

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 : systèmes des Télécommunications

Thème

*Dimensionnement et planification d'un réseau mobile
4G/LTE*

Préparé par :

MAHMOUDI HOUSSEM

OUCHENE OUSSAMA

Dirigé par :

Mlle. L. ACHOUR

Examiné par :

M. M. TOUNSI

M. H. BELLAHSENE

Année universitaire : 2021/2022

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

A mes parents qui me sont chers, quoi que je fasse ou dise-je ne saurai vous remercier, je remercie Dieu de m'avoir donné des parents comme vous. Que Dieu vous protège et vous bénisse.

À mes frères pour leur encouragement.

A mes amis pour leur soutien.

À toutes les personnes qui m'ont encouragé, merci d'être toujours là pour moi. Que Dieu vous bénisse tous.

Remerciements

Tout d'abord nous remercions ALLAH qui nous a aidés et nous a donné la patience, la volonté et le courage durant ces longues années d'études.

Nous tenons à remercier sincèrement notre encadreur Mme. Lyakout ACHOUR, à son aide et son soutien par tous ses efforts et ses conseils, sa disponibilité tout au long de la réalisation de ce mémoire.

Nos remerciements vont essentiellement à Mr. OUAZIZ, pour ses nombreux conseils et pour nous avoir orientés au cours de la réalisation de ce travail.

Nous remercions très vivement les membres de jury qui ont bien voulu examiner et juger notre travail et nous honorer par leur présence.

Enfin, Nous remercions également tous ceux et celles qui nous ont aidés ou soutenus de quelle que manière que ce soit.

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE.....1

Chapitre I : Les réseaux mobiles

I.1 Introduction.....3

 I.2 Le concept de base des réseaux mobiles.....3

 I.3 Taille des cellules et bandes de fréquences.....4

 I.4 L’architecture de réseaux mobile.....5

 I.5 L’évolution des systèmes cellulaire.....7

 I.5.1 Première génération (1G).....7

 I.5.2 Deuxième génération (2G)8

 I.5.3 La troisième génération (3G)8

 I.5.4 La quatrième génération 4G (LTE).....9

 I.5.5 La 5eme génération.....9

 I.6 Tableau comparatif des réseaux mobiles.....10

 I.7 Conclusion.....11

Chapitre II: Etude détaillée des réseaux 4G

II.1 Introduction.....12

II.2 Le réseau LTE.....12

II.3 Architecture LTE.....13

 II.3.1 Les différentes parties de réseau cœur.....15

 II .3.1.1 La partie Signalisation.....15

 II .3.1.2 La partie radio eUTRAN.....16

 II.3.1.3 La partie IMS (IP MultimediaSub-system)17

II.4 Caractéristiques de la 4G /LTE17

II.5	Processus de Dimensionnement	19
II.5.1	Pré-dimensionnement.....	19
II.5.2	Dimensionnement de couverture.....	20
II.5.3	Dimensionnement de capacité.....	20
II.5.4	Optimisation.....	20
II.6	Dimensionnement de LTE.....	20
II.6.1	Dimensionnement orienté couverture.....	22
II.6.2	Bilan de la Liaison Radio (RLB).....	22
II.7	Modèle de propagation.....	23
II.7.1	Modèle de propagation en espace libre.....	23
II.7.2	Modèle de propagation Standard.....	24
II.7.3	Le modèle Okumura-Hata.....	24
II.7.4	Modèle COST231-HATA.....	26
II.8	Dimensionnement orienté couverture en liaison descendante (Downlink).....	26
II.8.1	Débit requis.....	26
II.8.2	Le SINR (Signal to Interference and Noise Radio) requis au récepteur.....	27
II.8.3	Puissance de la sous-porteuse.....	28
II.8.4	Sensibilité du récepteur.....	28
II.8.5	Les marges de bruit.....	29
II.8.5.1	La marge d'interférence	29
II.8.5.2	Le gain du soft Handover	29
II.8.5.3	La marge de l'évanouissement rapide (Power control Headroom).....	29
II.8.5.4	La marge de Body loss.....	30
II.8.5.5	Le contrôle rapide de puissance (Power rise).....	30
II.8.5.6	La marge de l'évanouissement lent outdoor (slow fading).....	30
II.8.5.7	Les pertes de pénétration indoor.....	30

II.9	Dimensionnement orienté couverture pour la liaison montante (Uplink).....	30
II.9.1	Le SINR requis.....	30
II.9.2	La puissance de la sous-porteuse.....	30
II.9.3	Sensibilité de récepteur l'eNodeB.....	31
II.9.4	Gain d'Antenne.....	31
II.10	Dimensionnement de l'interface S1 et X2.....	31
II.10.1	L'interface X2.....	31
II.10.2	L'interface S1.....	32
II.11	Principe de la technologie MIMO	32
II.12	Qualité De Service «QoS»	34
II.12.1	Définition.....	34
II.12.2	Les services de la LTE.....	34
II.13	planification LTE.....	34
II.13.1	Planification du réseau cœur LTE.....	34
II.13.2	Planification du réseau d'accès radio RAN (Radio Access Network Planning) LTE.....	34
II.14	Conclusion	35

Chapitre III : SIMULATION ATOLL

III.1	Introduction.....	36
III.2	Présentation de logiciel Atoll.....	36
III.3	Démarrage d'un projet Atoll.....	38
III.3.1	Ouverture d'un nouveau projet.....	38

III.3.2 Réglage des paramètres de la zone.....	39
III.4 Etude d'un cas général.....	46
III.4.1 Couverture.....	46
III.4.2 Prédiction de couverture	49
III.5 Conclusion	60
Conclusion Générale.....	61
Références Bibliographiques.....	62

Liste des figures

Figure I.1: différent type des cellules.....4

Figure I.2 : illustre l'architecture générale simplifiée des réseaux mobiles.....5

Figure I.3 : Architecture des réseaux GSM.....6

Figure I.4 : L'architecture de réseau UMTS.....7

Figure I.5 : Evolution du réseau mobile.....7

Figure I.6 : Représente les caractéristiques de la technologie 5G.....10

Figure II.1 : Architecture générale du LTE.....13

Figure II.2: Architecture d'EPS (Evolved Packet System)..... 14

Figure II.3 : Architecture du réseau cœur EPC.....14

Figure II.4 : Processus de dimensionnement d'un réseau LTE.....19

Figure II.5 : représentant les technologies: MIMO, MISO, SISO, SIMO.....33

Figure III.1: nouveau document Atoll basé sur le modèle LTE.....39

Figure III.2: réglage des paramètres de projection et de formats.....40

Figure III.3: L'ajout d'un map au niveau document.....41

Figure III.4:Importation des données numériques.....42

Figure III.5 : surface couverte.....43

Figure III.6 : création d'un nouveau site.....44

Figure III.7 : Création d'un émetteur et ses caractéristiques.....45

Figure III.8: Configuration de la cellule ou antenne.....46

Figure III.9: Dispositions des sites et des émetteurs.....47

Figure III.10: La zone précise à couvrir.....48

Figure III.11 : Propriétés de la surface.....49

Figure III.12 : Création d'une nouvelle couverture par le niveau du signal.....50

Figure III.13: Résultats de prédiction de la couverture par le niveau de signal.....51

Figure III.14: Zone à couvrir.....52

Figure III.15: Histogramme de la couverture par niveau de signal.....53

Figure III.16: Zones à recouvrir.....54

Figure III.17: Résultat de la nouvelle prédiction de la couverture par niveau de signal.....54

Figure III.18 : Légende de la nouvelle prédiction de la couverture par niveau de signal.....55

Figure III.19: Résultat de la prédiction de la couverture par émetteur.....57

Figure III.20: Carte de recouvrement.....58

Figure III.21: Histogramme de couverture par les zones de chevauchement.....59

Figure III.22: Légende de la carte de recouvrement.....60

Liste des tableaux

Tableau I.1: Comparatif entre les réseaux mobiles.....10

Tableau II.1: Caractéristiques de réseau 4G/LTE.....17

Tableau II.2 : Valeurs de C_m 26

Tableau II. 3 : Nombre de N_{Rb} peut être choisi dans les limites de la bande passante.....27

Tableau III.1 : Différentes propriétés des émetteurs.....55

Liste d'abréviations

- **1G:** 1ère Génération
- **2G:** 2ème Génération
- **3G:** 3ème Génération
- **4G:** 4ème Génération
- **5G:** 5ème Génération
- **3GPP:** 3Generation Partnership Project

B

- **BS:** Base Station
- **BSC:** Base Station Controller
- **BSS:** Base Station Sub-system
- **BTS:** Base Transceiver Station

C

- **CDMA:** Code division multiple access

E

- **EDGE:** Enhanced Data Rates for GSM
- **EPS:** Evolved Packet System
- **EPC:** Evolved Packet Core

F

- **FDD:** Frequency Division Duplexing

G

- **GGSN:** Gateway GPRS Support Node
- **GMSC:** Gateway MSC
- **GPRS:** General Packet Radio Ser
- **GSM:** Global System for Mobile

H

- **HLR:** Home Location Register
- **HSDPA:** High Speed Downlink Packet Access
- **HSPA:** High Speed Packet Access
- **HSS:** Home Subscriber Service

I

- **IMS:** IP Multimedia Sub-system

- **IP:** Internet Protocol

L

- **LTE:** Long Term Evolution

M

- **MAPL:** Maximum Allowable PathLoss
- **MIMO:** Multiple Input Multiple Output
- **MISO:** Multiple Input Single Output
- **MME:** Mobility Management Entity
- **MSC:** Mobile Switching Center

N

- **NLOS:** Non-line-of-sight
- **NMT:** Nordic Mobile Telephone
- **NSS:** Network Switching Sub-System

O

- **OFDM:** Orthogonal Frequency Division Multiplexing
- **OFDMA:** Orthogonal Frequency Division Multiple Access

P

- **PDN:** public data network
- **PCRF:** Policy Control and Charging Rules Function
- **PIRE:** Puissance Isotrope Rayonnée Equivalente

Q

- **QoS :** Quality of Service

R

- **RNC:** Radio Network Sub-System
- **RTCP:** Réseau téléphonique commuté public

S

- **SIMO:** Single Input Multiple Output
- **SISO:** Single Input Single Output
- **SC-FDMA:** Single Carrier- Frequency Division Multiple Access
- **SGSN:** Serving GPRS Support Node
- **SGW:** Serving Gateway
- **SIM:** Subscriber Identity Module

T

- **TDD:** Time-Division Duplex

- **TDMA:** Time-Division Multiple Access

U

- **UDP:** User Datagram Protocol
- **UE:** Terminal Mobile
- **UMTS:** Universal Mobile Telecommunications System

V

- **VLR:** Visitor Location Register
- **VoIP:** Voice over IP

W

- **WCDMA:** Wide Coding Division Multiple Access

X

- **X2 :** Interface entre les ENodeBs



Introduction Générale

Introduction générale

Les services de communications mobiles sont en train de suivre la même évolution que celle des services fixes, c'est-à-dire une transition accélérée vers l'accès à très haut débit. Ce sont les réseaux 4G qui permettent de répondre aux demandes croissantes des usages mobiles, en termes de qualité des services offerts que de capacité d'écoulement du trafic par les réseaux. Avec la 4G, on se dirige vers la transmission de toutes les informations. Voix et données par IP, le même protocole qu'on utilise sur Internet. Pour les fournisseurs, c'est plus facile et moins cher à gérer. Ça facilite aussi le développement d'applications multimédias [1]. C'est dans ce cadre que s'inscrit le problème de planification des réseaux.

La planification d'un réseau téléphonie mobile consiste à déterminer l'ensemble des composantes matérielles et logicielles de ces systèmes, les positionner, les interconnecter et de les utiliser de façon optimale. En respectant, entre autres, une série de contraintes de qualité de service. L'objectif initial de notre travail est de planifier un réseau de télécommunication mobile de 4eme génération 4G/LTE (Long-Term Evolution) grâce au logiciel Atoll. Ces processus peuvent être à la fois longs et coûteux avant la mise en opération du réseau. Pour les réseaux de première génération (1G), de deuxième génération (2G), de troisième génération (3G) et de quatrième génération (4G), une série de recherche ont été menées et visent à minimiser les coûts des équipement, tout en maintenant une communication de qualité et une capacité élevée. Toutefois, les années précédentes, les recherches partent surtout sur l'analyse des réseaux de quatrième génération (4G) pour offrir une gamme de services de plus en plus rapides et sophistiqués, débits très élevés ainsi que (l'accès rapide à l'internet, la vidéoconférence, la télémedecine, l'accès à la Visio-Téléphonie, et même la téléconférence etc...) ayant chacune ses caractéristique et certaines contraintes particulières. Quelques tentatives ont été faites pour proposer des modèles qui permettent de faire la planification de tels réseaux. Ces modèles, dans l'ensemble, apportent des solutions au problème de planification pour les zones clé pour visualiser toute l'infrastructure. Dans la première phase, on définit d'abord les concepts de base des réseaux mobiles. Ensuite, les éléments de la problématique y sont présentés, suivi des objectifs de la recherche. Dans le cadre de notre projet de fin d'études, notre travail consiste à effectuer une planification d'un réseau téléphonie fixe (4G) dans la région de Bejaïa en utilisant l'outil de planification radio professionnel ATOLL.

Pour réaliser notre travail, nous avons établi le plan suivant :

Nous allons commencer par une introduction générale et une présentation brève de l'entreprise ATM Mobilis.

Suivra un premier chapitre, où nous allons présenter une évolution des réseaux mobiles, en détaillant les différentes normes de téléphonie mobile telles que la 1ère génération (1G) comme l'était, au départ, la téléphonie fixe, le GSM (2G) qui donnaient accès au service. Ensuite, la voix en mobilité qui est assurée par le GPRS (2,5 G) (General Packet Radio Service), l'EDGE (2,75 G) (Enhanced Data Rates for GSM Evolution), 2.75 G et l'UMTS (3G) (Universal Mobile Telecommunications System) qui permet aux utilisateurs d'avoir accès à un vrai internet mobile avec l'intégration de nouveaux services.

Au cours du deuxième chapitre, on va passer vers une étude du LTE, ses caractéristiques, son architecture et ses spécifications techniques. Par la suite, nous présenterons le processus de dimensionnement et la planification dans le réseau LTE. Nous allons introduire également la conception de base et le calcul mathématique nécessaire pour le dimensionnement de couverture.

Le dernier chapitre a pour objectif d'exposer les différentes étapes de notre démarche de simulation de couverture radio sur la wilaya de Bejaïa, ainsi que d'expliquer l'utilisation du logiciel ATOLL. De ce fait, on présentera la configuration des différents paramètres à introduire, puis une présentation des résultats obtenus.

I.1 Introduction :

Le téléphone portable est devenu un moyen de communication indispensable dans notre quotidien, mais avant d'arriver à toute cette technologie, la téléphonie mobile est passée par un long trajet de modifications et d'améliorations technologiques. La téléphonie cellulaire est un premier pas vers une utilisation réellement mobile. Cette dernière a permis à plusieurs utilisateurs de communiquer sans encombrer la ligne.

Le développement des réseaux mobiles n'a pas cessé d'accroître, plusieurs générations ont vu le jour (1G, 2G, 3G, 4G et la 5G) et ont connu une évolution remarquable, en apportant un débit exceptionnel qui ne cesse d'augmenter, une bande passante de plus en plus large. Un des avantages d'une telle bande passante est le nombre d'utilisateur pouvant être supportés.

Dans ce chapitre nous allons présenter le concept de base de réseaux mobiles et leurs évolutions.

I.2 Le concept de base des réseaux mobiles :

Les réseaux mobiles couvrent généralement une grande zone divisée en plusieurs régions géographiquement limitées appelées cellules. La forme et la taille des cellules dépendent de plusieurs facteurs. La morphologie de la région couverte (plaine, collines, zone rurale, immeubles, etc.) est un facteur important puisque les obstacles sur le chemin des faisceaux hertziens diminuent leur portée. Chaque cellule est couverte par une station de base BS comprenant une antenne qui assure la transmission radio et la signalisation à l'intérieur de la cellule. La hauteur et le type de l'antenne utilisée comptent aussi car plus haute est l'antenne, plus grande sera l'étendue de la zone couverte. Il faudra également faire attention à l'azimut de l'antenne afin de s'assurer qu'elle couvre aussi la région toute proche d'elle. Lorsque l'antenne est omnidirectionnelle, la forme de la cellule est théoriquement circulaire. Ce cercle est toutefois déformé par les obstacles se trouvant sur le chemin du signal. En général, les cellules se chevauchent partiellement entre elles afin d'assurer une couverture complète de la zone géographique désignée. La taille de la cellule dépend aussi de la densité de la région. En effet, plus le nombre d'abonnés dans une région est élevée, plus petite est la taille de la cellule. Cela est dû au fait que les antennes ont une capacité limitée. Ainsi, pour garantir une bande passante minimale à chaque abonné, on ne peut autoriser qu'un nombre limité d'abonnés par antenne [2].

I.3 Taille des cellules et bandes de fréquences :

La taille des cellules varie d'un réseau cellulaire à un autre et dépend principalement des bandes de fréquences utilisées. En effet, la portée des ondes millimétriques est d'autant plus grande que la fréquence est élevée. Dans les premiers systèmes cellulaires, on utilisait d'abord des fréquences allant de 30 à 300 MHz dans les bandes UHF (ULTRA HIGH FREQUENCY), puis des fréquences comprises entre 300 MHz et 3 GHz dans les bandes VHF (VERY HIGH FREQUENCY). Un premier système de communications mobiles fonctionnant dans la gamme des 890-915 MHz et 935-960 MHz a été normalisé en 1982 pour l'ensemble de l'Europe. De nos jours, on utilise des fréquences nettement plus élevées, allant de 20 à 60 GHz.

En tenant compte de la fréquence et de la puissance disponibles, on distingue différentes tailles de cellule comme est présenté dans la figure I.1: pico-cellule, microcellule, cellule, macro-cellule, cellule parapluie.

La pico-cellule désigne un espace de desserte de quelques mètres de diamètre et la microcellule, une surface géographique de quelques dizaines de mètres de diamètre. La cellule proprement dite a une superficie dont le diamètre varie de quelques centaines de mètres à quelques kilomètres. Quant à la macro-cellule, elle correspond à une étendue géographique de l'ordre de quelques dizaines de kilomètres de diamètre. Enfin, la cellule parapluie définit une région de quelques centaines de kilomètres de diamètre.

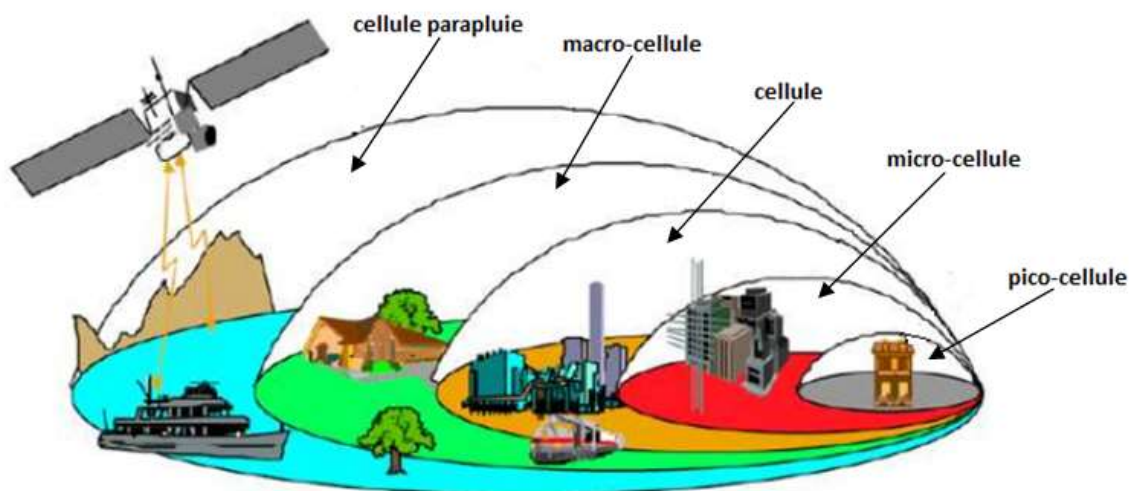


Figure I.1: Différents types des cellules

I.4 L'architecture de réseaux mobile :

L'architecture de base des réseaux mobiles est composée d'une partie fixe et d'une partie mobile. La partie mobile est constituée essentiellement des usagers mobiles UM. Dans la partie fixe, on retrouve le réseau d'accès composé des stations de base et de leurs contrôleurs qui constituent des passerelles vers le réseau cœur, et le réseau cœur composé de commutateurs et/ou de routeurs. Le réseau d'accès sert d'interface entre les utilisateurs mobiles et le réseau cœur. Le réseau cœur, quant à lui, assure l'interconnexion avec le réseau d'accès et d'autres réseaux cœurs si nécessaire. Lorsque la zone à couvrir est vaste ou que le nombre d'équipements dans le réseau est élevé, un réseau de transport sert d'interface entre le réseau d'accès et le réseau cœur [2].

L'interconnexion des stations de base aux contrôleurs est effectuée suivant certains critères, et est appelée planification du réseau d'accès tandis que celle des contrôleurs aux commutateurs et des commutateurs entre eux est nommée planification du réseau cœur. Le réseau cœur intègre aussi des bases de données de localisations à savoir une base de données nominale HLR (Home Location Register) et une base de données visiteurs VLR(Visitor Location Register)pour chaque commutateur.

Le HLR est une base de données statique qui gère les abonnés rattachés au commutateur alors que le VLR sert à localiser les abonnés en transit dans la zone contrôlée par le commutateur et est donc dynamique. La figure I.2 illustre l'architecture générale simplifiée des réseaux mobiles.

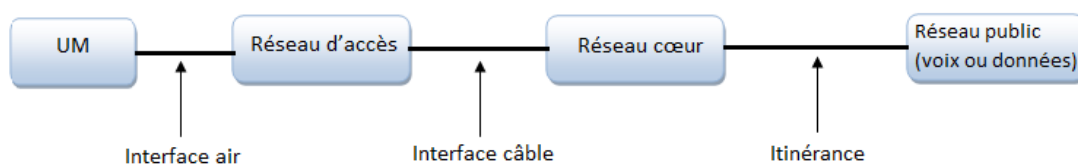


Figure I.2 : Architecture générale simplifiée des réseaux mobiles

Dans les réseaux GSM (Global System for Mobile Communications), les stations de base BS sont reliées à des contrôleurs de station de base BSC(Base Station Controller) qui gèrent les ressources radio ou les bandes passantes des BS qui leur sont associées. L'ensemble des BS et des

BSC constitue le réseau d'accès, encore appelé sous-système radio BSS (Base Station Sub-system), qui sert d'interface entre les utilisateurs (mobiles) et le réseau (fixe). Le sous-système réseau NSS (Network Switching Sub-System) ou réseau cœur est composé de commutateurs appelés MSC (Mobile Switching Center) qui interconnectent les BSC entre elles et avec d'autres éléments fixes du réseau. La figure I.3 montre l'architecture des réseaux GSM.

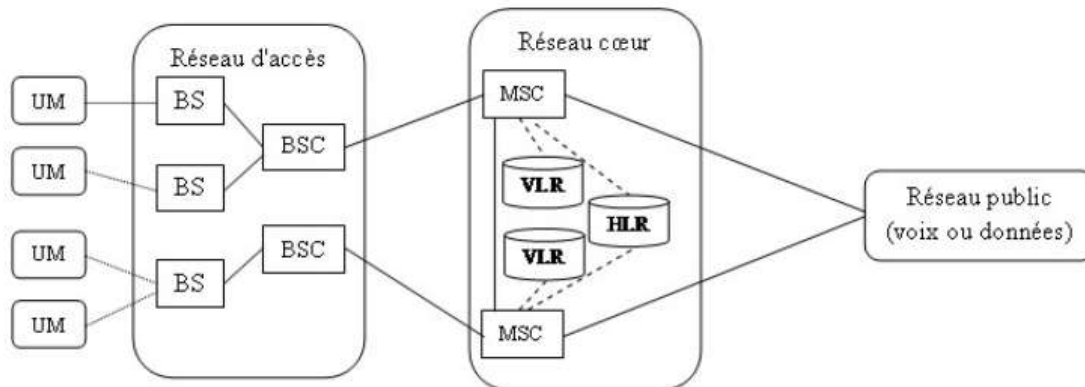


Figure I.3 : Architecture des réseaux GSM

Dans les réseaux UMTS, les stations de base, appelées nœud B (node for Broadband Access), sont reliées à des contrôleurs RNC (Radio Network Controller) qui gèrent les ressources radio des nœuds B qui leur sont associés. Les RNC assurent aussi l'acheminement du trafic du réseau d'accès au réseau cœur. L'ensemble des nœuds B et des RNC auquel ils sont reliés forment le sous-système radio ou RNS (Radio Network Subsystem). Le réseau cœur est composé de deux types de commutateurs à savoir, le MSC utilisé pour la transmission de circuits (voix) et le SGSN (Serving GPRS Support Node) pour la transmission des paquets (données). Le MSC et le SGSN sont respectivement reliés aux passerelles GMSC (Gateway MSC) qui assure la liaison avec le RTPC (Réseau Téléphonique Public Commuté) et le GGSN (Gateway GPRS Support Node) qui le relie au PDN (Public Data Network) ou réseau public de transmission de données. la figure 4 montre l'architecture de réseau UMTS [2].

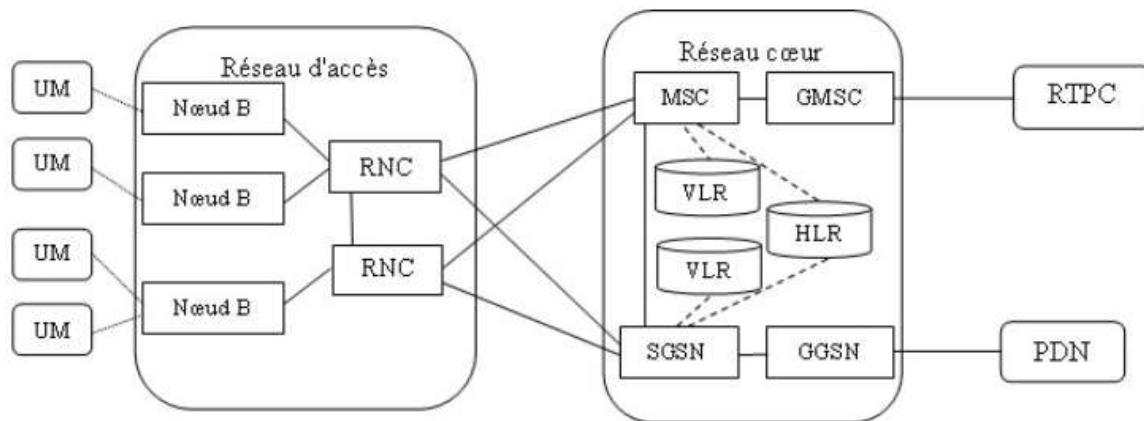


Figure I.4 : Architecture de réseau UMTS [3].

I.5 L'évolution des systèmes cellulaires :

Les réseaux mobiles et sans fil ont connu un essor sans précédent ces dernières années. Nous allons présenter leurs évolution de la 1G jusqu'à la 5G.



Figure I.5 : Evolution du réseau mobile

I.5.1 Première génération (1G) :

La première génération des téléphones mobiles est apparue dans le début des années 80 en offrant un service médiocre et très coûteux de communication mobile. La 1G avait beaucoup de défauts [4]:

- les normes incompatibles d'une région à une autre,
- une transmission analogique non sécurisée (possibilité d'écouter les appels),
- pas de roaming vers l'international.

- Capacité limitée, car le système est basé sur le FDMA(Frequency Division Multiple Access).
- Mobilité limitée particulièrement entre réseaux de fournisseurs différents.
- Fraude, absence de mécanismes de sécurité.

I.5.2 Deuxième génération (2G) :

La 2G de systèmes cellulaires repose sur une technologie numérique.Ces systèmes cellulaires utilisent une technologie numérique pour la liaison ainsi que pour le signal vocal. Ce système apporte une meilleure qualité ainsi qu'une plus grande capacité à moindre coût pour l'utilisateur.

La 2G de Systèmes cellulaires utilisent essentiellement les standards suivants :

- GSM.
- CDMA (Code Division Multiple Access).
- TDMA (Time Division Multiple Access).
- EDGE.
- GPRS (2.5G) qui est un système mobile intermédiaire entre la 2G et la 3G (débits inférieurs à 100 kbits /s).

Ce standard utilise les bandes de fréquences 900 MHz et 1800 MHz en Europe. Aux Etats-Unis par contre, la bande de fréquence utilisée est de 1900 MHz [4].

I.5.3 La troisième génération (3G) :

La 3G a été impulsée pour permettre des applications vidéo sur le mobile et améliorer la QoS du Multimédia. Les applications visées étaient la possibilité de regarder des vidéos sur internet, de la visiophonie,... Outre l'augmentation de débit, un point complexe a été résolu qui est le fait de passer d'un service de téléphonie (à connexion circuit) vers un service DATA (connexion paquets).

L'idée était d'ajouter des amplificateurs avant chaque antenne, et d'amplifier le signal pour que celui-ci puisse être reçu par une autre antenne, en changeant les techniques de modulation.

Pour cela il a fallu améliorer les terminaux (Smartphone, Tablette...) de telle sorte à ce qu'ils permettent un usage plus confortable de la connexion haut débit [5].

Les réseaux 3G utilisent des bandes de fréquences différentes des réseaux précédents : 1885-2025 MHz et 2110-2200 MHz.

La principale norme 3G utilisée en Europe s'appelle UMTS, utilisant un codage W-CDMA (Wideband Code Division Multiple Access). La technologie UMTS utilise la bande de fréquence de 5 MHz pour le transfert de la voix et de données avec des débits pouvant aller de 384 kbps à 2 Mbps. La technologie HSDPA (High-Speed Downlink Packet Access) est un protocole de téléphonie mobile de troisième génération baptisé (3.5G) permettant d'atteindre des débits de l'ordre de 8 à 10 Mbps. La technologie HSDPA utilise la bande de fréquence 5 GHz et utilise le codage W-CDMA.

I.5.4 La quatrième génération 4G (LTE) :

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

I.5.5 La 5ème génération (5G) :

La technologie de la 5G, qui est développée depuis quelques années. Cette technologie représente les plus gros investissements à venir des opérateurs télécom. La principale bande de fréquence de la 5G est la bande 3.5GHz, mais les bandes 700Mhz et 2100 Mhz peuvent être également utilisées. Les débits de la 5G peuvent, en théorie, dépasser les 1Gbits/s

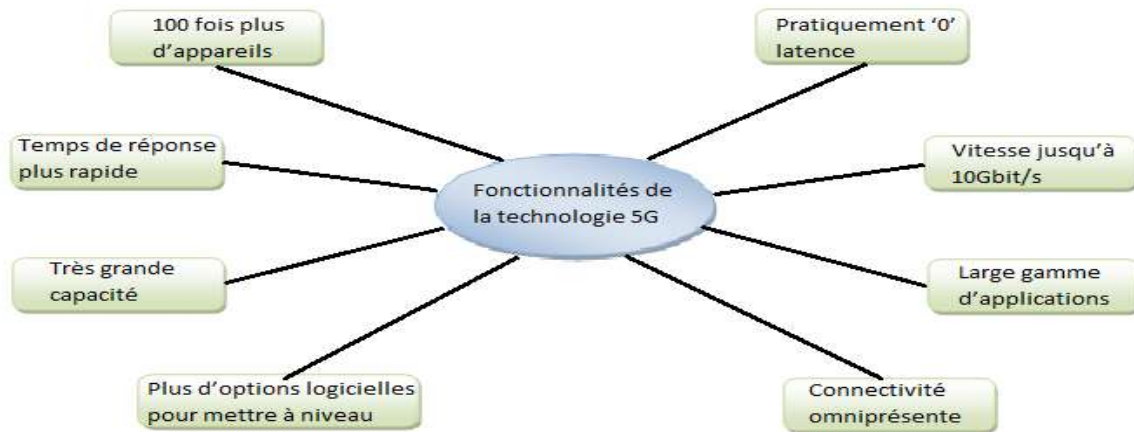


Figure I.6 : Représente les caractéristiques de la technologie 5G

I.6 tableau comparatif des réseaux mobiles :

Le tableau suivant représente le comparatif entre les réseaux mobiles :

Tableau I.1: comparatif entre les réseaux mobiles

	1G	2G	3G	4G	5G
Années d'utilisation	1980-1990	1990-2000	2000-2010	2010-2020	2020-.....
Bandes Passantes	150/900MHz	900MHz	100MHz	100MHz	1000×BW par unite de surface
Fréquences	30KHz (Analogique)	1.8 GHz (Digital)	1.6 – 2 GHz	2 – 8 GHz	3 – 300 GHz
Vitesses de connexion	2Kb/s	64Kb/s	144Kb/s -2Mb/s	100Mb/s -1Gb/s	1Gb/s <
Caractéristiques	Réseau de communication sans fil	Internet	Internet haut débit	Débit plus rapide et accepte toutes les IP	(mMTC) Machine Type communication (eMBB) connexion Haut débit amélioré (uRLLC) Meilleure Fiabilité et diminution des temps de latences
Technologies	Analog cellular	Digital cellular	CDMA,UMTS,EDGE	LTE,WI-FI	WWW :World Wild Wireless Web

I.7 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons en premier lieu commencé par présenter le concept de base des réseaux mobiles ; ensuite nous avons parlé de la taille des cellules et les bandes de fréquences. Nous avons donné une petite explication sur l'architecture générale de réseaux mobiles puis nous avons présenté un aperçu sur les différentes générations de réseaux cellulaires à savoir 1G, 2G, 3G, 4G et la 5G.

II.1 Introduction :

Les services de communications mobiles sont en train de suivre la même évolution que celle des services fixes, c'est-à-dire une transition accélérée vers l'accès au très haut débit. Ce sont les réseaux 4G qui permettent de répondre aux demandes croissantes des usagés mobiles, tant en termes de qualité des services offerts que de capacité d'écoulement du trafic par le réseau. L'objectif de ce chapitre est de présenter une vue globale de bout en bout du réseau employé en LTE.

II.2 Le réseau LTE :

Le réseau LTE est la technologie par excellence des réseaux sans-fil à l'échelle mondiale, nettement supérieure aux technologies précédentes, comme les réseaux 3G. LTE est l'évolution de toutes les normes de téléphonie mobile, elle offre une expérience internet plus rapide, plus riche et plus fluide que jamais.

La première version LTE offre la plus grande portée de débit à 300 Mbps, retard du réseau radio inférieur à 5 msec, augmentation significative de l'efficacité du spectre par rapport à d'autres systèmes cellulaires, et architecture régulière différente du réseau radio conçue pour raccourcir les opérations et réduire le coût [6]. Par contre le débit réel de données observé par l'utilisateur d'un réseau LTE peut être très fortement réduit par rapport aux débits théoriques annoncés et définis par cette norme. Les principaux facteurs ayant une influence sur le débit effectif sont:

- La largeur de la bande de fréquences allouée à l'opérateur du réseau.
- Les types d'antennes utilisés coté terminal et coté réseau (antennes relais).
- Le nombre d'utilisateurs actifs qui partagent la bande passante au sein d'une cellule LTE (surface radiante d'une antenne).
- La position fixe (statique) ou en mouvement du terminal de l'abonné.
- La capacité en débit et en nombre d'utilisateurs simultanés de la station de base et le débit du lien optique reliant cette station au cœur du réseau.

II.3 Architecture LTE :

Les réseaux LTE sont des réseaux cellulaires constitués de milliers de cellules radio qui utilisent les mêmes fréquences hertziennes, y compris dans les cellules radio voisines, grâce aux codages radio OFDMA et SC-FDMA. La figure II.1 présente l'architecture du réseau LTE :

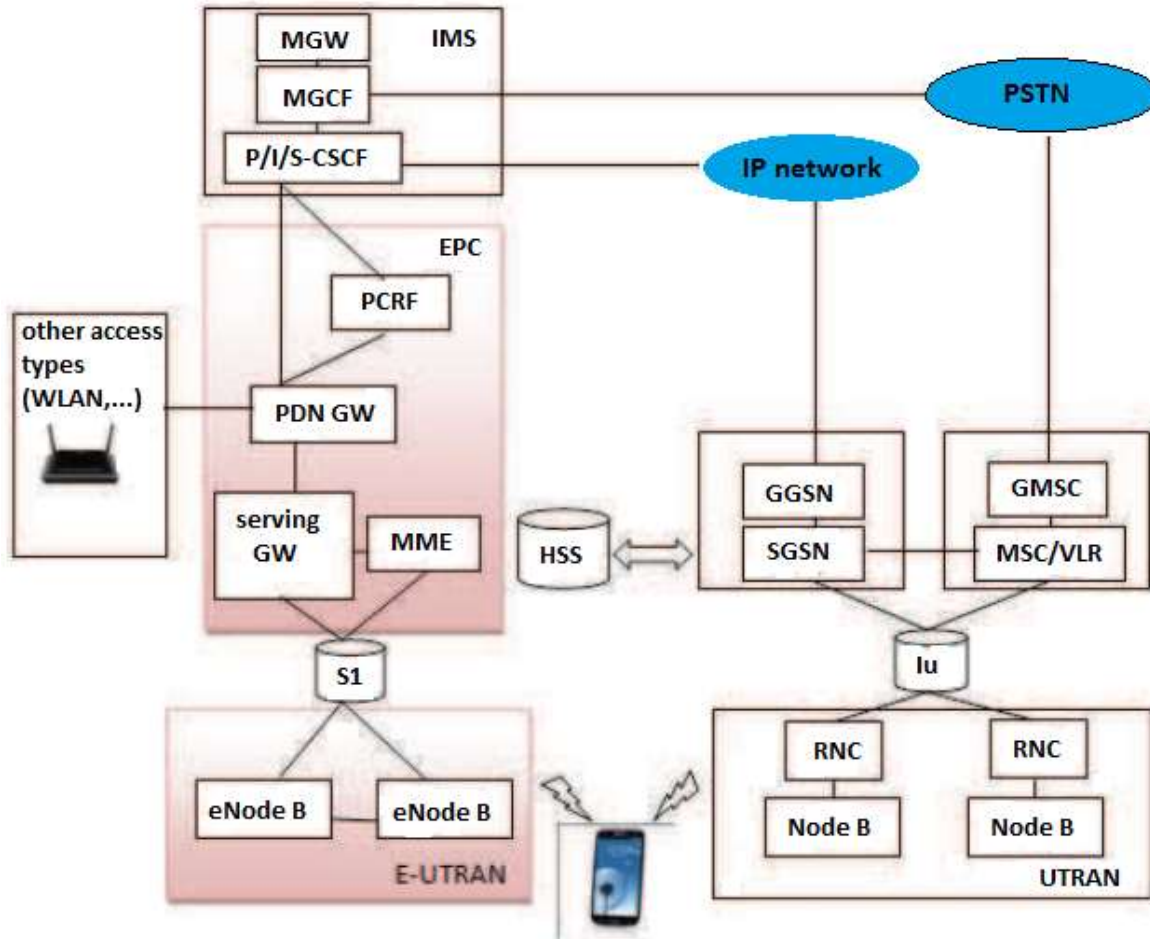


Figure II.1 : Architecture générale du LTE [7].

Les nouveaux blocs spécifiés pour l'architecture, connus aussi sous le nom Evolved Packet System, sont l'EPC (Evolved PacketCore) et l'E-UTRAN (Evolved UTRAN). La figure II.2 présente une architecture simplifiée de la partie EPS du réseau LTE.

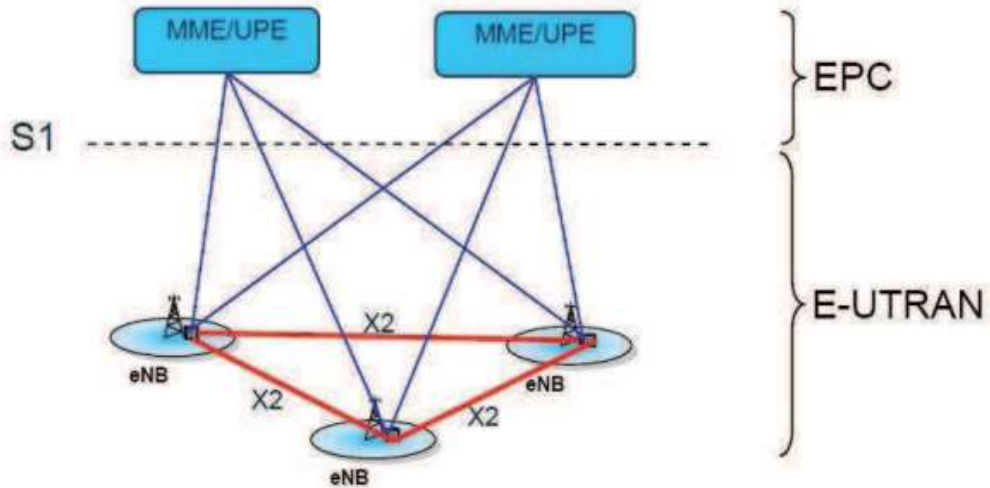


Figure II.2: Architecture d'EPS (Evolved Packet System) [8].

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

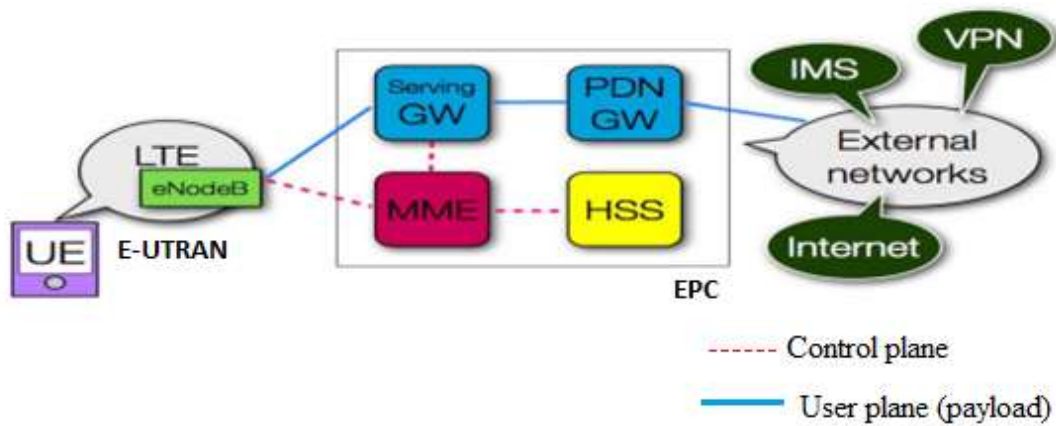


Figure II.3 : Architecture du réseau cœur EPC

EPC est un élément principal de l'architecture SAE. Il a un rôle équivalent au NSS dans le réseau GPRS.

II.3.1 Les différentes parties du réseau cœur :

II.3.1.1 La partie Signalisation :

La partie signalisation assure la liaison entre la partie mobile et la partie réseau. Elle est constituée de [9]:

- **MME : Mobility Management Entity (3GPP Release 8) :**

Cette partie est responsable de la localisation et la poursuite du terminal mobile (UE) entre les appels et la sélection d'une bonne S-GW (Serving-GetWay) à travers une connexion. Comme elle réalise le dernier point de la protection par codage, donc par conséquent c'est le point qui valide l'interception de signalisation. Elle contrôle le signal entre le UE (Utilisateur Equipment) et le réseau cœur, et assure l'établissement, la maintenance, et l'élargissement de la porteuse radio services.

- **HSS : Home Subscriber Service :**

Base de données similaire au HLR en GSM / WCDMA réseau cœur qui contient les informations du subscriber-related (les abonnés voisins), et porte l'appel de control et la session management. Elle est principalement désignée à l'authentification, l'autorisation, la sécurité, le débit et fournit une localisation détaillée à l'utilisateur.

- **PDN-GW: Packet Data Network GateWay (3GPP Release8):**

Est une porteuse du chemin de données entre UE et PDN à trois segments:

- La porteuse radio entre UE et eNœudB.
- La porteuse des données entre eNœud B et SGW.
- La porteuse des données entre SGW et PGW.

- **PCRF: Policy and Charging Rules Function (3GPP Release7):**

Responsable sur la décision principale du control. Il fournit une QoS d'autorisation pour décider le traitement des données en respectant l'abonnement des utilisateurs.

- **SGW: Serving Gateway (3GPP Release 8):**

C'est la jonction principale entre le réseau radio accès et le réseau cœur Serving Gateway (SGW) achemine les paquets de données [10]. Maintient la connexion de l'inter-eNodeB handover, puis inter-système handover entre LTE et GSM/UMTS et réserve le contexte du terminal mobile (UE), comme les paramètres de la porteuse service et le routage des informations.

- **P-GW: Packet-Switch Gateway :**

Est un équipement d'un réseau 4G qui participe à l'acheminement des données. Il constitue une porte d'entrée unique entre le réseau IP de l'opérateur et Internet. Il achemine donc les données internet vers le terminal et réciproquement les données du terminal vers internet. Il assure également quelques fonctions de sécurité.

SGSN : Serving GPRS Support Node :

Interconnecte le LTE, UMTS, et le réseau GSM pour augmenter la mobilité.

II.3.1.2 La partie radio eUTRAN :

La partie radio du réseau, appelée (eUTRAN) est simplifiée par rapport à celles des réseaux 2G (BSS) et 3G (UTRAN) par l'intégration dans les stations de base eNodeB avec des liaisons en fibres optiques et des liens IP reliant les eNodeB entre eux (liens X2). Ainsi que des fonctions de contrôle qui étaient auparavant implémentées dans les RNC (Radio Network Controller) des réseaux 3G UMTS. Cette partie est responsable sur le management des ressources radio, la porteuse, la compression, la sécurité, et la connectivité vers le réseau cœur.

L'eNodeB est l'équivalent de la BTS dans le réseau GSM et NodeB dans l'UMTS, la fonctionnalité de handover est plus robuste dans LTE. Ce sont des antennes qui relient les UE avec le réseau cœur du LTE via les RF air interface. Ainsi qu'elles fournissent la fonctionnalité du contrôleur radio qui réside dans eNodeB. Le résultat est plus efficace, et le réseau est moins latent, par exemple la mobilité est déterminée par eNodeB à la place de BSC ou RNC.

II.3.1.3 La partie IMS (IP MultimediaSub-system) :

Le IP MultimediaSubsystem (IMS) est une architecture standardisée NextGeneration Network (NGN) pour les opérateurs de téléphonie, qui permet de fournir des services multimédias fixes et mobiles. Ce système utilise la technologie VoIP basée sur une implémentation 3GPP standardisée de SIP fonctionnant sur un protocole standard IP.

II.4 Caractéristiques de la 4G /LTE :

Le tableau suivant représente les différentes caractéristiques la 4G/LTE

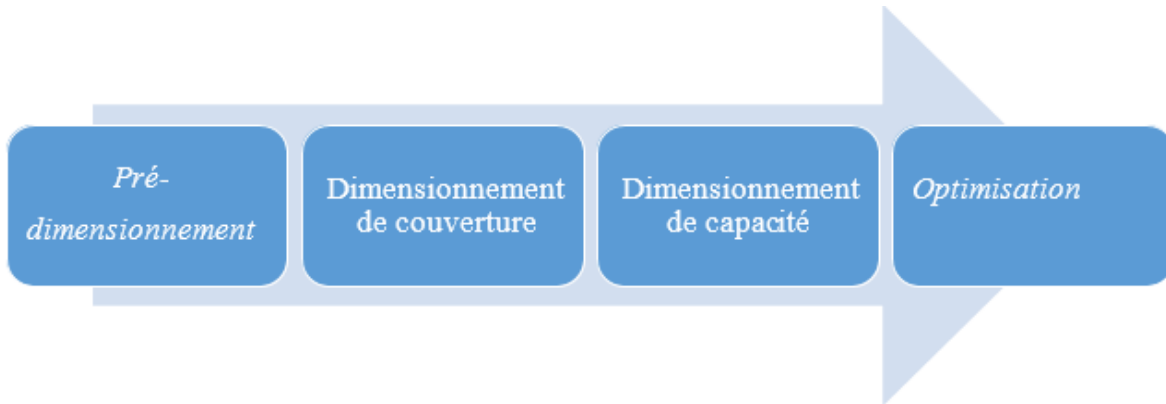
Tableau II.1: Les caractéristiques de réseau 4G/LTE

Caractéristique	Description
Débit sur l'interface radio	L'interface radio E-UTRAN doit pouvoir supporter un débit maximum descendant instantanément (du réseau au terminal) de 100 Mbit/s, tout en considérant une allocation de bande de fréquence de 20 MHz pour le sens descendant, et un débit maximum montant instantané (du terminal au réseau) de 50 Mbit/s en considérant aussi une allocation de bande de fréquence de 20MHz.
Flexibilité de la bande passante	Possible d'opérer avec une bande de taille différente avec les possibilités suivantes: 1.25, 2.5, 5, 10, 15 et 20 MHz, pour les sens permettre un déploiement flexible en fonction des besoins des opérateurs et des services qu'ils souhaitent proposer.
Efficacité du spectre	Le LIE utilise une efficacité du spectre de 5 bit/s/Hz pour le sens Descendant, et 2,5

	bit/s/Hz
Méthode de duplexage	Les systèmes LTE consomment en charge le duplex par répartition en fréquence (FDD) avec la technique du duplex par répartition dans le temps (TDD) comme un éventail varié de largeurs de bande [11]
Technologies d'accès	Division Multiple Access (OFDMA) pour la division Multiple Access (SC-FDMA) et pour le Sens
Coexistence et interfonctionnement avec la 3G	Le handover entre E-UTRAN (LTE) et UTRAN (3G) doit être réalisé en moins de 300 ms pour les services temps-réel et 500 ms Pour les services non temps-réel. Il est clair qu'au début du déploiement de la LTE peu de zones seront couvertes. Il s'agira pour l'opérateur de s'assurer que le handover entre LTE et La 2G/3G est toujours possible.
Mobilité	La mobilité est assurée des vitesses comprises entre 120 et 350 km/h. Le handover pourra s'effectuer dans des conditions où l'utilisateur se déplace à grande vitesse.
Technologie d'antenne	LTE utilise la technologie d'antenne Multiple Input Multiple Output (MIMO)
Support du multicast	Notamment pour les applications multimédia telles que la télévision en broadcast.

II.5 Processus de Dimensionnement :

La planification en LTE comme tout autre réseau cellulaire, est une tâche complexe, contenant un certain nombre d'étapes consécutives, dont l'output d'une certaine étape fournit l'input de l'étape suivante. Contrairement à ces antécédents, la planification de couverture et de capacité en LTE se font de façon conjointe, en une seule tâche, appelée dimensionnement .Le processus entier peut se résumer en quatre grandes phases :



FigureII.4 : Processus de dimensionnement d'un réseau LTE

II.5.1 Pré-dimensionnement:

Nécessite la collecte des informations qui portent sur la zone de déploiement. On donne comme exemple :

- Les informations détaillées sur l'eNœudB et l'UE.
- Les informations sur la zone de déploiement (superficie, informations démographiques).
- Les données géographiques : cartographie, population, zone à couvrir et taux de pénétration des abonnés dans cette zone (services demandes, trafic offert, ...).
- Les services à offrir : voix, données.
- La liste des sites : identifier les lieux pour placer les eNœudB.
- Type des antennes à utiliser.

II.5.2 Dimensionnement de couverture :

L'analyse de la couverture reste fondamentalement l'étape la plus critique dans la conception de réseau LTE. Elle est basée sur le bilan de liaisons, qui permet d'estimer le taux de perte du trajet. Pour cela, il est nécessaire de choisir un modèle de propagation approprié. Le résultat final obtenu est la taille de la cellule à couvrir, ce qui donne une estimation sur le nombre total de sites. Cette estimation basée sur les exigences de couverture doit être vérifiée aussi par les besoins de capacité.

II.5.3 Dimensionnement de capacité :

Consiste à sélectionner les positions géographiques adéquates des sites, en vérifiant si le système peut supporter la charge demandée sinon de nouveaux sites doivent être ajoutés, ainsi que les configurations nécessaires des antennes dans le but de maximiser la couverture et la qualité.

II.5.4 Optimisation :

Un processus itératif de contrôle et de suivi des KPI (Key Performance Indicator), ayant le but de maintenir les exigences de QoS préétablis. On compare les résultats obtenus de deux dimensionnement, et on considère le plus grand nombre de sites.

II.6 Dimensionnement de LTE :

Le dimensionnement est une étape préliminaire qui permet de déterminer le volume des équipements et les logiciels à acquérir et à déployer afin de satisfaire ses abonnés ainsi le nombre des eNodeBs maximum.

Le dimensionnement des réseaux mobiles est un problème complexe qui met en jeu à la fois des aspects théoriques et pratiques. Il s'agit de trouver la meilleure architecture cellulaire au regard de plusieurs critères qu'on peut résumer comme suit :

- **Qualité de couverture :** garantir un lien radio en tout point de la zone à couvrir.
- **Absorption de la charge :** le réseau doit être capable de fournir un nombre de canaux de communication adapté à la densité de trafic associée à chaque cellule.
- **Mobilité :** Faciliter le handover lors des changements de cellules. Chaque station de base doit connaître ses voisines pour permettre à un utilisateur de se déplacer sans perte de communication.

- **Evolutivité** : un réseau cellulaire de type LTE est en perpétuelle évolution, intégrant de nouvelles stations de bases, ou simplement de nouveaux TRX associés à chaque station de base.
- Déploiement du réseau fixe via un ensemble de faisceaux hertziens pour interconnecter les stations de base.

Dans la pratique, le déploiement d'un réseau LTE nécessite l'optimisation du placement des sites, sous les deux contraintes de type radio et trafic. Il s'agit de tester, en fonction du type d'antenne, de sa puissance d'émission et de son orientation, la zone couverte par l'émetteur. Une approche pas à pas permet progressivement de faire converger le réseau vers une bonne configuration.

Le principe est le suivant : répartir les émetteurs sur le terrain, établir les zones de couverture, et les adapter en déplaçant les sites, en modifiant les puissances d'émission, en choisissant les orientations. Une fois la couverture est assurée, il faut rechercher une répartition des fréquences en analysant les sites qui sont voisins, ainsi rechercher une répartition des fréquences entre les sites.

II.6.1 Dimensionnement orienté couverture :

La prédiction d'une couverture est importante car elle conditionne à la fois des critères radio en prédisant des perturbations provoquées par certains phénomènes. Le problème de la couverture apparaît lorsque les ondes émises par le mobile n'arrivent pas à la station de base la plus proche, ou bien celles émises par l'antenne des eNodeB n'arrivent pas avec une puissance suffisamment détectable par la station mobile. Une mauvaise couverture provoque une élévation du taux d'échec d'accès, du taux de coupure de communication et du taux de handover. Ainsi les différentes étapes de dimensionnement de couverture sont :

- **Exigence de qualité :**

L'exigence de qualité de couverture est d'atteindre le débit binaire demandé avec une certaine probabilité en liaison montante et descendante. Comme par exemple 64 kbps doit être atteint avec une probabilité de 98% dans la zone de couverture.

- **Dimensionnement de la liaison descendante :**

Le bilan de liaison descendante est calculé pour déterminer les limites de chaque lien, et le débit binaire qui peut être pris en charge dans la liaison descendante. Il dépend de quelques paramètres que l'on abordera dans ce mémoire.

II.6.2 Bilan de la Liaison Radio (RLB)

Pour planifier une liaison radio pour toute application sans fil, la première question à se poser est : Quelle est la distance maximale séparant l'émetteur du récepteur ?

Pour répondre à cette question la première chose à faire est de déterminer l'affaiblissement de parcours maximal (Maximum Allowable Path Loss MAPL), en passant par le bilan de liaison radio (RLB). Ce dernier est utilisé conjointement avec un modèle de propagation approprié pour enfin déduire la distance maximale séparant l'émetteur du récepteur.

L'équation du RLB de base est comme suite (en dB) :

$$MAPL = PIRE - IM + RX_g - K - R_x \quad (II.1)$$

Avec :

MAPL (Maximum Allowed Pathloss) : l'affaiblissement maximal de parcours, il s'exprime en dB. C'est le paramètre dont on veut déterminer à travers l'établissement d'un bilan de liaison.

PIRE (Puissance Isotrope Rayonnée Equivalente) ou EIRP (Equivalent Isotropic Radiated Power)

La puissance rayonnée équivalente à une antenne isotrope, elle s'exprime comme suit :

$$PIRE = P_{Tx} + G_{Tx} - L_{Tx} \quad (II.2)$$

Avec :

IM : Marge d'interférence

RX_g : Gain d'antenne de réception

K : Perte de câble

R_x : Sensibilité de réception

P_{Tx} : Puissance d'émission de l'eNœudB au niveau du connecteur de l'antenne (43-49 dBm)

G_{Tx} : Gain de l'antenne de l'eNœudB

L_{Tx} : Ensemble des pertes d'alimentation entre l'eNœudB et le connecteur d'antenne.

II.7 Modèle de propagation

Le modèle de propagation est une procédure essentielle au début du déploiement du réseau. L'interface radio qui est le support entre les terminaux et les eNœudB est caractérisée par un affaiblissement de parcours. Le modèle de propagation permet d'estimer l'affaiblissement de parcours subit par l'onde radio c'est-à-dire d'estimer la valeur de l'atténuation du trajet. On distingue plusieurs types de modèles :

- **Les modèles empiriques** : Sont des formules mathématiques utilisées pour prédire l'impact d'un émetteur sur une certaine zone de réception.
- **Les modèles physiques** : Prédissent la propagation des ondes radio et calculent les trajets des ondes radio en tenant compte des phénomènes de réflexion et de diffraction.

II.7.1 Modèle de propagation en espace libre

Le modèle de propagation en espace libre ou l'affaiblissement de parcours en espace libre est la perte produite lorsque le signal traverse un milieu de propagation vide ayant des obstacles comme la réflexion, la diffraction, la dispersion etc...

Le modèle de propagation en espace libre est le premier modèle qui a été proposé, il est utilisé en supposant que le chemin entre l'émetteur et le récepteur est complètement dégagé.

L'affaiblissement de parcours en espace libre s'exprime de la façon suivante :

$$L_{FS} = 10 \log_{10} \left[\left(\frac{4\pi df}{c} \right)^2 \right] = 20 \log_{10} \left[\frac{4\pi df}{c} \right] \quad (\text{II.3})$$

Avec :

f : La fréquence.

C : La célérité de la lumière.

d : La distance parcourue.

II.7.2 Modèle de propagation Standard

Le modèle de propagation standard est un modèle particulièrement adapté pour la prédiction dans la bande allant de (150MHZ-3500MHZ) sur de longues distances (1km à 20 km). Il utilise le profil du terrain, prend en compte la diffraction, les hauteurs d'antenne afin de calculer la perte de chemin. Le modèle standard de propagation peut être utilisé pour toute technologie.

II.7.3 Le modèle Okumura-Hata

Le modèle d'Okumura-Hata est le modèle de prédiction de propagation empirique le plus largement utilisé. En 1980, Hata a introduit une formule empirique pour la perte de propagation qui a été dérivée du rapport d'Okumura afin de mettre la méthode de prédiction de propagation à une utilisation informatique dans les logiciels de planification de système [12].

Ce modèle tient compte de plusieurs facteurs dont la fréquence, la distance entre l'émetteur et le récepteur, la hauteur de la station de base au mobile et aussi la nature de l'environnement en tenant compte du degré d'urbanisation (urbain, suburbain, rural). Il à pour principe le calcul de l'affaiblissement en espace libre et ajoute un facteur d'atténuation selon le degré d'urbanisation.

Le modèle de Okumura-Hataa été adopté pour les limites suivantes :

Fréquence (f) : 150 à 1000MHZ.

Hauteur de la station de base (H_b) : 10 à 200m.

Hauteur du terminal mobile (H_m) : 1 à 10m.

Distance (d) : 1 à 20 km.

L_0 : L'affaiblissement.

Il s'exprime par la formule suivante :

$$L_0 = 69.55 + 26.16 \log_{10}(f) - 13.82 \log_{10}(Hb) + [44.9 - 6.55 \log_{10}(Hb)] \cdot \log_{10}(d) \quad (\text{II.4})$$

- Pour une grande ville ; l'expression est donnée comme suite :

$$L_{\text{urbain}} = L_0 - a(Hm) \quad (\text{II.5})$$

$$\text{Avec : } a(Hm) = [(1.1 \log_{10}(f) - 0.7)Hm - (1.56 \log_{10}(f) - 0.8)] \quad (\text{II.6})$$

- Pour une moyenne ville ; elle s'exprime ainsi :

$$L_{\text{urbain} \cdot \text{dense}} = L_0 - a(Hm) \quad (\text{II.7})$$

$$\text{Où } a(Hm) = 8.29[\log_{10}(f)]^2 - 1.1 \text{ pour } f \leq 200\text{MHz} \quad (\text{II.8})$$

$$L_0 - a(Hm) \text{ OÙ } a(Hm) = 8.29[\log_{10}(f)]^2 - 4.97 \text{ pour } f \geq 200\text{MHz} \quad (\text{II.9})$$

$a = 0$ pour $Hm = 1.5$

- Pour un environnement banlieue, l'expression s'écrit :

$$L_{\text{sous-urbain}} = L_0 - 2 \left[\log_{10} \left(\frac{f}{28} \right) \right]^2 - 5.4 \quad (\text{II.10})$$

- Pour un environnement rural les pertes ont pour expressions :

$$L_{\text{rural}} = L_0 - 4.78[\log_{10}(f)]^2 + 18.33 \log_{10}(f) - 35.94 \quad (\text{II.11})$$

II.7.4 Modèle COST231-HATA

Ce modèle peut être utilisé dans tous les types d'environnement, il est basé sur la supposition que l'onde transmise se propage au-dessus des toits des bâtiments avec une diffraction multiple, et les bâtiments sont supposés à hauteurs égales et uniformément espacés [13].

$$Lu(dB) = 46.3 + 33.9 * \log(f) - 13.82 * \log(hb) - a(hm) + [44.9 - 6.55 * \log(hb)] * \log(d) + Cm \quad (II.12)$$

Avec :

$$a(hm) = (1.1 * \log(f) - 0.7) * hm - (1.56 * \log(f) - 0.8) \quad (II.13)$$

Les valeurs de C_m dans tous les types d'environnement sont indiquées dans le tableau suivant :

Tableau II.2 : Valeurs de C_m [13]

Environnement	Urbain	Suburbain	Rural
Valeur de C_m	8 dB	0 dB	-3 dB

II.8 Dimensionnement orienté couverture en liaison descendante (Downlink) :

Pour différents types de morphologies (urbaine, suburbaine, rurale...) on doit effectuer des calculs selon les paramètres suivants :

II.8.1 Débit requis :

Pour le calcul du débit requis, on commence par l'exigence de la qualité qui est exprimée comme un débit binaire qui peut être fourni à un utilisateur individuel au niveau du bord de la cellule. Le débit binaire requis dépend du service pour lequel le système est dimensionné. Les calculs sont effectués par bloc de ressources. Ainsi le débit binaire requis noté D_{req} est divisé par le nombre de blocs de ressources N_{Rb} pour obtenir le débit binaire par bloc de ressource noté $D_{req,Rb}$. Il s'exprime comme suite :

$$D_{req,Rb} = \frac{D_{req}}{N_{Rb}} \quad (II.14)$$

Le nombre de N_{Rb} peut être choisi librement mais dans les limites de la bande passante comme nous pouvons le voir sur le tableau :

Tableau II.3 : Le nombre de N_{Rb} peut être choisi dans les limites de la bande passante

Bande passante en MHZ	Nombre de ressource de bloc (N_{Rb})
1.4	6
3	15
5	25
10	50
15	75
20	100

Un nombre petit de N_{Rb} permet de satisfaire le débit binaire requis avec un minimum de ressource.

Un grand nombre de N_{Rb} permet la répartition des blocs sur un intervalle de fréquence, avec moins d'énergie utilisé par bloc.

II.8.2 Le SINR (Signal to Interference and Noise Radio) requis au récepteur :

Le SINR est le rapport de puissance entre le signal utile et le bruit auquel on rajoute l'interférence [14]:

$$SINR = \frac{P}{N+I} \quad (II.15)$$

Cette valeur s'exprime en dB : $10 \log_{10} \left[\frac{P}{N+I} \right]$

S: est la puissance utile mesurée au niveau du signal de référence ou du canal PDSCH

I: est la puissance des interférences créées par les cellules voisines

N : est le bruit thermique

$$SINR_{req} = 10 \log_{10}(SINR) \quad (\text{II.16})$$

II.8.3 Puissance de la sous-porteuse

C'est le rapport entre la puissance maximale d'émission et le nombre de sous porteuse. Elle s'exprime de la façon suivante :

$$P_{sc} = P_{Total \text{ émission}} - 10 \log_{10}(sub_{cr}) \quad (\text{II.17})$$

Avec :

sub_{cr} : L'espacement entre sous porteuse 15 KHz.

II.8.4 Sensibilité du récepteur

La sensibilité du récepteur est le niveau de puissance de signal requis au niveau de l'antenne de réception du mobile pour pouvoir atteindre un niveau de qualité de signal acceptable en réception.

$$S_{UE} = Noise \text{ figure} + Thermal \text{ Noise} + SINR_{requis} \quad (\text{II.18})$$

Avec :

NF : Noise Figure (dB) : c'est le facteur de bruit en radio fréquence, il dépend du mode de duplexage.

$SINR_{requis}$: C'est la valeur du SINR requis au récepteur.

II.8.5 Les Marges :

II.8.5.1 La marge d'interférence

Une marge d'interférence est exigée pour empêcher la respiration des cellules (voir chapitre précédent). Dans un système WCDMA, la charge autorisée dans un système est importante, plus la marge d'interférence nécessaire est élevée plus la zone de couverture est réduite. Il y a une certaine marge d'interférence, qui peut être employée pour maintenir la taille de cellules inchangée tandis que le niveau d'interférence change. La marge d'interférence est comprise en général entre 2 et 4 dB.

II.8.5.2 Le gain du soft Handover

Le soft handover s'oppose à l'effet de masque et permet de réduire la marge de l'évanouissement : le mobile peut choisir le meilleur lien de communication. Son gain indique le rapport entre la puissance du signal reçu dans le cas du soft handover et celle du cas de lien unique. Ce gain peut avoir une valeur typique de 3 dB.

II.8.5.3 La marge de l'évanouissement rapide (Power control Headroom) :

Le Headroom est une réserve de puissance conservée par le terminal pour maintenir en bon état la boucle interne de contrôle de puissance dans des conditions de propagation défavorables , même s'il se trouve en bordure de cellule. Cela s'applique en particulier aux terminaux immobiles ou se déplaçant à faible vitesse qui son sujet au fast fading. Ce phénomène se produit lorsque deux ondes véhiculant le même signal, déphasées d'une demilongueur d'onde d'environ 7 cm à 2 GHz s'annulent mutuellement. La valeur de cette marge de fast fading est de l'ordre de 2 à 5 dB [15].

II.8.5.4 La marge de Body loss :

La marge de Body loss correspond aux pertes dues à la déformation du diagramme d'antenne du terminal, engendrer par la proximité du corps ou de la tête de l'utilisateur. Cette perte est négligeable pour des services où le terminal n'est pas collé au corps comme la navigation web.

II.8.5.5 Le contrôle rapide de puissance (Power rise) :

Le contrôle rapide de puissance provoque une augmentation de la puissance d'émission moyenne pour maintenir le Eb /No requis. Par conséquent l'interférence sur les autres cellules augmente.

II.8.5.6 La marge de l'évanouissement lent outdoor (slow fading) :

L'évanouissement lent est la conséquence de la distance qui sépare les deux extrémités de la liaison et de la présence des obstacles sur le parcours (effet de masque). Il est plus important en indoor (environnement intérieur) qu'en outdoor (environnement extérieur).

II.8.5.7 Les pertes de pénétration indoor :

Généralement et dans la plupart des cas, le mobile se trouve en indoor, le signal pénètre donc à travers les murs et les fenêtres pour l'atteindre, ce qui cause un affaiblissement additionnel. Cet affaiblissement est pris en compte dans le bilan de liaison pour s'assurer la couverture des abonnés en indoor.

II.9 Dimensionnement orienté couverture pour la liaison montante (Uplink) :

II.9.1 Le SINR requis :

Il indique la performance du système, comme dans le downlink.

II.9.2 La puissance de la sous-porteuse :

C'est la relation entre la puissance d'émission maximale et le nombre de sous porteuse. Elle s'exprime par la formule suivante.

$$P_{sc} = P_{Total\ d'émission} - 10\log_{10}(subcr) \quad (II.19)$$

II.9.3 Sensibilité du récepteur l'eNœud B

La sensibilité de l'eNœudB est la puissance du signal nécessaire pour éviter les coupures radio.

Elle s'exprime comme suit :

$$S_{eNœudB} = eNœudB \text{ NF} + \text{Bruit}_{\text{thermique}} + \text{SINR}_{\text{requis}} \quad (\text{II.20})$$

II.9.4 Gain d'Antenne

Le gain de l'antenne change avec le type d'antenne et la fréquence. Il est pratiquement fixé à 18 dBi pour les antennes tri-sectorielles.

II.10 Dimensionnement de l'interface S1 et X2

Toujours dans la partie dimensionnement nous allons parler du dimensionnement de l'interface S1 et X2 car le dimensionnement de la capacité et de la couverture n'est pas assez suffisant pour établir un bon dimensionnement. Le dimensionnement de la couverture et de la capacité est une étape préliminaire c'est-à-dire un accès vers le reste de dimensionnement. Comme seconde partie, nous allons nous intéresser à la capacité des interfaces entre les eNœudB.

II.10.1 L'interface X2

Avec une architecture de réseau d'accès plate en LTE, les eNœudB sont connectés deux à deux à l'interface X2. Dans ce système LTE, ils peuvent avoir différentes stations de base. Ils ont collaboré ensemble en utilisant l'interface X2, où cette interface n'est qu'une interface logique et donc un lien direct ne peut être garanti en permanence entre les sites coopérants [16].

Alors le nombre d'interface X2 est donnée par :

$$N_{X2} = \frac{N^{eNodeB}(N^{eNodeB}-1)}{2} \quad (\text{II.21})$$

La capacité demandée par l'interface X2 dépend de l'architecture du protocole X2AP. Ce protocole est utilisé pour gérer la mobilité entre UE et l'eUTRAN, il offre des fonctions comme : la gestion de la mobilité et la charge, la réinitialisation et la mise à jour de la configuration des eNœudB.

II.10.2 L'interface S1

L'interface S1 est une interface qui transporte les données et la signalisation. Pour le calcul de sa capacité, on décompose cette dernière en somme d'une capacité sur le plan utilisateur et d'une capacité sur le plan contrôle. Elle s'exprime comme suit [17] :

$$C^{S1} = C_{Users1-plane}^{S1} + C_{control-plane}^{S1} \quad (\text{II.22})$$

Comme le plan contrôle constitue 2% du plan utilisateur alors on aura :

$$C^{S1} = C_{abonné} (Trafic_{abonné}^{up} + Trafic_{abonné}^{Dl}) \cdot 102\% \quad (\text{II.23})$$

II.11 Principe de la technologie MIMO

Les systèmes MIMO sont apparus dans les années 90 grâce à Gerard. J. Foschini, ils ont été développés et découverts par les chercheurs de laboratoire Bell en 1996 [18].

Les systèmes MIMO permettent d'envoyer plusieurs signaux différents sur des antennes différentes à des fréquences proches. Ils sont utilisés afin d'améliorer la qualité du rapport SNR ainsi que le débit de transmission. En effet, le débit transmis dans une bande de fréquence donnée se trouve multiplié par le nombre d'antennes émettrices dont chacune d'elles devient une source d'information différente pour les antennes en réception. De plus, lors de la transmission, la quantité d'information transmise est limitée par la capacité C du canal appelée (capacité de Shannon) qui est donnée par la formule (II.24):

$$C = W \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) \quad (\text{II.24})$$

Où :

W : est la largeur de la bande passante donnée en Hz.

S : est la puissance du signal donné en Watt.

N : est la puissance du bruit inhérent à la ligne donnée en Watt.

Lorsqu'un tel système comprend, seulement, une seule antenne à l'émission et plusieurs antennes à la réception, il est nommé SIMO (Single Input Multiple Output). De même, lorsqu'il comprend plusieurs antennes à la réception et une seule antenne à l'émission, il est nommé MISO (Multiple Input Single Output). Cependant, si les deux côtés comptent une antenne chacun, le système est dit SISO (Single Input Single Output). Ces quatre cas sont représentés sur la figure II.5 [19].

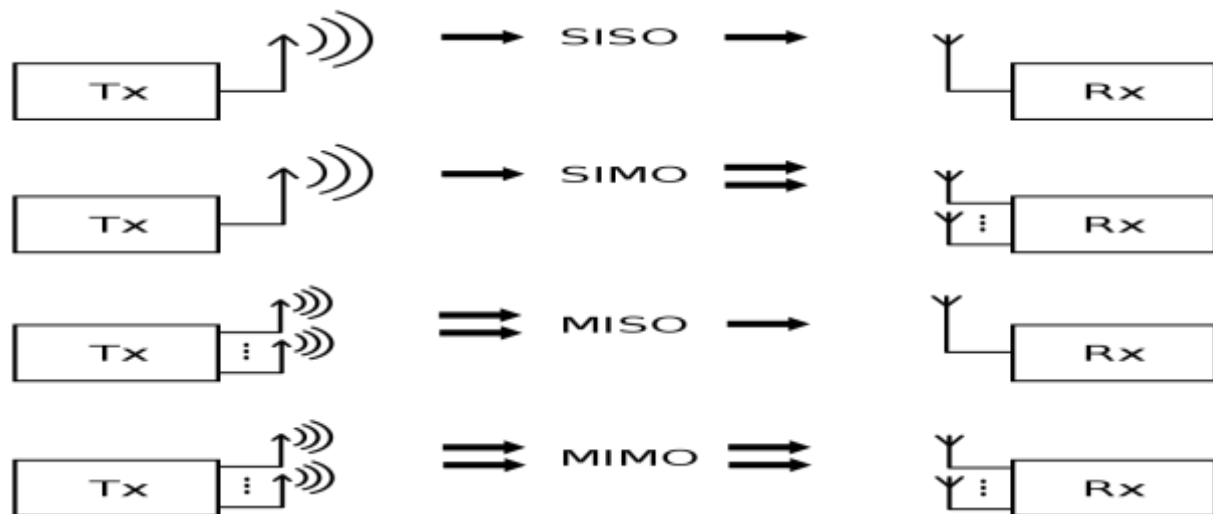


Figure II.5 : représentant les technologies: MIMO, MISO, SISO, SIMO.

II.12 Qualité De Service «QoS» :

II.12.1 Définition :

La qualité de service (en anglais 'Quality Of Service' «QOS »), est la capacité de transmettre dans de bonnes conditions un certain nombre de paquets dans une connexion entre émetteur et récepteur, et cela peut être présenté sous plusieurs termes tels que la disponibilité, débit, délai de transmission...etc. [20].

II.12.2 Les services de la LTE :

Une nouvelle génération de systèmes mobiles permet habituellement une introduction et amélioration de nouveaux services vis-à-vis des générations précédentes et parmi ces nouveautés on cite :

- L'utilisation confort des services en ligne : les pages web et les courriers électroniques se chargent rapidement grâce au très haut débit qui permet l'introduction de nouveaux services mobiles tels que la vidéo haute définition en 3D.
- La faible latence ouvre la porte à de nouveaux services mobiles difficiles tels que les jeux vidéo sous réseau.
- La capacité accrue permet l'accès continu à des contenus en ligne (streaming) donc les terminaux recevant le média en temps réel au lieu de le lire sur leur mémoire locale.
- Les débits qui permettent la connexion des équipements par exemple : les appareils photo ou les caméras vidéo avec la technologie Machine-to-Machine.

II.13 Planification LTE :

La planification d'un réseau détermine le degré de la qualité de service que peut offrir un opérateur aux utilisateurs en optimisant les coûts engendrés par l'installation et par l'utilisation du système. L'objectif de la planification d'un réseau est de réduire le temps de mise en marche, le coût des dépenses d'investissement ainsi que le coût des dépenses opérationnelles, il existe deux types de planification :

II.13.1 Planification du réseau cœur LTE :

Il s'agit d'une planification complète lors d'un déploiement d'un nouveau réseau LTE. Elle est produite lorsque l'opérateur ne possède pas un réseau LTE.

II.13.2 Planification du réseau d'accès radio RAN (Radio Access Network Planning) LTE :

Cette planification nécessite la disponibilité d'un réseau cœur LTE. La planification du réseau d'accès radio est effectuée pour assurer la couverture radio. Il peut s'agir d'une

Planification d'un nouveau déploiement d'un réseau LTE dans une région (exemple : wilaya), dans ce cas le processus de planification est effectuée du début jusqu'à la fin. Comme il peut s'agir d'une extension d'un déploiement existant dans une région dont le réseau LTE est déjà déployé, dans ce cas quelques étapes seulement du processus de planification sont effectuées, lorsque des problèmes de déploiement surviennent (exemple : congestion, faible qualité de service, problèmes de couverture etc. ...).

II.14 Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons parlé du principe de planification radio, particulièrement la phase de dimensionnement de l'eNœudB qui fait intervenir deux composantes : dimensionnement orienté couverture et capacité. Ces derniers s'avèrent essentielles pour le processus de planification radio d'une zone. Dans le chapitre trois nous allons simuler un réseau 4G/LTE sur la région de Bejaïa en utilisant le logiciel ATOLL.

III. 1 Introduction :

La simulation des réseaux est une technique par laquelle un simulateur (logiciel) modélise le comportement d'un réseau, soit par le calcul de l'interaction entre les entités du réseau en utilisant des formules mathématiques, ou en capturant et reproduisant des observations à partir d'un réseau réel.

Les simulateurs du réseau offrent beaucoup d'économie, de temps et d'argent pour l'accomplissement des tâches de simulation et ils sont également utilisés pour que les concepteurs des réseaux puissent tester les nouveaux protocoles ou modifier les protocoles déjà existants d'une manière contrôlée et productrice.

La problématique étudiée dans ce mémoire étant la simulation des performances des réseaux 4G, et des expérimentations 4G pour couvrir plusieurs surfaces, il s'agit de bénéficier d'un accès à l'internet via un réseau 4G en satisfaisant le maximum d'abonnés n'importe quand et n'importe où (n'importe quelle type de zone) avec une meilleure QoS possible .

Les résultats de simulation décrits dans ce chapitre sont le fruit des outils de dimensionnement Atoll. On va entamer alors la phase de conception, réalisation et validation des outils, qui visent essentiellement à assurer le dimensionnement des eNœudB selon la couverture et la capacité en (UL) et (DL).

III.2 Présentation du logiciel Atoll :

Atoll prend en charge la planification de réseau intégrée pour les réseaux multi-RAT. Il comprend une base de données réseau multi-technologies, un modèle de trafic unifié, un simulateur Monte Carlo combiné et un module multi-RAT ACP (AutomaticCell Planning). Atoll fournit aux opérateurs un cadre complet et évolutif pour planifier et optimiser les réseaux multi-technologies, y compris les petites cellules, le Wi-Fi intégré et l'IoT [21].

Atoll est un logiciel professionnel développé par la société Forsk, dédié à la planification radio des réseaux sans fil. Cet outil multi-technologies est destiné pour les opérateurs de télécommunication, il est caractérisé par :

- Des options avancées de conception de réseau : performance de calcul, planification automatique de code/fréquences, support de différentes technologies d'accès et support de réseau multi-technologies (GSM/UMTS/LTE par exemple).
- Adaptation à un nombre varié d'environnements (indoor, outdoor, zone rurale, dense urbaine, etc.).
- Intégration d'un grand nombre de modèles de propagation adaptés à de nombreux environnements et prenant en compte les phénomènes de réflexion, diffraction par le sol et les obstacles, de réfraction, de diffusion, d'atténuation par l'atmosphère, etc...

La planification d'un réseau est une étape primordiale. Les étapes à suivre lors de la planification d'un réseau sont :

- **Pré-planification** : cette partie consiste à préparer la planification du réseau pour cela on doit collecter les informations sur la zone où l'on veut couvrir (la population, les heures d'occupation...).

Dans le logiciel Atoll la pré-planification consiste à définir les éléments comme la zone géographique, la carte topographique et le nombre d'utilisateur....

- **Planification** : cette partie consiste à trouver les meilleurs emplacements pour les eNœudB dans le but d'avoir une très bonne couverture. Dans le logiciel Atoll, après la planification on obtiendra une couverture détaillée.

- **Vérification** : cette partie consiste à faire des réglages de paramètres pour corriger les erreurs produites lors de l'installation. Elle a pour but d'assurer le bon fonctionnement du réseau.

- **Optimisation** : cette dernière partie consiste à vérifier la satisfaction des clients et résoudre leurs plaintes.

III.3 Démarrage d'un projet Atoll :

III.3.1 Ouverture d'un nouveau projet :

Lorsque vous voulez démarrer un nouveau projet, vous vous basez sur un modèle qui contient les données et la structure des dossiers nécessaires à la technologie que vous utilisez. Une fois que vous avez commencé votre nouveau projet Atoll, vous pouvez modifier les paramètres du réseau pour répondre à vos besoins particuliers. Plusieurs modèles sont fournis avec Atoll : GPS GPRS EGPRS, CDMA200 1xRTT 1xEV-DO, microwave radio links, UMTS HSPA, WiMAX et LTE. Vous pouvez créer un nouveau document Atoll à partir d'un modèle. Atoll a un modèle pour chaque technologie.

Chaque modèle fournit des données et une structure de données appropriée pour la technologie car les paramètres de radio disponibles diffèrent selon le type du projet. Le modèle choisi pour notre projet est le modèle LTE ; il est utilisé pour modéliser la nouvelle génération (4G) des réseaux basés sur l'UTRAN LTE. Atoll-LTE est conforme strictement aux dernières spécifications 3GPP LTE, et il a été développé en collaboration avec les fabricants d'équipement marketleading. Atoll LTE est le premier et le plus complet outil de planification de réseau LTE disponible sur le marché.

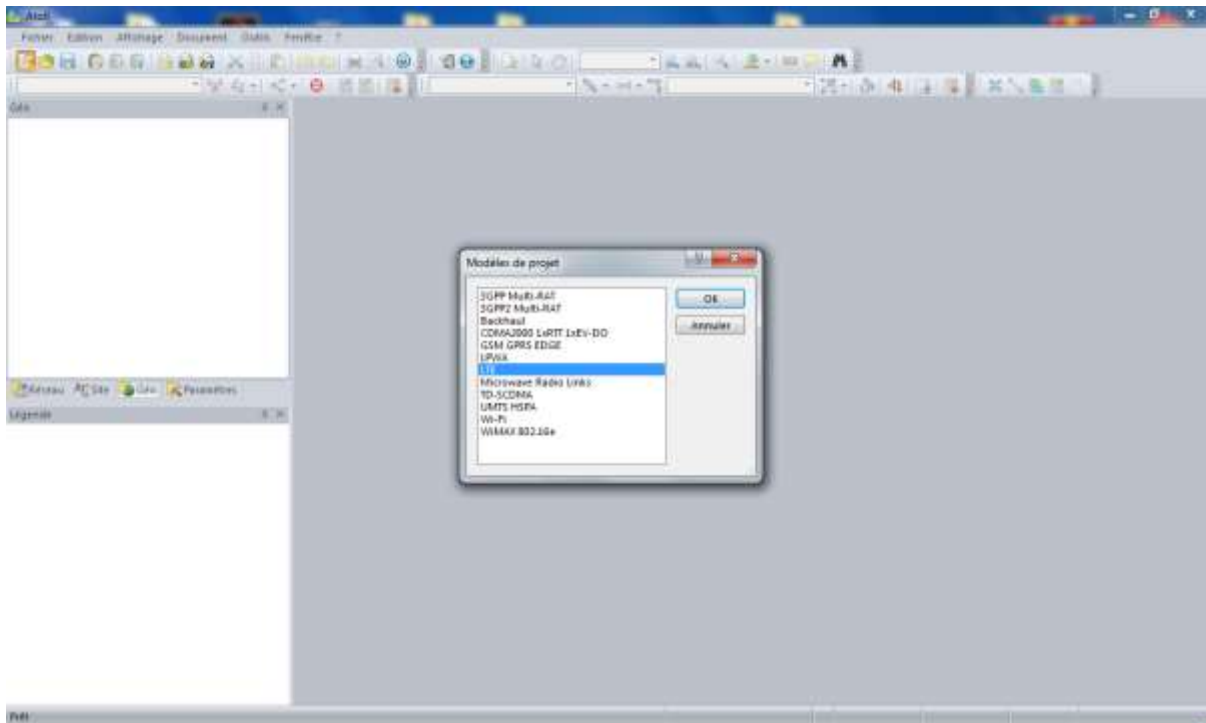


Figure III.1: Nouveau document Atoll basé sur le modèle LTE.

Plusieurs types de données géographiques peuvent être utilisés dans un document Atoll comme le modèle numérique du terrain (MNT), les images numérisées (images satellites), des cartes de population et des cartes de trafic de données.

III.3.2 Réglage des paramètres de la zone :

Pour le réglage des paramètres on procède comme suit :

Sélectionnez — Document — Propriétés.

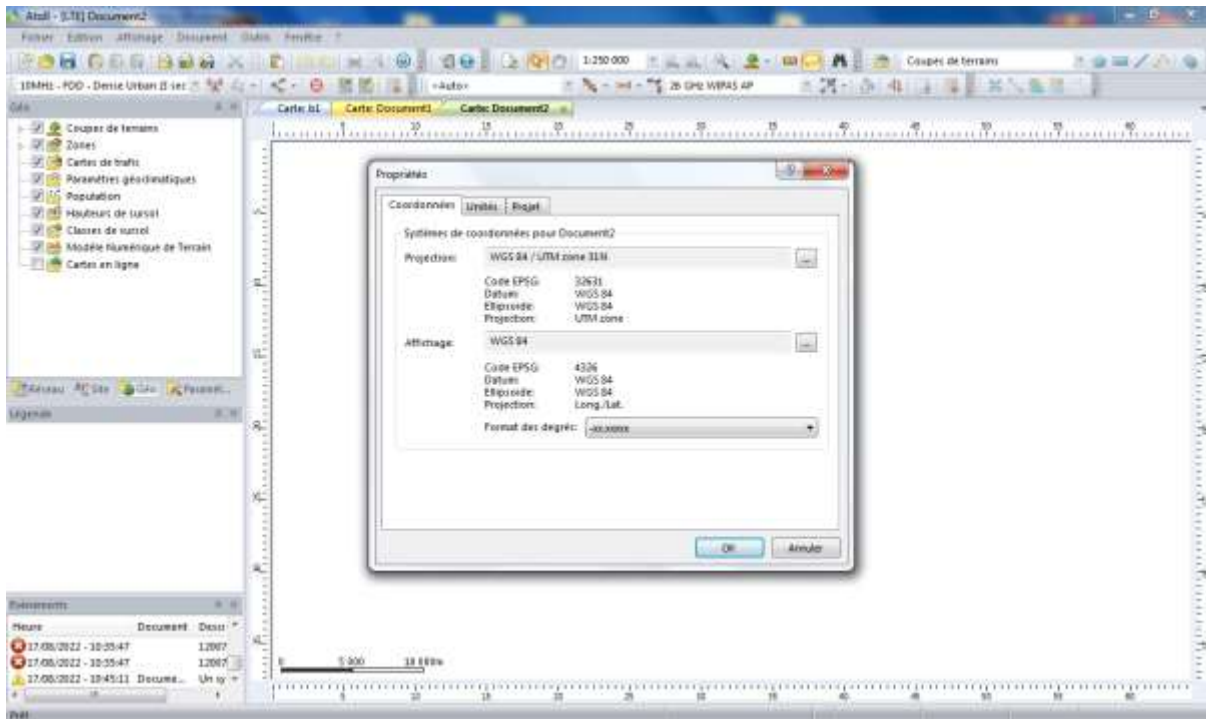


Figure III.2: réglage des paramètres de projection et de formats.

- **Les paramètres saisis sont :**

Projection : WGS 84/ UTM Zone 31 N

Affichage : WGS 84 (c'est la projection UTM sur le système géodésique WGS 84)

Format des degrés : -xx.xxxxx(indique le format de latitude et de longitude des sites) L'UTM est un type de projection conforme à la surface de la terre. C'est une projection cylindrique où l'axe du cylindre croise perpendiculairement l'axe des pôles de l'ellipsoïde terrestre au centre de l'ellipsoïde.

C'est un système de référence géospaciale qui permet d'identifier tous les points de la terre .

Pour ajouter un nouveau map on procède comme suit :

Sélectionnez Géo — cochez carte en ligne — insérez une nouvelle carte

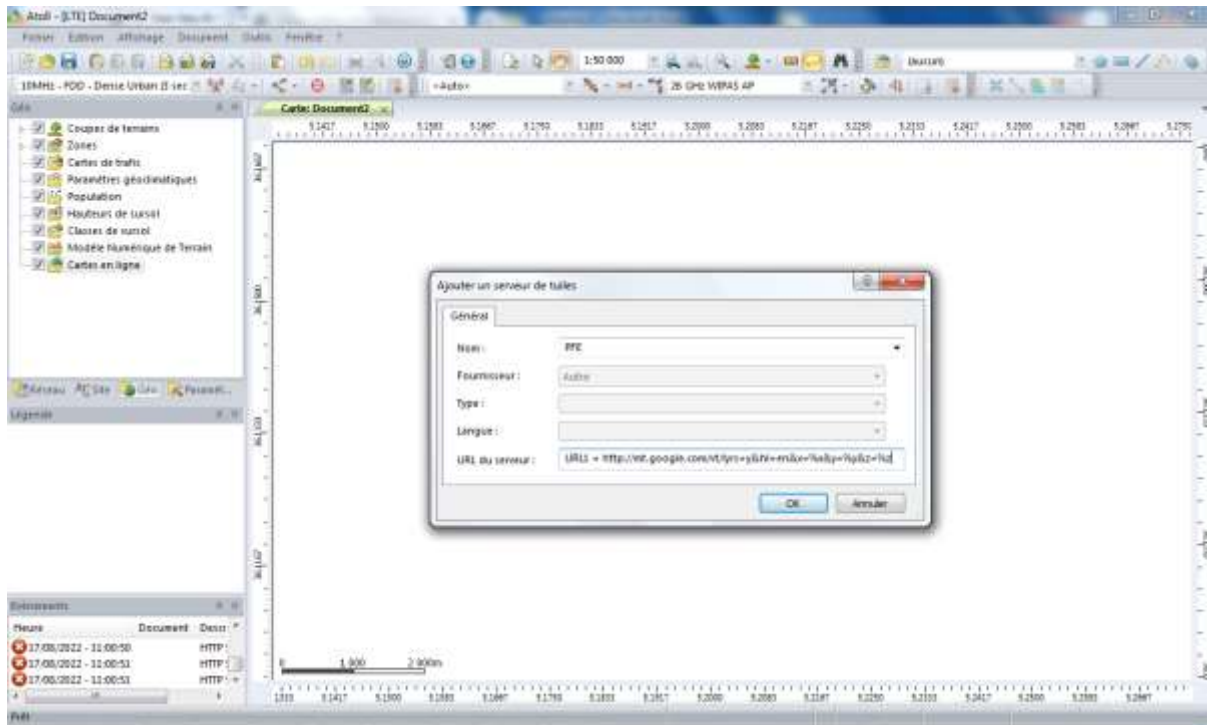


Figure III.3: L'ajout d'un map au niveau document

Certains types de données comme les images numérisées sont utilisées pour créer un affichage plus réaliste de la zone étudiée.

Dans notre projet, nous avons utilisé les données géographiques définies par le modèle numérique de terrain, puis nous importons les éléments suivants :

- Clutter classes.
- Clutter heights.
- Vectors.

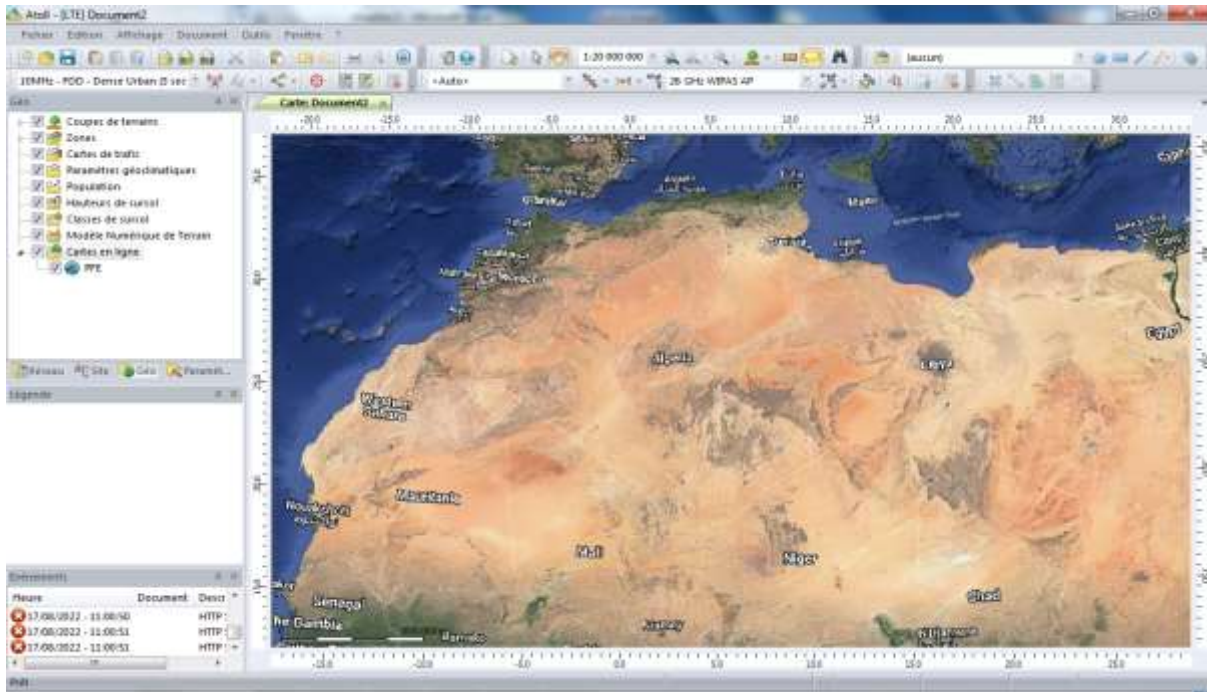


Figure III.4:Importation des données numériques

Dans notre projet, nous avons effectué la simulation de la couverture radio qui concerne la partie de la ville de Bejaïa. L'objectif est de proposer une solution optimale pour assurer une couverture totale de cette région et de maintenir une bonne qualité de service.

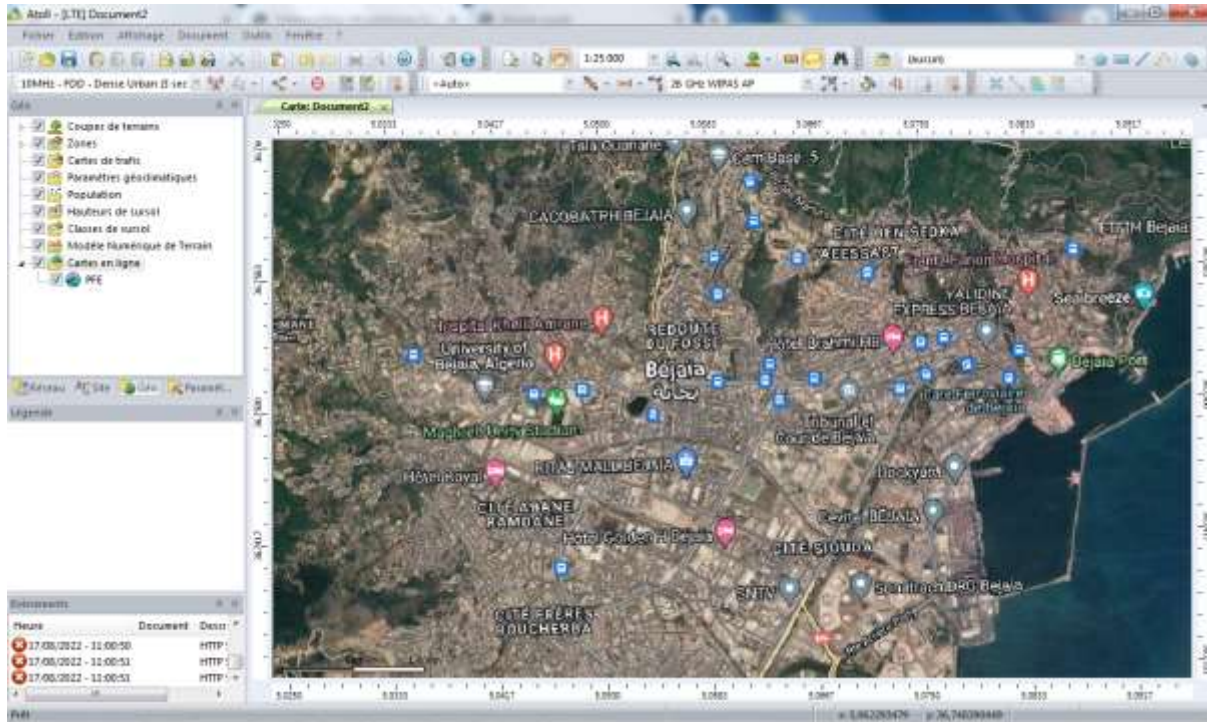


Figure III.5 : surface couverte

- **Création d'un site :**

Le site étant considéré comme l'eNœudB, dans Atoll il est défini comme étant le point géographique où l'on ajoutera des émetteurs, et chaque émetteur a plusieurs paramètres.

On signale que chaque site est caractérisé par trois émetteurs.

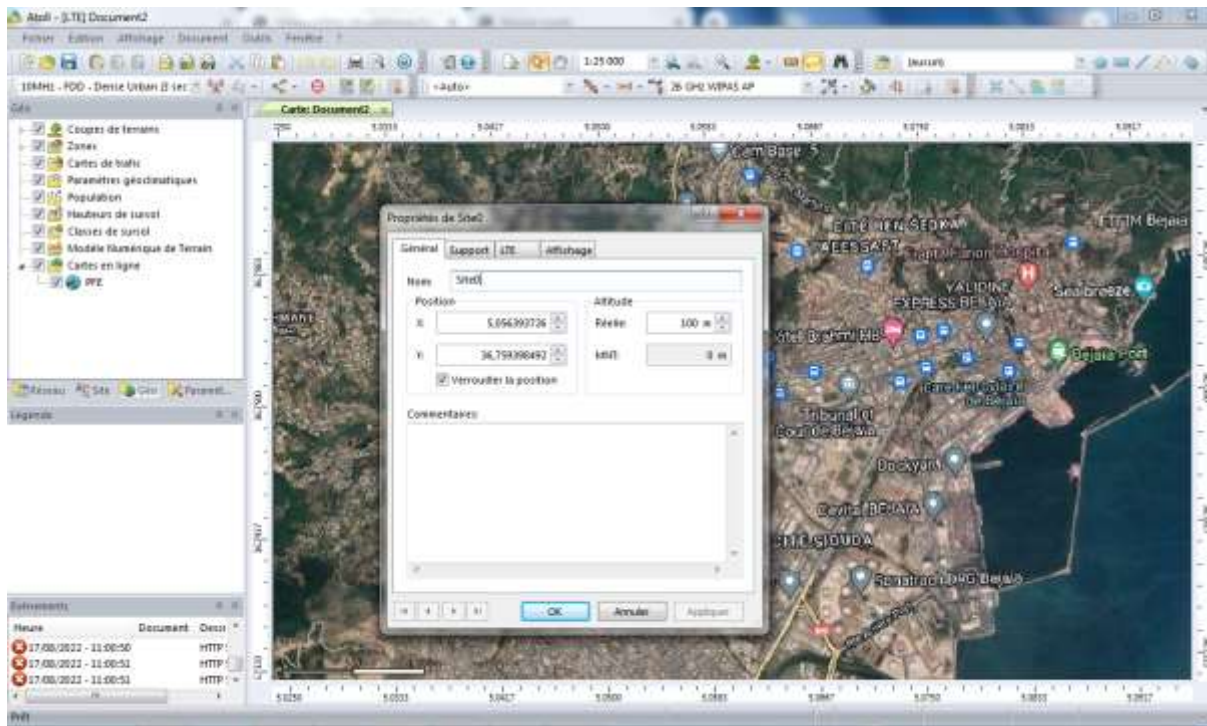


Figure III.6 : création d'un nouveau site.

- **Création des émetteurs :**

Pour créer un nouvel émetteur on procède comme suit :

Sélectionnez site —choisissez propriétés site0_1— Emetteur

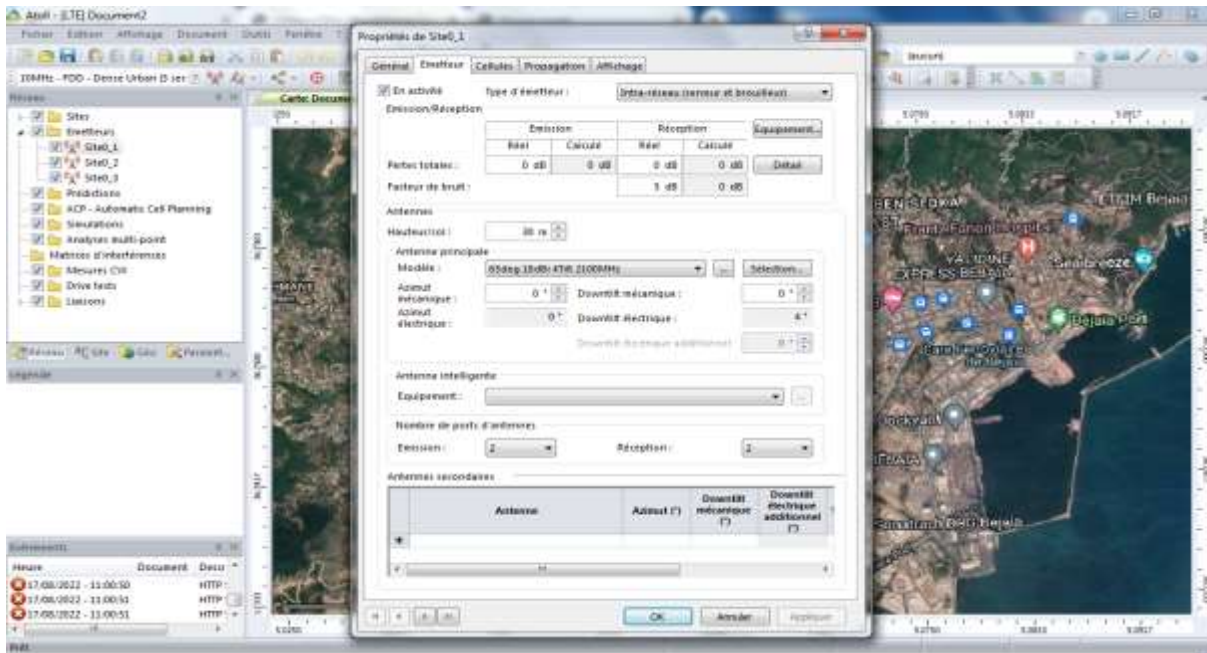


Figure III.7 : Création d'un émetteur et ses caractéristiques

Le principal défi que les opérateurs doivent faire face est d'assurer une bonne couverture dans les zones denses en habitations. Pour se faire plusieurs paramètres liés aux émetteurs vont permettre d'atteindre nos objectifs comme :

- **Le tilt :** il peut être soit électrique, soit mécanique. Il a pour rôle d'ajuster l'inclinaison du lobe principale de l'émetteur par rapport à la verticale.
- **L'azimut :** il permet de changer l'orientation de l'antenne sur un plan horizontale pour mieux cibler la zone à couvrir.
- **La hauteur des émetteurs :** en changeant cette dernière, on permet à l'onde de se propager au-delà des bâtiments et donc éviter les effets << écran >> c'est-à-dire les réflexions dû à l'onde.

Création d'une cellule : Dans Atoll, chaque cellule est considérée comme un canal radio fréquence (RF) avec toutes ses caractéristiques sur un émetteur comme nous pouvons le voir sur la figure III.9.

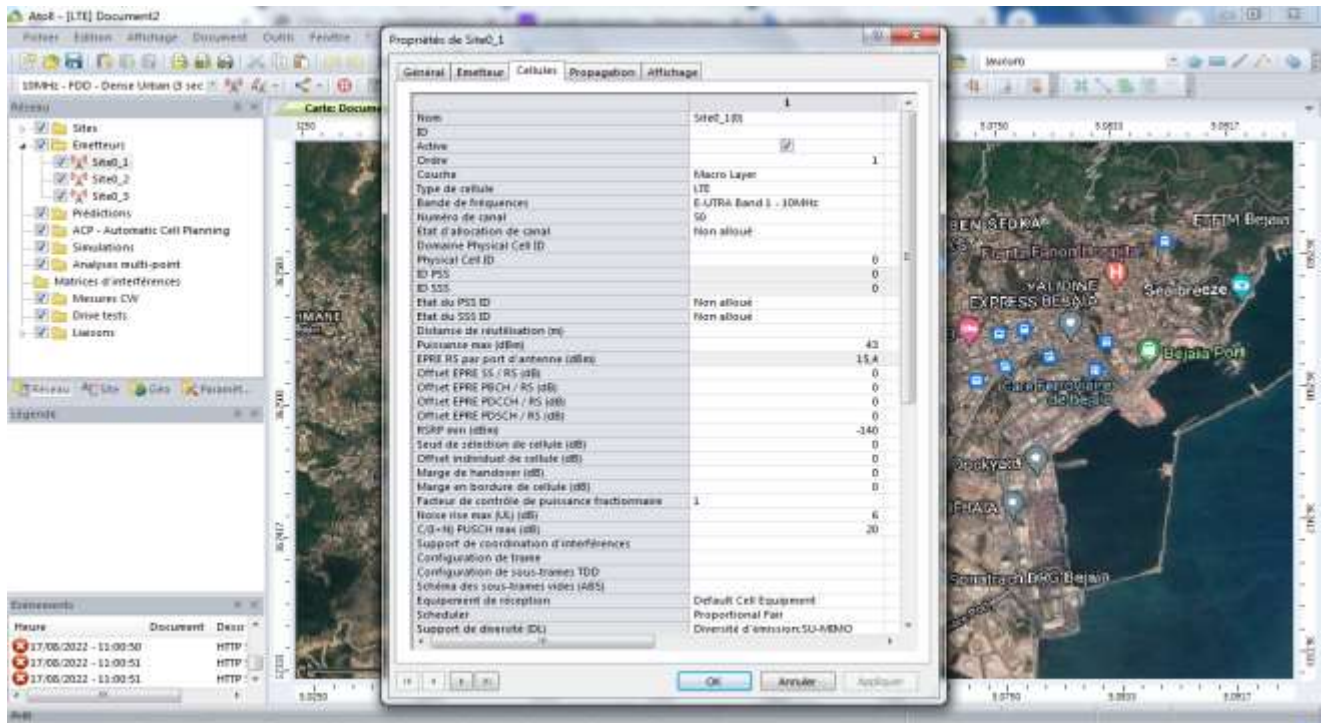


Figure III.8: Configuration de la cellule ou antenne

Pour la création d'une cellule on doit prendre:

- Pour le milieu urbain : puissance max (dBm) = 43.
- Pour le milieu dense urbain : puissance max (dBm) = 46.

III.4 Etude d'un cas général :

III.4.1 Couverture :

Le déploiement d'un réseau LTE nécessite l'optimisation du placement des sites, sous les deux contraintes de type radio et trafic. Il s'agit de tester, en fonction du type d'antenne, de sa puissance d'émission et de son orientation, la zone couverte par l'émetteur. Une approche pas à pas permet progressivement de faire converger le réseau vers une bonne configuration. Le principe est le suivant:

- Répartir les émetteurs sur le terrain

- Etablir les zones de couverture, et les adapter en déplaçant les sites, en modifiant les puissances d'émission, en choisissant les orientations.
- Une fois la couverture assurée, il faut rechercher une répartition des fréquences en analysant les sites qui sont voisins.
- Il faut alors rechercher une répartition des fréquences entre les sites.
- Dans le cas où la planification n'arrive pas à converger, il faut alors densifier le réseau : soit rajouter des sites, soit remplacé des émetteurs omnidirectionnels par des émetteurs tri-sectoriels

Les sites et les émetteurs sont positionnés de la manière suivante dans la ville de Bejaïa sur la carte :

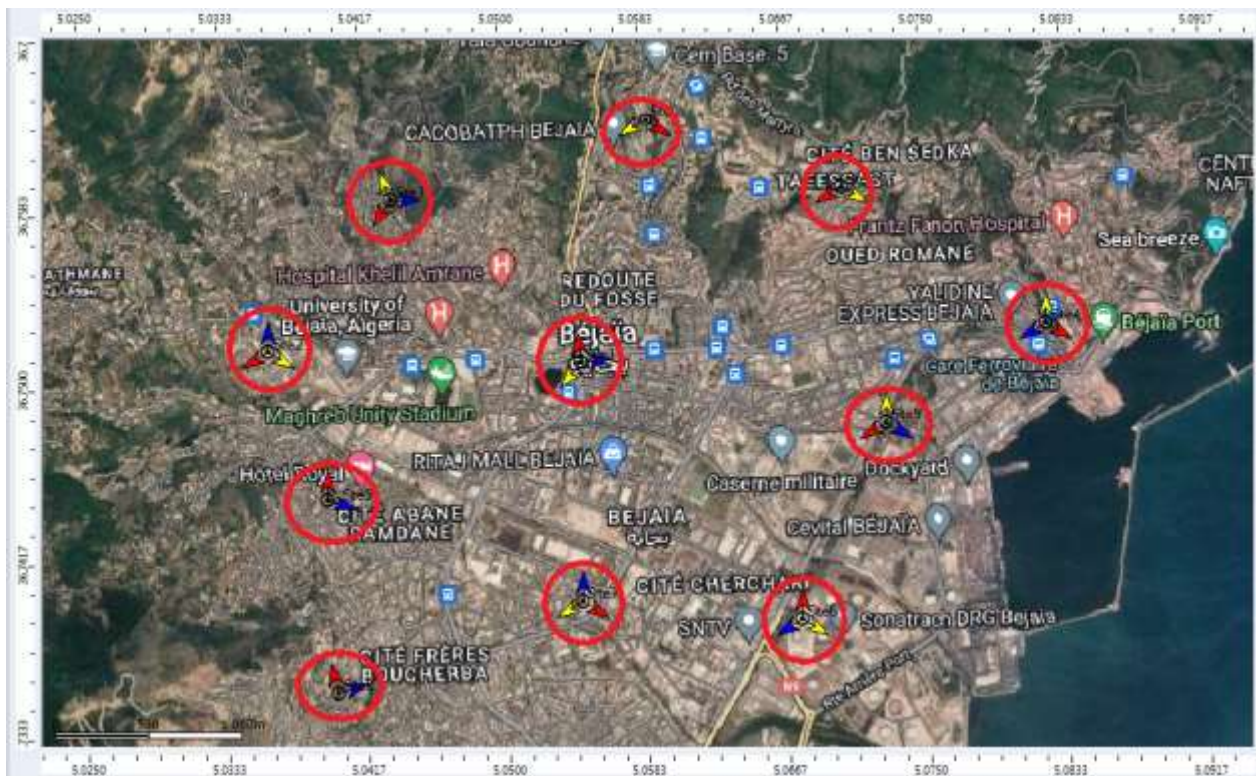


Figure III.9: Dispositions des sites et des émetteurs

Une fois les sites positionnés, on doit simuler le comportement du réseau donc pour cela nous devons effectuer le calcul de la couverture radio. Dans notre cas l'étude se fait dans une zone urbaine.

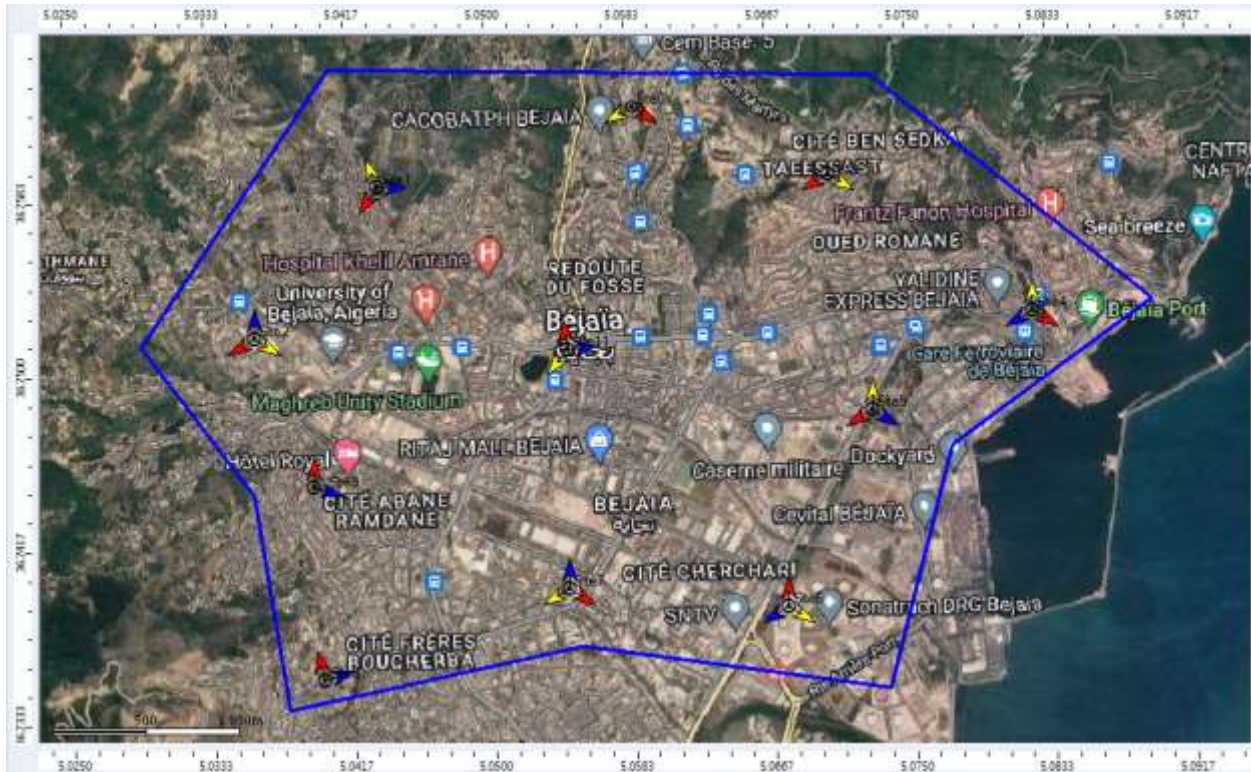


Figure III.10 : Zone précise à couvrir

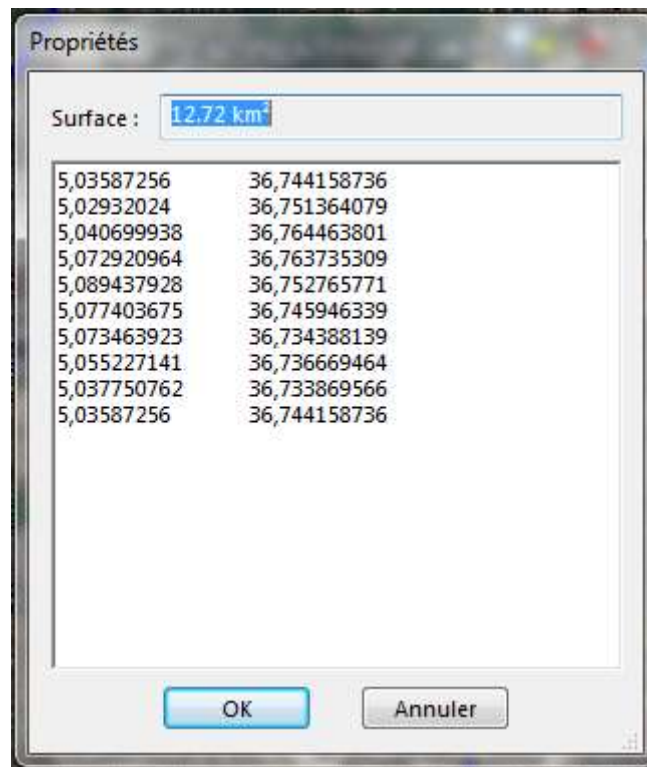


Figure III.11 : Propriétés de la surface.

III.4.2 Prédiction de couverture :

Les prédictions de couverture sont utilisées pour analyser la qualité du signal, ainsi dans Atoll nous avons deux types de prévisions de couverture LTE :

- Prévisions de couverture utilisées pour analyser le niveau de signal sur la liaison montante et la liaison descendante.
- Des prévisions de couverture utilisées pour analyser la qualité du signal. Avec ses prévisions, il est possible d'étudier la zone de couverture en termes d'efficacité de service et de la capacité de chaque cellule du réseau.

Dans ce cas nous allons étudier trois types de prédictions :

- **La couverture par niveau de signal:**

Pour faire une couverture par niveau de signal, on doit sélectionner les prévisions et choisir le type de prévision.

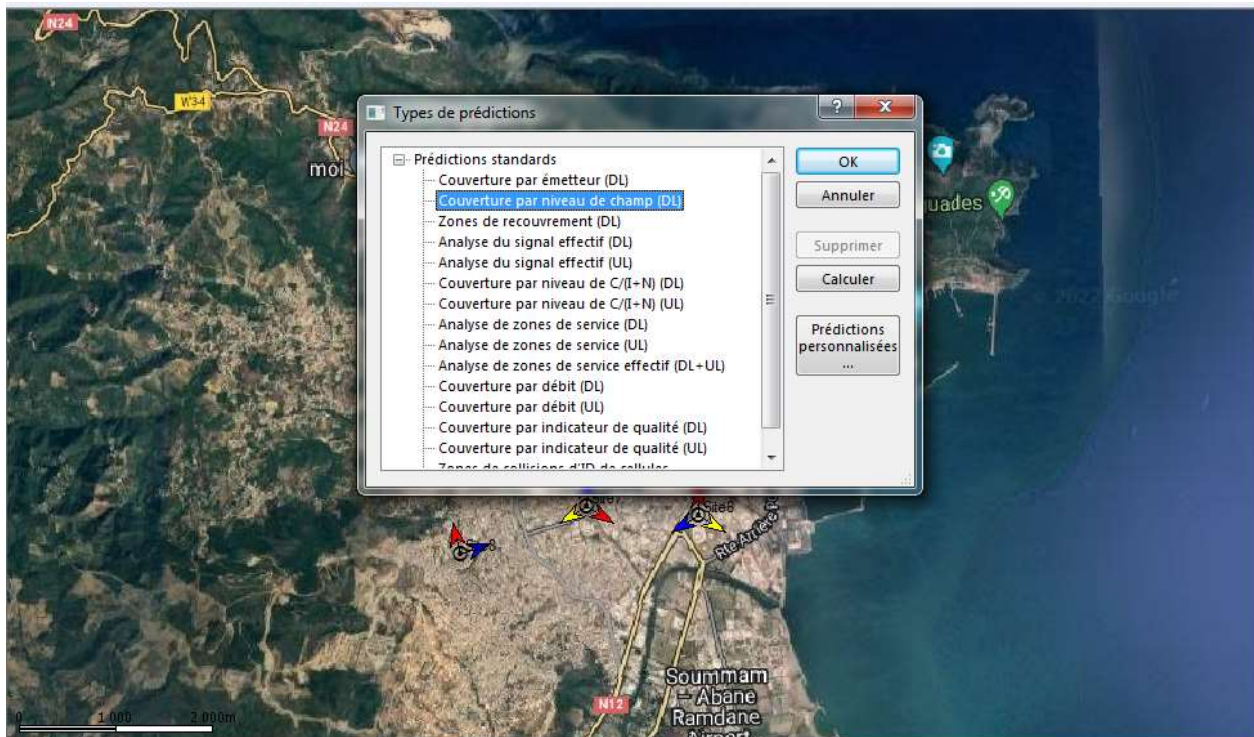


Figure III.12 : Création d'une nouvelle couverture par le niveau du signal.

Dans la simulation on va utiliser principalement les sites macro et micro. Notre simulation se base sur onze site macro qui couvre notre zone cible. La figure dessous montre la première prédiction obtenue.

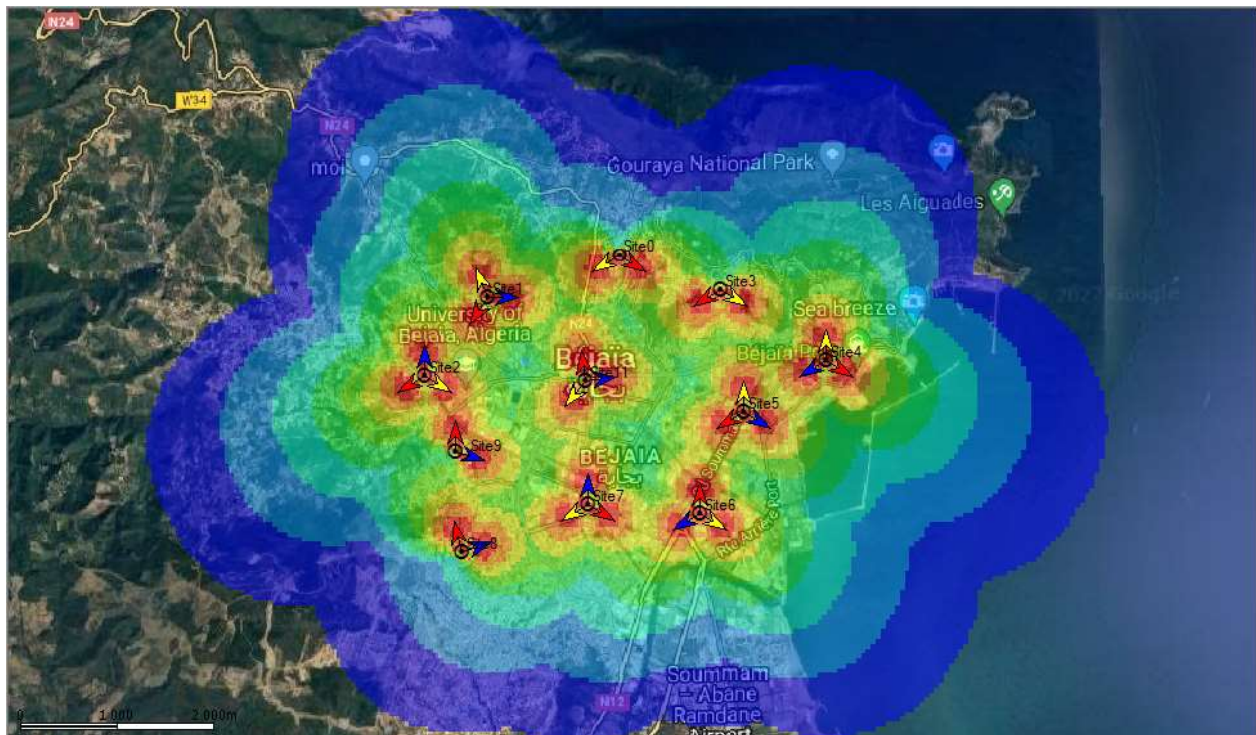


Figure III.13: Résultats de prédiction de la couverture par le niveau de signal.

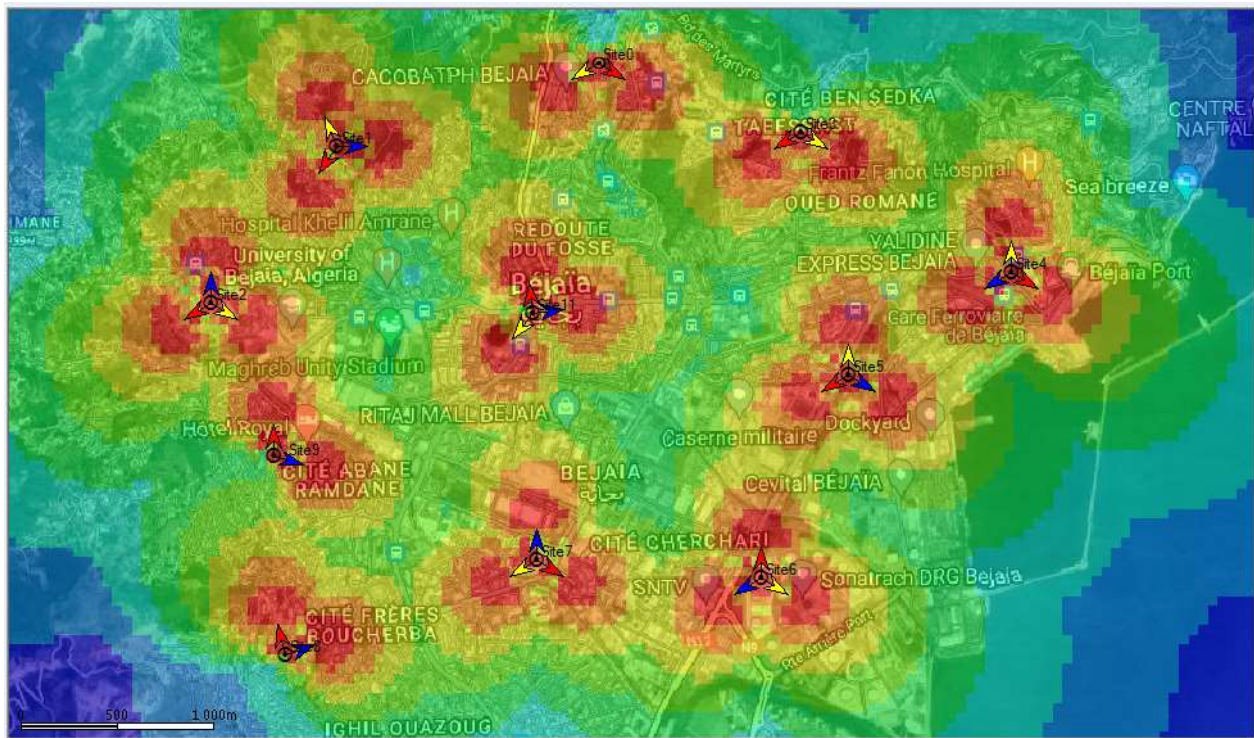


Figure III.14: Zone à couvrir

Nous remarquons sur la figure III.14 que le centre de la ville de Bejaïa est bien couvert avec un haut niveau de signal. Les valeurs de puissance du signal les plus élevées sont concentrées autour des sites (les zones en rouges) et ces valeurs diminuent en s'éloignant des sites à cause de l'atténuation comme on peut le voir à travers les couleurs (jaune, vert, bleu turquoise, bleu).

L'histogramme suivant nous montre la surface des zones couvertes en fonction du meilleur niveau du signal.

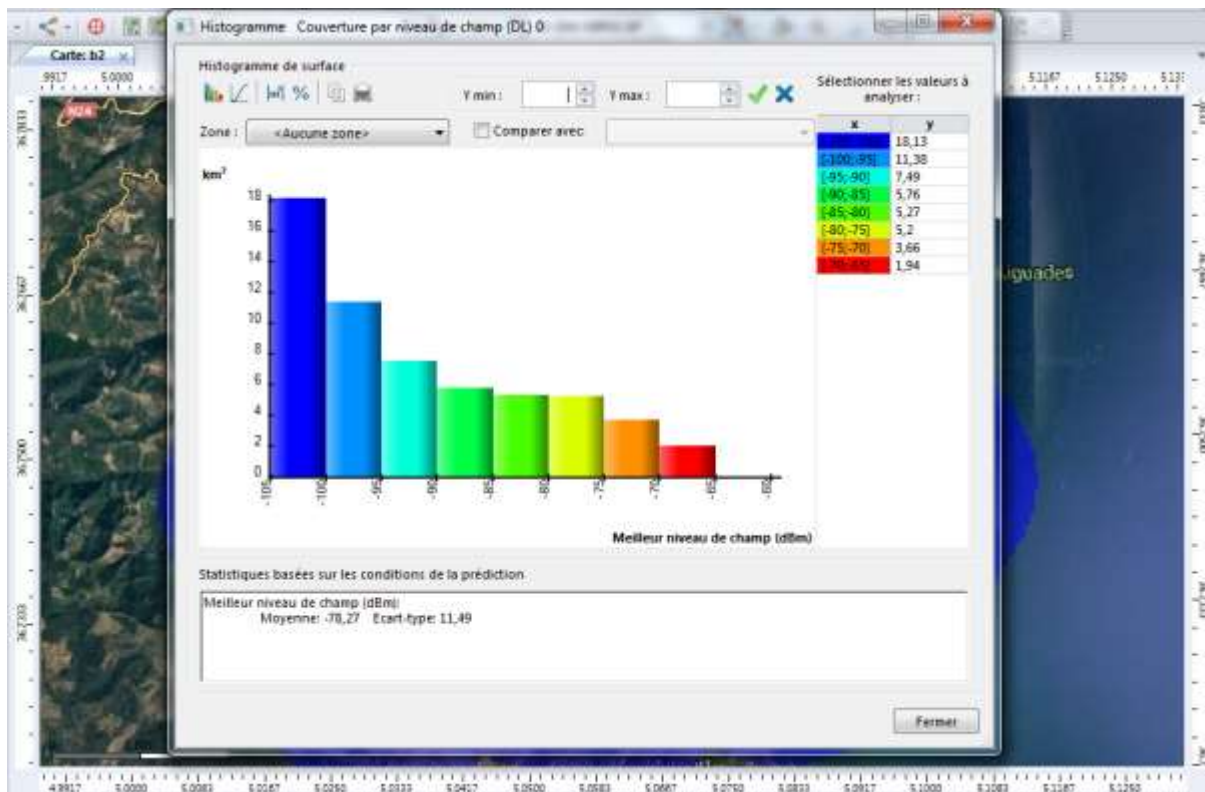


Figure III.15: Histogramme de la couverture par niveau du signal

Nous constatons qu'il y'a absence total ou presque complète du signal dans certaines zones (les zones encadrées par la couleur noire). Ces zones ne sont pas couvertes par le réseau Mobilis comme on peut le voir sur la figure III.16.

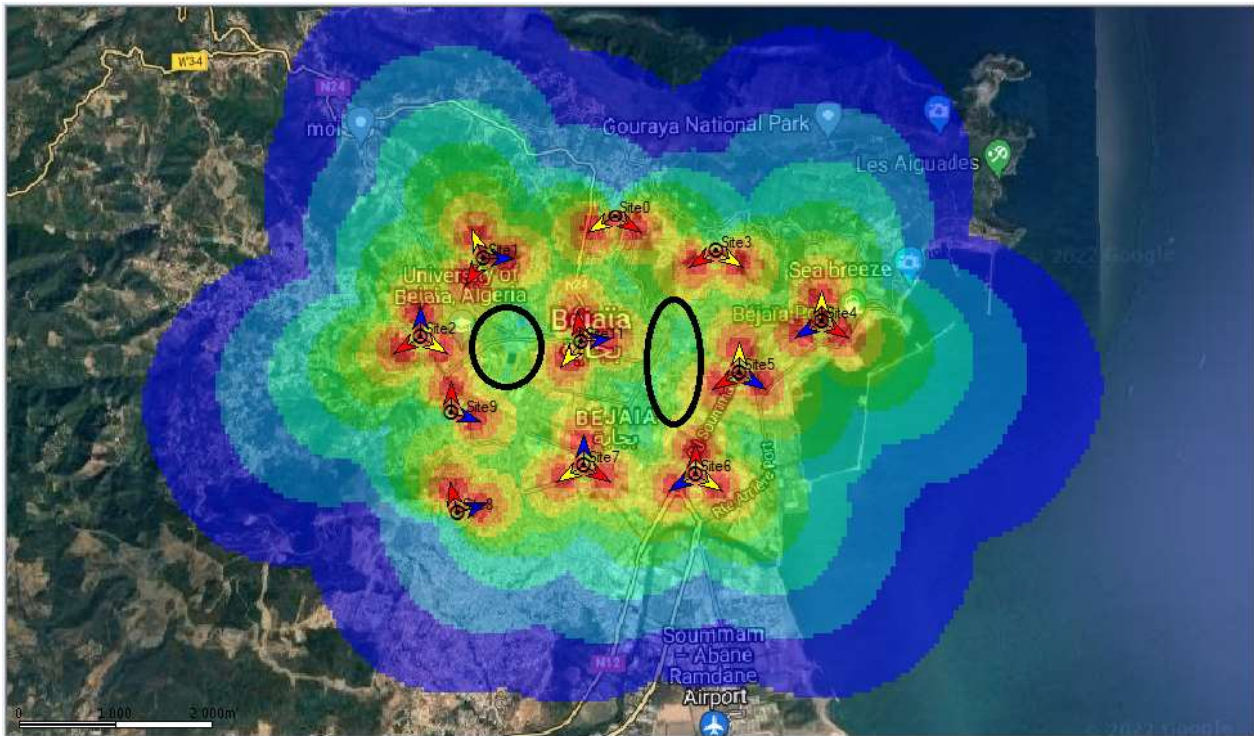


Figure III.16: Zones à recouvrir

D'où la nécessité de déployer de nouveau site pour avoir une bonne couverture de la ville de Bejaia comme on peut le voir sur la figure III.17 :

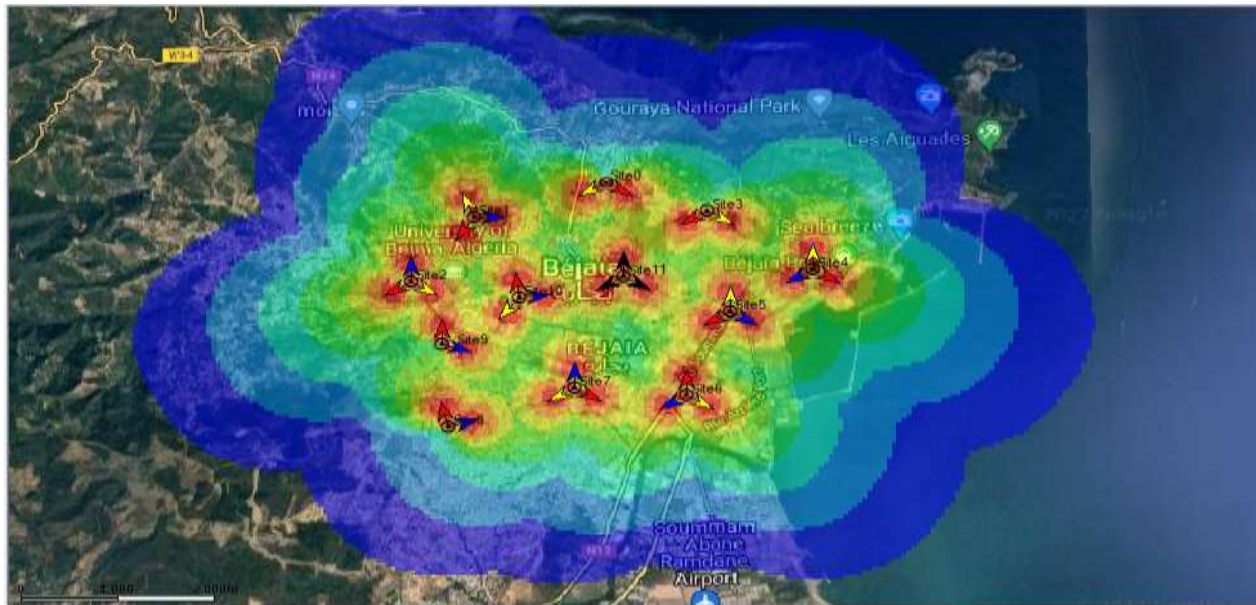


Figure III.17: Résultat de la nouvelle prédiction de la couverture par niveau du signal



Figure III.18 : Légende de la nouvelle prédiction de la couverture par niveau de signal.

- **Dispositions de nouveaux sites pour une bonne couverture :**

Ce tableau représente les différentes propriétés des émetteurs :

Tableau III.1 : Différentes propriétés des émetteurs.

Emetteur	Longitude (X)	Latitude (Y)	Hauteurpar rapport au sol(m)	Azimut mécanique
Emetteur0_1	5,057136879	36,762477144	19	0°
Emetteur0_2	5,057136879	36,762477144	19	120°
Emetteur1_1	5,04351851	36,758809223	22	342°
Emetteur1_2	5,04351851	36,758809223	22	90°
Emetteur1_3	5,04351851	36,758809223	22	211°
Emetteur2_1	5,036070904	36,751663322	20	0°
Emetteur2_2	5,036070904	36,751663322	20	120°

Emetteur2_3	5,036070904	36,751663322	20	240°
Emetteur3_1	5,070351368	36,758994109	17	0°
Emetteur3_2	5,070351368	36,758994109	17	120°
Emetteur4_1	5,082290885	36,752314269	25	0°
Emetteur4_2	5,082290885	36,752314269	25	120°
Emetteur4_3	5,082290885	36,752314269	25	240°
Emetteur5_1	5,072746603	36,747685995	18	350°
Emetteur5_2	5,072746603	36,747685995	18	120°
Emetteur5_3	5,072746603	36,747685995	18	240°
Emetteur6_1	5,0675011	36,738358557	27	0°
Emetteur6_2	5,0675011	36,738358557	27	120°
Emetteur6_3	5,0675011	36,738358557	27	240°
Emetteur7_1	5,054204526	36,735695678	20	0°
Emetteur7_2	5,054204526	36,735695678	20	120°
Emetteur7_3	5,054204526	36,735695678	20	240°
Emetteur8_1	5,040277112	36,735818181	29	530°
Emetteur8_2	5,040277112	36,735818181	29	157°
Emetteur9_1	5,039477665	36,744538627	19	294°
Emetteur9_2	5,039477665	36,744538627	19	90°
Emetteur10_1	5,050220868	36,75306066	15	354°
Emetteur10_2	5,050220868	36,75306066	15	85°
Emetteur10_3	5,050220868	36,75306066	15	217°

Emetteur11_1	5,062037116	36,751783833	21	0°
Emetteur11_2	5,062037116	36,751783833	21	120°
Emetteur11_3	5,062037116	36,751783833	21	240°

- **Prédiction de couverture par émetteur :**

Cette prédiction permet d'avoir une vue globale de tous les émetteurs du réseau qui est très utiles pour supprimer les émetteurs inutiles

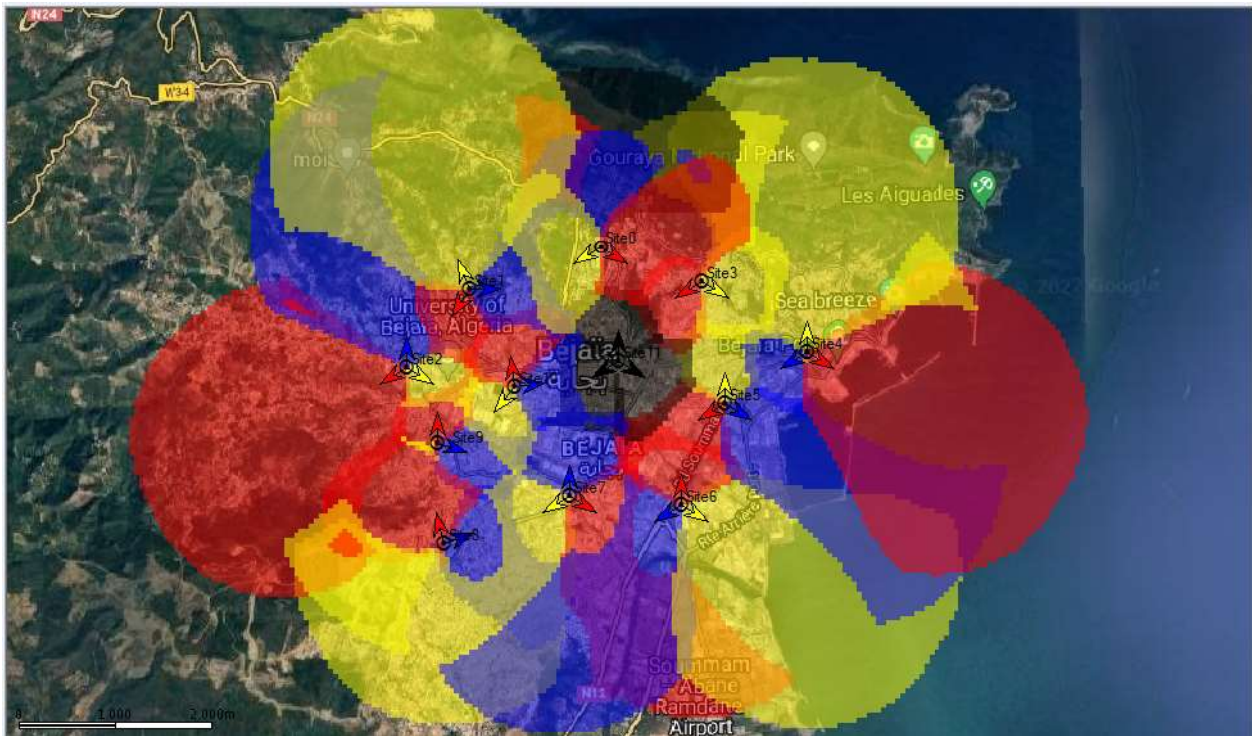


Figure III.19: Résultat de la prédiction de la couverture par émetteur.

- **Calcul de la zone de chevauchement :**

Les zones de chevauchement sont des zones couvertes par le signal d'au moins deux émetteurs ainsi le résultat de la simulation nous donne une carte de recouvrement qui nous permet de distinguer les zones où le mobile sera couvert par un ou plusieurs émetteurs. Autrement dit ces zones correspondent à l'endroit où s'effectue les handovers. Pour faciliter la procédure de sélection des cellules, il est important de limiter la couverture à 3 serveurs au maximum.

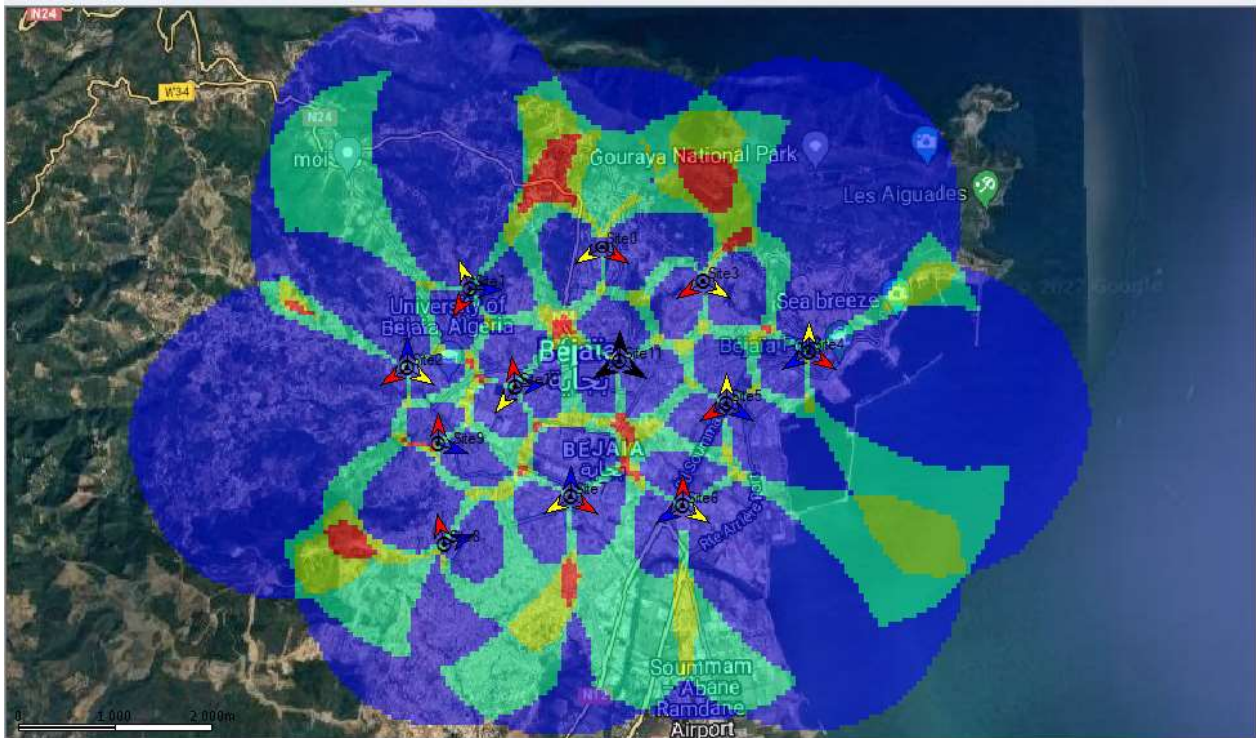


Figure III.20: Carte de recouvrement

Nous constatons sur la figure III.20 que le réseau supportera les handovers entre chaque cellule qui le compose et l'histogramme de la figure III.21 nous le confirme davantage.

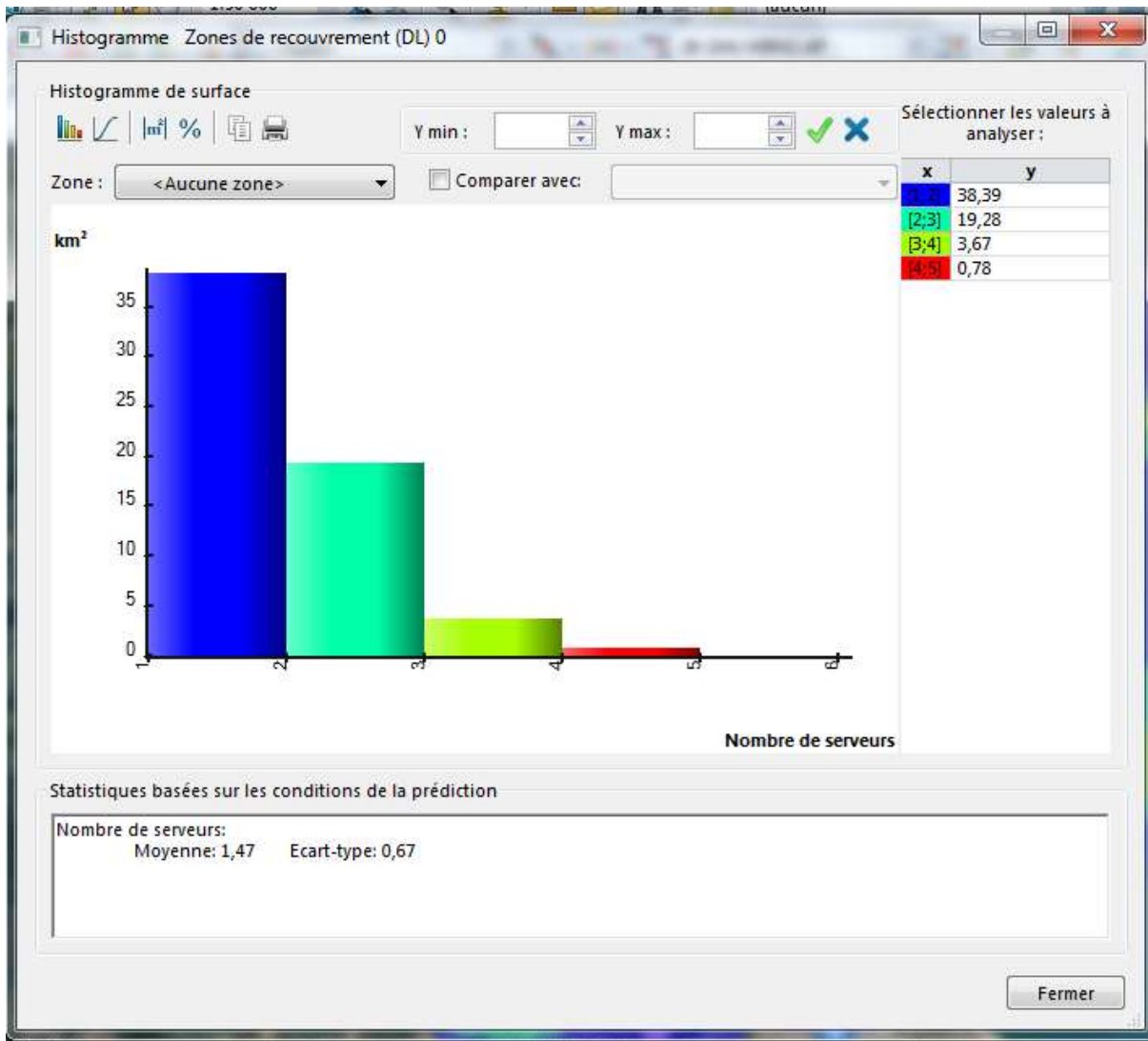


Figure III.21: Histogramme de couverture par les zones de chevauchement.

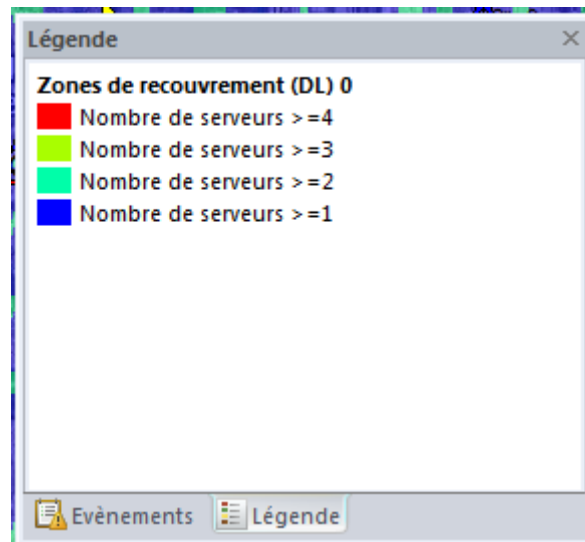


Figure III.22: Légende de la carte de recouvrement

A travers la légende nous pouvons conclure que la totalité de la zone est couverte par un seul serveur. En bordure de cellule on a deux ou trois serveurs ce qui correspond aux zones d'intersections des cellules.

III.5 Conclusion :

Dans ce chapitre de simulation, nous avons effectué la couverture de la ville de Bejaïa avec l'outil « Atoll » qui consiste à une solution robuste pour la planification en permettant la lecture des modèles numériques du terrain, la sélection des emplacements des sites, le paramétrage des sites et l'élaboration des cartes de prédiction de couverture et de qualité dans la zone géographique de déploiement.

Conclusion Générale

L'objectif de ce projet de fin d'études est la réalisation et la mise en œuvre d'une planification du réseau LTE dans diverses zones de la wilaya de Bejaia.

Avant d'entamer cette planification, il est primordial d'avoir des connaissances sur les différentes caractéristiques du réseau LTE, ainsi que sur les étapes à suivre pour cette phase de planification. La partie pratique avait pour but de réaliser un dimensionnement et une planification d'un réseau d'accès LTE. Dans notre projet, on s'est basé sur la région de Bejaia et ses environs.

Initialement, on s'est intéressé aux positions et aux paramètres de configurations des sites déployés, puis nous avons repris la planification pour améliorer la couverture et augmenter la qualité du débit.

Grâce à ce travail nos connaissances se sont enrichies, que ce soit dans le domaine professionnel ou dans celui des télécommunications. Ceci nous a ouvert les yeux sur les difficultés qu'on pouvait rencontrer dans ce secteur, en l'occurrence le manque de données et de documentation ou encore le choix de l'emplacement des sites qui est régie par plusieurs paramètres.

En s'aidant du logiciel ATOLL pour effectuer le dimensionnement de couverture et le dimensionnement de capacité, les résultats obtenus à partir de la planification de cette région, vont contribuer à une nette amélioration en termes de couverture et de débit.

Références Bibliographiques

- [1] : H.Merah, «Conception d'un MODEM de la quatrième génération (4G) des réseaux de mobiles à base de la technologie MC-CDMA», Thèse de doctorat, Université de Sétif, Septembre 2012.
- [2] : Adjarath, LEMAMOU Eunice, «planification globale des réseaux mobiles de la 4G», montérial, 2014.
- [3] : Utilisation de la compression des entêtes dans les réseaux cellulaires de type 4G, Date de consultation Juillet 2022
- [4] : A.Bachatene, S.Haddab, « Etude de Filtrage par réseaux de neurones des non linéarités dans une transmission OFDM», mémoire master, université Mouloud Mammerri, tizi-ouzou, 2013/2014.
- [5] : H.Bouchentouf , S.Boudghene, «Etude des performances des reseaux 4G(LTE) », mémoire master en Télécommunications, 2013, université Abou BakrBelkaid Tlemcen
- [6]: D.Astély, E.Dahlman, Furuskar.A, Jading.Y, Lindstrom.M, and Parkvall.S.LTE: the evolution of mobile broadband, Communications Magazine, IEEE, 2009. 47(4): p.44-51.
- [7]: «[http : //www.efort.com](http://www.efort.com)».Date de consultation septembre 2022.
- [8] : A.Urdareanu, « Réseau de 4ème Génération », Rapport bibliographique, Université de RENNES, 2007.
- [9] : B. Yannick,ÉricHardouin,François-Xavier Wolff, ‘LTE et les réseaux4G.’ Edition EYROLLES. 2012
- [10] : T.Bchini, ‘Gestion de la Mobilité, de la Qualité de Service et Interconnexion de Réseaux Mobiles de Nouvelle Génération’, Thèse Doctorat spécialité : Réseaux et Télécoms, Toulouse, Université de Toulouse, juin 2010.p.6-16.
- [11] : A.Ghassan, Authentication of 4G LTE-Advanced System Model, Journal of Information, Communication, and Intelligence Systems (JICIS) Volume 2, Issue 3, September 2016
- [12] : M.Farhoud, A.El-keyi, A.Salem,Empirical Correction of the Okumura-Hata Model for the 900 MHz band in Egypt,June 2013
- [13] : Sami Tabbane, Ingénierie des réseaux cellulaires, Lavoisier 2002
- [14] : L.Frédéric,les réseaux de mobikle 4G et 5G,université de Poitiers, 11 novembre 2021.
- [15] : Harri Holma et Antti Toskala, UMTS les réseaux mobiles de troisième génération, Edition OEM 2001
- [16]: V.Stencel, A. Muller, and P. Frank, —LTE Advanced—A further evolutionary step for Next Generation Mobile Networks, IEEE, 2012.

[17] : G. J. Foschini. Layered space-time architecture for wireless communication in a fading environment when using multi-element antennas. Bell Labs Technical Journal, p.41–57, 1996.

[18] : A. Belhouji, Etudes théoriques et expérimentales de systèmes de transmissions MIMO OFDM, Thèse de doctorat, Université de Limoges, Octobre 2009.

[19] : «<http://wapiti.telecomlille.eu/commun/ens/peda/options/ST/RIO/pub/exposes/exposesrio2002ttfa03/NatchiaKouao-Benlahcen/index.htm> », Date de consultation Juillet 2022.

[20] : «<https://www.forsk.com/atoll-4g-lte>», Date de consultation Juillet 2022

[21]: Atoll Radio planning and optimization software Measurements and Model Calibration Guide version 3.3.2. Date de consultation Juillet 2022

Résumé

Ce travail nous a permis d'enrichir et d'approfondir nos connaissances dans le domaine des réseaux et plus particulièrement la téléphonie mobile. En effet, à travers l'étude que nous avons effectuée sur les différents réseaux mobiles, nous avons pu comprendre, leurs architectures, leurs caractéristiques, et surtout de bien connaître les apports de chaque génération par rapport à sa précédente du côté radio et transmission. Nous nous sommes focalisés sur l'étude du réseau 4G / LTE qui est le but de notre projet.

Notre travail s'est déroulé au sein de la direction générale de l'entreprise d'AT MOBILIS située à Bejaia. L'objectif principal est d'effectuer un dimensionnement et une planification d'un réseau de 4ème génération créé à Bejaia avec le logiciel ATOLL.

Mots clés: 3G, 4G/LTE, eNœud B, Okumura-Hata, planification, dimensionnement, logiciel ATOLL.

Abstract

This work has allowed us to enrich and deepen our knowledge in the field of networks and more particularly mobile telephony. Indeed, through the study that we carried out on the different mobile networks, we were able to understand their architectures, their characteristics, and above all to know well the contributions of each generation compared to its previous one on the radio and transmission side. We focused on the study of the 4G / LTE network which is the goal of our project.

Our work took place within the general management of the AT MOBILIS Company located in Bejaia. The main objective is to perform sizing and planning of a 4G network created in Bejaia with the ATOLL software.

ملخص :

سمح لنا هذا العمل بإثراء معرفتنا وتعميقها في مجال الشبكات وعلى وجه الخصوص الهاتف المحمول. في الواقع من خلال الدراسة التي أجريناها على شبكات الهاتف المحمول، المختلفة تمكنا من فهم هياكلها وخصائصها وقيل كل شيء أن نعرف جيداً مساهمات جيل مقارنةً السالقبالجي على جانب ديوارا والإرسال. ركزنا على دراسة شبكة 4G/LTE التي هي هدف مشروعنا.

تم عملنا ضمن الإدارة العامة لشركة ATM MOBILIS الواقعة في بجاية. الهدف الرئيسي هو إجراء تحجيم وتخطيط شبكة 4G تم إنشاؤها في بجاية باستخدام برنامج ATOLL.

