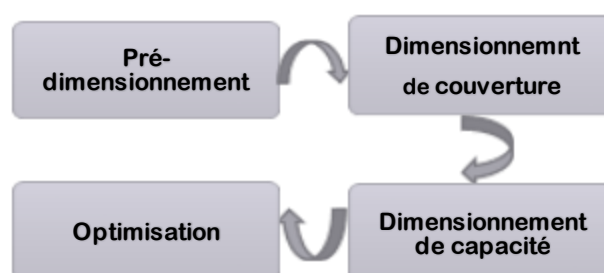


Figure.II.1: Le processus de dimensionnement.

II.2.2 Le pré-dimensionnement

Le pré-dimensionnement d'un réseau LTE est une étape préliminaire nécessaire avant de commencer la planification réelle. Il consiste à déterminer les paramètres d'entrée du réseau sur la base de certaines hypothèses et calculs. Cela peut inclure :

- Les informations détaillées sur les eNodeB et les utilisateurs ;

- Les informations sur la zone géographique à couvrir (superficie, la densité de population, la cartographie et les données météorologiques) ;
- Détermination de l'emplacement des eNodeB : Identifier leurs sites potentiels ;
- Analyse de la demande de trafic pour le réseau, y compris les types d'applications et les volumes de données ;

II.2.3 Dimensionnement de couverture

Lors de la conception d'un réseau LTE, il est essentiel de s'assurer que le réseau est capable de fournir une couverture adéquate et fiable entre la station de base et les appareils mobiles.

Le dimensionnement de la couverture est donc une étape fondamentale dans ce processus. Qui consiste à déterminer le nombre de sites de base nécessaires pour couvrir une zone donnée. Pour ce faire, il est important d'estimer les pertes de signal (path loss) qui se produisent lorsque le signal se propage à travers cette zone. Pour estimer ces pertes, on utilise un outil appelé bilan de liaisons (RLB Radio Link Budget). En utilisant le modèle de propagation approprié, le Path Loss est convertie en rayon de cellule (Cell Radius), ce qui permet d'estimer le nombre total de sites (eNodeB Number) requis pour fournir une couverture optimale pour les utilisateurs [14].

Cette démarche se résume dans la figure suivante :

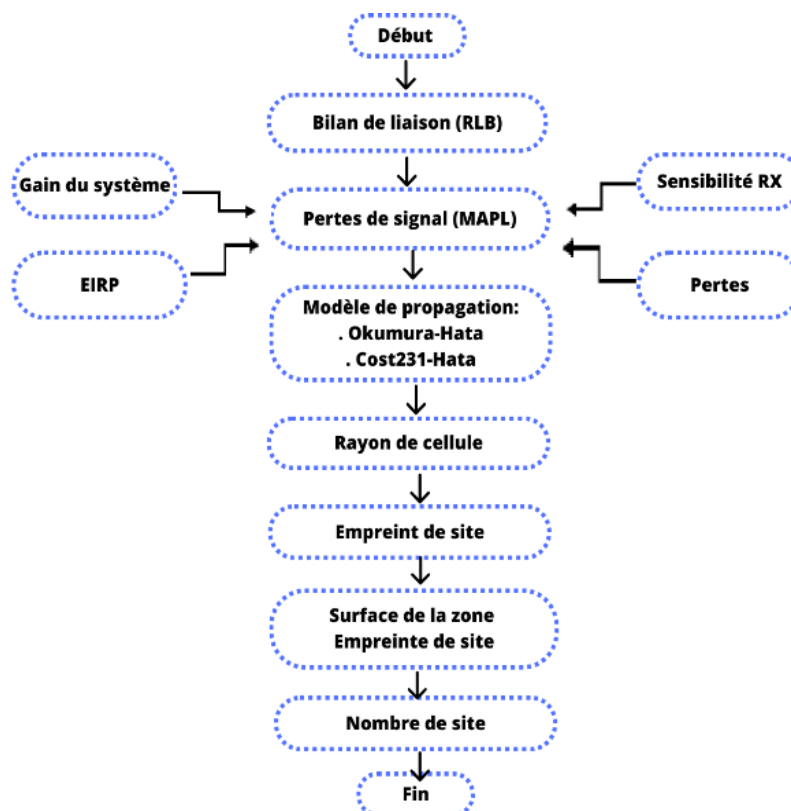


Figure.II.2: Processus de dimensionnement par couverture.

II.2.3.2 Bilan de liaison RLB

Le bilan de liaison RLB est essentiel pour concevoir et optimiser les réseaux LTE, en garantissant une couverture et une capacité adéquates. Les opérateurs de réseau peuvent utiliser ces calculs pour déterminer l'emplacement optimal des stations de base, ajuster les paramètres de puissance et d'antenne, et assurer une bonne qualité de service pour les utilisateurs du réseau LTE.

Les puissances d'émission, les gains d'antenne, les pertes du système, les gains de diversité, les marges d'évanouissement, etc. sont pris en compte dans un RLB [14]. En utilisant ces paramètres, le bilan de liaison calcule la différence entre la puissance du signal émis par l'UE et le niveau de puissance reçu à la station de base. Si le niveau de puissance reçu est suffisamment élevé par rapport au seuil de sensibilité de la station de base, la liaison est considérée comme de bonne qualité.

En effet les deux raisons principales d'établissement d'un RLB sont [15] :

- Définir les paramètres de conception du système pour tous les gains et pertes qui peuvent survenir
- Évaluer la perte maximale admissible sur le chemin de transmission (MAPL).

Voici une version simplifiée de l'équation du bilan de liaison RLB (la puissance reçue en fonction de la puissance émise) en LTE :

$$P_{Rx} = P_{Tx} + G_{Tx} - L_{Tx} + G_{Rx} - L_{Rx} - PL - PM \quad (II.1)$$

Avec :

<i>Paramètre</i>	<i>Définition</i>	<i>Unité</i>
P_{Rx}	Puissance reçue	dBm
P_{Tx}	Puissance émise	dBm
G_{Tx}	Ensemble des gains introduits au niveau de l'émetteur	dBm
G_{Rx}	Ensemble des gains introduites au niveau de récepteur	dBm
L_{Tx}	Ensemble des pertes introduites au niveau de l'émetteur	dB
L_{Rx}	Ensemble des pertes introduites au niveau de récepteur	dB
PL	Affaiblissement de parcours	dB
PM	Marges de planification	dB

Tableau II.1: Paramètre de bilan de liaison.

L'interface radio permet une liaison dans les deux sens avec une transmission ascendante (UL) et une transmission descendante (DL). En conséquence, il est crucial de mettre en place un bilan de liaison double afin de tenir compte de ces deux aspects.

a. RLB montant

La première étape consiste à calculer le bilan en UL. Cela se traduira par la perte de trajet maximale, étant donné une certaine charge d'UL.

Comme illustré sur la figure II.3 :

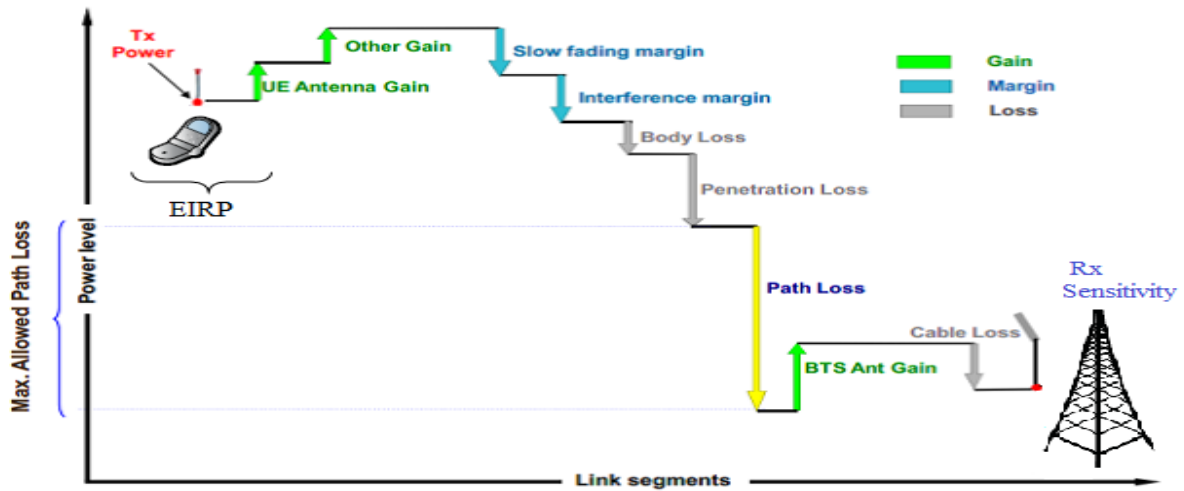


Figure.II.3: RLB Montant [16].

Les pertes dans la liaison montante sont données par :

$$MAPL_{UL} = EIRP_{UL} - S_{eNB} - LNF - IM_{UL} - L_{bodyloss} + G_{eNB} + G_{TMA} \quad (II.2)$$

c. RLB descendant

La perte de trajet maximale est ensuite utilisée dans le dimensionnement de liaison descendante pour équilibrer ce bilan vers la liaison montante, de sorte que la même perte de trajet de l'air est soutenue à la fois en UL/DL.

Ce type de liaison est illustré :

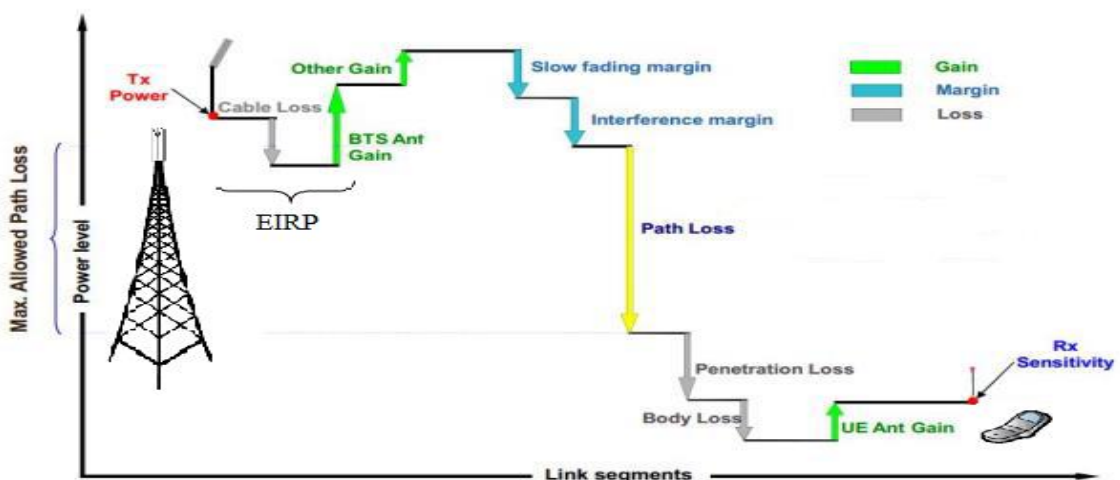


Figure.II.4: RLB descendante [15].

Les pertes dans les liaisons descendantes sont données par :

$$MAPL_{DL} = EIRP_{DL} - S_{UE} - LNF - IM_{DL} - L_{Pen} - L_{bodyloss} + G_{UE} + G_{TMA} \quad (II.3)$$

Nous allons maintenant traiter les paramètres de l'équation un par un [15,16].

- **MAPL**: L'affaiblissement maximal de parcours c'est le minimum de l'affaiblissement sur la voie montante et descendante [17].

$$MAPL = MIN(MAPL_{UL}, MAPL_{DL}) \quad (II.4)$$

C'est le paramètre que l'on désire trouver à travers l'établissement d'un bilan de liaison, il s'exprime en dB.

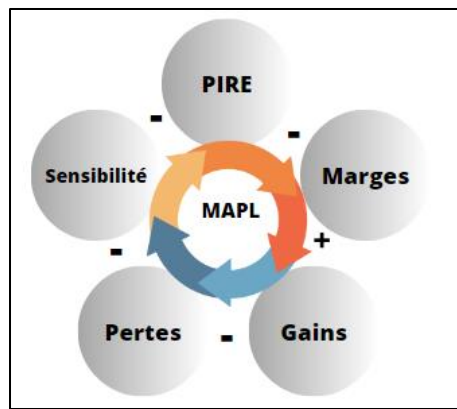


Figure.II.5: principe de l'affaiblissement maximal.

EIRP ou PIRE

Elle correspond à la quantité de puissance qu'il faudrait fournir à une antenne isotrope pour obtenir le même champ à la même distance dans la direction souhaitée. Elle prend en compte les pertes dans les câbles de transmission et les connecteurs et inclut le gain de l'antenne de l'émetteur comme le montrent les équations suivantes :

$$EIRP = P_{Tx} + G_{Tx} - \sum Total Tx losses \quad (II.5)$$

$$EIRP_L = P_{UE Tx} + G_{UE} - L_{bodyloss} \quad (II.6)$$

$$EIRP_{DL} = P_{eNB Tx} + G_{eNB} - \underbrace{L_{eNB feedres} - L_{eNB jumpers} - L_{eNB connection}}_{\text{Pertes du câble}} \quad (II.7)$$

- **Perte du câble** : est la perte entre l'antenne de l'équipement et d'amplificateur à faible bruit qui dépend de la longueur du câble, du type de câble et de bande de fréquence. Elle varie de 1 à 6 dB pour eNodeB et 0 dB pour UE.
- **Bodyloss** : C'est la perte corporelle qui se produit lorsque l'antenne de l'appareil mobile se tient près du corps de l'UE qui est générée par le blocage du signal et l'absorption, aussi appelé atténuation due au corps.
- **Lpen (Pénétration 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.
- **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.
- **IM (Interference Margin)** : La marge d'interférence correspond au niveau d'augmentation du bruit dû à l'augmentation de la charge (trafic) dans la cellule.
- **S_{UE}, S_{eNB}** : Sensibilité des récepteurs fait références à la puissance minimal nécessaire pour que l'UE ou l'eNB puisse établir le décodage sans interférences en garantissant une certaine qualité de service.
- **G_{UE}, G_{eNB} (Antenna Gain)** : C'est le rapport entre la densité de puissance moyenne rayonnée par l'antenne et la densité de puissance à rayonnement isotrope.
- **G_{TMA} (Tower Mounted Amplifier Gain)** : C'est le gain de l'amplificateur, qui réduit le bruit et améliorer la sensibilité.

II.2.3.3 Modèles de propagation

Un modèle de propagation adapté à un environnement spécifique joue un rôle fondamental dans la planification et l'optimisation d'un réseau mobile. Il permet d'évaluer la puissance du signal reçu par un appareil mobile, de déterminer les rayons de couverture et d'estimer le nombre de cellules nécessaires pour couvrir une zone donnée [14].

Ces modèles de propagation sont basés sur des mesures empiriques et des données statistiques recueillies dans divers environnements réels. Ils tiennent compte de divers facteurs tels que :

- La fréquence de l'onde.
- La distance parcourue par l'onde.
- Les hauteurs des antennes de l'émission et de réception.
- Type de zone à étudier (Urbain, Suburbaine et Rurale).
- la densité des bâtiments et les obstacles.

- la densité des bâtiments et les obstacles.

Parmi les nombreux modèles de propagation disponibles, deux des plus largement utilisés dans les réseaux LTE sont le modèle d'Okumura-Hata et le modèle COST-231 Hata.

a. Le modèle d'Okumura-Hata

Développé par les ingénieurs japonais Okumura et Hata à Tokyo en 1960. C'est un modèle de propagation largement utilisé pour prédire la perte de trajet dans les zones urbaines. Ce modèle prend en compte les effets de diffraction, de réflexion et de diffusion causés par les structures de la ville. Le modèle a également des formulations pour prédire la perte de trajet dans les zones suburbaines et ouvertes [15].

La formule standard pour l'affaiblissement de trajet empirique selon ce modèle est donnée par :

$$l_u(dB) = 69.55 + 26.16 \log_{10} f_c - 13.82 \log_{10} h_b - a(h_m) + [44.9 - 6.55 \log_{10} h_b] \log_{10}(d) \quad (\text{II.8})$$

Avec :

- f_c : Fréquence comprise [150 à 1500] en MHz.
- h_b : Hauteur de la station de base [30 à 200] en mètre.
- h_m : Hauteur de la station mobile [1 à 10] en mètre.
- d : Diamètre de la cellule [1 à 20] en Km.
- $a(h_m)$: Correction de la Hauteur de l'antenne mobile en dB

La valeur $a(h_m)$ varie en fonction du type d'environnement :

Type	L'équation $a(h_m)$
<ul style="list-style-type: none"> • Urbain • Urbain dense 	$a(h_m) = (1.1 \log_{10} f - 0.7)h_m - (1.56 \log_{10} f - 0.8)$ Pour $f \geq 400$: $a(h_m) = 3.2[\log(11.75)]^2 - 4.97$ Pour $f \leq 400$ $a(h_m) = 8.29[\log_{10}(1.54h_m)]^2 - 1.1$
<ul style="list-style-type: none"> • Suburbain 	$a(h_m) = (\log_{10}(\frac{f_c}{28}))^2 - 5.4$
<ul style="list-style-type: none"> • Rurale 	$a(h_m) = 4.78(\log_{10}(f_c))^2 + 18.33(\log_{10}(f_c)) - 40.94$

Tableau II.2: La variation de $a(h_m)$ pour Okumura-Hata [15 ,18].

b. Le modèle COST-231 Hata

Le modèle a été créé dans le cadre de projet COST (Coopération européenne Scientifique et Technique) par le groupe nommé COST-231, qui a proposé de modifier le modèle Okumra en raison de son limite de fonctionnement pour les fréquences inférieures à 1500MHZ et créer un autre opérant sur la bande 1500-2000 MHz également connu sous le nom COST -HATA model qui peut être utilisé dans tous les types d'environnement[15].

La formule standard pour l'affaiblissement de trajet empirique selon ce modèle est donnée par :

$$l_u(dB) = 46.3 + 33.9 \log_{10} f_c - 13.82 \log_{10} h_b - a(h_m) + [44.9 - 6.55 \log_{10} h_b] \log_{10}(d) + Cm \quad (II.9)$$

Avec :

- f_c : fréquence comprise [1500 à 2000] en MHZ.
- h_b : Hauteur de la station de base [30 à 100] en mètre.
- h_m : Hauteur de la station mobile [1 à 10] en mètre.
- d : Diamètre de la cellule [1 à 20] en Km.
- $a(h_m)$: Correction de la hauteur de l'antenne mobile en dB.
- Cm : ça valeur basée sur la morphologie de la zone à étudier en dB.

La valeur de $a(h_m)$ et Cm pour ce modèle est précisé dans le tableau ci-dessous :

Type	L'équation $a(h_m)$
<ul style="list-style-type: none"> • Urbain • Urbain dense 	$a(h_m) = (1.1 \log_{10} f - 0.7)h_m - (1.56 \log_{10} f 0.8)$ <ul style="list-style-type: none"> • $Cm=0$ • $Cm = 3$
<ul style="list-style-type: none"> • Suburbain 	$a(h_m) = (\log_{10}(\frac{f_c}{28}))^2 - 5.4$ <ul style="list-style-type: none"> • $Cm= -8$
<ul style="list-style-type: none"> • Rurale 	$a(h_m) = 4.78(\log_{10}(f_c))^2 + 18.33(\log_{10}(f_c)) - 40.94$ $Cm= -15$

Tableau II.3: La variation de $a(h_m)$ pour COST231-Hata [16].

Le choix de modèle de propagation

D'après une analyse comparative (une simulation par Matlab) qu'a été effectuée par des membres d'IAENG (International Association of Engineers) dans l'objectif de comparer la perte de trajet entre les deux modèles Okumura-Hata et COST-231 Hata pour les trois différentes fréquences (1000MHZ,1500MHZ et 2000MHZ) et pour différentes hauteurs de station de base. Cette simulation est réalisée à l'aide de trois différents environnement les résultats suivants sont obtenus :

Le modèle de perte de trajet pour COST-231 Hata donne une meilleure valeur de perte de trajet pour l'environnement urbain, qui est le plus réaliste des trois terrains puisque l'environnement de propagation pratique est l'urbain.

La simulation montre que pour une bonne propagation radio, où la perte de chemin sera minimisée, le modèle COST-231 Hata devrait être utilisé en LTE puisque la gamme de fréquences s'étend jusqu'à 2000 MHz. Ce modèle donne de bonne résultat pour une hauteur antenne supérieure à 50mètre, pour cela dans le cadre d'un déploiement LTE il convient d'utilisé des antennes de grand taille pour obtenir de meilleure performance [5].

II.2.3.4 Calcule de rayon de cellule R_{cell} :

Les formules des modèles de propagation précédents (Cost231-Hata, Okumura-Hata) donnent la relation entre la perte de trajet maximal et le rayon de cellule à différentes bandes de fréquence. Par conséquent le rayon de cellule correspond à la distance parcourue lorsque l'affaiblissement de parcours est égal à la valeur maximale (MAPL).

On prend exemple, On suppose qu'on est dans un environnement urbain, qu'on va y appliquer le modèle Cost 231 On obtient :

$$\begin{aligned}
 MAPL &= 46.3 + 33.9 \log_{10} f_c - 13.82 \log_{10} h_b - a(h_m) + [44.9 \\
 &\quad - 6.55 \log_{10} h_b] \log_{10}(R_{cell}) + Cm \\
 MAPL - 46.3 - 33.9 \log_{10} f_c + 13.82 &= [44.9 - 6.55 \log_{10} h_b] \log_{10}(R_{cell}) \\
 \log_{10}(R_{cell}) &= [MAPL - 46.3 - 33.9 \log_{10} f_c + 13.82] / [44.9 - 6.55 \log_{10} h_b]
 \end{aligned} \tag{II.10}$$

D'où le rayon de cellule est donné par :

$$R_{cell} = 10^{\left[\frac{MAPL - 46.3 - 33.9 \log_{10} f_c + 13.82}{44.9 - 6.55 \log_{10} h_b} \right]} \tag{II.11}$$

II.2.3.5 Empreinte de site

La superficie de couverture de la cellule (appelée empreinte du site) noté S_{cell} dépend bien du rayon de cette cellule ainsi du nombre de secteurs par site (Tableau II.3).

Il existe plusieurs types de secteur par site les plus utilisés sont illustrés dans la Figure ci-dessous :

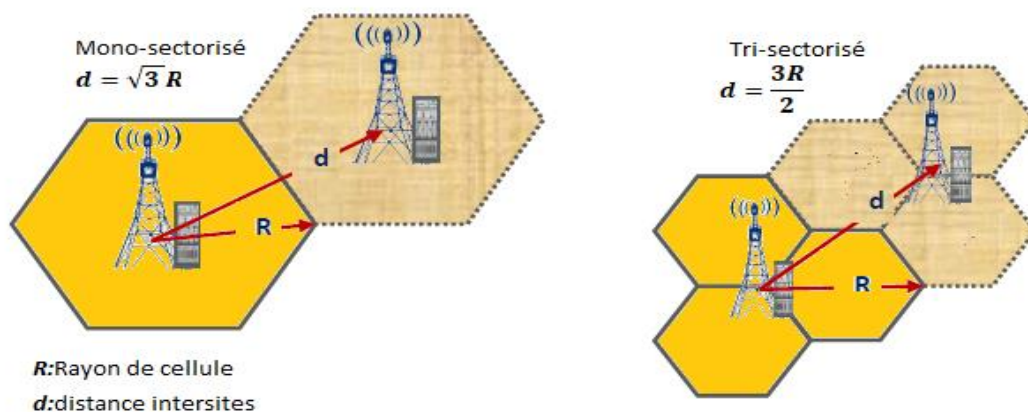


Figure.II.6: Modèle hexagonal de la cellule et types de secteur/site [15].

Nombre de secteur par site	Empreinte
Mono-sectorisé	$S_{cell} = 2.6 \times R_{cell}^2$
Bi-sectorisé	$S_{cell} = 1.3 \times 2.6 \times R_{cell}^2$
Tri-sectorisé	$S_{cell} = 1.95 \times 2.6 \times R_{cell}^2$

Tableau II.3 : Empreinte du site en fonction du nombre de secteurs [14].

II.2.3.6 Nombre de sites

Une fois que nous aurons déterminé l'empreinte du site et que nous disposerons de la superficie totale de la zone de déploiement (S_{zone}), nous serons de mesure de calculer le nombre de sites requis afin d'assurer une couverture adéquate. En calculant le quotient entre ces dernières selon la formule suivante [14] :

$$N_{sites} = \frac{S_{zone}}{S_{cell}} \tag{II.12}$$

II.2.4 Dimensionnement de capacité

Une couverture étendue est nécessaire pour assurer la connectivité dans toutes les zones prévues, mais une couverture seule ne garantit pas une capacité suffisante pour gérer la demande de trafic. Un dimensionnement de capacité approprié est nécessaire pour s'assurer que le réseau peut prendre en charge le trafic prévu, même dans les zones à forte densité d'utilisateurs.

Ce processus implique l'évaluation de différents paramètres, tels que le débit de données, le nombre d'utilisateurs simultanés, la qualité et les types de services pris en charge et les modèles de trafic attendus, etc. Ces paramètres permettent d'estimer le nombre des sites nécessaires pour répondre à la demande de trafic des abonnés dans une zone spécifique.

La procédure de base de dimensionnement par capacité est la suivante [19] :

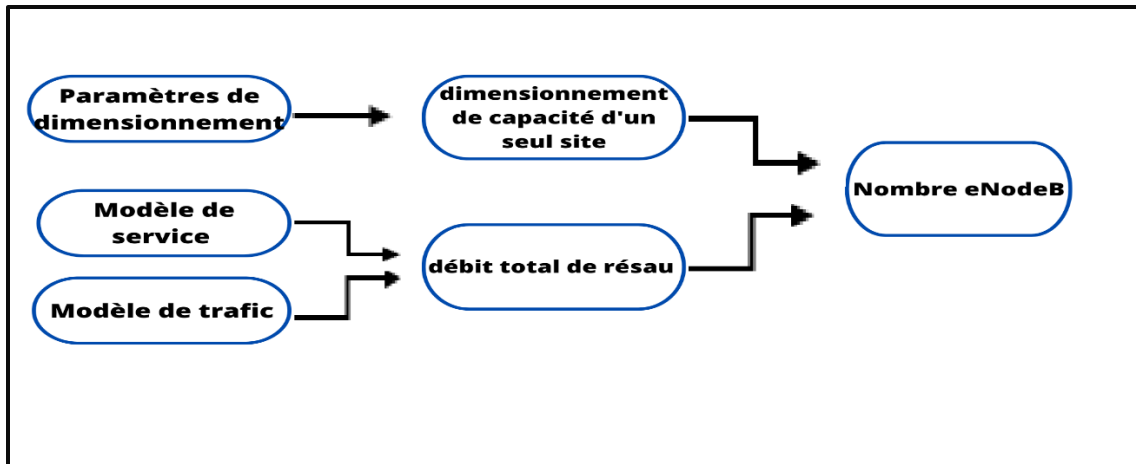


Figure.II.7: Procédure de dimensionnement par capacité.

Fondamentalement, l'évaluation de la capacité comprend deux aspects principaux :

II.2.4.2 Le dimensionnement de capacité pour un seul site :

Est effectué en fonction de certains paramètres tels que la fréquence, la largeur de bande du système, type de modulation et taux de codage. Cette dernière est obtenue comme étant le produit de la capacité d'une cellule par le nombre de secteurs.

Pour un site tri-sectoriel, la capacité par site est égal à :

$$\text{Capacité par site} = \underbrace{\text{Cellaveragethroughput}}_{\text{Débit moyen par cellule}} \times 3 \quad (\text{II.13})$$

Pour calculer le débit moyen par cellule, il suffit de se baser sur la distribution du SINR (Signal-to-Interference and Noise Ratio) qui est un indicateur clé de la capacité en LTE [14].

$$\text{Cellaveragethroughput} = \sum \text{SINR - Occurrence - Proabbility} \times \text{cell throughput SINR} \quad (\text{II.14})$$

Avec :

- **SINR – Occurrence – Proabbility** : Probabilité d'occurrence d'une valeur SINR spécifique au bord de la cellule obtenue à l'aide de simulation.
- **cell throughput SINR**: Débit moyen correspondant à la valeur SINR.

II.2.4.3 Le calcul du volume total de trafic (débit) :

Est effectué en fonction du modèle de service (VOIP, vidéo conférence et streaming) et du modèle de trafic. Tout d'abord, le débit pour un seul utilisateur est calculé ensuite le débit total du réseau peut être obtenu en multiplexant le nombre d'abonnés avec le débit de l'utilisateur unique.

Voici les étapes à suivre pour calculer le débit total du réseau :

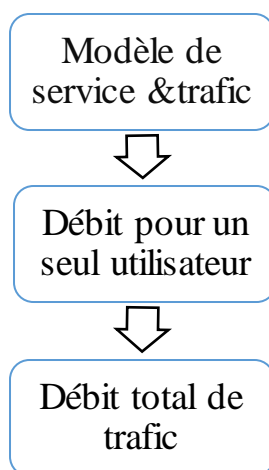


Figure II.8 : Etapes de calcul du débit totale de trafic.

$$\begin{aligned}
 \text{Singl user Throughput} = & \sum (\text{Throughput per session} \times \text{BHSA} \times \text{Penetration Ratio}) \\
 & \times \left(1 + \left(\frac{\text{Peak to Average Ratio}}{3600 \text{ kbs}} \right) \right)
 \end{aligned}
 \tag{II.15}$$

Avec :

- **Singl user Throughput** : Le Débit pour un seul utilisateur obtenu par la somme des débit des différents types de services pour un seul abonné.
- **BHSA (busy hour session attempts)** : Tentatives de session à heure chargée pour un seul utilisateur.

- **Penetration Ratio** : Taux de pénétration du trafic.
- **Peak to Average Ratio (PAR)** : Rapport entre valeur crête et valeur moyenne, Compte tenu du trafic en rafale du service PS.

Une fois que nous aurons déterminé le débit pour un seul utilisateur, le débit total de trafic sera :

$$Totale\ Network\ throughput = Totale\ user\ Number \times\ singl\ user\ throughput \quad (II.16)$$

A la fin Le nombre d'eNodeB par capacité est obtenu comme étant le rapport entre le volume total du trafic et la capacité d'un seul site par la formule suivante :

$$N_{eNodeB} = \left[\frac{Ul\ Network\ throughput}{Ul\ capcity\ singl\ site}, \frac{Dl\ Network\ throughput}{Dl\ capcity\ singl\ site} \right] \quad (II.17)$$

II.2.5 Nombre d'eNodeB final requis

Après avoir effectué les calculs pour déterminer le nombre de sites nécessaire pour satisfaire à la fois la contrainte de couverture et la contrainte de capacité. Le nombre final d'eNodeBs à prendre en compte sera le plus élevé entre le nombre de sites calculés selon la couverture et le nombre de sites calculés selon la capacité.

$$MAX\{Number\ eNodeB\ par\ couverture, Nombre\ eNodeB\ par\ capacité\} \quad (II.18)$$

II.2.6 Optimisation Radio Fréquence

Dans le cycle de vie d'un réseau cellulaire, l'optimisation radio est une étape cruciale pour améliorer les performances globales du réseau de télécommunications. Elle implique une série d'analyses et d'actions visant à améliorer à la fois la couverture et la qualité du lien radio.

II.2.6.1 Processus d'optimisation :

Les opérations d'optimisation respectent un cycle périodique et récursif à qui on peut faire appel plusieurs fois dans un même réseau de communication mobile. Ce processus se répète tant que ces opérations apportent toujours des améliorations au réseau il fait appel à plusieurs outils afin de réaliser une étude globale sur le réseau et d'en sortir les différents problèmes et ensuite essayer de trouver pour chaque problème la solution la plus adéquate.

Ce processus se fait à travers les étapes suivantes:

- Collecte et vérification des données par la supervision des performances à travers des statistiques (KPI) ou via les Drive Test (DT), ainsi que les plaintes des clients.
- Une analyse globale de ces statistiques et des résultats des parcours de tests à l'aide de logiciels spécifiques et en comparant les KPIs avec les seuils fixés par l'opérateur.
- Ajustement des paramètres et du matériel.
- Confirmation des résultats de l'optimisation et préparation des rapports.

Le processus d'optimisation du réseau radio se déroule comme le montre le schéma ci-dessous :

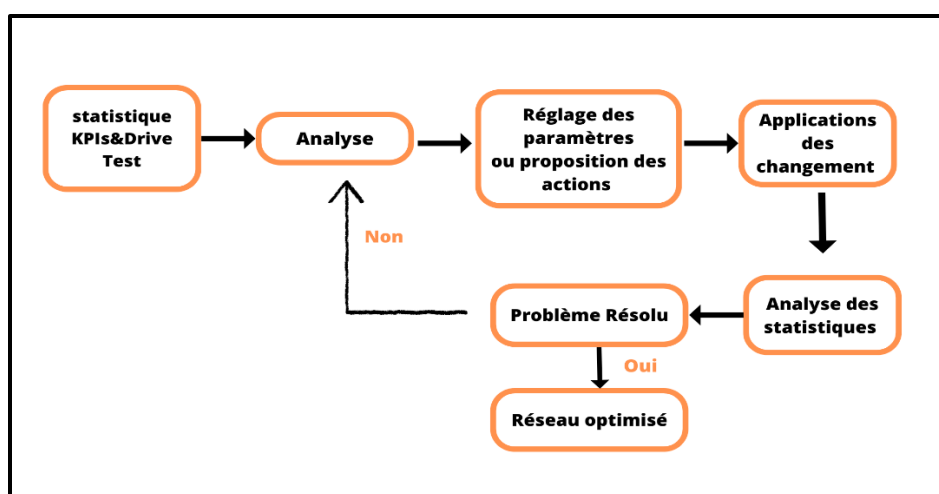


Figure II.9: Etape d'optimisation de la partie radio du réseau.

II.2.6.2 L'outil d'optimisation Drive test

Le drive test est une partie essentielle du processus d'optimisation et meilleure façon pour analyser l'expérience utilisateur sur une zone donnée. Il fournit des données objectives et quantifiables qui aident les opérateurs à prendre des décisions informées pour améliorer la qualité des services offerts aux utilisateurs finaux [22].

Il consiste à effectuer des tests sur les performances, en parcourant les rues avec un véhicule équipé d'instruments de mesure spécialisés tels que :

- Un mobile de teste ou un mobile de trace qui effectue des mesures instantanées tout le long du trajet.
- Un ordinateur portable pour la visualisation en temps réel des données et leur stockage.
- Des logiciel spécifique installé sur le PC portable : logiciel de cartographie permettent de visualiser la position et le trajet du mobile sur une carte ainsi que l'évolution des

déférents paramètres collectés et mesure réalisées et un autre logiciel de contrôle de mobile pour l'enregistrement des données collectés.

- Un récepteurs GPS pour la localisation géographique des points de mesures.
- Un scanner pour mesurer le niveau du champ et la qualité de l'environnement radio.



Figure II.10: Equipement du drive test.

II.2.6.3 Les KPI

Les indicateurs clés de performance (KPI) correspondent aux mesures utilisées donnant des informations précieuses sur des aspects spécifiques des performances du réseau. Ces mesures aident les opérateurs à analyser les événements du réseau, à identifier les problèmes et les domaines à améliorer et à maintenir la qualité de service globale pour les utilisateurs.

En utilisant un outil spécifique, les KPIs sont extraits dans des rapports de format prédéfinis. Ces rapports sont adressés aux groupes cibles spécifiques (ingénieurs d'optimisation) qui peuvent les employer pour différentes finalités,

Parmi les indicateurs clés mesurés au niveau de l'opérateur ATMobilis citant :

a. RSRP

Représente la puissance moyenne du signal de référence reçu par un dispositif mobile depuis une station de base (antenne) du réseau. RSRP est exprimé en décibels milliwatts (dBm), sa plage est définie de [-140 dBm à -44 dBm] avec une résolution de 1 dB.

Une valeur plus élevée de cette mesure indique une puissance de signal plus forte, ce qui est préférable pour une connexion robuste et une meilleure qualité de service.

La formule suivante permet de calculer la RSRP [20,21]:

$$RSRP[dBm] = RSSI[dBm] - 10 \log(12 \times N) \quad \text{II.19)}$$

Avec :

- **RSSI** : est la puissance totale moyenne reçue sur une antenne de réception, comprend la puissance intracellulaire, les interférences et le bruit thermique...etc.
- **N** : le nombre de Resource Blocks à travers le RSSI mesuré et dépend de la bande passante.

b. RSRQ

Bien que le RSRP soit une mesure importante, il ne donne aucune information sur la qualité de signal reçue. Le LTE s'appuie alors sur l'indicateur RSRQ qu'est une mesure de qualité du signal qui complète le RSRP en évaluant la qualité de réception du signal de référence par rapport au bruit et aux interférences, de plus il fournit des informations supplémentaires quand le RSRP n'est pas suffisant pour faire le choix d'un Handover ou d'une resélection de cellule .

Elle est généralement exprimée en décibels (dB) et définie à partir de -19.5 dB à -3 dB par pas de 0.5dB. Une RSRQ plus élevée est généralement souhaitable, car cela signifie que la puissance du signal de référence est forte par rapport au niveau d'interférence et de bruit [20,21].

Elle est calculée à partir de l'expression suivante :

$$RSRQ[dBm] = 10 \log\left(\frac{N \times RSRP}{RSSI}\right) \quad (II.20)$$

c. Rapport signal sur bruit SINR

Représente la puissance de signal utile par rapport au niveau de bruit provenant d'autre source plus la force d'interférence (provenant par exemple d'une autre transmission simultanée) dans le même canal de communication [7].

SINR est donné par la relation suivante :

$$SINR(dB) = \frac{S}{(I + N)} \quad (II.21)$$

Avec :

- **S** : Puissance de signal reçue.
- **I** : Puissance moyenne d'interférence.
- **N** : Puissance de bruit.

d. Débit en liaison descendant

Un indicateur de performance clé dans les réseaux mobiles, il fait référence à la quantité totale de bits de données d'un système par unité de temps, exprimée en bits par seconde (bps) ou en mégabits par seconde (Mbps). Pour un service de téléphonie le débit en DL est considéré comme une livraison de paquet de données sur une liaison logique dans une direction descendante c'est-à-dire à partir de l'eNodeB vers un dispositif utilisateur. Il dépend de plusieurs facteurs tels que la bande passante attribuée, la modulation utilisée, la qualité du signal, etc.

e. PCI

C'est un identifiant de la cellule pour établir le secteur dans lequel l'UE reçoit le signal du l'eNodeB. L'allocation correcte du PCI dans une station évite les collisions, les appels interrompus. Il est utilisé pour identifier les signaux de synchronisation : PSS (primary synchronization Signal), SSS (Secondary synchronization Signal), grâce à ces derniers, l'UE détecte de manière aveugle la longueur du préfixe cyclique en voie descendante et détermine le mode de duplexage de la porteuse (FDD ou TDD) [17].

Il existe 504 PCI uniques variant de 0 à 503 groupés en 168 groupes disjoints de 3 PCI. Comme illustré dans la figure suivante :

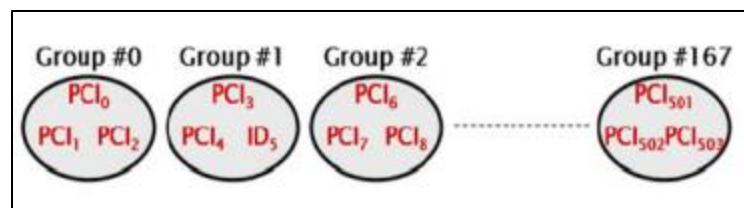


Figure II.11 : les groupes des PCIs.

Le PCI de chaque cellule est calculé par la formule suivante :

$$PCI = 3 \times SSS + PSS \quad (II.22)$$

- **PSS** : Est détecté pour déduire le numéro de la cellule (0 à 2).
- **SSS** : Est détecté afin d'acquérir le numéro du groupe (0 à 167).

II.3 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons passé en revue les concepts de base et les calculs mathématiques nécessaires pour le dimensionnement d'un réseau LTE sur le plan de couverture et sur le plan de capacité. Nous avons aussi relaté la notion des paramètres clés de performances et leur importance dans le processus d'optimisation. Nous signalons que les ingénieurs radio sont confrontés à différents types de problèmes tels que ceux de la couverture, d'accessibilité et de capacité...etc. Le chapitre suivant, qui fait office de la partie pratique de notre travail de recherche sera consacré à la partie d'analyse des performances et densification de réseau LTE.

Chapitre III

*Solutions densification du réseau
4G/LTE ATMObilis à Bejaia*

Chapitre III. Solutions de densification du réseau 4G/LTE ATMobilis à Bejaïa

III.1 Introduction

Dans ce dernier chapitre, on aborde le travail pratique lors notre stage auprès d'ATMobilis à Bejaïa. Notre objectif vise la densification du réseau 4G sur des sites présentant des problèmes de mauvaise optimisation dans la ville de Bejaïa.

Afin d'atteindre cet objectif, nous débutons par analyser les résultats obtenus lors d'un drive test effectué sur un trajet de la ville de Bejaïa. Ceci nous permettra d'identifier les zones où des améliorations sont nécessaires et de formuler des recommandations précises pour optimiser les sites au moyen de l'outil de planification radio Atoll, qui permet de simuler et d'optimiser la couverture.

Nous explorerons aussi des techniques de densification des sites, telles que l'ajout de nouvelles stations de base, pour maximiser la couverture et minimiser les interférences, l'introduction de la technologie Massive MIMO qui permet d'exploiter efficacement les ressources spectrales disponibles et d'augmenter le débit et la capacité du réseau. Nous analyserons les avantages de cette technologie et étudierons son déploiement potentiel dans des zones à forte demande de données, telles que les zones urbaines densément peuplées.

III.2 Organisation de la procédure de densification

Cet organigramme est une représentation générale des étapes de la solution de densification du réseau 4G/LTE et peut varier en fonction des spécificités du réseau et des technologies utilisées.

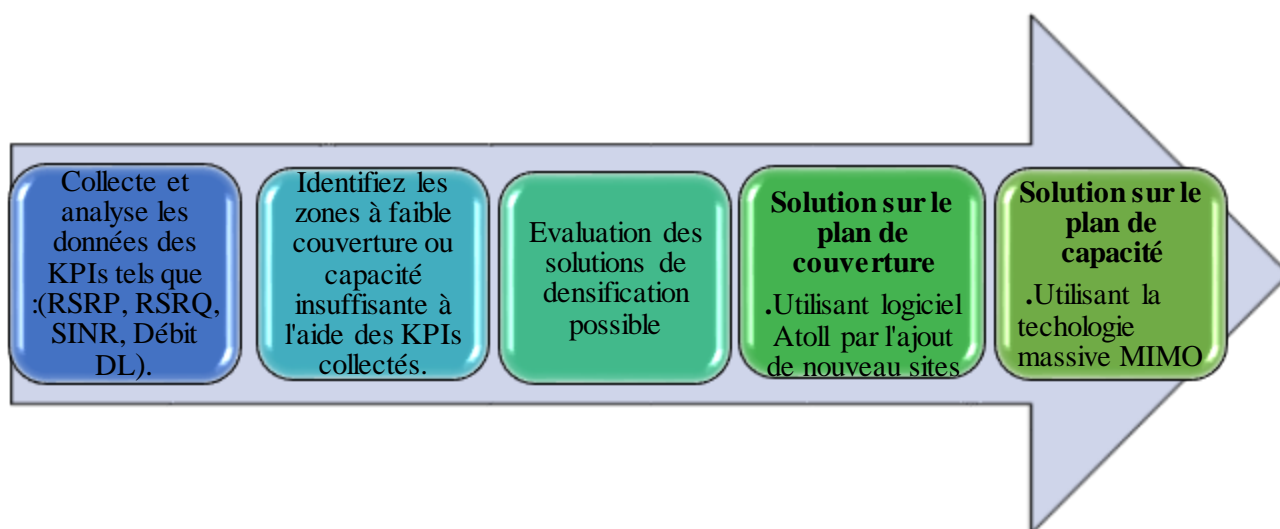


Figure.III.1: Organigramme de densification.

III.3 Collecte et Analyse de KPI « Drive Test »

À l'aide des données collectées en combinant les informations obtenues à partir du compteur OMC (Operations and Maintenance Center) et des résultats des tests de conduite, les opérateurs évaluent la QoS en cours du réseau 4G en examinant les performances existantes.

Les statistiques considérées nous fournissent diverses mesures pour différents indicateurs clés des sites existants dans notre zone d'étude, tels que les paramètres de performance du signal (RSRP, RSRQ), le débit ascendant et descendant, ainsi que d'autres paramètres.

Chaque indicateur clé possède une plage de mesure spécifique où la capacité ou la couverture sera considérée comme bonne. Par conséquent, il est essentiel d'examiner attentivement ces valeurs afin de détecter et remédier à tout défaut dans le réseau.

III.3.1 Zone de test

Il est indispensable de bien définir le trajet où nous devons effectuer les mesures test. La figure ci-dessous montre notre « DT route » dans la ville de Bejaia, tracé sous Google earth.

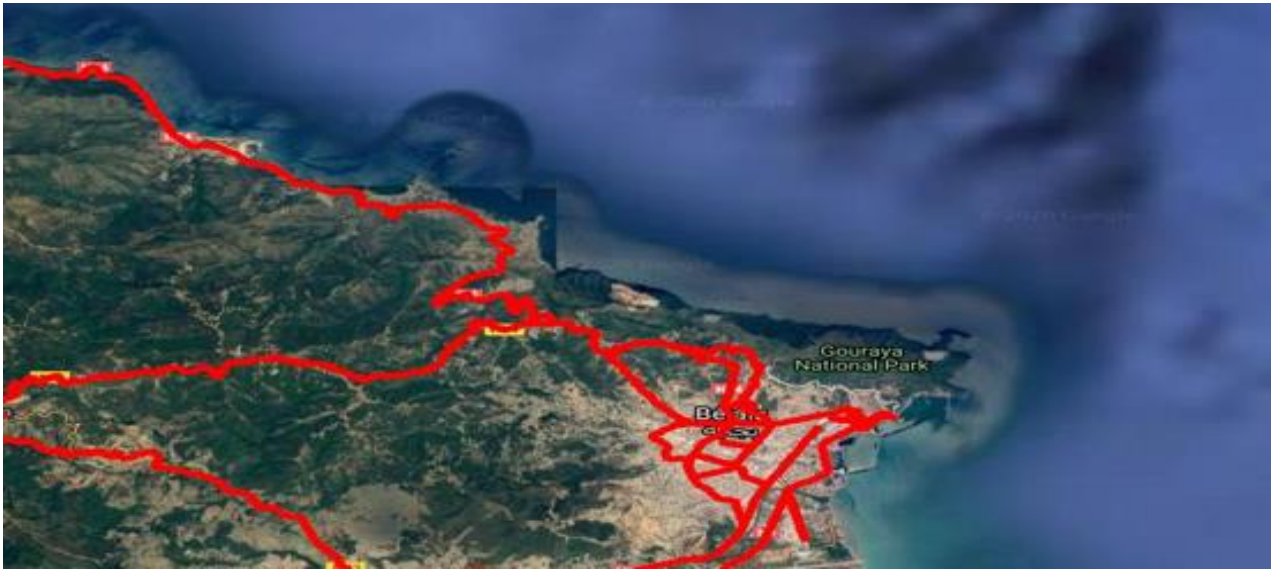


Figure.III.2: DT route tracé sous Google earth.

III.3.2 Analyse selon le niveau de puissance de réception des signaux de références

Ci-dessous un plot et un tableau de distribution du RSRP pendant le parcours du DT.

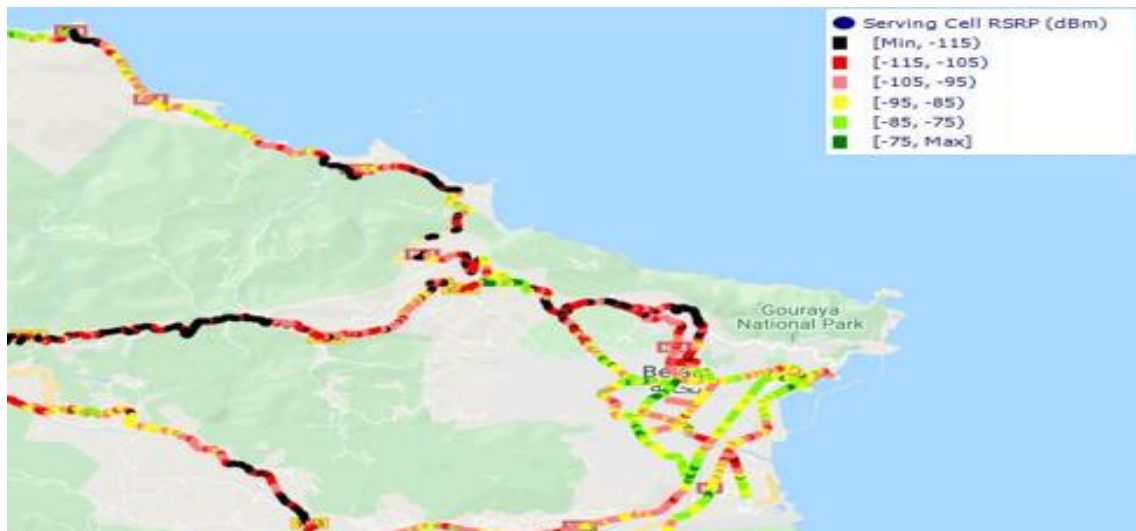


Figure.III.3: Plot du RSRP du DT.

Couleur	[Min, -115] [-115, -105) [-105, -95) [-95, -85) [-85, -75) [-75, Max]						Good RSRP
RSRP (dBm)	≥-75	-75 to -85	-85 to -95	-95to-110	-110 to115	≤-115	≥-95
Proportion	4,42 %	12,83 %	23,82 %	28,35 %	17,50 %	13,09 %	41,06 %
Moyenne	-98,52 dBm						

Tableau III.1: Distribution en pourcentage du RSRP.

Les gammes de RSRP et leur pourcentage de répartition:

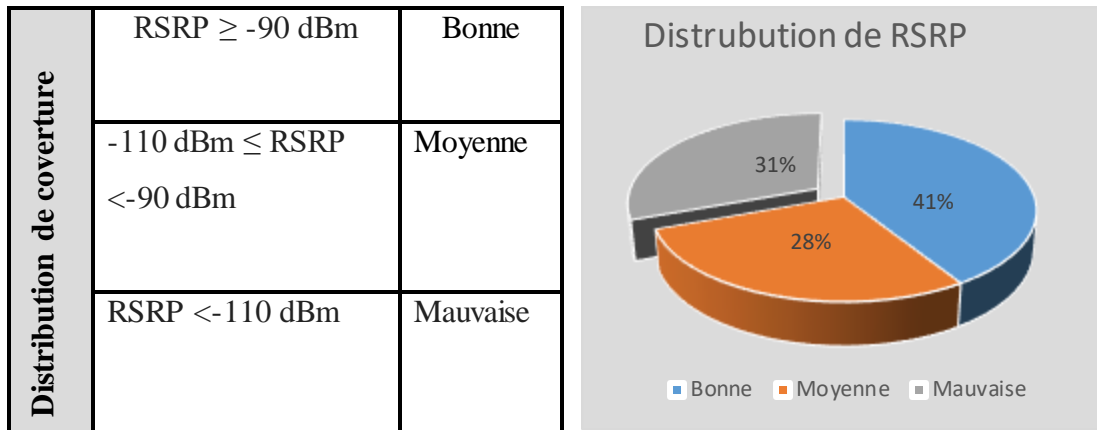


Figure.III.4: Différentes gammes RSRP.

En combinant les résultats obtenus sur la distribution du RSRP, on peut voir que la zone étudiée présente une distribution inégale de la couverture. Bien que 41% de la zone bénéficie d'une bonne couverture, une proportion significative de 31% à une mauvaise couverture et 28% à une couverture moyenne.

En surveillant la variation du RSRP dans différentes zones d'un réseau 4G, il est possible de déterminer les zones où la couverture est faible, indiquée par une valeur de RSRP inférieure à (-110 dBm). Ceci conduit à une détérioration de la QoS et des problèmes d'accessibilité au réseau. C'est ce qu'on appelle le « weak coverage ».

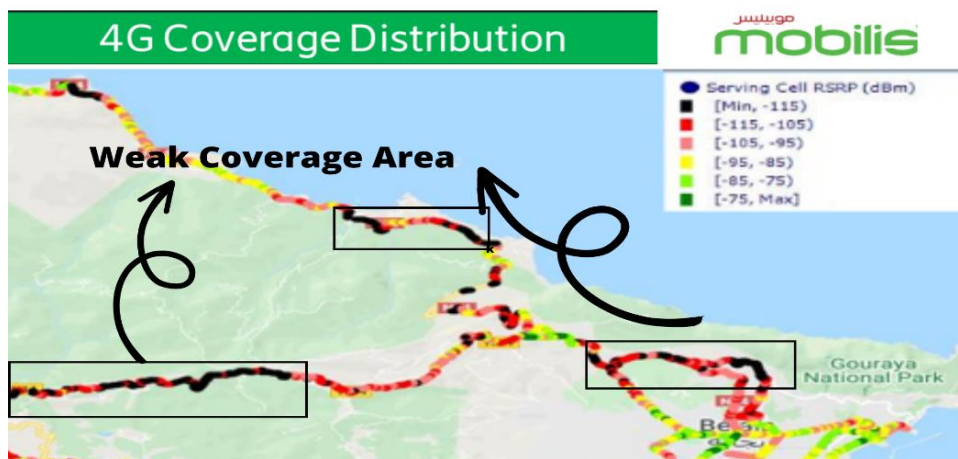


Figure.III.5: Zone à faible couverture.

Cela souligne la nécessité d'améliorer la qualité de la couverture dans les zones à faible couverture afin de garantir une connectivité fiable et une expérience utilisateur optimale dans l'ensemble de la zone étudiée.

III.3.3 Analyse selon la qualité des signaux de référence à la réception

Figure et tableau illustrant le niveau et la répartition du signal RSRQ.

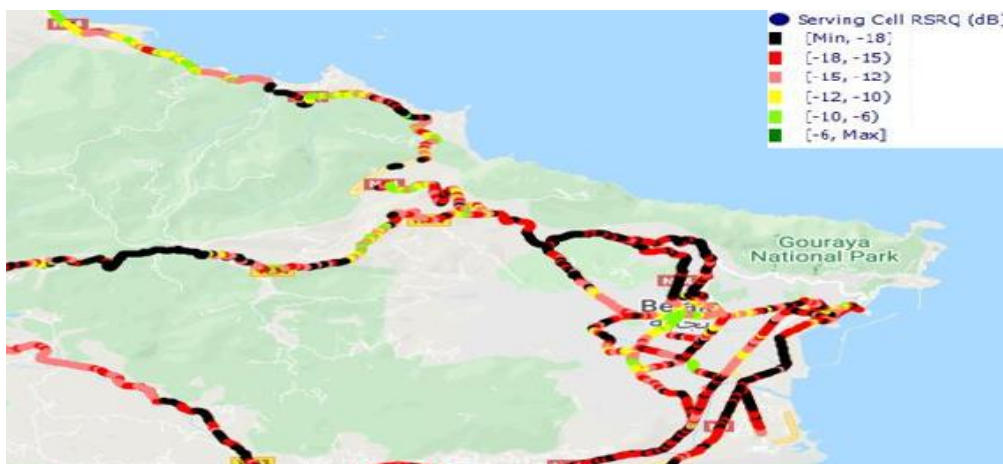


Figure.III.6: Plot du RSQR obtenu lors du DT.

RSRQ (dB)	≥-6	-6 to-10	-10to-12	-12to-15	-15to-18	<-18	Good RSRQ ≥-12 (dB)
Proportion	0,17 %	7,99 %	13,29 %	24,77 %	25,36 %	28,42 %	21,45 %
Moyenne	-15,72 dB						

Tableau III.2: Distribution en pourcentage du RSRQ.

Les gammes de RSRQ et leur pourcentage de répartition :

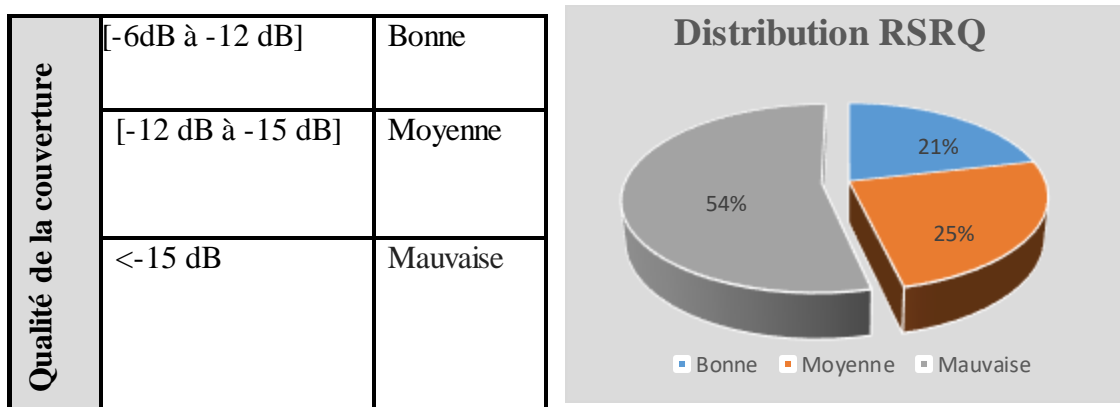


Figure.III.7: Différentes gammes SNIR.

Les résultats de RSRQ dans la zone étudiée, présentent un mélange de bon, moyen et mauvais RSRQ. Seulement 21% de la zone bénéficie d'une bonne qualité de signal RSRQ, ce qui est un aspect négatif de la performance du réseau. En revanche, 25% de la zone à une qualité de signal RSRQ moyenne, avec une possibilité d'amélioration pour une meilleure expérience utilisateur. Cependant, la préoccupation majeure réside dans le fait que 54% de la zone présente un mauvais RSRQ, indiquant

une forte interférence et un bruit élevé, ce qui peut entraîner une connectivité instable et une détérioration de la qualité des communications. Il est important de prendre des mesures pour résoudre ces problèmes et améliorer la qualité du signal dans la zone.

III.3.4 Analyse selon le rapport signal sur bruit SINR

La figure et (III.8) le tableau (III.3) illustrant le SINR et sa répartition.



Figure.III.8: Plot du SINR obtenu lors du DT.

SINR (dB)	≥20	20 to 15	15 to 7	7 to 0	0 to -4	-4 to Min	Good	SINR
Proportion	6,26 %	11,57 %	26,94 %	25,77 %	13,61 %	15,85 %	>= 15	
Moyenne	5,87 dB							

Tableau III.3: Distribution en pourcentage du SINR.

Les gammes de SINR et leur pourcentage de répartition:

Le SINR	≥ 15 dB	Bon
	[15dB à 7 dB]	Moyen
	<7 dB	Mauvais

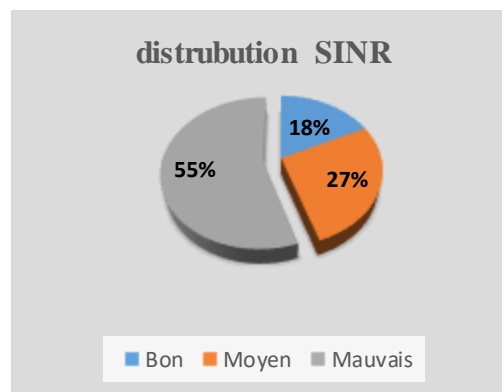


Figure.III.9: Différentes gammes SNIR.

La répartition du SNIR dans la zone donnée met en évidence une disparité dans la qualité du signal. Un pourcentage de 18% bénéficie d'un bon SNIR, ce qui suggère une qualité de signal élevée avec un rapport signal/bruit favorable. Un pourcentage de 27% à un SNIR moyen, indiquant une qualité de signal acceptable, mais susceptible d'être améliorée. Cependant, le principal motif d'inquiétude réside dans les 55% de la zone qui présente un mauvais SNIR, ce qui témoigne d'une faible qualité de signal attribuable à des interférences ou à un rapport signal/bruit défavorable.

III.3.5 Analyse selon le débit en liaison descendante

La figure (III.10) et le tableau (III.4) illustrent la variation du débit et sa répartition en liaison descendante dans la zone.



Figure.III.10: Plot du débit Down Link sur la zone.

	Min, 0.2 [	[0.2, 0.5 [	[0.5, 1[	[1, 2 [	[2, 5[	[5,10[	[10,15[	[15,Max[
DL Throughput(Mbs)	Min, 0.2 [	[0.2, 0.5 [	[0.5, 1[	[1, 2 [	[2, 5[	[5,10[	[10,15[	[15,Max[
Proportion	21,85 %	13,52%	9,86 %	7,54%	4,27%	3,89%	3,81%	35,27%
Moyenne	1 Mbs							

Tableau III.4: Distribution en pourcentage du débit Down Link.

Les gammes de Débit et leur pourcentage de répartition

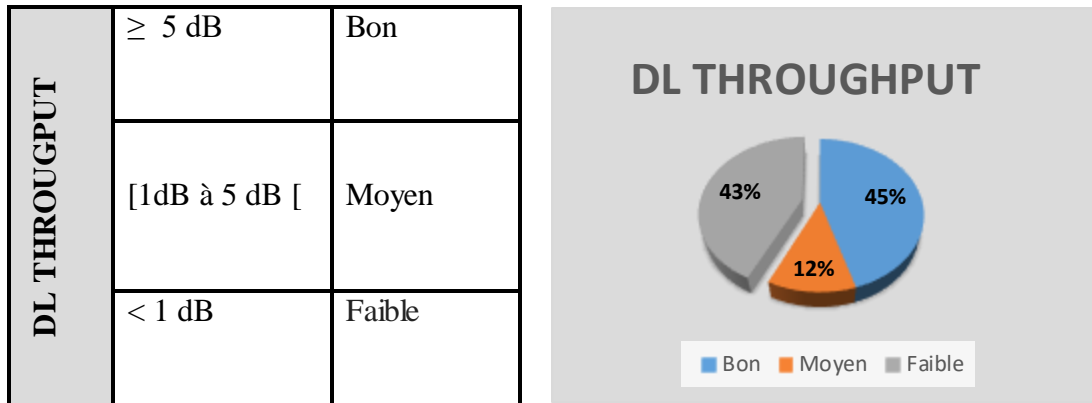


Tableau III.5: Différentes gammes de débit DL.

Les résultats de la répartition de débit descendant indiquent une prédominance de débits faibles dans la zone étudiée. Les pourcentages élevés dans les catégories de débits inférieurs à 1 Mbps (21,85%, 13,52%, 9,86%) suggèrent une proportion significative de mesures de débit faible. Cela peut indiquer une performance moins satisfaisante du réseau dans certaines parties de la zone, avec des débits insuffisants pour des activités en ligne courantes.

Le débit maximal que le réseau peut offrir est généralement considéré comme le facteur principal. Par conséquent, une étude approfondie sur le débit descendant est d'un intérêt particulier.

La figure suivante illustre les zones à problème de capacité indiqué par un faible débit

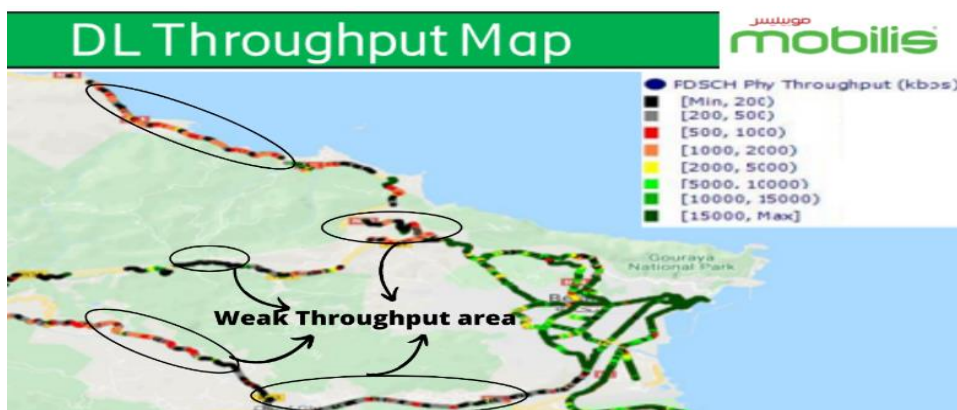


Figure.III.11: Zones à faible débit.

Cette constatation souligne l'importance d'identifier les zones présentant des débits faibles et de procéder à une analyse approfondie des facteurs contribuant à ces débits inférieurs à la norme. Une fois ces facteurs identifiés, des solutions appropriées peuvent être proposées pour améliorer la situation.

III.4 Solutions de densification des sites ATM sur le plan de couverture sous ATOLL

Notre étude a porté sur la simulation de la couverture radio dans la ville de Bejaia. L'objectif était de trouver une solution optimale pour le problème des zones présentant une faible couverture, tout en garantissant une couverture complète de la région avec une qualité de service élevée. Une des solutions les plus appropriées serait de densifier le réseau en ajoutant de nouveaux sites ou stations de base dans les zones où la couverture est faible.

III.4.1 Importation des sites défailants

Dans le logiciel Atoll, un site est défini comme un emplacement géographique spécifique. Lors de la création d'un nouveau site, plusieurs paramètres sont à définir : sa position géographique précise (longitude et latitude), la hauteur du support et le débit max de l'interface S1 en voie montante et descendante.

Dans le cas de l'opérateur MOBILIS, nous allons prendre en compte la répartition réelle de leurs 28 sites dans la ville de Bejaia.

- La création d'un site consiste à sélectionner la commande «New» dans la table site de la partie Data du menu explorer. Ou facilement importer l'emplacement des sites existant par la base de données comme on peut le voir sur (III.12).

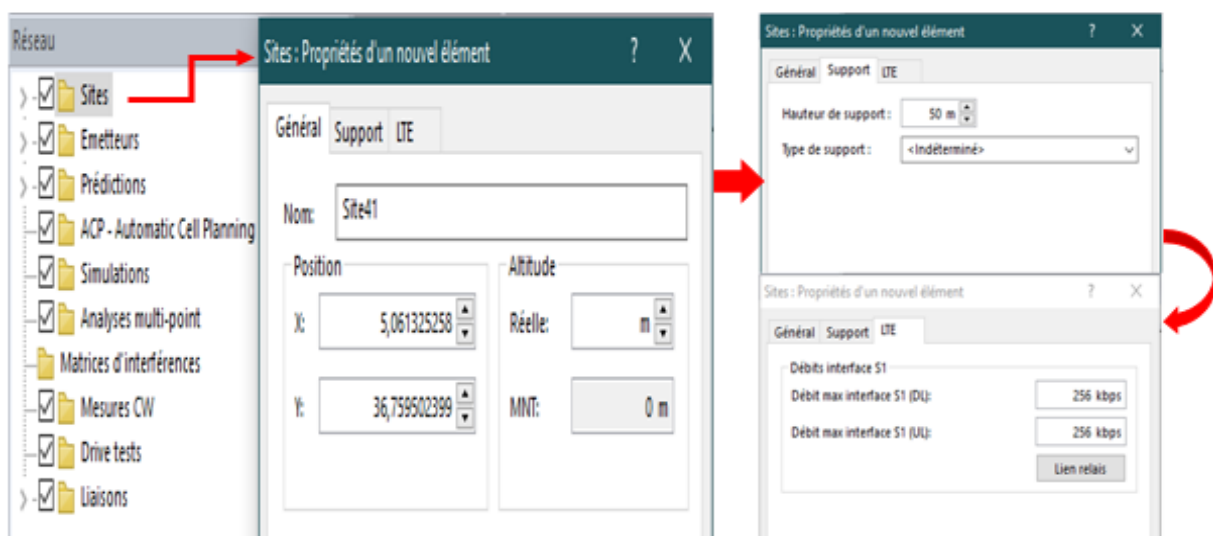


Figure.III.12: Menu de configuration des paramètres d'un nouveau site.

Dans la fenêtre d'Atoll, double click dans le dossier « Sites » on aura ce tableau qui nous montre les données suivantes :

Nom	Longitude	Latitude	Altitude (m)	Commentaires	Hauteur du support (m)	Type de support	Débit max interface S1 (DL) (kbps)	Débit max interface S1 (UL) (kbps)
Site1	5,0734	36,7498	[0]	AMN	50	<Indéterminé>	256	256
Site2	5,083543956	36,76799313	[0]	AMN	50	<Indéterminé>	256	256
Site3	5,08325	36,75215	[0]	500K	50	<Indéterminé>	256	256
Site4	5,069138889	36,74286111	[0]	500K	50	<Indéterminé>	256	256
Site5	5,05335	36,74831	[0]	500K	50	<Indéterminé>	256	256
Site6	5,060611111	36,75422222	[0]	500K	50	<Indéterminé>	256	256
Site7	5,060416	36,73933	[0]	500K	50	<Indéterminé>	256	256
Site8	5,04562	36,74201	[0]	500K	50	<Indéterminé>	256	256
Site9	5,05057	36,72963	[0]	500K	50	<Indéterminé>	256	256
Site10	5,05606	36,73171	[0]	800BTS	50	<Indéterminé>	256	256
Site11	5,040063889	36,75568888	[0]		50	<Indéterminé>	256	256
Site12	5,027138889	36,75690555	[0]		50	<Indéterminé>	256	256
Site13	5,03532	36,75365	[0]	800BTS	50	<Indéterminé>	256	256
Site14	5,06884	36,75774	[0]	800BTS	50	<Indéterminé>	256	256
Site15	4,951462186	36,82769326	[0]	800BTS	50	<Indéterminé>	256	256
Site16	5,08718	36,7588	[0]	800BTS	50	<Indéterminé>	256	256
Site17	5,04114	36,73015	[0]		50	<Indéterminé>	256	256
Site18	5,048261866	36,73541058	[0]		50	<Indéterminé>	256	256
Site19	5,0579	36,75999	[0]	118RBS	50	<Indéterminé>	256	256
Site20	5,03643	36,74269	[0]		50	<Indéterminé>	256	256
Site21	5,07222	36,72488	[0]		50	<Indéterminé>	256	256
Site22	5,084803584	36,74914271	[0]		50	<Indéterminé>	256	256
Site23	5,0679	36,75394	[0]		50	<Indéterminé>	256	256
Site24	5,057083333	36,72396111	[0]		50	<Indéterminé>	256	256
Site25	5,073740084	36,71634801	[0]		50	<Indéterminé>	256	256
Site26	5,04676	36,75157	[0]		50	<Indéterminé>	256	256
Site27	5,06853	36,75044	[0]		50	<Indéterminé>	256	256
Site28	5,049302778	36,73739722	[0]		50	<Indéterminé>	256	256
*								

Figure.III.13: Position des sites planifié (coordonnés GPS).

a. Création d'un émetteur

Chaque secteur d'un site est représenté par un émetteur virtuel avec plusieurs paramètres. Ces paramètres incluent le nom de l'émetteur, le site auquel il est associé, la distance par rapport au site (généralement nulle), les pertes d'émission et de réception, le facteur de bruit, la hauteur de l'émetteur, le modèle d'antenne utilisé, l'azimut (direction), le "down tilt" (inclinaison) et la fréquence porteuse. Ces paramètres permettent de décrire précisément les caractéristiques de l'émetteur et d'influencer la couverture et la qualité du signal émis. Voir figure (III.14).

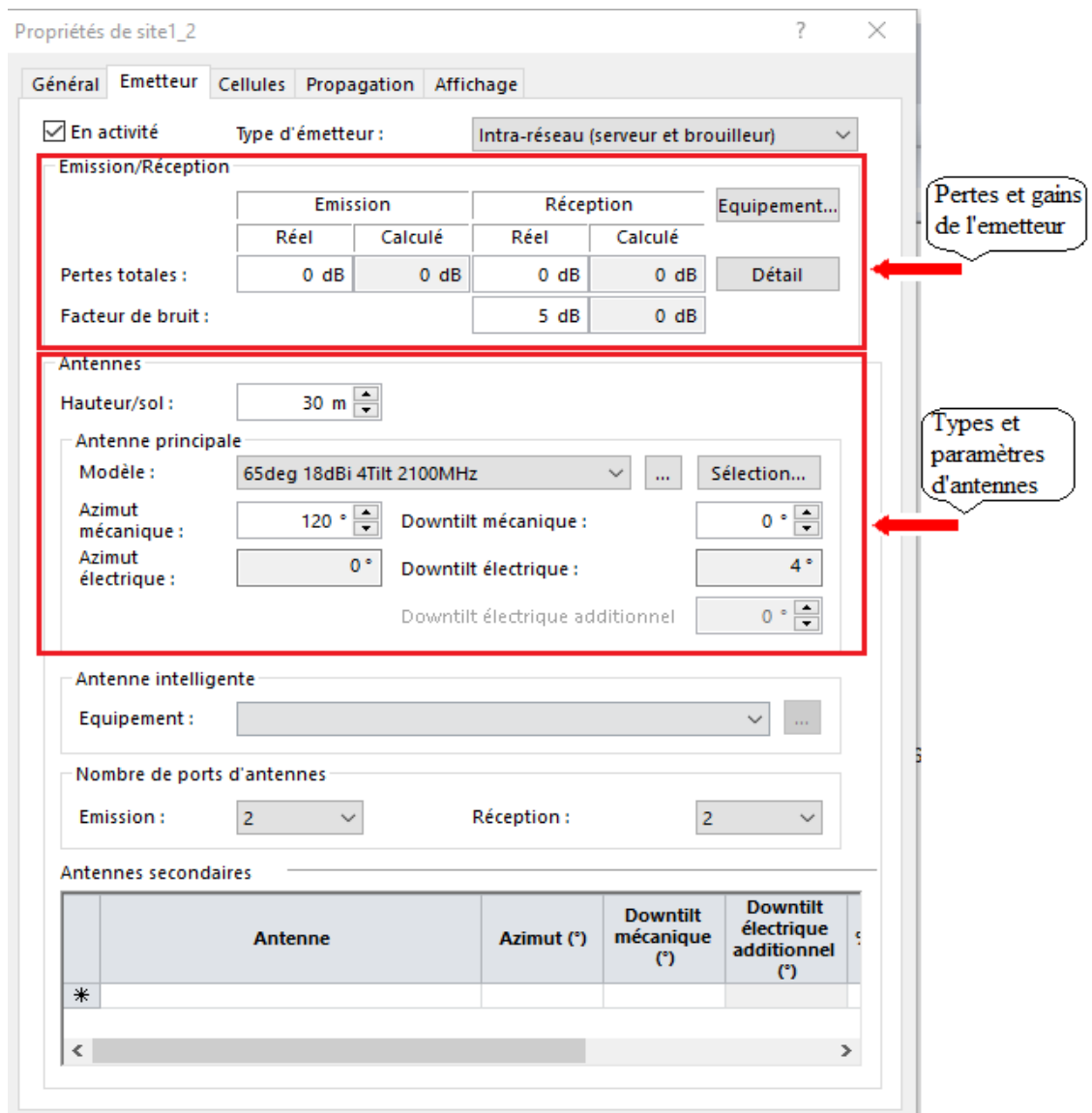


Figure.III.14: Définition des paramètres de l'émetteur.

Définition des paramètres de l'émetteur

- Le tilt : qu'il soit électrique ou mécanique le tilt permet d'ajuster l'inclinaison du lobe principal de l'antenne par rapport à la direction verticale. Le tilt électrique utilise des mécanismes électriques pour modifier l'angle d'élévation du lobe principal, tandis que le tilt mécanique implique des ajustements physiques de l'antenne.
- Azimut : paramètre à ajuster pour déterminer la direction horizontale de l'antenne, on peut orienter l'antenne de manière précise pour mieux couvrir une zone spécifique.
- La hauteur de l'émetteur : est la distance verticale entre l'antenne d'émission et le sol. En ajustant cette hauteur, on permet à l'onde de se propager au-delà des obstacles et d'améliorer la portée et la qualité de la communication sans fil.

b. Paramétrage du modèle de propagation

Le modèle de propagation revêt une importance capitale pour estimer le rayon des cellules en fonction des données recueillies via le bilan de liaison, comme expliqué dans le chapitre II. Afin de garantir une adaptation optimale à l'environnement réel, il est essentiel d'ajuster ce modèle en fonction des différents types d'environnement (urbain, suburbain et rural). Dans le cadre de notre étude, nous avons opté pour le modèle de propagation empirique Cost-Hata, dont la formule générale est présentée dans la figure (III.15).

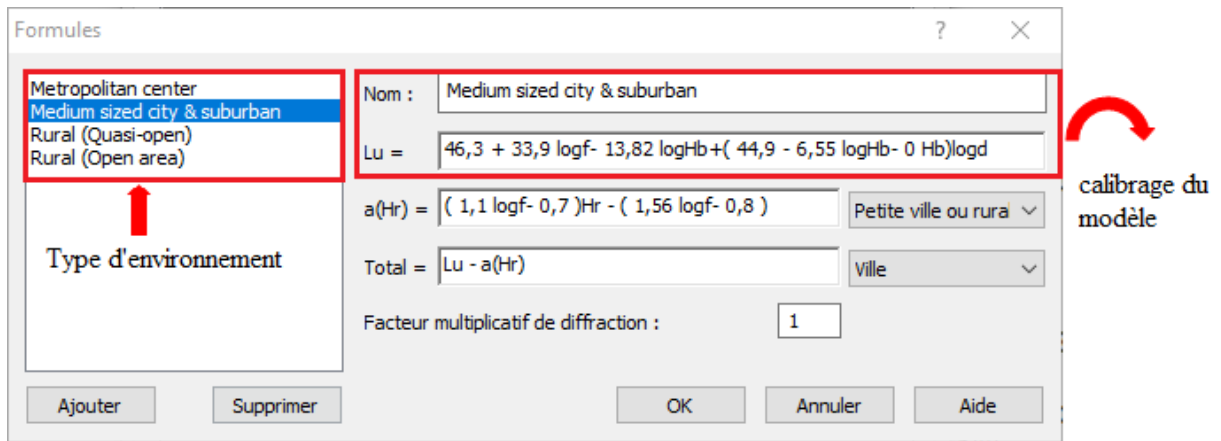


Figure.III.15: Paramètres calibrés de la formule de COST-HATA pour l'environnement urbain et suburbain sur Atoll.

Une fois que tous les paramètres ont été configurés, la mise en place des sites pourra être lancée.

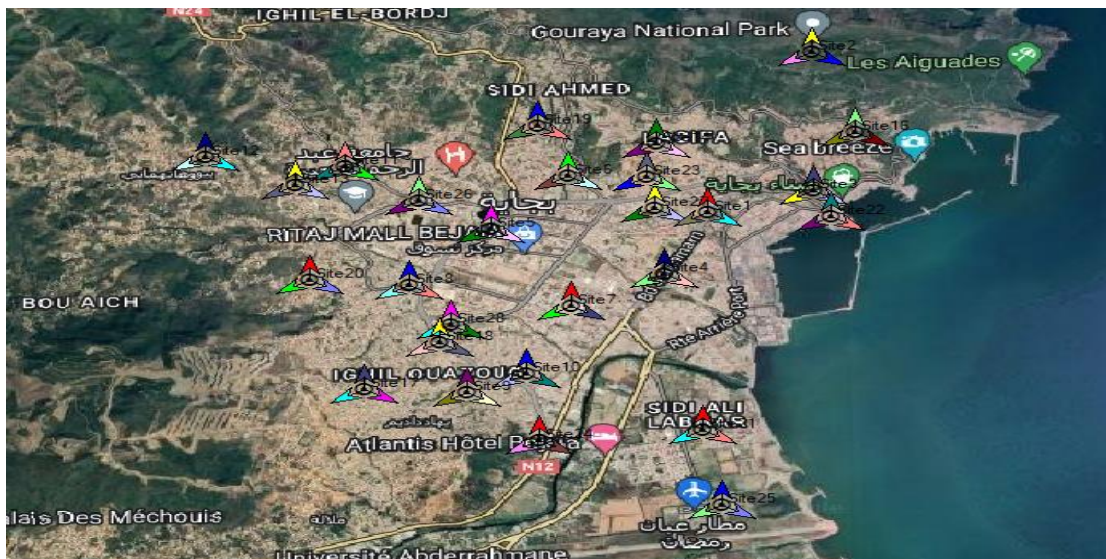


Figure.III.16: Position des sites planifiés sous Atoll.

III.4.2 Prédiction de couverture avec atoll

Après avoir positionnés les sites existants sur le réseau sous ATOLL, il faut maintenant simuler le comportement de réseau. Pour cela il faut effectuer un calcul de couverture radio on utilise la prédiction de couverture qu'est l'une des fonctionnalités clés du ce logiciel .Cette prédiction utilise des modèles de propagation radio et des données topographiques afin de mieux connaître la propagation des signaux émis par les émetteurs et de détecter les endroits où le niveau de signal ou la qualité sont dégradés, cela aide les opérateurs et les ingénieurs à planifier et à optimiser le déploiement des stations de base pour garantir une couverture adéquate et une expérience utilisateur optimale.

Différentes types de prédiction peuvent être réalisé avec ATOLL, y compris :

III.4.2.1 La couverture par niveau de signal

La prédiction par niveau de signal permet d'estimer les niveaux de signal attendus dans différentes zones d'un environnement donné. Cela permet de visualiser la force du signal radio dans chaque zone et d'identifier les zones où le niveau de signal est fort ou faible. C'est le type choisit dans notre simulation.

Pour réaliser cette prédiction on suit les étapes montré sur la figure (III.17) :

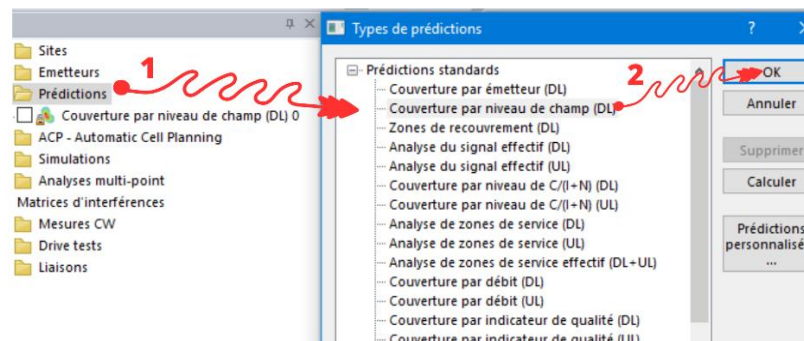


Figure.III.17: Création d'une nouvelle couverture par le niveau du signal.

- Visualisation des résultats

Les résultats de la prédiction de couverture par niveau de champ, sont généralement présentés sous forme de cartes couverture et pour plus d'explications, nous attachons ces cartes avec des histogrammes ce qui facilitera la lecture des données.

Ces visualisations montrent les niveaux de signal prévus dans chaque région de la zone étudiée. Les niveaux de signal sont généralement représentés par une échelle couleurs, ou les zones de meilleure couverture peuvent être indiquées en rouge, tandis que les zones de faible couverture peuvent être indiquées en bleu.

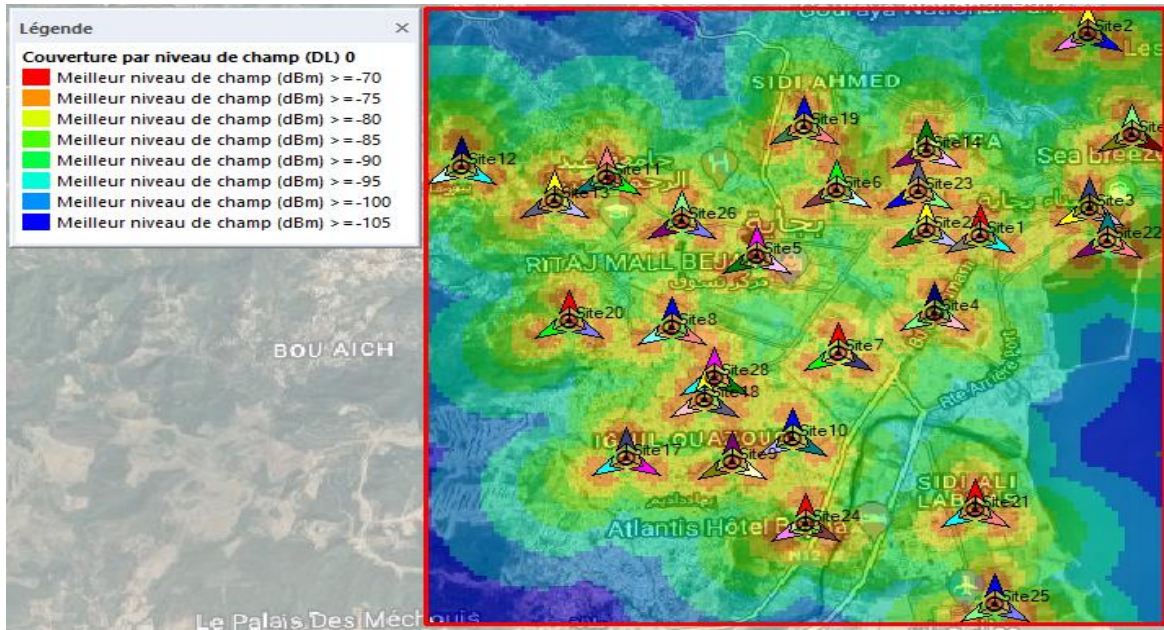


Figure.III.18: Résultat de prédiction de la couverture par le niveau de signal.

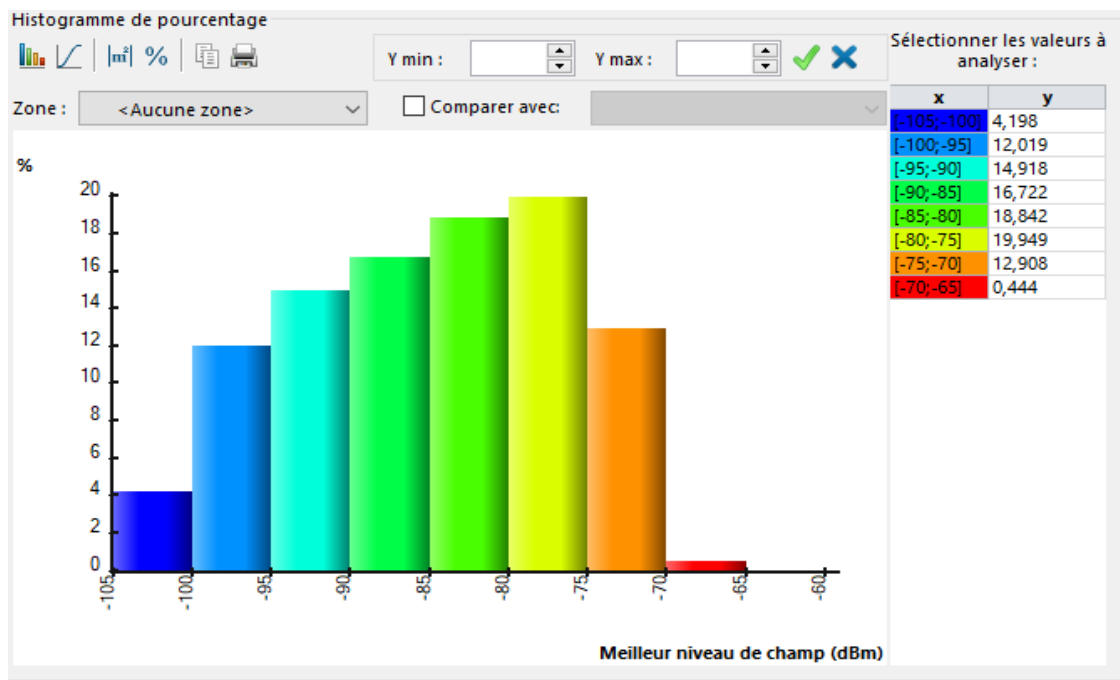


Figure.III.19: Histogramme de couverture des sites défaillants.

D'après cette prédiction, nous avons constaté que la couverture radio dans la région de Béjaia n'est pas uniforme (n'atteint pas toute la région) et qu'il existe des zones où le signal ne parvient pas efficacement. Cela se manifeste par des trous de couverture, comme illustré dans la figure (III.20).



Figure.III.20: Trous de couverture.

Donc la prochaine étape consiste à densifier ce réseau afin d'assurer la meilleure couverture possible. Pour l'atteindre, nous procédons à l'ajout de nouveaux sites ou stations de base.

Nom	Longitude	Latitude	Altitude (m)	Commentaires	Hauteur du support (m)	Type de support	Débit max interface S1 (DL) (kbps)	Débit max interface S1 (UL) (kbps)
newsite1	5°2'43,54" E	36°44'50,06"	[0]		50	<Indéterminé>	256	256
newsite10	5°2'3,8" E	36°44'51,58"	[0]		50	<Indéterminé>	256	256
newsite11	5°2'22,09" E	36°44'4,43"	[0]		50	<Indéterminé>	256	256
newsite12	5°2'21,41" E	36°43'45,77"	[0]		50	<Indéterminé>	256	256
newsite13	5°3'25,2" E	36°44'8,38"	[0]		50	<Indéterminé>	256	256
newsite14	5°4'1,67" E	36°43'39,72"	[0]		50	<Indéterminé>	256	256
newsite15	5°4'2,48" E	36°43'15,15"	[0]		50	<Indéterminé>	256	256
newsite16	5°4'31,75" E	336°44'22,7"	[0]		50	<Indéterminé>	256	256
newsite17	5°4'58,8" E	36°45'25,49"	[0]		50	<Indéterminé>	256	256
newsite18	5°4'38,53" E	36°45'8,21"	[0]		50	<Indéterminé>	256	256
newsite2	5°3'28,98" E	36°44'39,41"	[0]		50	<Indéterminé>	256	256
newsite3	5°3'19,12" E	36°44'26,42"	[0]		50	<Indéterminé>	256	256
newsite4	5°3'52,99" E	36°45'34,19"	[0]		50	<Indéterminé>	256	256
newsite5	5°3'36,72" E	36°45'58" N	[0]		50	<Indéterminé>	256	256
newsite6	5°3'10,47" E	36°46'13,04"	[0]		50	<Indéterminé>	256	256
newsite7	5°1'25,06" E	36°44'59,97"	[0]		50	<Indéterminé>	256	256
newsite8	5°0'47,13" E	36°45'26,78"	[0]		50	<Indéterminé>	256	256
newsite9	5°1'17,18" E	36°45'26,03"	[0]		50	<Indéterminé>	256	256

Figure.III.21: Description des sites de correction installée.

Une fois les 18 nouveaux sites ajoutés pour couvrir la zone, nous avons procédé à une Deuxième série de prédictions de réseau, on obtient ce résultat :



Figure.III.22: Résultats de Prédiction des nouveaux sites.

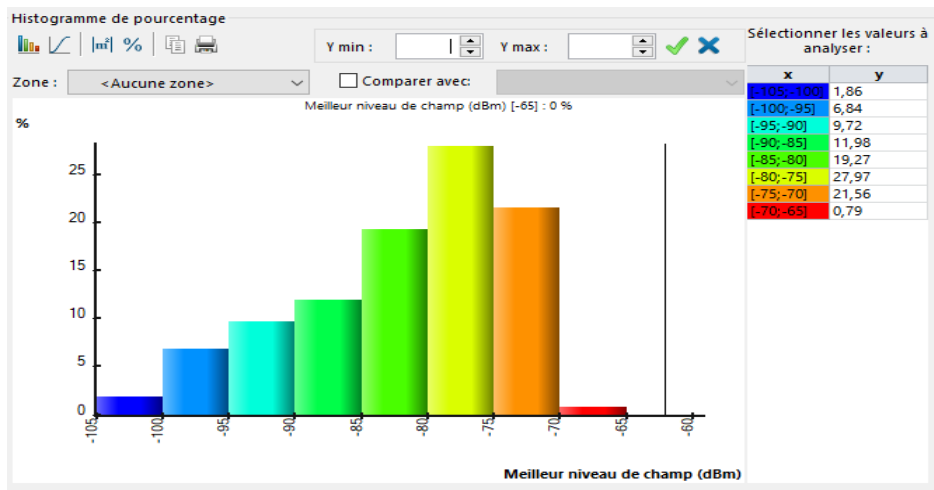


Figure.III.23: Histogramme de la nouvelle couverture par le niveau de signal.

Nous avons observé une amélioration notable de la couverture, avec la disparition des trous et une amélioration de la qualité de la couverture.

Les histogrammes de la figure ci-dessous représentent la comparaison entre la couverture de la zone étudiée avant (histogramme vide) et après l'ajout des sites (histogramme rempli).

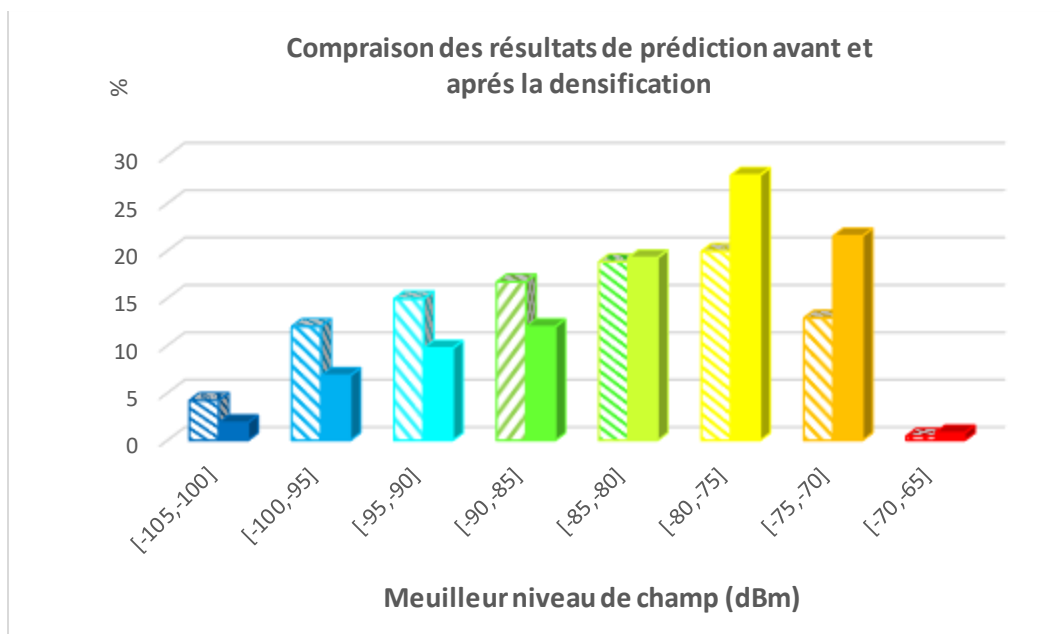


Figure.III.24: Histogramme des résultats de prédiction avant et après la densification.

En analysant l'histogramme comparatif de la couverture avant et après l'ajout des sites, on peut observer une nette amélioration de niveau de champ de la meilleure qualité de signal notamment dans l'intervalle $[-85 \text{ dBm}, -65 \text{ dBm}]$. Parallèlement, les niveaux de champ pour les signaux de faible qualité ont diminué dans la plage $[-105 \text{ dBm}, -90 \text{ dBm}]$.

Ces résultats montrent que l'ajout des nouveaux sites a permis d'améliorer la couverture par une bonne qualité de signal.

III.5 Solutions de densification des sites ATM sur le plan de capacité

Une couverture étendue est nécessaire pour assurer la connectivité dans toutes les zones prévues, mais une couverture seule ne garantit pas une capacité suffisante pour gérer la demande de trafic. Une densification appropriée sur le plan de capacité est nécessaire pour s'assurer que le réseau peut prendre en charge le trafic prévu, même dans les zones à forte densité d'utilisateurs.

III.5.1 Etude d'un cas réel de basculement vers le massive MIMO :

III.5.1.1 Choix de site à faible capacité :

D'abord nous avons commencé par l'étape de choix des sites, qui sont primordiales 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.

Nous avons choisi le site nommé site23 qui se situe dans la région de Thargua-Ouzemour juste à côté de campus universitaire, une zone, à forte densité d'utilisateurs. Cette zone constitue une zone de déploiement prioritaire.

Un changement des équipements et des rajouts d'antennes ont été effectués, pour installer la technologie Massive MIMO comme décrit dans l'illustration ci-dessous.



Figure.III.25: Installation de Massive MIMO.

III.5.1.2 Vérification d'amélioration

a. Avant l'implémentation de Massive MIMO

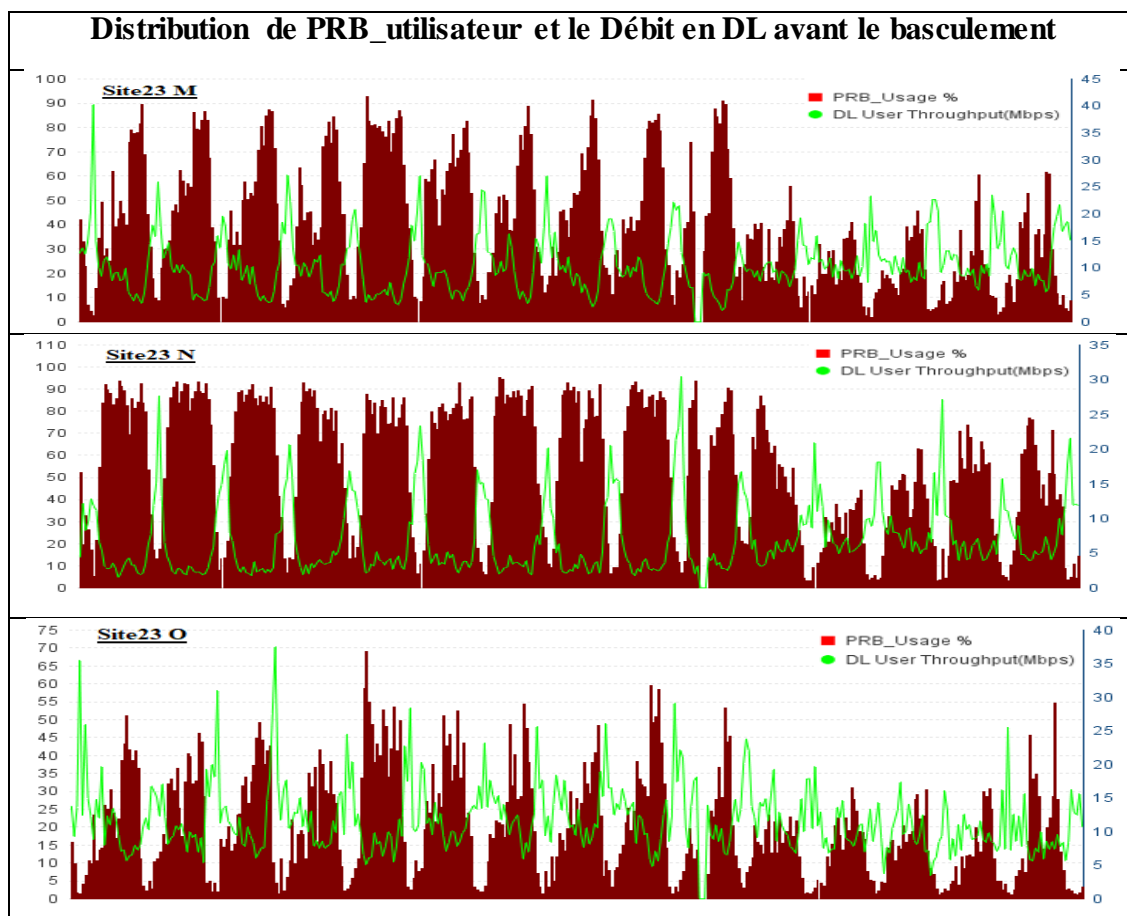


Figure.III.26: Distribution de PRB_utilisateur et le Débit en DL avant le basculement.

- En examinant le graphique de distribution du PRB-usage, on constate des proportions élevées de PRB utilisés, ce qui indique une utilisation intensive des ressources pour les transmissions de données.
- En observant le graphique de distribution du débit en DL, on remarque que malgré les proportions élevées de PRB utilisés, les débits en DL sont relativement faibles, ce qui suggère une efficacité limitée dans la transmission des données aux utilisateurs.

b. Après l'implémentation de Massive MIMO

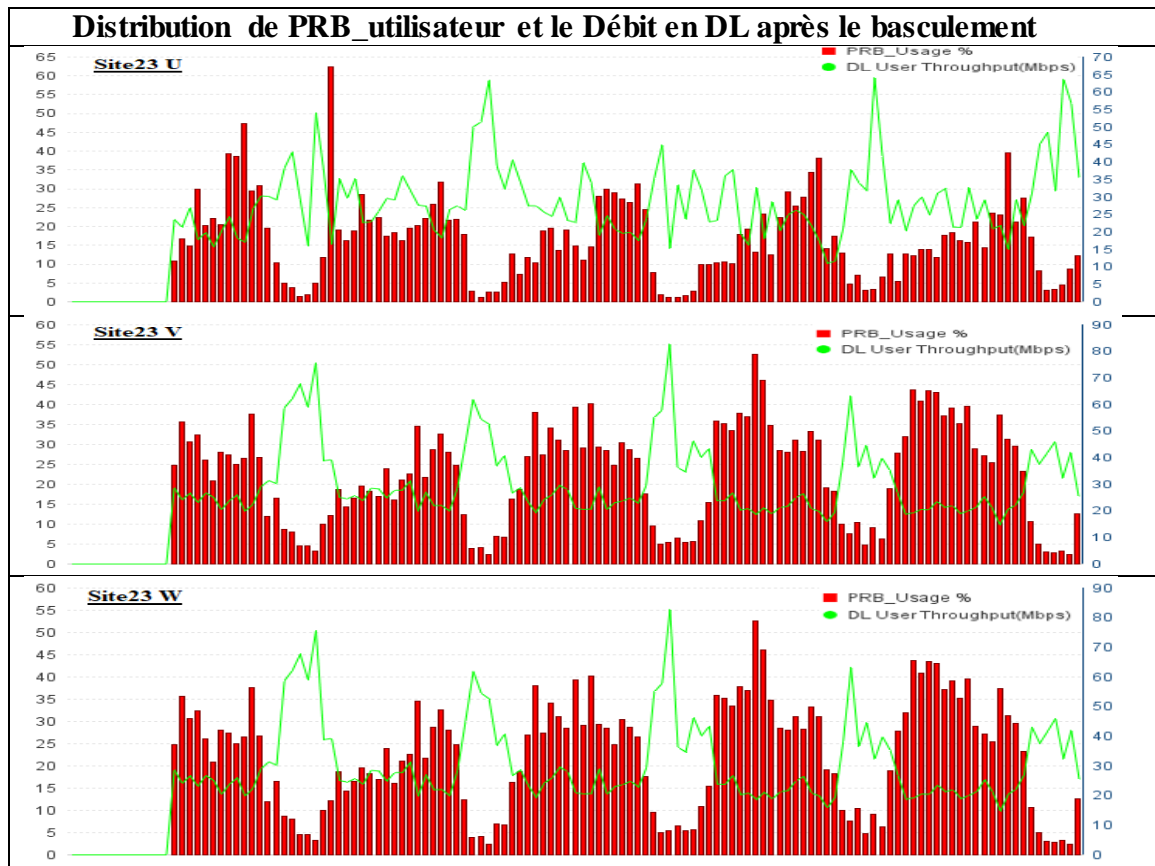


Figure.III.27: Distribution de PRB_utilisateur et le Débit en DL après le basculement.

- En analysant le graphique de distribution du PRB-usage, on observe des proportions moins élevées de PRB utilisés, indiquant une utilisation plus efficace des ressources grâce à la Massive MIMO.
- Le graphique de distribution du débit en DL révèle une augmentation significative, malgré une utilisation réduite des PRB. Cela a mis en évidence les avantages du Massive MIMO en termes d'amélioration des performances et de l'expérience utilisateur, permettant une transmission de données plus rapide et des débits plus élevés.

En résumé, les graphiques de distribution montrent une amélioration après l'implémentation de Massive MIMO, avec une utilisation plus efficace des ressources physiques (PRB) et une augmentation notable du débit en DL. Cela démontre les bénéfices de la technologie Massive MIMO dans l'amélioration des performances du réseau et de la connectivité pour les utilisateurs.

III.6 Conclusion

A travers ce chapitre, nous avons utilisé le logiciel Atoll pour effectuer une simulation de l'état du réseau LTE dans la zone de Bejaia. L'objectif principal de cette simulation était de comprendre la situation actuelle de la couverture du réseau et d'explorer des moyens d'améliorer la connectivité dans les zones peu desservies, c'est-à-dire les zones où la couverture était faible ou inexistante. Ces zones peu desservies étaient fournies comme des problématiques à résoudre dans le cadre de notre étude.

Sur la base de ces problématiques détectées, nous avons proposé des solutions spécifiques pour améliorer la couverture du réseau dans les zones peu desservies. Ces solutions étaient centrées sur la planification et la densification du réseau.

Dans le cadre de la planification, nous avons déterminé l'installation de nouvelles antennes ou la mise à niveau des équipements existants pour améliorer la qualité du signal. La densification du réseau consistait à augmenter le nombre d'antennes dans les zones peu desservies afin d'étendre la couverture et d'améliorer la connectivité.

Nos recommandations pour l'amélioration des performances du réseau LTE étaient basées sur les indicateurs clés de performance (KPI). En analysant ces KPIs, nous avons pu évaluer l'impact des solutions proposées sur les performances du réseau.

Conclusion Générale

Les Réseaux mobiles de quatrième génération, connus sous le nom de (4G LTE) sont jugés comme la solution la plus recherchée par les opérateurs télécoms pour répondre au compromis entre dimensionnement et coût, face aux exigences des consommateurs qui souhaitent non seulement une connectivité permanente pour accéder à leurs besoins, mais également profiter d'une multitude de services via le même réseau. Cela correspond au principe de convergence des réseaux auquel répondent les réseaux des nouvelles générations, en particulier le LTE.

Au cours de notre projet, une étude approfondie a été conduite sur les aspects radio des réseaux 4G LTE, ainsi que sur des procédures d'optimisation de leurs performances. Grâce à un Drive Test et une analyse précise des mesures collectées, nous avons pu proposer des solutions aux problèmes de manque de capacité et de faiblesse de couverture détectés sur certains sites Mobilis à Béjaia. Une maîtrise du logiciel ATOLL nous a permises de paramétrer et de simuler les solutions trouvées. La densification sur le plan de couverture a concerné l'ajout de nouvelles stations de base tandis que sur le plan de la capacité, nous avons adopté une solution a été d'implémenter la technologie Massive MIMO.

Au terme de notre projet, les objectifs ciblés ont largement été atteints. Cette étude nous a permises de découvrir l'environnement de travail des équipes d'exploitation du réseau d'ATMobilis à Béjaia et de nous imprégner des différents défis à relever par ces équipes pour améliorer les performances du réseau et l'optimisation de leur fonctionnement.

Bibliographie

- [1] Ghassan A.Abed, Queue size comparison for standard transmission control protocol variants over high-speed traffics in long term evolution advanced (LTE-A) network, Academic journals, Dijlah University College, Baghdad, Iraq, 2014. Doi:10.5897/SRE2014.6133.
 - [2] FDD-LTE Radio Network Principale, student book, ZTE Corporation, 2010.
 - [3] Yannick Bouguen, Éric Hardouin, François-Xavier Wolff, LTE et les réseaux 4G, Groupe Eyrolles, 2012. ISBN : 978-2-212-12990-8.
 - [7] Frédéric Launay, les réseaux de mobiles de 4G et 5G, Extrait du module de formation LTE 4G-Part3, Université de poitiers, 3octobre 2013.
 - [8] Xavier LAGRANGE, Principes de fonctionnement de l'interface radio LTE, Technique de l'ingénieur, article, Université de Nantes, 10 mai 2013.
 - [9] Omar Farissi, Rapport SC-FDMA, Support de cours, Version électronique, 2014.
 - [10] Xavier LAGRANGE, Principes de la transmission OFDM- utilisation dans les systèmes cellulaires, Technique de l'ingénieur, article, Université de Nantes, 10 mai 2012.
 - [11] Didier Le Ruyet, Berna Özbek, Systèmes MIMO et codage spatio-temporel CNAM, 292 rue Saint Martin, 75141 Paris Cedex 3, France, 2005.
 - [12] How 5G massive MIMO transforms your mobile experiences, Qualcomm Technologies breakthroughs help enable 5G networks to serve more users, with dramatically improved capacity, coverage, and quality JUN 19, 2019.
 - [13] Falonne.NDAY, Mise au point d'une stratégie de qualité de service dans inter réseau via le protocole BGP, Cas de Microcom et afrinet, Memoire online, université protestante de lubumbashi en RDC, 2013.
 - [14] Abdul Basit, Syed Dimensioning of LTE Network Description of Models and Tool, Coverage and Capacity Estimation of 3GPP Long Term Evolution radio interface, Thèse de maîtrise, HELSINKI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, February, 2009.
 - [15] Tatap Peretes, Dimensioning and Coverage of Molyko City by LTE Network using Atoll 3.3, Technical Report, University of Buea, June, 2021. DOI:10.13140/RG.2.2.29568.76805.
 - [16] Ayman Elnashar, Mohamed A. El-saidny, Mahmoud R. Sherif, DESIGN DEPLOYMENT AND PERFORMANCE OF 4G-LTE NETWORKS, 2014.
 - [17] Marceau Coupechoux INFRES/RMS. Bilan de liaison 4G, Institut Mines-Télécom, 16 février 2015.
 - [18] N.S Nkordeh, A.A.A Atayero, F.E Idachaba, O.O Oni, Members, IAENG LTE Network Planning using the Hata-Okumura and the COST-231 Hata Pathloss Models, Proceedings of the World Congress on Engineering, London, U.K, 2014.
 - [19] Huawei, "LTE Radio Network Capacity Dimensioning", 2013.
 - [20] LTE RSSI, RSRP and RSRQ Measurement.
-

- [21] Frédéric Launay, les réseaux de mobiles de 4G et 5G.RSRP ET RSRQ 2^{ème} : Définition Université de poitiers, 27 aout 2013.
- [22] Ericsson «WCDMA Access Problems Analysis » 2011
- [23] Atoll Radio planning and optimization software Measurements and Model Calibration Guide version 3.3.2.

Webographie

- [4] <https://mobilepacketcore.com/lte-interfaces/> consulté en Avril 2023.
- [5] [Architecture et composants LTE complets \(yatebts.com\)](#).
- [6] <http://www.lteandbeyond.com/2012/01/functions-of-main-lte-packet-core.html>.
-

Annexe A

A.1 Présentation générale de l'outil de planification radio Atoll

Atoll est une plate-forme de planification et d'optimisation basé sur une interface graphique facile et intuitive, conçue par Forsk compagnie. Il permet de faire des études préalables de déploiement de presque tous les réseaux sans fil (outil multi-technologies), de la conception initiale (planification) au déploiement final (densification).

Plus qu'un outil d'ingénieur, Atoll est un système d'information technique ouvert, flexible et évolutif, son principal objectif est qu'il permet de faire une prédiction de couverture radio selon des conditions spécifiques comme les modèles de propagation, l'emplacement des antennes et configuration variable des transmetteurs[23].

A.2 Démarrage d'un projet Atoll

A.2.1 Création d'un nouveau projet

Sélectionnez fichier → Nouveau → A partir d'un modèle de document → LTE

Ou tout simplement (ctrl+N) → LTE

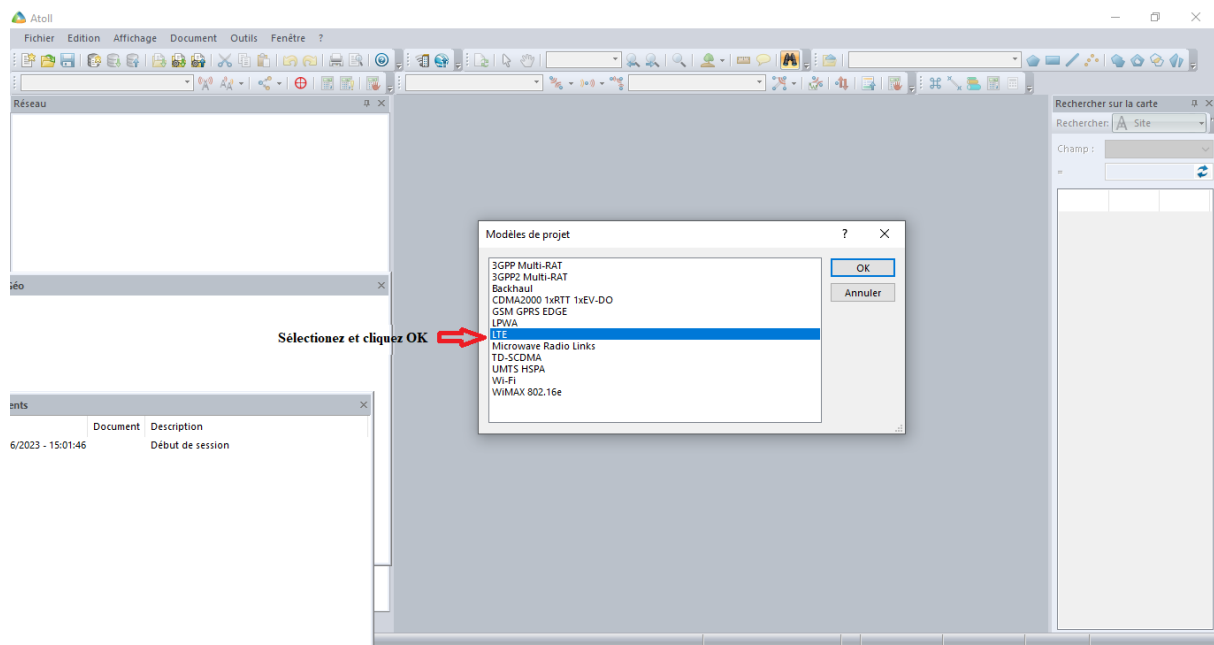


Figure A.1 : Nouveau projet Atoll basé sur le modèle LTE.

A.2.3 Réglage des paramètres de la zone

Sélectionnez → Document → Propriétés

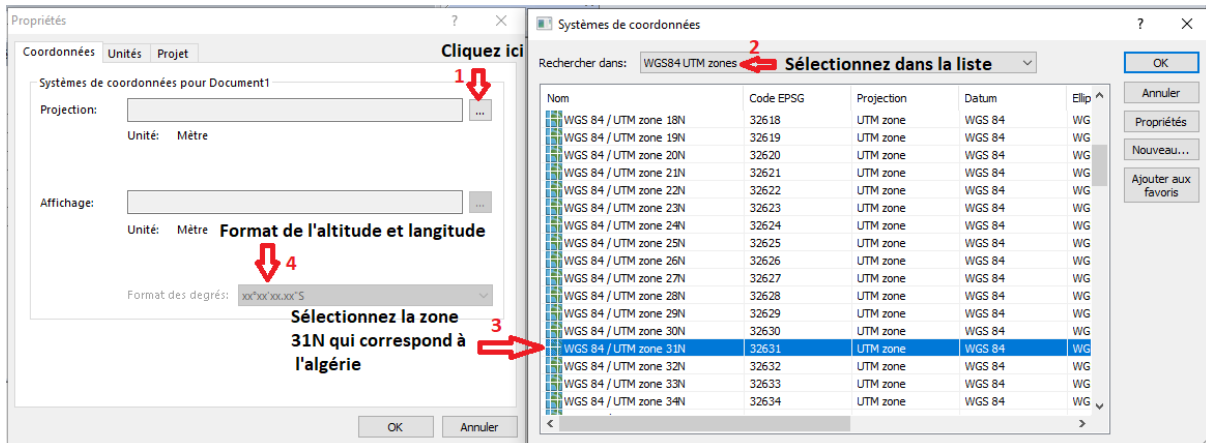


Figure A.2 : Choix du système de coordonnées.

Les paramètres saisis Pour obtenir l'emplacement réel des sites sont :

- Projection : WGS 84 / UTM zone 31N.
- Affichage : WGS 84
- Format des degrés : -xx xxxxx (indique le format de latitude et de longitude des sites)

Avec :

- WGS 84 (World Geodetic System 1984) est un système de coordonnées géographiques utilisé à l'échelle mondiale pour définir la position d'un point sur la surface de la Terre.
- UTM (Universal Transverse Mercator) est un système de projection cartographique qui divise la surface de la Terre en zones rectangulaires pour faciliter les calculs et les mesures.

A.2.4 Importation d'UNE CARTE NUMÉRIQUE:

Pour travailler sur une carte réelle, l'utilisateur doit importer les données géographiques du terrain à planifier. Cela permet d'utiliser des informations précises sur les caractéristiques géographiques.

- Pour ajouter la mappe d'Algérie on suit les étapes suivantes :
Sélectionner Géo → importer → sélectionner le fichier de la mappe

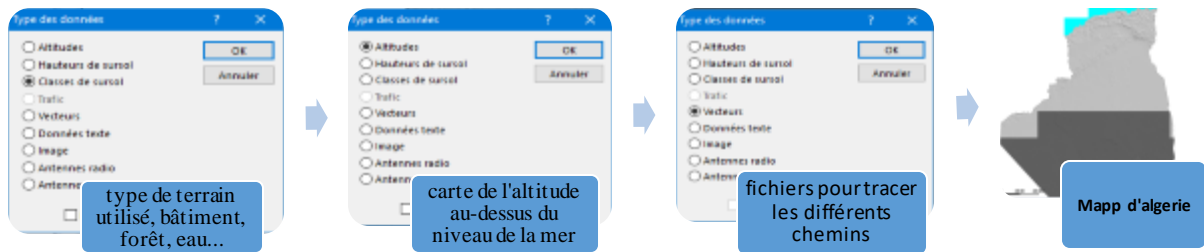


Figure A.3 : Etapes Pour ajouter la mapp d'Algérie.

Après avoir importé la Mapp d'Algérie, on importe la carte topographique de la ville du Bejaia, Selon la démarche suivante :

Sélectionner Géo → Cartes en ligne → Nouvel carte → Insérer l'URL du serveur → OK

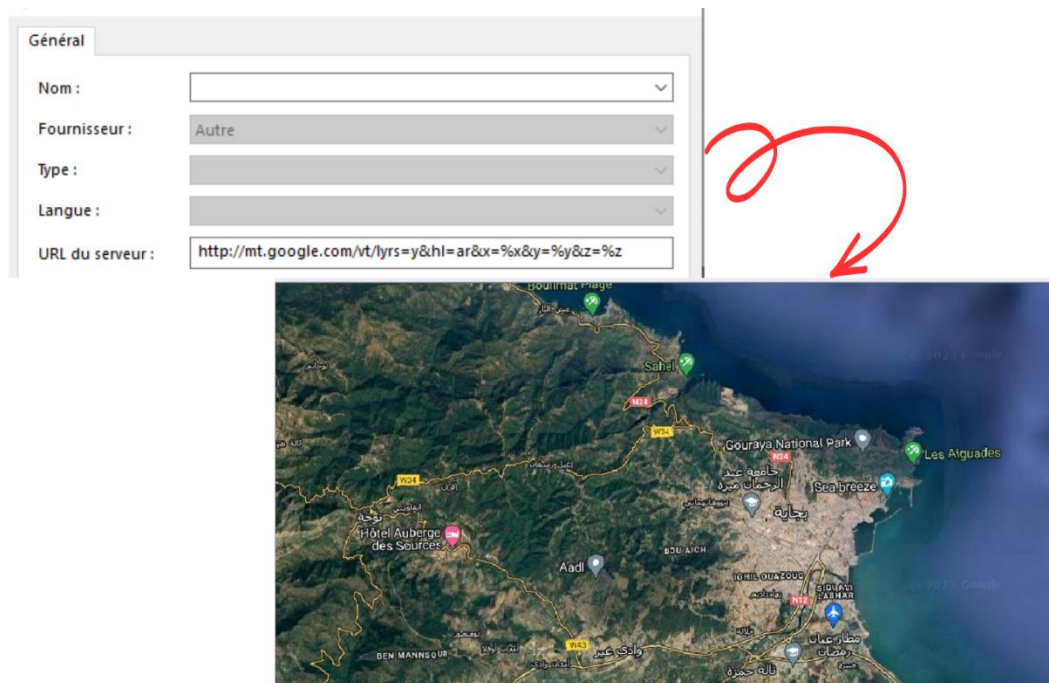


Figure A.4 : la carte topographique du Bejaia.