



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement Supérieur
et de la Recherche scientifique



L'Université Echahid Hamma Lakhdar d'El Oued

Mémoire de Fin d'Étude
En vue de l'obtention du diplôme de

MASTER ACADEMIQUE

Domaine: Sciences et Technologie
Filière: Télécommunication
Spécialité: Systèmes de Télécommunication

Thème

Etude et dimensionnement d'un réseau mobile 4G
LTE à la ville De Tebessa

Soutenu publiquement le 08/06/2023 devant le jury:

| | | |
|--------------------------|-------------------------------|-------------------|
| Khelil Abdellatif | Matre de Conferences A | President |
| Tidjani Amina | Matre de Conferences B | Examineur |
| Ajgou Riadh | Professeur | Rapporteur |

Réalisé par :AZZOUZA Nada

Année Universitaire :2022/2023



Dédicace

On remercie ALLAH le tous puissant de nous avoir donné la force et le courage afin d'accomplir ce travail. Je tiens à exprimer mes chaleureuses dédicaces à mes chers parents que dieu les bénissent, qui on su me guider par leurs précieux conseils, qui m'ont tout donné, qui ont été toujours la pour moi et leurs encouragements continuels ; merci maman et grand merci papa. J'espère qu'un jour je serai capable de leurs donner au moins le minimum car quoiqu'on face on arrivera jamais de leurs rendre tout.

Je suis très reconnaissant à la personne qui m'a appris qu'il n'y a pas de vacances à l'école de la vie, que tous les échecs ont un début fort et que notre succès ne dépend que de notre volonté. Merci, mon cher mari, « Bilal Saadia », j'espère que tu es à la hauteur des sacrifices que tu mérites.

C'est un plaisir pour mon foie, un morceau de mon âme, et mon petit enfant qui m'a accompagné dans mon parcours académique, « Laïth ».

A mes frères, l'épaule sur laquelle je m'appuie à tout moment, leurs têtes sont Daoud, puis Ibrahim Al-Khalil, puis Idriss.

A ma seconde compagne que ma mère n'a pas enfantée, ma compagne de chemin, Youusra

À la famille de mon mari, chacun avec son nom, dirigé par Baba Ammar, Mama Al-Zahraa, Ramzy, Riyad, Oussama et Adel

Et à toute ma grande famille dirigée par mon oncle Ali et Rdjab.

A tous mes chers amis et collègues, Warda, Karima, Iman, la fidèle amie Salma, Noura, Houria, Layla, Ratiba, Ahlam, Labiba, Inas, et tous ceux qui me connaissent de près ou de loin, afin que nous n'oublions personne, que ce soit une personne qui m'a aidée directement ou indirectement.

Merci beaucoup, vous m'avez rendu fier

Remerciements

Au terme de ce travail, je vous remercie sincèrement

Avec mes sincères remerciements au superviseur, Aïgou Riadh, Maître de Conférences à la Faculté de Technologie - Université El Oued, cela nous permet de bénéficier de sa grande connaissance de l'important et de son aide tout au long de ce travail.

Je tiens également à remercier les membres du jury, qui ont évalué et révisé cette thèse pour l'améliorer sa qualité.

Enfin, nous adressons nos sincères remerciements aux camarades de classe de la promotion 2022/2023 avec spécialisation en systèmes de télécommunication.

Résumé

Les réseaux mobiles et sans fil ont connu une croissance sans précédent ces dernières années. Elle a été marquée par le déploiement de plusieurs générations successives de réseaux de communications filaires et sans fil destinés principalement à la téléphonie (2G), puis le développement de réseaux orientés vers le multimédia (3G), où se posait un problème de débit, le manque d'Internet contenu, ainsi que la mauvaise qualité de la vidéo, ils se sont donc orientés vers le développement de la technologie (LTE) 4G qui apporte une réelle augmentation du débit et permet l'interopérabilité avec d'autres réseaux. Dans ce sujet, nous avons étudié le réseau LTE afin de déterminer sa taille et sa planification au niveau de la ville de Tébessa en mettant en œuvre un programme de calcul qui facilite cette tâche et la rend plus simple, et nous avons obtenu de bons résultats en termes de débit et de couverture élevée. de la zone étudiée.

Mots clés: LTE, 4G, planification, Dimensionnement

Abstract

Mobile and wireless networks have experienced unprecedented growth in recent years. It was marked by the deployment of several successive generations of wired and wireless communications networks intended mainly for telephony (2G), and then the development of networks directed towards multimedia (3G), where a problem arose in the flow speed, the lack of Internet content, as well as the poor quality of video, so they moved towards the development of the technology (LTE) 4G which brings a real increase in speed and allows interoperability with other networks. In this topic, we studied the LTE network in order to determine its size and planning at the level of the city of Tebessa by implementing a computational program that facilitates this task and makes it simpler, and we reached good results in flow speed and high coverage of the studied area.

Keywords: LTE, 4G, planning, Sizing

المخلص

شهدت شبكات الهاتف المحمول واللاسلكية نموًا غير مسبوق في السنوات الأخيرة. حيث تميزت بنشر عدة أجيال متتالية من شبكات الاتصالات السلكية واللاسلكية المخصصة أساسًا للاتصالات الهاتفية (2G)، ثم بعد ذلك توجه تطور الشبكات نحو الوسائط المتعددة (3G)، حيث ظهرت اشكالية في سرعة التدفق و نقص محتوى الانترنت وكذا رداءة جودة الفيديو فتوجهوا نحو تطوير تقنية ال 4G (LTE) التي تجلب زيادة حقيقية في السرعة وتسمح بالتشغيل البيئي مع الشبكات الأخرى. في هذا الموضوع درسنا شبكة LTE من أجل تحديد حجمها وتخطيطها على مستوى مدينة تبسة من خلال تنفيذ برنامج حسابي يسهل هذه المهمة ويجعلها أكثر بساطة، وتوصلنا إلى نتائج جيدة في سرعة التدفق وقمنا بتغطية عالية للمنطقة المدروسة.

الكلمات المفتاحية : LTE، 4G، التخطيط، التحجيم.

Table de matière

| | |
|---|-----|
| Dédicace | II |
| Remerciements..... | III |
| Résumé | III |
| Table de matière | IV |
| Liste des Figures..... | VII |
| Liste des Tableaux | X |
| Liste des Abréviation..... | XI |
| INTRODUCTION GENERALE..... | 1 |
| I-CHAPITRE I : PRÉSENTATION GÉNÉRALE DES RÉSEAUX MOBILES | |
| I-1 INTRODUCTION..... | 4 |
| I-2 PRINCIPE DE BASE D'UN RÉSEAUX MOBILES | 4 |
| I-3 ETAPE DU DEVELOPPEMENT DU RÉSEAUX MOBILES..... | 4 |
| I-3-1 La première génération des téléphones mobiles (1G) | 4 |
| I-3-2 La deuxième génération des téléphones mobiles (2G)..... | 5 |
| I.3.3 La troisième génération des téléphones mobiles (3G)..... | 10 |
| I.3.4 La quatrième génération des téléphones mobiles LTE (4G) | 12 |
| I.4 CONCLUSION..... | 12 |
| II-CHAPITRE II : ETUDE DÉTAILLE DES RÉSEAUX 4G | |
| II.1 INTRODUCTION | 14 |
| II.2 LES RÉSEAUX LTE OU 4G | 14 |
| II-3 QUEL EST LE BUT DE 4G? | 14 |
| II-4 ARCHICTECTURE GÉNÉRALE DE RÉSEAUX LTE | 15 |
| II-4-1 Réseau d'accès (Access Network)..... | 15 |
| II-4-2 EPC : Evolved Packet Core | 17 |
| II-4-3 La partie radio E-UTRAN..... | 19 |
| II-5 LES CARACTÉRISTIQUES FONDAMENTALES DE LA 4G | 20 |
| II-5-1 Débits et fréquences du réseau 4G | 20 |
| II-5-2 Latence | 21 |
| II-5-3 L'agilité en fréquence..... | 21 |
| II-5-4 Codage et sécurité | 22 |
| II-5-5 Multiplexage | 22 |
| II-5-6 La mobilité..... | 26 |
| II-5-7 Modulation adaptative et codage | 26 |
| II-5-8 Les types de transmission utilisée dans la 4 G..... | 28 |

| | |
|--|----|
| II-6 LA 4G DANS LE MONDE | 30 |
| II-6-1 Afrique | 31 |
| II-6-2 Asie | 32 |
| II-6-3 États-Unis | 32 |
| II-7 CONCLUSION | 33 |
| III-CHAPITRE III : DIMENSIONNEMENT D'UN RESEAU LTE | |
| III.1 INTRODUCTION | 35 |
| III.2 PROCESSUS DE DIMENSIONNEMENT | 35 |
| III.3 Dimensionnement de couverture | 36 |
| III.3.1 Les étapes de dimensionnement de couverture | 36 |
| III.3.2 Le calcul à faire | 37 |
| III.3.3 Calcul de la couverture pour les Uplink | 42 |
| III-4 LA CALCUL DE LA COUVERTEUR POUR LES DOWNLINK | 49 |
| III.4.1 Le Pertes de trajet | 49 |
| III.4.2 La Débit binaire requis | 49 |
| III.4.3 la Puissance par bloc de ressource | 49 |
| III.4.4 l'Augmentation du bruit à la bordure de la cellule | 49 |
| III.4.5 l'Equation bilan de liaison Downlink: | 50 |
| III.4.6 la Sensibilité du récepteur de l'équipement utilisateur : | 51 |
| III.4.7 la SINR a la bordure de la cellule | 51 |
| III.4.8 la Limite du bilan de liaison | 51 |
| III.4.9 Les modes de transmission | 51 |
| III.4.10 La Rayon de la cellule | 53 |
| III.4.11 Les Nombres de sites : | 53 |
| III.5 LA DIMENSIONNEMENT DE CAPACITÉ | 55 |
| III.5.1 la Calcul dimensionnement de capacité pour les uplink | 55 |
| III.5.2 Calcule de dimensionnement de capacité down Link | 56 |
| III-6 CONCLUSION | 57 |
| IV-CHAPITRE IV : LA SIMULATION ET ANALYSE DES RESULTAS | |
| IV-1 INTRODUCTION | 59 |
| IV-2 PRÉSENTATION DU LOGICIEL ATOLL | 59 |
| IV-3 ORGANISATION DE LA PROCÉDURE DU DIMENSIONNEMENT | 59 |
| IV.4 ÉTUDE D'UN CAS GÉNÉRAL | 61 |
| IV-5 CRÉATION D'UN PROJET | 61 |

| | |
|--|-----------|
| IV-5-1 Présentation de la région à planifier à l'intérieur d'un polygone..... | 61 |
| IV-5-2 Définition de la zone de calcul..... | 61 |
| IV.6 LA DEMARRAGE D'UN PROJET DANS ATOLL :..... | 62 |
| IV.6.1 Ouvrir un nouveau projet :..... | 62 |
| IV.7 PRE-PLANIFICATION | 63 |
| IV.7.1 La Réglage des paramètres de la zone : | 63 |
| IV.7.2 Importer la carte numériques..... | 65 |
| IV.4.3 La Zone géographique à planifier | 65 |
| IV.8 PLANIFICATION..... | 66 |
| IV.8.1 Création des sites | 66 |
| IV.8.2 Les caractéristiques des sites: | 67 |
| IV.5.3 Propriétés d'une cellule :..... | 68 |
| IV.9 VERIFICATION | 69 |
| IV.9.1 Couverture | 69 |
| IV.9.2 Prédiction de couverture:..... | 70 |
| IV.10 L'OPTIMISATION | 74 |
| IV.11 ANALYSE DES TRONÇONS..... | 78 |
| IV.12 LES ABONNES | 81 |
| IV.13 RESULTAT FINALE DE LA SIMULATION | 82 |
| IV-14 CONCLUSION..... | 82 |
| CONCLUSION GÉNÉRALE | 84 |
| Références bibliographie | 89 |

Liste des Figures

| | |
|---|-----------|
| Figure I.1: Architecture du réseau GSM. [1]..... | 6 |
| Figure I.2: Architecture du réseau GPRS. [5]..... | 9 |
| Figure I.3: Architecture du réseau UMTS. [6] | 11 |
| Figure II.1: L'architecture générale du réseau LTE. [9] | 15 |
| Figure II.2: Architecture d'EPS (evolved packet System).[10] | 17 |
| Figure II.3: Architecture globale du réseau cœur EPC.[10] | 17 |
| Figure II.4 : Architecture de l'E-UTRAN.[10] | 19 |
| Figure II.5 : Le fonctionnement d'une trame radio.[11] | 23 |
| Figure II.6: Structure de la trame radio .[11] | 24 |
| Figure II.7: Les slots d'une trame radio.[11] | 25 |
| Figure II.8: Constellation QAM à16 états.[12] | 26 |
| Figure II.9 : Schéma du principe du modulateur QPSK [11] | 27 |
| Figure II.10: Les porteuses de l'OFDMA.[12] | 29 |
| Figure II.11 Pays équipés début 2018 de réseaux mobiles LTE.[13] | 31 |
| Figure III.1 : Processus de dimensionnement.[10] | 35 |
| Figure III.2 : Processus de dimensionnement de couverture pour le DL et UL.[14]..... | 37 |
| Figure III.3: calcul du dimensionnement de couverture.[14] | 37 |
| Figure III.4 : variation SINR en fonction de nombre de bloc de ressources.[16] | 43 |
| Figure III.5 : Connexions du système d'alimentation de l'antenne.[14]..... | 46 |
| Figure III.6 : modèle bilan de liaison Uplink.[14] | 48 |
| Figure III.7 : Bilan de liaison Downlink.[14] | 50 |
| Figure III.8: Modèle hexagonales de cellule omnidirectionnel.[14] | 54 |
| Figure III.9: Modèle hexagonales de cellule tri-sectoriel [14]. | 54 |

| | |
|--|-----------|
| Figure III.10: illustration du calcul de dimensionnement de capacité.[14] | 56 |
| Figure IV.1: organigramme de simulation.[14] | 60 |
| Figure IV.2 : la carte de la ville De Tebessa .[18] | 61 |
| FigureIV.3 : la zone de couverture. | 62 |
| Figure IV.4: L’interface de démarrage d’ATOLL. | 62 |
| Figure IV.5: Choix du projet. | 63 |
| Figure IV.6: Choix du système de coordonnées. | 64 |
| Figure IV.7: Liste des systèmes de coordonnées. | 64 |
| Figure IV.8: Importation de la carte numérique de la ville de Tebessa | 65 |
| Figure IV.9: Carte avec niveaux d'altitude. | 65 |
| Figure IV.10: Tableau représente les niveaux d'altitude de Tebessa | 66 |
| Figure IV.11: Emplacement des sites LTE mobile sur la Map..... | 67 |
| Figure IV.12: Configuration de la cellule ou antenne..... | 68 |
| Figure IV.13: La ville de Tebessa (centre-ville) | 70 |
| Figure IV.14: Création d’une couverture par niveau de signal..... | 71 |
| Figure IV.15: Résultat de la prédiction de couverture par niveau de signal..... | 72 |
| Figure IV.16: Histogramme de la couverture par niveau de signal initial..... | 73 |
| Figure IV.17: Résultat de la prédiction de la couverture par émetteur..... | 74 |
| Figure IV.18: Paramètres de création d'un ACP-Automatique Cell Planning..... | 75 |
| Figure IV.19: L'optimisation de notre réseau. | 75 |
| Figure IV.20 : : La couverture par RSRP variation et RSRQ variation..... | 76 |
| Figure IV.21: Carte de recouvrement..... | 76 |
| Figure IV.22: Histogramme de couverture par les zones de chevauchement. | 77 |
| Figure IV.23: Légende de la carte de recouvrement..... | 77 |
| Figure IV.24:Test de la liaison site 14-site3..... | 78 |

Figure IV.25: couverture par débit de navigation (DL throughput).....78

Figure IV.26: Histogramme de couverture par DL débit.....79

Figure IV.27:Prédiction de la couverture par secteur (Emetteur).....80

Figure IV.28: Onglet « Profile » du point d'analyse d'émetteur site12-3.....80

Figure IV.29: La création des utilisateurs.....81

Figure IV.30:Table des paramètres des utilisateurs82

Figure IV.31: Résultat final de la simulation.....82

Liste des Tableaux

| | |
|---|-----------|
| Tableau II-1: La latence pour chaque multiplexage.[11]..... | 21 |
| Tableau II-3 : Les bandes de TDD.[11] | 25 |
| Tableau II-2: Les bandes de FDD.[11]..... | 25 |
| Tableau III.1 : largeur de bande et les blocs de ressources spécifiées LTE.[14]..... | 43 |
| Tableau III.2 : pertes de la pénétration.[14]..... | 44 |
| Tableau III.3: Pertes selon le type de signal.[14]..... | 45 |
| Tableau III.4 : Marge de shadowing.[14]..... | 45 |
| Tableau III.5: pertes de ligne d'alimentation.[14]..... | 47 |
| Tableau III.6: paramètres semi empiriques pour la liaison descendante.[14]..... | 52 |
| Tableau III.7: paramètres semi empiriques pour la liaison montante.[14]..... | 52 |
| Tableau III.8: Atténuation fixe dans le modèle de propagation Hata-Okumura.[14]..... | 53 |
| Tableau III.9: valeurs références des surfaces de la zone.[14]..... | 54 |
| Tableau IV.1: les Coordonnées des sites..... | 68 |
| Tableau IV.2: paramètres d'optimisation d'un émetteur..... | 69 |

Liste des Abréviations

1G : première génération

2G: deuxième génération

3G : troisième génération

4G : quatrième génération

5G : cinquième génération

3GPP: 3rd Génération Partnership Project

A

AUC: Authentication Center

AMPS: Advanced Mobile Phone System

B

BTS: Base Transceiver Station

BSS: Base Station Subsystem

C

CEPT : Conférence Européenne des Postes de Télécommunication

E

E-UTRAN: Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network

ENodeB: Evolved NodeB

EPC: Evolved- Packet -Core Network

EPS: Evolved –Packet- System

EDGE : Enhanced Data Rates For GSM Evolution

F

FDD : Frequency Division Duplexing

FDMA Frequency-Division Multiple Access

G

GPRS : general packet radio service

GMSC :gateway MSc

GSM :global system for mobile communications

H

HLR :Home Location Register

HSS: Home Subscriber Server

HSDPA : Hight Speed Dowlink Packet Access

HSUPA : Hight Speed Uplink Packet Access

HSPA : Hight Speed Packet Access

I

IP : Internet Protocol

IMSI : International Mobile Subscriber Identity

IUT : International Telecommunications Union

L

LTE: Long Term Evolution

M

MME: Mobility –Management- Entity

MSC: Mobile -services Switching- Center

MMS :multimedia messaging service

MSISDN :Mobile Station ISDN Number

N

NMT: Nordic mobile telephone

NSS: Network Switching SubSystem

O

OMC: Operations- and Maintenance- Center

OFDMA: Orthogonal Frequency Division Multiple Access

P

PDN:public data network

PGW :packet data network gateway

PCRF :policy charging rules function

R

RTC: Réseau Téléphonique Commuté

RNC: Radio Network Controller

RNIS: Réseau Numérique à Intégration de Services

S

SAE: System Architecture Evolution

SGSN: Serving GPRS Support Node

S-GW: Serving Gateway

SIM: Subscriber Identity Module

SMS : short message service

T

TACS : total access communication system

TDD : time division-duplexing

TDMA : time-division multiple-access

TTI : transmission time interval

U

UMTS: Universal Mobile Telecommunications System

UE: User Equipment

UL: UpLink

V

VoIP : Voice over IP

VLR: Visitor Location Register

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

La planification des réseaux mobiles consiste à identifier, localiser, interconnecter et utiliser de manière optimale tous les composants matériels et logiciels de ces systèmes. En respectant une série de contraintes de service.

L'objectif initial de notre travail est de planifier un réseau de communication mobile 4G/LTE (Long Term Evolution) utilisant le logiciel Atoll. Ces processus peuvent prendre du temps et être coûteux avant que le réseau ne soit opérationnel. Pour les réseaux de première génération (1G), de deuxième génération (2G), de troisième génération (3G) et de quatrième génération (4G), une série de recherches ont été menées visant à réduire les coûts d'équipement, tout en maintenant un haut niveau de communication qualité et capacité .

Et, les années précédentes, les recherches se concentraient principalement sur l'analyse des réseaux de quatrième génération (4G) pour fournir une gamme de services rapides et de plus en plus sophistiqués, y compris les très hauts débits (accès Internet rapide, visioconférence, télé-médecine, accès à la visiophonie, ou encore téléconférence). , etc.) chacune a ses propres caractéristiques et limites. Certaines tentatives ont été faites pour fournir des modèles de planification pour ces réseaux.

Le problème était de savoir comment se débarrasser des obstacles et du bruit dans le déploiement des réseaux mobiles, selon une étude que nous avons menée au niveau de la ville de Tébessa, où il a été représenté dans la planification du réseau LTE. Avec l'outil professionnel de planification de diffusion ATOLL.

Pour mettre en œuvre notre travail, nous avons élaboré un plan composé de 4 chapitres comme suit:

Nous commencerons par une introduction générale ci-dessous

- Le premier chapitre, dans lequel nous donnerons un aperçu des générations de réseaux mobiles, et nous séparerons les différentes normes de téléphonie mobile telles que la première génération (1G) car il s'agissait à l'origine de ligne fixe. , GSM. (2G) qui a donné accès au service. Ensuite, la voix mobile, qui est fournie par GPRS (2.5G (General Packet Radio Service), EDGE (2.75G) (Enhanced GSM data rate), 2.75G et UMTS (3G) (Global System for Mobile Communications) qui permet aux utilisateurs d'accéder Au véritable Internet mobile avec l'intégration de nouveaux services.
- Dans le deuxième chapitre, nous passons à une étude détaillée des réseaux de quatrième génération, de leur structure et de leurs spécifications techniques.

- Ensuite, dans le troisième chapitre, nous présenterons le dimensionnement et de planification dans le réseau LTE. Nous fournirons également la disposition de base et les calculs mathématiques nécessaires pour les dimensions du toit.
- Le dernier chapitre vise à révéler les différentes étapes de notre approche pour simuler le réseau mobile 4G LTE dans la ville de Tébessa, et également expliquer l'utilisation du programme ATOLL pour les différents paramètres qui seront introduits, puis présenter les résultats obtenus.

**I-CHAPITRE I :
PRÉSENTATION GÉNÉRALE
DES RÉSEAUX MOBILES**

I-1 INTRODUCTION

Le téléphone portable est devenu un moyen de communication indispensable dans notre vie quotidienne, mais il y a eu un long processus de modifications et d'améliorations technologiques avant que cette technologie n'arrive. L'utilisation du téléphone portable commence vraiment avec les téléphones portables. Il a permis à de nombreux utilisateurs de communiquer sans bloquer la ligne grâce à ce dernier. Plusieurs générations de réseaux mobiles (1G, 2G, 3G, 4G et 5G) ont vu le jour et évolué, offrant un débit exceptionnel qui ne cesse d'augmenter et une bande passante de plus en plus large. Le développement des réseaux mobiles n'a cessé d'augmenter. Le nombre d'utilisateurs pouvant être pris en charge par cette bande passante est un avantage. Le chapitre introduit un concept de base de réseaux mobiles et leurs évolution.

I-2 PRINCIPE DE BASE D'UN RÉSEAUX MOBILES

Le réseau mobile repose sur un système cellulaire, une notion qui a été développée dans les laboratoires « Bell Labs » au début des années 1970. Cette technique est un élément important de la technologie des réseaux mobiles car elle permet de réutiliser les ressources du réseau d'accès radio sur plusieurs zones géographiques spécifiques appelées cellules. Une ressource radio, telle qu'une fréquence ou un code, est liée à une cellule et ne peut être réutilisée qu'une cellule située suffisamment éloignée pour éviter tout conflit intercellulaire dans l'utilisation de la ressource.

Le nombre total d'appels pouvant être supportés par le réseau peut être contrôlé en dimensionnant les cellules selon des tailles plus ou moins importantes si une cellule permet d'écouler un certain nombre d'appels simultanés. Par conséquent, une cellule urbaine est généralement plus petite que celle rurale. Ce concept de cellule est la base de tous les réseaux mobiles, c'est pourquoi ils sont également appelés réseaux cellulaires. [1]

I-3 ETAPE DU DEVELOPPEMENT DU RÉSEAUX MOBILES**I-3-1 La première génération des téléphones mobiles (1G)**

Un système de communications mobiles analogiques était la base des premiers systèmes cellulaires (1G). Le microprocesseur et le transfert numérique des données entre les téléphones mobiles et les stations de base sont deux inventions techniques majeures des années 1970 qui ont profité à cette génération. Les appareils utilisés étaient particulièrement imposants.

La première génération de systèmes cellulaires (1G) a principalement utilisé les normes suivantes : AMPS (Advanced Mobile Phone System), créé aux États-Unis, est un réseau analogique basé sur la technologie FDMA.

* Le NMT (Nordic Mobile Telephone) a été principalement créé dans les pays nordiques et utilisé dans d'autres régions du monde.

* En Grande Bretagne, TACS (Total Access Communications System), qui repose sur la technologie AMPS, a été largement utilisé.

Cette première génération de réseaux cellulaires utilisant une technologie analogique a été remplacée dès l'apparition d'une seconde génération plus performante utilisant une technologie numérique.[2]

I-3-2 La deuxième génération des téléphones mobiles (2G)

Le GSM a été introduit dans les années 90. C'est la norme 2G. Il s'agit d'effectuer des appels téléphoniques en utilisant des transmissions numériques qui sécurisent les données grâce au cryptage. Cette méthode a été efficace et a suscité le désir de téléphoner n'importe où avec la possibilité d'envoyer des mini-messages (SMS, avec une longueur de 80 caractères). Il permet également le transfert de données entre les pays utilisant le réseau GSM. Il a été nécessaire d'offrir aux opérateurs de nouvelles fréquences afin de transmettre toutes les communications, ce qui a conduit à l'apparition de nouveaux services tels que le MMS. Le débit de 9.6 kbps du GSM est insuffisant, ils ont donc pensé à créer de nouvelles méthodes de modulation et de codage qui ont permis d'accroître le débit pour la nouvelle génération.

I -3-2-1 Le réseau GSM

Le GSM a été introduit par la Conférence Européenne des Postes de Télécommunication (CEPT) en tant que première norme de téléphonie cellulaire numérique. Il a été créé dans le but de remédier à l'apparence lourde et encombrante des premiers terminaux mobiles.

Il s'agissait d'une nécessité de confort d'utilisation, de coût et de compatibilité entre les téléphones fixes et mobiles.

Le projet a connu un grand succès et le GSM a été lancé en 1991. Il a été désigné comme un réseau de deuxième génération, contrairement à son prédécesseur (réseau analogique de première génération).

Sa création a marqué l'ouverture à la transmission de données numériques de faibles volumes telles que les SMS ou les MMS, avec un débit théorique de 9,6 kbit/s.[4] Le réseau GSM a été le premier rôle de permettre des communications entre abonnés mobiles (GSM) et abonnés du réseau téléphonique commuté (RTC-réseau fixe). Il se distingue par un accès spécifique appelé la liaison radio. La figure I.1 présente l'architecture du réseau GSM

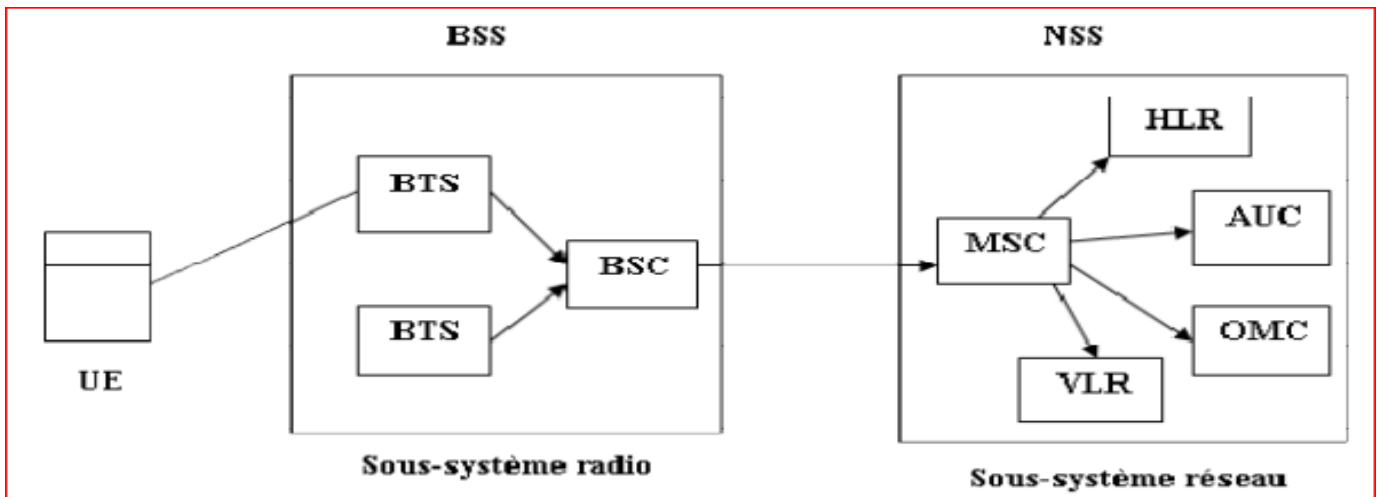


Figure I.1: Architecture du réseau GSM. [1]

a) Le sous-système radio :

Le sous-système radio gère la transmission radio. Il est constitué de plusieurs entités dont le mobile, la station de base (BTS, Base Transceiver Station) et un contrôleur de station de base (BSC, Base Station Controller).

***Le mobile** : Un utilisateur a seulement accès direct au téléphone et à la carte SIM (Subscriber Identity Module). Ces deux composants sont suffisants pour assurer l'ensemble des fonctions nécessaires à la gestion des déplacements et à la transmission. La principale fonction de la carte SIM consiste à stocker et à gérer un certain nombre d'informations. Le seul moyen d'identifier un mobile est la carte SIM. En effet, elle contient des données spécifiques telles que le code PIN (numéro d'identification personnel) et d'autres informations sur l'abonné, l'environnement radio et l'environnement de l'utilisateur.

Un numéro unique (IMSI, International Mobile Subscriber Identity) différent du numéro de téléphone connu de l'utilisateur (MSISDN, Mobile Station ISDN Number) est utilisé pour identifier un utilisateur dans la carte SIM.

***La station de base (BTS)** : L'élément central est la station de base, qui est un ensemble d'émetteur et de récepteur qui pilote une ou plusieurs cellules. Dans le réseau GSM, chaque cellule principale au centre d'une station base peut être divisée en plus petites cellules qui sont des portions de la cellule de départ et utilisent des fréquences porteuses différentes grâce à des antennes directionnelles. La station de base sert de relais entre le mobile et le sous-système réseau. Étant donné que le multiplexage temporel est limité à huit intervalles de temps, une station de base peut gérer jusqu'à huit connexions simultanément par cellule. Elle effectue les tâches de la couche liaison de données et de la couche physique. En cas de besoin, on peut exploiter une station de base localement ou par télécommande à travers son contrôleur de station de base.

***Le contrôleur de station de base (BSC)** : gestion d'une ou plusieurs stations de base et communication avec elles via l'interface A-bis. Ce contrôleur effectue diverses tâches au niveau de la communication et de l'exploitation. Le BSC agit comme un concentrateur pour les fonctions de communications des signaux en provenance des stations de base car il transfère les communications des différentes stations de base vers une sortie unique. Dans l'autre sens, le contrôleur transmet les données en direction de la station de base appropriée. Le BSC alimente la base de données des stations de base et sert de relais pour divers signaux d'alarme destinés au centre d'exploitation et de maintenance. La gestion des ressources radio pour la zone couverte par les différentes stations de base qui y sont connectées est une autre fonction importante. Cela permet au contrôleur de gérer les transferts intercellulaires des utilisateurs dans sa zone de couverture, c'est-à-dire lorsque une station mobile passe d'une cellule à une autre.

b) Le sous-système réseau :

Dans un réseau mobile, le sous-système de commutation du réseau, également connu sous le nom de sous-système de commutation du réseau (NSS), est crucial car ses composants prennent en charge toutes les fonctions de contrôle et d'analyse d'informations contenues dans des bases de données nécessaires à l'établissement de connexions en utilisant une ou plusieurs des fonctions suivantes : chiffrement, authentification ou roaming. Le NSS est constitué de :

Le centre de commutation mobile (MSC) : L'interface A relie le centre de commutation mobile au sous-système radio. Son rôle principal est d'assurer la commutation entre les abonnés du réseau mobile et ceux du réseau commuté public (RTC), ou son équivalent numérique, le réseau RNIS (ISDN en anglais). Il fournit divers services aux abonnés, comme la téléphonie, les services supplémentaires et les services de messagerie. Il est également possible de mettre à jour les diverses bases de données (HLR et VLR) qui contiennent toutes les données concernant les abonnés et leur localisation dans le réseau. Les commutateurs MSC d'un opérateur sont connectés l'un à l'autre pour la commutation interne des informations. De manière à garantir une interopérabilité entre les réseaux d'opérateurs, des MSC servant de passerelle (Gateway Mobile Switching Center, GMSC) sont placées en périphérie du réseau d'un opérateur.

L'enregistreur de localisation nominale (HLR) : Il s'agit d'une base de données avec un accès rapide qui contient des informations essentielles pour les services de téléphonie mobile afin de garantir un temps d'établissement de connexion aussi court que possible. Il contient :

- toutes les informations des abonnés telles que le type d'abonnement, la clé d'authentification Ki (cette clé est connue d'une seule carte SIM et d'un seul HLR), les services souscrits, le numéro d'abonné (IMSI), ect.

– Un certain nombre de données dynamiques telles que la position de l'abonné dans le réseau en fait, son VLR et l'état de son terminal (allumé, éteint, en communication, libre, . . .) .Les données dynamiques sont mises à jour par le MSC. Cette base de données est souvent unique pour un réseau GSM et seules quelques personnes y ont accès directement.

Le centre d'authentification (AuC) : Lorsqu'un abonné communique, l'opérateur doit s'assurer qu'il ne s'agit pas d'un usurpateur. Cette fonction de protection des communications est remplie par le centre d'authentification. Les normes GSM prévoient deux mécanismes pour ce faire :

1. Le chiffrement des transmissions radio : Ceci est considéré comme un cryptage faible qui ne tolère pas l'analyse cryptographique pendant une longue période.

2. L'authentification des utilisateurs du réseau au moyen d'une clé Ki : préparé dans le centre d'authentification et la station mobile. L'authentification s'effectue par la résolution d'un défi basé sur un nombre M généré aléatoirement et envoyé au mobile. Un algorithme identique (algorithme A3) présent sur la carte SIM et dans l'AuC produit un résultat basé sur la clé Ki et le nombre M. Lorsqu'un VLR reçoit l'identifiant d'un abonné, il demande au HLR du réseau de l'abonné le nombre M servant au défi et au résultat du calcul afin de le comparer à celui qui sera produit et envoyé par le mobile. L'utilisateur est reconnu et accepté par le réseau si les résultats concordent. Ce mécanisme d'authentification permet à un VLR d'accueillir un mobile appartenant à un autre réseau sans que la clé de chiffrement du mobile ne soit divulguée. Il existe trois niveaux de protection différents:

*La carte SIM qui empêche un utilisateur non enregistré d'accéder au réseau .

*Le cryptage des communications pour empêcher leur écoute .

*Protection de l'identité de l'abonné

L'enregistreur de localisation des visiteurs (VLR) : Il y en a plusieurs dans un réseau GSM qui sont connectés à un MSC. Elle contient également des données dynamiques que le HLR lui transmet lorsqu'un abonné entre dans la zone de couverture du centre de commutation mobile auquel elle est rattachée. Les données de l'abonné sont transférées à un autre VLR lorsqu'il quitte cette zone de couverture. En quelque sorte, les données suivent l'abonné.

L'enregistreur des identités des équipements (EIR) : Chaque terminal est identifié par un identifiant unique, appelé IMEI (International Mobile Station Equipment Identity), qui ne peut pas être modifié sans

altérer le terminal. Un opérateur peut décider de refuser l'accès au réseau en fonction des informations sur le terminal. Une telle base de données n'est pas mise en œuvre par tous les opérateurs.

Le centre d'exploitation et de maintenance : Il y a trois activités principales de gestion dans cette section du réseau : la gestion administrative, commerciale et technique. Elle est curieuse du fonctionnement des composants du réseau. Les alarmes, les pannes, la sécurité, etc. sont sous la tutelle de l'OMC. Ce réseau utilise un réseau de transmission de données qui est complètement séparé du réseau de communication GSM.

I.3.2.2 Le réseau GPRS (2.5G)

Le General Packet Radio Service (GPRS) est un protocole réseau qui permet un débit de données plus élevé pour la téléphonie mobile dérivée du GSM et complémentaire de celui-ci. Il est fréquemment appelé 2,5G (le chiffre 2,5 signifiant qu'il s'agit d'une technologie à mi-chemin entre la 2G et la 3G) ou 2G +

GPRS, qui est une extension du protocole GSM. Il ajoute la transmission par paquets, une méthode de transmission de données plus efficace. Pour être intégré dans une architecture GSM, il est nécessaire d'inclure de nouveaux noeuds réseau appelés GSN, qui sont situés sur un réseau fédérateur (backbone).

Le SGSN (Serving GPRS Support Node, ou Nœud de support GPRS de service) : Il s'agit d'un routeur capable de superviser les coordonnées des terminaux de la zone et de créer une interface de transit des paquets en utilisant la passerelle GGSN.

Le GGSN (Gateway GPRS Support Node, ou Nœud de support GPRS passerelle) : une plateforme qui interagit avec les autres réseaux de données, notamment internet. Il est principalement chargé de fournir aux terminaux mobiles une adresse IP pendant toute la durée de la connexion.

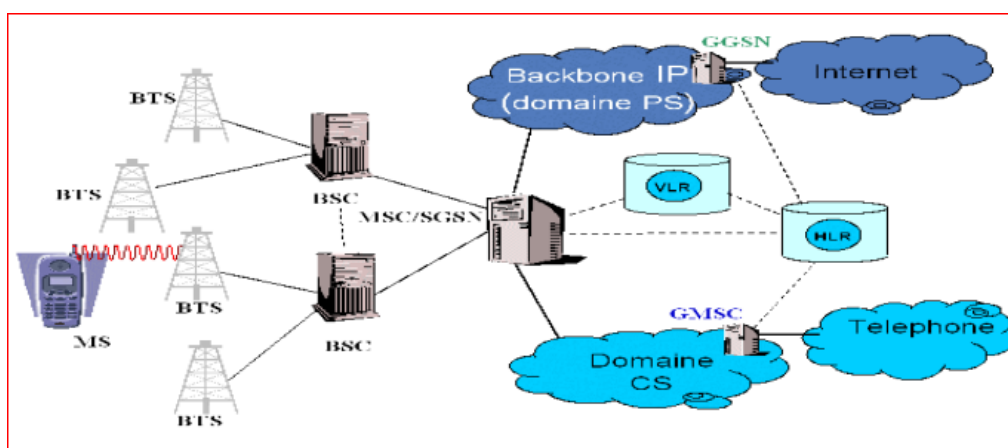


Figure I.2: Architecture du réseau GPRS. [5]

I.3.2.3 HSCSD ou EDGE (2.75G)

L'EDGE, également appelé 2.75G, est une évolution de la norme GSM qui modifie le type de modulation. Le standard EDGE sert de transition vers la troisième génération de réseau, tout comme le GPRS. EDGE utilise une modulation différente de celle de GSM, ce qui nécessite des modifications des stations de base et des terminaux mobiles. Dans la théorie EDGE, les stations fixes (piétons et véhicules lents) peuvent atteindre des débits jusqu'à 384 kbit/s et les stations mobiles (véhicules rapides) jusqu'à 144 kbit/s.

I.3.3 La troisième génération des téléphones mobiles (3G)

Le réseau mobile était déjà bien implanté avant l'arrivée de la 3G. Comme son nom l'indique, il s'agit de la troisième génération des types de réseaux sans fil, annonçant la fin du standard GSM, plus connu sous le nom de 2G.

Elle fut impulsée au début des années 2000, sous l'action de l'Union Internationale des Télécommunications (UIT) avec le sigle IMT-2000 qui va désigner l'ensemble des technologies d'accès radio et de réseaux cellulaires de la troisième génération.

La 3G n'est pas immédiatement intégrée à l'utilisation grand public, à cause des nombreuses limites techniques de l'époque (autonomie insatisfaisante des mobiles, l'instabilité des antennes, etc.).[4]

I.3.3.1 le réseau UMTS (3G)

En Europe, l'Universal Mobile Telecommunications System (UMTS) est une norme de télécommunications de troisième génération basée sur la technologie W-CDMA. Cette norme est également utilisée au Japon et en Corée. Elle a été introduite en 2004 et utilise une bande de fréquences allant de 1900 MHz à 2000 MHz. Les spécifications techniques de l'UMTS sont développées par l'organisme 3GPP.

L'UMTS est compatible avec les réseaux du monde entier grâce à sa capacité de roaming mondial. Cette norme permet le transport de données sans fil à haut débit sur une même connexion, ce qui en fait sa caractéristique distinctive. Pour cela, des amplificateurs ont été ajoutés avant chaque antenne afin d'amplifier le signal, permettant ainsi à une autre antenne de le recevoir en modifiant les techniques de modulation. Afin de rendre la connexion haut débit plus pratique, des améliorations ont été apportées aux terminaux tels que les smartphones et les tablettes. La mise en place d'un réseau UMTS permet à un opérateur existant d'offrir de nouveaux services basés sur le mode paquet, complétant ainsi les réseaux GSM et GPRS. L'architecture du réseau UMTS est illustrée dans la figure ci-dessous.:

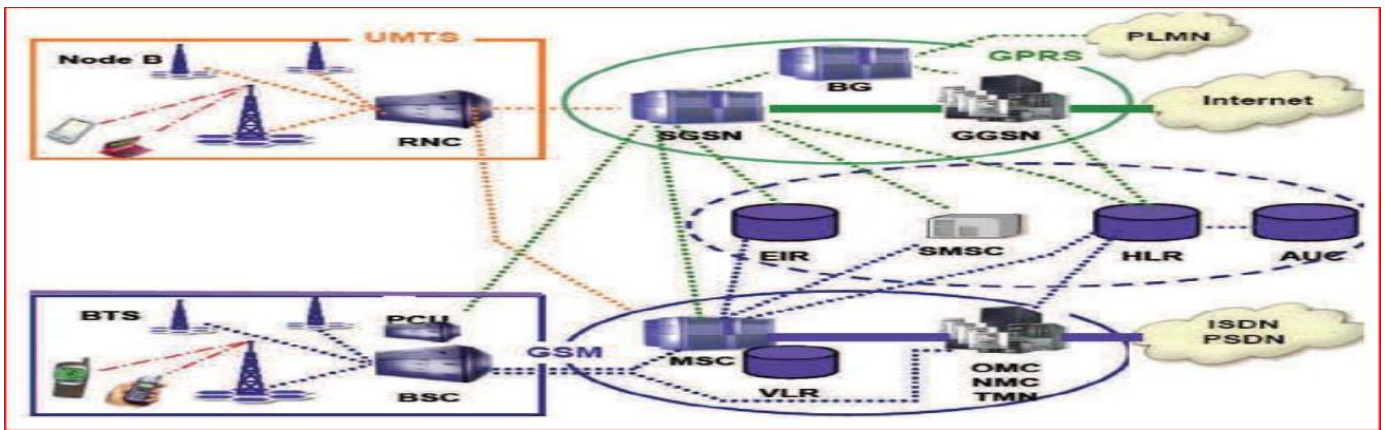


Figure I.3: Architecture du réseau UMTS. [6]

*Les fréquences utilisées :

Les bandes de fréquences adoptées sont : allouées pour UMTS sont 1885-2025 MHz et 2110-2200 MHz. L'UIT (Union Internationale des Télécommunications) a désigné des bandes des fréquences pour les différents systèmes de l'UMTS qui sont:

- Duplex temporel TDD (Time Division Demultiplexed) : 1885 à 1920 MHz (Uplink bande de 35MHz) et 2010 à 2025 MHz (downlink bande de 15 MHz).
- Duplex fréquentiel FDD (Frequency Division Demultiplexed) 1920 à 1980 MHz (Up Link bande de 60 MHz) et 2110 à 2170 MHz (downlink bande de 60 MHz).
- Bandes satellites : 1980 à 2010 MHz (uplink de 30 MHz) et 2170 à 2200 MHz (Downlink de 30 MHz).

*Le mode de transmission UMTS

L'UMTS utilise deux modes de transmission :

- **Le mode circuit** Le mode circuit est utilisé pour gérer en temps réel les services liés aux conversations téléphoniques, tels que la vidéo-téléphonie, les jeux vidéo et les applications multimédias. Le débit du mode circuit est de 384 Kbits/s.
- **Le mode paquet** permet également de gérer les services, mais pas en temps réel. Il est utilisé pour la navigation sur Internet, la gestion des jeux en réseau, ainsi que l'accès et l'utilisation des e-mails. C'est pourquoi les données sont envoyées en mode paquet. Ces applications sont moins sensibles aux délais de transfert, ce qui fait que le débit du mode paquet est environ sept fois plus rapide que le mode circuit, avec une vitesse d'environ 2 Mbits/s [6].

I.3.3.2 High Speed Downlink Packet Access (HSDPA / 3.5 G / 3G+)

Le 3G est une évolution du logiciel utilisé pour les communications sans fils sur les réseaux de téléphones mobiles. Il est également appelé 3,5 G ou 3G+. Pour simplifier, HSDPA est le terme utilisé pour décrire une technologie qui est en réalité appelée HSPA (High Speed Packet Access). En téléchargement, le débit théorique maximal est de 14,4 Mbit/s, tandis que dans l'autre sens, il est de 5,8 Mbit/s. Pas plus que les téléphones mobiles modernes, les réseaux des opérateurs ne sont pas encore capables de supporter ces débits. Aujourd'hui, la vitesse maximale est de 7,2 Mbit/s. De plus, cela ne concerne pas un téléphone, mais plutôt une liaison entre le réseau et une clé 3G+. En réalité, il est rare de dépasser 1,2 Mbit/s. À l'exception du logiciel amélioré, la technologie utilisée est la même que pour UMTS.

I.3.3.3 High Speed Uplink Packet Access (HSUPA /3.75G/ 3G++)

Le protocole de téléphonie mobile 3G appartenant à la gamme UMTS. Le substitut de HSDPA pour la voie montante, qui est présenté comme le remplaçant de HSDPA, permet un débit montant (Uplink) de 5,8 Mbit/s théorique, tandis que le débit descendant (Downlink) est de 14 Mbit/s, comme en HSDPA. Elle est divisée en deux catégories : **HSPA+ (High Speed Packet Access +)**: le flux uplink atteint les 05 Mb/s théoriques tandis que le flux downlink atteint 21 Mb/s.

Le DC-HSPA+ (Dual Carrier High Speed Packet Access +) offre un débit montant de 10 Mb/s théorique tandis que le débit descendant est de 42 Mb/s. Cette technologie est intéressante car elle permet d'envoyer des documents électroniques tels que des images et des vidéos à d'autres appareils mobiles, ce qui favorise le développement de l'Internet haut débit mobile. [5]

I.3.4 La quatrième génération des téléphones mobiles LTE (4G)

Dès novembre 2004, lors d'un atelier nommé Future Evolution Workshop par le 3GPP, le LTE a été considéré comme l'évolution à long terme de l'UMTS (d'où son nom de Long Term Evolution). Cette évolution était alors destinée à maintenir la compétitivité UMTS pendant dix ans ou plus [NTT DoCoMo et al., 2004]. Le 3GPP a commencé à travailler sur cette nouvelle norme en janvier 2005 avec une étude de faisabilité, qui s'est terminée en septembre 2006 avec la définition des principes fondamentaux de la technologie LTE [3GPP 25.912, 2006]. Les travaux de spécification se sont alors poursuivis jusqu'à décembre 2008, date à laquelle la première version des spécifications a été approuvée. [7]

I.4 CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons présenté le concept de base de la téléphonie mobile ainsi que les différentes générations de réseaux mobiles qui ont commencé par la première génération analogique et passant par l'ère du numérique avec la deuxième et la troisième génération pour arriver à la quatrième génération qui a amélioré les débits. Dans le prochain chapitre, nous allons détailler les réseaux de deuxième et troisième génération.

II-CHAPITRE II : ETUDE DÉTAILLE DES RÉSEAUX 4G

II.1 INTRODUCTION

Les services de communications mobiles suivent une évolution similaire à celle des services fixes, avec une transition accélérée vers un accès à très haut débit. Les réseaux 4G répondent aux demandes croissantes des utilisateurs mobiles en termes de qualité de service et de capacité de trafic du réseau. L'objectif de ce chapitre est de fournir une vue d'ensemble complète du réseau utilisé en LTE, de bout en bout..

II.2 LES RÉSEAUX LTE OU 4G

La La LTE (Long Term Evolution) est une norme de communication proposée par l'organisme 3GPP (3rd Generation Partnership Project), une collaboration entre différentes organisations de télécommunications telles que l'UIT (Union Internationale des Télécommunications). Elle a été développée pour améliorer la norme UMTS des réseaux cellulaires de troisième génération (3G).

La LTE offre des débits élevés pour les applications en temps réel, avec une grande portée. En théorie, elle peut atteindre des débits allant jusqu'à 50 Mbit/s en liaison montante et 150 Mbit/s en liaison descendante. La norme LTE propose plusieurs bandes de fréquences, avec une largeur allant de 1,25 à 20 MHz en liaison montante et en liaison descendante, ce qui permet à un opérateur de couvrir une vaste zone géographique.

Initialement considérée comme une norme de troisième génération "3.9G", la LTE s'est rapprochée de la 4G, ce qui a conduit à l'appellation "4G". Cependant, elle ne satisfaisait pas toutes les spécifications techniques imposées par la norme 4G de l'UIT. Par conséquent, le 3GPP continue de la faire évoluer pour aboutir à la norme LTE-Advanced, que nous aborderons ultérieurement.

II-3 QUEL EST LE BUT DE 4G?

L'objectif principal de la 4G est d'améliorer le support des services en augmentant la capacité du système, en augmentant les débits, en réduisant la latence et en offrant une meilleure qualité de service.

Les réseaux de quatrième génération visent principalement à

-assurer la continuité de la session en cours .

Réduire le trafic et les délais de signalisation .

-fournir un service de qualité supérieure .

-Maximiser l'efficacité de l'utilisation des ressources.

-Réduisez le temps de relevé, le temps de bout-en-bout, le temps de gigue et la perte de paquets .

-Réduire les frais de signalisation.[3]

II-4 ARCHITECTURE GÉNÉRALE DE RÉSEAUX LTE

La figure II.1 illustre l'architecture générale d'un réseau LTE, composé d'un réseau d'accès, d'un réseau cœur et d'autres éléments permettant la connectivité entre les réseaux LTE et les réseaux existants 3GPP, les réseaux IP, les réseaux téléphoniques commutés (PSTN) ainsi que les réseaux non 3GPP tels que le WiFi et le Wimax. Les téléphones portables "dual mode" offrent l'accès à la fois au réseau LTE et aux réseaux 3GPP existants.

Comparé aux architectures UMTS et GSM, le réseau LTE présente moins de nœuds, ce qui permet de réduire les délais et d'améliorer les performances du système [9].

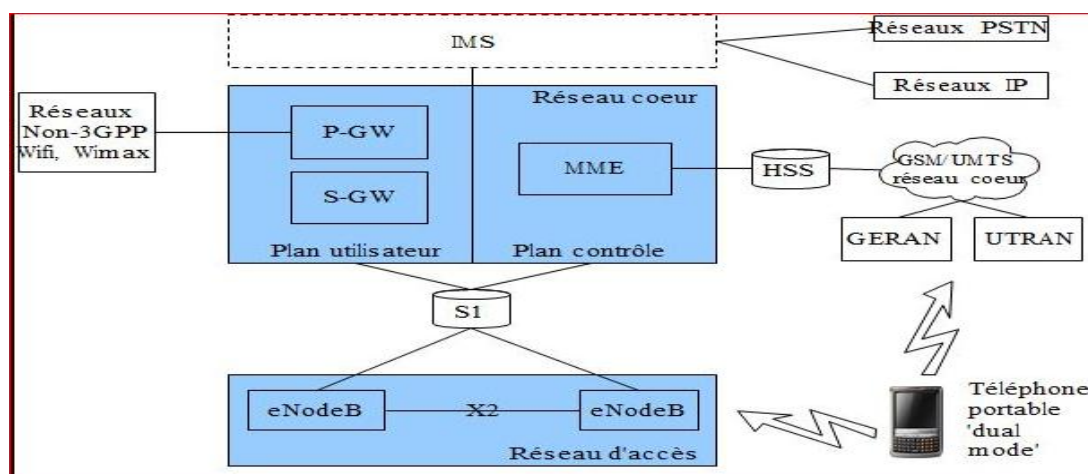


Figure II.1: L'architecture générale du réseau LTE. [9]

II-4-1 Réseau d'accès (Access Network)

II-4-1-1 Caractéristiques du réseau d'accès :

- a) **Débit de l'interface radio** : En prenant en compte une allocation de bande de fréquence de 20 MHz pour le sens descendant et une allocation de bande de fréquence de 20 MHz pour le sens montant, l'interface radio E-UTRAN doit être capable de supporter un débit maximum instantané de 100 Mbit/s. Le sens descendant est couvert par OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access), tandis que le sens montant est couvert par SC-FDMA (Single Carrier - Frequency Division Multiple Access). Cela indique une efficacité du spectre de 5 bits/s/Hz dans le sens descendant et de 2,5 bits/s/Hz dans le sens montant. [10]
- b) **Connexion permanente** : Le principe de l'accès haut débit consiste à avoir une connectivité permanente pour accéder à Internet. Mais lorsqu'il s'agit d'envoyer ou de recevoir du trafic, le terminal doit passer de l'état IDLE à l'état ACTIF, même si la connexion au niveau du réseau est permanente.[10]
- c) **Délai pour la transmission de données** : En situation de non-charge où un seul terminal est ACTIF sur l'interface radio, le délai entre l'UE et l'Access Gateway est de moins de 5 ms. En situation de

charge moyenne de l'interface radio, la valeur moyenne du délai devrait être d'environ 25 ms. Cela permet aux services temps réel IP tels que la voix sur IP et le streaming sur IP de fonctionner.[10]

- d) **La mobilité** : Elle a roulé à une vitesse de 120 à 350 km/h. Dans des conditions où l'utilisateur se déplace à grande vitesse, le transfert peut être effectué (le LTE ne permet que le transfert dur et non pas le transfert doux).[10]
- e) **Coexistence et interfonctionnement avec la 3G** : Il est nécessaire que le passage entre E-UTRAN (LTE) et UTRAN (3G) se fasse en moins de 300 ms pour les services temps-réel et 500 ms pour les services non temps-réel. Il est évident que peu de zones seront couvertes au début du déploiement du LTE. L'opérateur doit s'assurer que le passage du LTE au 2G/3G est toujours possible. Il est également possible de passer du LTE aux réseaux CDMA-2000. Les opérateurs CDMA avanceront également vers le LTE, qui deviendra le véritable standard de communication mobile de quatrième génération. [10]
- f) **Flexibilité dans l'usage de la bande** : Il est nécessaire que l'E-UTRAN puisse fonctionner dans des allocations de bande de fréquence de tailles variées, telles que 1.25, 2.5, 5, 10, 15 et 20 MHz.[10]
- g) **Support du multicast** : Il est crucial pour les applications multimédia telles que la télévision en direct.[10]
- h) **Couverture de cellule importante dans les zones urbaines et rurales** : Il sera possible de considérer des cellules capables de couvrir un large diamètre car le LTE pourra fonctionner sur une variété de bandes de fréquences, notamment basses comme les 700 MHz [10].L'EPC (Evolved Packet Core) et l'E-UTRAN sont les nouveaux blocs de l'architecture, également appelés EPS(Evolved Packet System).Une architecture simplifiée de la partie EPS du réseau LTE est présentée à la Figure II.2.

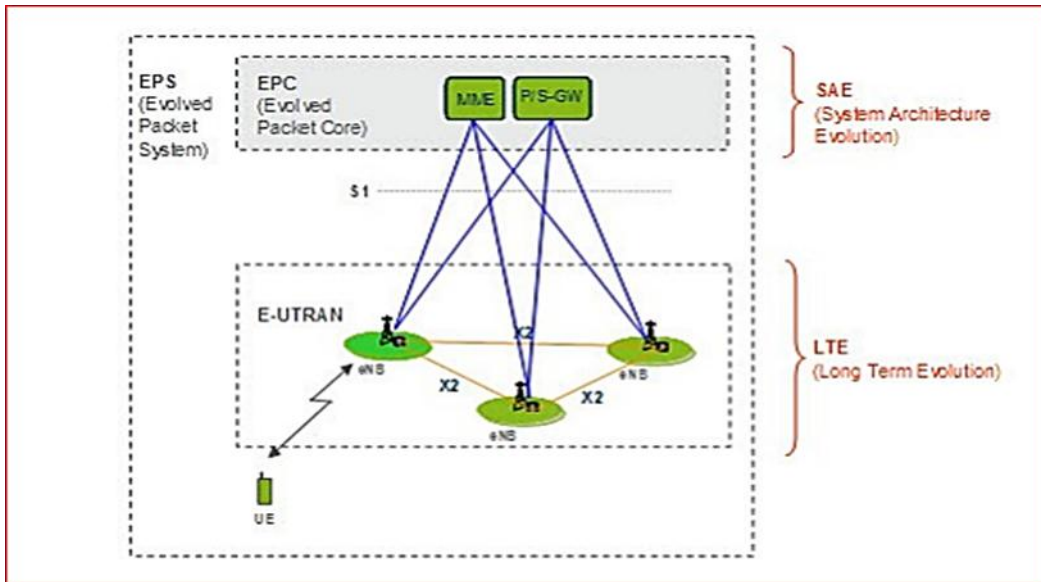


Figure II.2: Architecture d'EPS (evolved packet System).[10]

II-4-2 EPC : Evolved Packet Core

Le coeur de réseau « EPC » (Evolved Packet Core) utilise des technologies « full IP » pour la signalisation, ce qui réduit les temps de latence et facilite le transport de la voix et des données. Ce cœur de réseau permet aux autres eNodeB distants, aux réseaux d'autres opérateurs mobiles, aux réseaux de téléphonie fixe et à Internet d'interagir via des routeurs. Comme il garantit la mobilité entre les systèmes basés sur 3GPP et non basés sur 3GPP, comme WIMAX et CDMA2000, EPC simplifie l'architecture du réseau IP.

La figure ci-dessous illustre comment le réseau coeur EPC est composé de plusieurs éléments.:

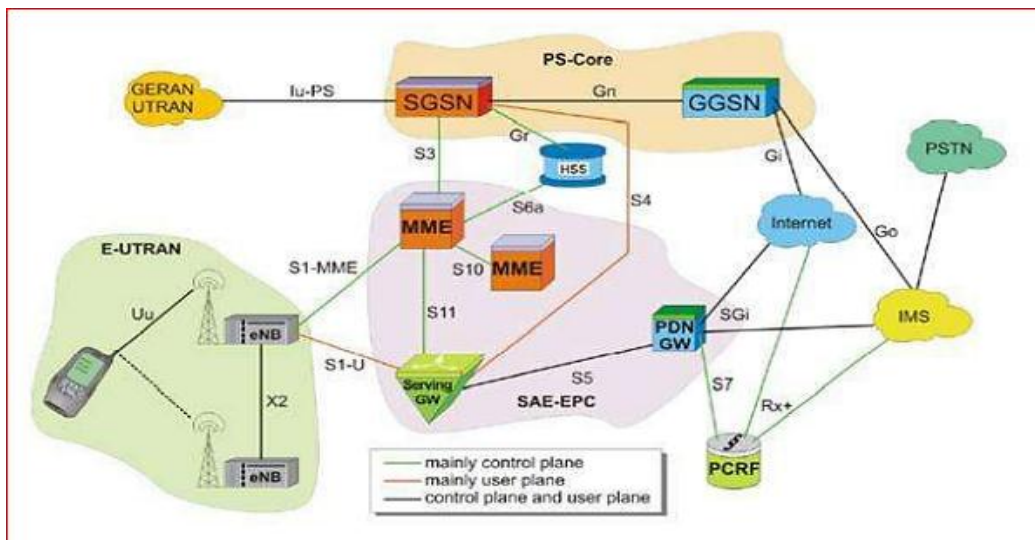


Figure II.3 Architecture globale du réseau coeur EPC.[10]

L'architecture SAE repose sur EPC. Il joue le même rôle que le NSS dans le réseau GPRS. Le coeur du réseau est composé de deux composants distincts:

II-4-2-1 La partie signalisation :

Le MME gère la mobilité et la connexion des abonnés sur le réseau. Le HSS est une base de données qui permet d'authentifier les abonnés, de consulter leurs abonnements et de chiffrer les communications. Le PCRF est une politique tarifaire qui permet de gérer l'accès au réseau de données (PDN) en fonction du forfait de l'abonné.

* **MME : Mobility Management Entity** Cette section est chargée de localiser et de poursuivre le terminal mobile (UE) entre les appels et de choisir une S-GW (Serving-GetWay) appropriée à travers une connexion. Comme elle réalise le dernier point de protection par codage, elle valide l'interception du signal. En conséquence, elle supervise la transmission du signal entre l'équipement utilisateur (UE) et le réseau central, ainsi que la création, la maintenance et l'expansion des services de la porteuse radio.

* **HSS : Home Subscriber Service** La base de données, qui est similaire au HLR sur les réseaux coeur GSM / WCDMA, contient les informations associées au souscripteur (les abonnés voisins), ainsi que l'appel de contrôle et la gestion de session. Elle est 5 principalement utilisée pour l'authentification, l'autorisation, la sécurité et le débit et fournit à l'utilisateur une localisation détaillée.

* **PDN-GW: Packet Data Network GatWay** C'est une porteuse de chemin de données à trois segments entre UE et PDN :

-une porteuse radio entre UE et eNodeB

-une porteuse de données entre eNodeB et SGW

-une porteuse de données entre SGW et PDN .

* **PCRF: Policy and Charging Rules Function** Elle est responsable de la prise de décision du contrôle principal. Elle fournit une autorisation QoS pour sélectionner le traitement des données en fonction de l'abonnement des utilisateurs.

* **SGW: la passerelle de service (Serving Gateway)** est la liaison principale entre le réseau d'accès radio et le réseau cœur. Elle achemine les paquets de données, assure la continuité de la connexion lors des handovers inter-eNodeB, gère les transferts inter-systèmes entre LTE et GSM/UMTS, et conserve le contexte du terminal mobile (UE) ainsi que les paramètres de la porteuse de service et du routage des informations.

* **P-GW: Packet-Switch GetWay** fournit la connectivité du terminal mobile (UE) au paquet de réseau d'information externe, alloue les adresses IP d'un UE et les applications QoS, maintient la connexion mobile entre le système LTE/UMTS/GSM et le système non 3GPP.

* **SGSN : Serving GRPS Support Nom**

Pour améliorer la mobilité, cette section interconnecte les réseaux LTE, UMTS et GSM.

II-4-3 La partie radio E-UTRAN

La composante radio du réseau, connue sous le nom d'"eUTRAN", présente une simplification par rapport aux réseaux 2G (BSS) et 3G (UTRAN). Cela est dû à l'intégration des stations de base, appelées "eNodeB", qui sont connectées par des liaisons en fibres optiques et des liens IP (liens X2) permettant la communication entre les eNodeB. De plus, les fonctions de contrôle qui étaient précédemment implémentées dans les RNC (Radio Network Controller) des réseaux 3G UMTS ont été intégrées dans les eNodeB.

Cette partie du réseau est responsable de la gestion des ressources radio, des porteuses, de la compression, de la sécurité et de la connectivité vers le réseau cœur évolué.

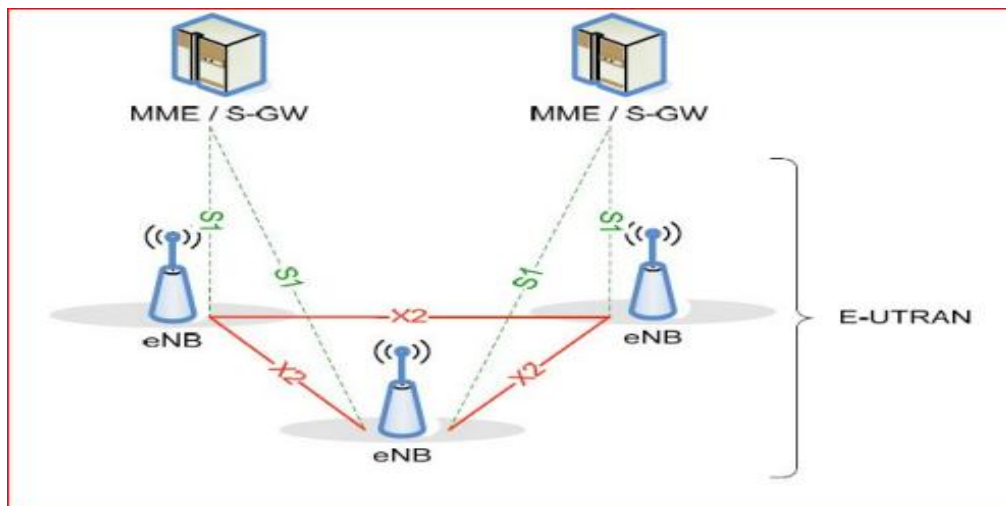


Figure II.4 : Architecture de l'E-UTRAN.[10]

* **eNodeB**

L'eNodeB est l'équivalent du BTS dans le réseau GSM et du NodeB dans le réseau UMTS. La fonctionnalité de transfert est plus efficace dans LTE. Ce sont des antennes qui utilisent les interfaces RF air pour connecter les UE au réseau cœur du LTE. De plus, eNodeB a la capacité de contrôleur radio, ce qui signifie que le résultat est plus efficace et que le réseau est moins latent. Par exemple, eNodeB détermine la mobilité au lieu de BSC ou RNC.

II-5 LES CARACTÉRISTIQUES FONDAMENTALES DE LA 4G

La 4G permet effectivement d'avoir des performances Qos très fiables, en citant quelques paramètres ci-dessous:

II-5-1 Débits et fréquences du réseau 4G

La capacité de calcul suit une progression similaire à celle des débits. Chaque nouvelle technologie de réseau mobile suscite l'attente de débits plus élevés. Depuis 2004, il était également évident que le LTE devait offrir des débits très élevés. Au-delà des limites de capacité, le débit d'un utilisateur dépend de ses conditions radio, notamment sa position dans la cellule, les méthodes de transmission utilisées et la ressource spectrale disponible.

Les normes de performances courantes pour les réseaux 4G sont les suivantes : 100 Mbit/s sur le lien radio descendant (mobile vers antenne relais) et 50 Mbit/s maximum sur le lien radio montant (mobile vers antenne relais). La technologie LTE fonctionne sur différentes fréquences en fonction de la zone géographique couverte : le réseau Verizon Wireless fonctionne sur 700 MHz aux États-Unis, le réseau Verizon Wireless fonctionne sur 2,6 GHz et 800 MHz en Europe, et le réseau japonais de NTT Docomo fonctionne sur 2,1 GHz.

Les objectifs de débit maximum pour le LTE sont les suivants :

* 100 Mbit/s en voie descendante pour 20 MHz de largeur de bande, ce qui entraîne une efficacité spectrale crête de 5 bit/s/Hz .

* 50 Mbit/s en voie montante pour 20 MHz de largeur de bande, ce qui entraîne une efficacité spectrale crête de 2,5 bit/s/Hz.

Ces chiffres prennent en compte une UE de référence qui comprend

-deux antennes en réception

-une antenne en émission.

Au niveau de l'UE, aura dispose de deux antennes de démission et de deux antennes de réception pour le LTE .

Ainsi, l'utilisateur peut facilement accéder à ses services préférés à la maison ou à l'extérieur. Le débit est également considéré comme un moyen de comparer les opérateurs, et une course aux débits est en cours dans certains pays. Enfin, des débits plus élevés permettent aux opérateurs d'introduire de nouveaux services, sources de revenus et/ou de différenciation [11]

II-5-2 Latence

A. Latence du plan de contrôler

L'objectif ciblé par le LTE est d'améliorer la latence du plan de contrôle par rapport à l'UMTS, en réduisant le temps de transition à moins de 100 ms entre l'état de veille de l'UE et l'état actif permettant l'établissement du plan utilisateur..

B. Latence du plan usager

La La latence du plan utilisateur correspond au temps de transmission d'un paquet entre la couche IP de l'UE et la couche IP d'un nœud du réseau d'accès, et vice versa. En d'autres termes, il s'agit du délai de transmission d'un paquet IP à l'intérieur du réseau d'accès. Dans le cadre du LTE, l'objectif est d'avoir une latence du plan utilisateur inférieure à 5 ms dans des conditions de faible charge réseau et pour des paquets IP de petite taille. Le tableau II-1 présente les deux types de latence existants dans le réseau LTE, ainsi que leurs différences en fonction du mode de duplexage (FDD et TDD). La latence du plan de contrôle pour la transition de l'état de veille à l'état actif est de 80 ms pour FDD et de 85 ms pour TDD, tandis que la latence du plan utilisateur est maintenue en dessous de 5 ms (pour FDD) et inférieure ou égale à 6.2 ms en liaison descendante et à 9.5 ms en liaison montante (pour TDD)

| Latence du plan usager (ms) | | Latence du plan de contrôler pour la transition de l'État de veille à actif (ms) | |
|-----------------------------|------------------------------|--|-----|
| FDD | TDD | FDD | TDD |
| <5 | <= 6.2 EN DL <= 9.5 EN UL | 80 | 85 |

Tableau II-1: La latence pour chaque multiplexage.[11]

II-5-3 L'agilité en fréquence

Afin de s'adapter à diverses allocations spectrales, le LTE doit pouvoir fonctionner sur des porteuses de différentes largeurs. Les largeurs de bande initialement nécessaires, m, ont été défiées pour devenir les suivantes : 1,4 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz et 20 MHz. Notez que le débit crête est

proportionnel à la largeur de bande. Pour toutes ces largeurs de bande, les modes de duplexage FDD et TDD doivent être pris en charg..[11]

II-5-4 Codage et sécurité

L'utilisation du codage OFDMA (Accès multiple par répartition en fréquence orthogonale) est une technologie de codage radio utilisée dans la liaison descendante, tandis que le SC-FDMA (Accès multiple par répartition en fréquence à porteuse unique) est utilisé dans la liaison montante en remplacement du W-CDMA dans l'UMTS.

L'OFDMA et sa variante SC-FDMA sont dérivés du codage OFDM utilisé, par exemple, dans les liens ADSL et les réseaux Wi-Fi. Cependant, contrairement à l'OFDM, l'OFDMA est spécifiquement optimisé pour l'accès multiple, ce qui signifie qu'il permet le partage simultané des ressources spectrales (bande de fréquence) entre plusieurs utilisateurs éloignés les uns des autres. L'OFDMA est également compatible avec la technologie des antennes MIMO.[11]

II-5-5 Multiplexage

Il existe deux méthodes différentes pour le multiplexage de fréquences :

Le fonctionnement en mode dual est prévu par les spécifications LTE : multiplexage de fréquence (FDD) et multiplexage temporel (TDD). En mode FDD, l'émission et la réception se font à des fréquences différentes .

En mode TDD, l'émission et la réception transitent à la même fréquence, mais à des instants différents. En France, les candidats peuvent postuler pour le premier mode (FDD). Il est également disponible dans les équipements télécoms et est utilisé dans la majorité des premiers réseaux 4G LTE autorisés. Le deuxième mode (TDD) fonctionne sur différentes bandes de fréquences qui seront attribuées plus tard..[11]

II-5-5-1 Structure d'une trame LTE

La durée d'une trame LTE est de 10 ms. Elle est divisée en dix segments d'une durée de 1 ms. Chaque sous-trame est divisé en deux slots de 0,5 ms. Ainsi, une fenêtre dure 0,5 ms et 7 symboles sont transmis par une bande OFDM pendant cette durée. Nous avons également constaté qu'il y avait douze bandes .

Ainsi, 7 symboles *12 bandes = 84 symboles sont transmis en 0,5 ms.

La figure II-5 présente la trame radio dans le réseau LTE.

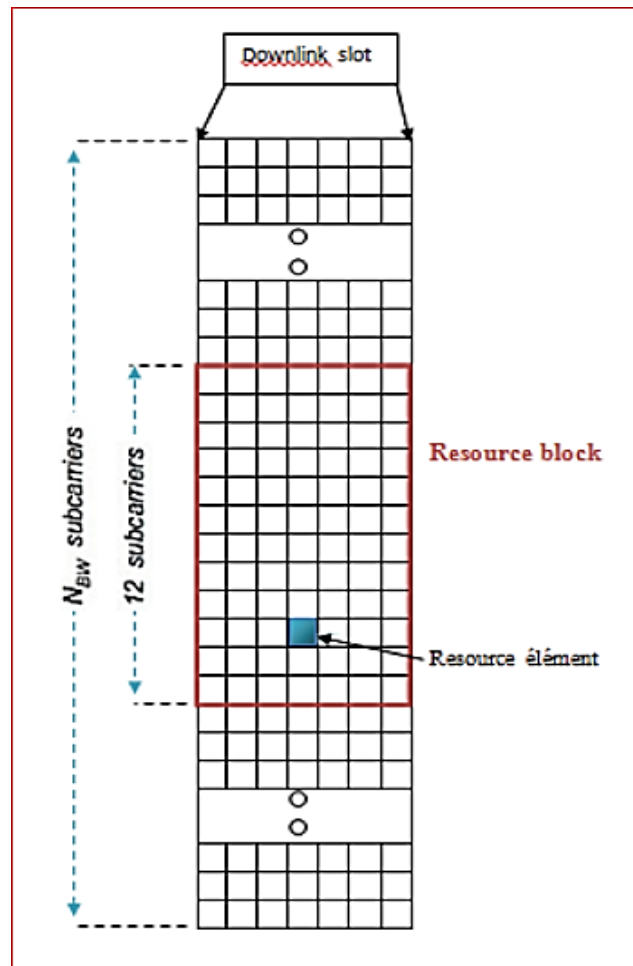


Figure II-5 : Le fonctionnement d'une trame radio.[11]

Selon la modulation choisie (QPSK à 128 QAM), un seul symbole peut transmettre entre 1 bit et 6 bits. Un symbole représente un carton, et un carton peut contenir une ou six boîtes. Nous préférons les donc 128 QAM (6 bits à transmettre) si le mobile et la station de base sont proches (transport peu éloigné entre le point A et le point B), mais si nous souhaitons transporter le plus de boîtes, nous avons intérêt à mettre 6 boîtes par carton, ce qui fragilise encore plus le transport .

Les deux types de structures qui composent les transmissions downlink et uplink sont :

La structure de type 1 consiste en un duplex de fréquence division FDD.

- La structure de type 2 est un duplex avec une séparation temporelle TDD.

A. Structure de type 1 : FDD

Dans le domaine des télécommunications sans fil, le terme FDD (Frequency Division Duplexing) fait référence à une technique de duplexage. Les données sont envoyées et reçues à des fréquences différentes ;

autrement dit, la fréquence de la porteuse du signal varie selon que le sens de la liaison est montant ou descendant.

Le principal avantage de cette méthode par rapport à l'autre technique majeure de duplexage, le Time Division Duplexing (TDD), est qu'elle permet d'émettre et de recevoir simultanément. La trame FDD est représentée à la figure II-6.

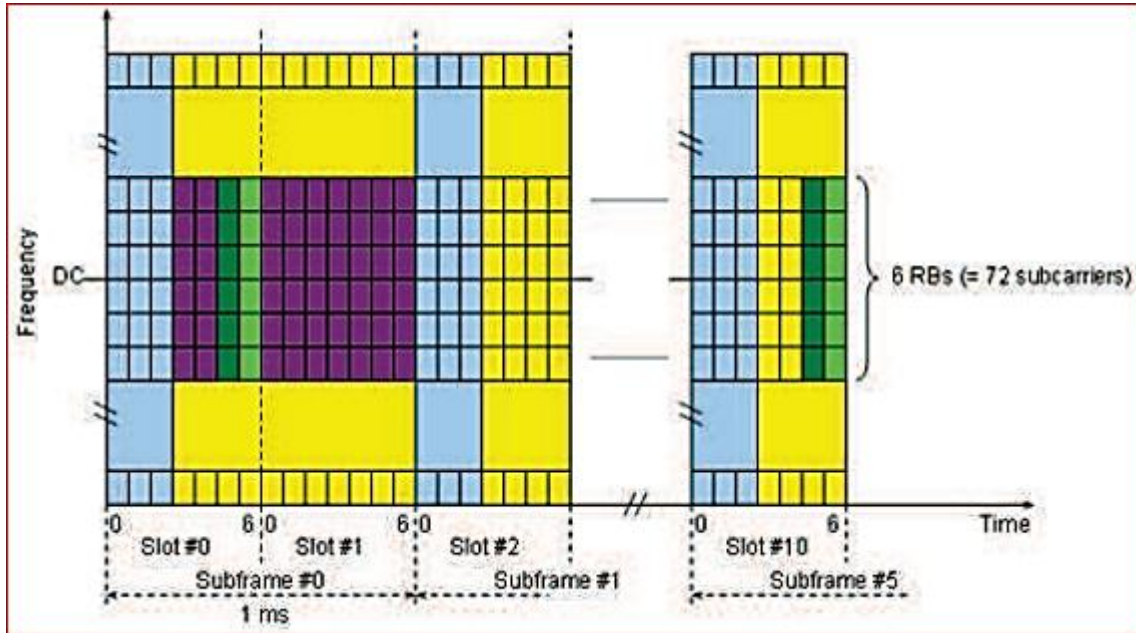


Figure II-6: Structure de la trame radio.

Comme indiqué dans la figure II-6, nous pouvons représenter un signal LTE sur une carte à deux dimensionnelles. Le domaine de temps est représenté par l'axe horizontal et le domaine de temps est représenté par l'axe vertical. Comme indiqué dans la figure II-6, nous pouvons représenter un signal LTE sur une carte à deux dimensionnelles. Le domaine de temps est représenté par l'axe horizontal, tandis que le domaine de fréquence est représenté par l'axe vertical .

Un transporteur sous minimal sur l'axe vertical et un symbole minimal sur l'axe horizontal. Tant Il y a plusieurs hiérarchies d'unités dans le domaine de temps que dans le domaine de fréquence, ce qui signifie qu'une combinaison de plusieurs unités plus petites devient de plus grandes unités.

B.Structure de type 2 : TDD

Le duplex avec une division temporelle Une technique appelée TDD (Time-Division Duplex) permet à un canal de télécommunication utilisant une même ressource de transmission (un canal radio par exemple) de séparer l'émission et la réception dans le temps. Dans les cas où les débits d'émission et de réception sont variables et asymétriques, cette méthode présente un avantage certain. Davantage ou moins de bande

passante peut être allouée lorsque le débit d'émission augmente ou diminue. Les terminaux mobiles en position fixe ou se déplaçant à très faible vitesse constituent un autre avantage de cette technique. Avec un système TDD, la technique de "beamforming" est très efficace dans ce cas.

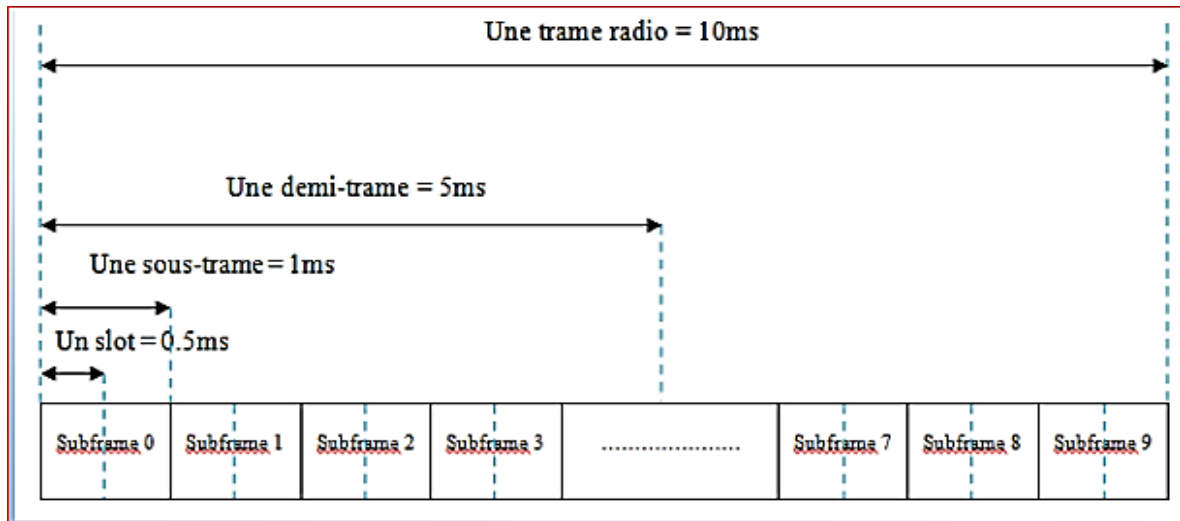


Figure II-7: Les slots d'une trame radio[11].

L'avantage de LTE est qu'il peut s'adapter aux anciennes normes existantes. Ainsi, il est possible de passer à l'UMTS FDD (W-CDMA), à l'UMTS TDD et au GSM/EDGE.

Les tableaux II-2 et II-3 présentent respectivement les bandes de fréquences utilisées pour le FDD ainsi que pour le TDD.

| Bandes | Fréquences UL/DL (MHz) |
|--------|------------------------|
| 33.34 | 1900-1920 2010-2025 |
| 35.36 | 1850-1910 1930-1990 |
| 37 | 1910-1930 |
| 38 | 2570-2620 |
| 39 | 1880-1920 |
| 40 | 2300-2400 |

Tableau II-3 : Les bandes de TDD.[11]

| Bandes | Fréquences UL/DL (MHz) |
|--------|------------------------|
| 1 | 1920-1980/2110-2170 |
| 2 | 1850-1910/1930-1990 |
| 3 | 1710-1785/1805-1880 |
| 4 | 1710-1755/2110-2155 |
| 5 | 824-849/869-894 |
| 6 | 830-840/875-885 |
| 7 | 2500-2570/2620-2690 |
| 8 | 880-915/925-960 |
| 9 | 1750-1785/1845-1880 |
| 10 | 1710-1770/2110-2170 |
| 11 | 1428-1453/1476-1501 |
| 12 | 698-716/728-746 |
| 13 | 777-787/746-756 |
| 14 | 788-798/758-768 |
| 15 | 704-716/734-746 |

Tableau II-2: Les bandes de FDD.[11]

II-5-6 La mobilité

Une fonctionnalité essentielle des réseaux mobiles est la mobilité. Le LTE est conçu pour des vitesses de l'UE faibles (entre 0 et 15 km/h), mais reste fonctionnel pour les véhicules de l'UE à des vitesses élevées (jusqu'à 350 km/h et même 500 km/h en fonction de la bande de fréquence). Les mouvements handovers intra-systèmes (processus de mobilité entre deux cellules LTE) ont moins d'impact sur la qualité vocale qu'en GSM ou équivalent. Lors d'un transfert intra-système, le système intègre également des mécanismes pour réduire les délais et la perte de paquets . [11]

II-5-7 Modulation adaptative et codage

principalement grâce à l'utilisation de la modulation 16 QAM (Modulation Quadrature Amplitude à 16 États). Par rapport à la modulation QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) utilisée pour l'UMTS, qui est basée sur deux porteuses de même fréquence déphasées de 90 degrés, soit 2 puissance 2 = 4 états d'information, cette modulation permet de doubler la capacité de transfert. En revanche, la 16 QAM utilise deux niveaux d'amplitude et deux porteuses en quadrature, ce qui donne 16 états d'information, soit 2 puissance 4 = 16 états d'information. Chaque modulation est utilisée pour créer un lien spécifique, comme :

Les modulations Downlink sont QPSK, 16QAM et 64QAM .

Les modulations Uplink sont QPSK et 16QAM.

II-5-7-1 La modulation 16QAM

La modulation d'amplitude en quadrature (QAM) est une forme de modulation d'une porteuse en modifiant l'amplitude de la porteuse elle-même et une onde en quadrature (une onde déphasée de 90° avec la porteuse) en fonction des informations transmises par deux signaux d'entrée [11].

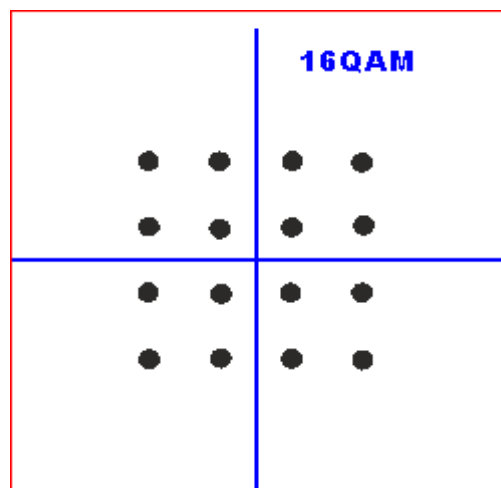


Figure II-8: Constellation QAM à 16 états.[12]

En fonction des informations à transmettre, l'amplitude et la phase de la porteuse sont simultanément modifiées. Le nombre de bits pouvant être transmis en une fois peut être augmenté ou diminué pour améliorer la fiabilité de la transmission en générant moins d'erreurs binaires, comme le montre la figure II-8 .

Le type de modulation QAM est indiqué avant le nombre de points de la constellation. Dans le domaine des télécommunications par fibre optique, le format de modulation QAM est de plus en plus étudié pour répondre à l'augmentation du débit.

II-5-7-2 La modulation QPSK

Un oscillateur local à la fréquence quadruple produit deux signaux FI en quadrature. I et Q sont les noms des deux "sous-trains" du train de donnée binaire. Un symbole est une paire de valeur .

Pour des considérations électroniques, les signaux I et Q sont centrés sur 0V. Il est possible de supposer que I et Q reçoivent symboliquement deux niveaux +1, -1 qui représentent les états binaires .

Ils attaquent tous un multiplicateur. Chaque multiplication est sommée à la sortie pour obtenir un signal module $v_s(t) : I \cos wt + Q \sin wt = V_s(t)$

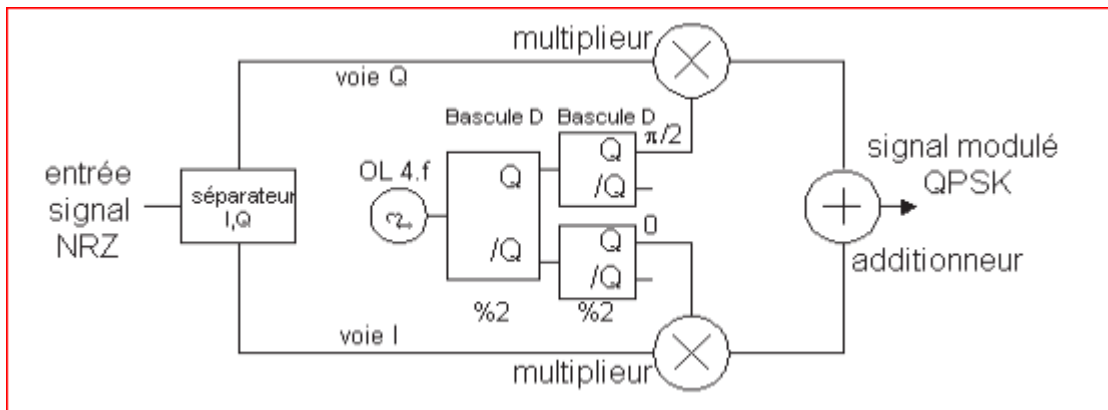


Figure II-9 : Schéma du principe du modulateur QPSK .[11]

Dans le plan I, Q, les états de phase du signal module sont représentés en coordonnées polaires. Le diagramme de communément constellation est obtenu en combinant ces derniers. [11].

II-5-8 Les types de transmission utilisée dans la 4 G

L'utilisation de ces deux techniques OFDMA et SC-FDMA en tant que porteurs de signal et régimes d'accès est un élément clé de la LTE.

II-5-8-1 OFDMA

L'OFDMA est une technique de codage radio utilisée dans les réseaux de téléphonie mobile de quatrième génération LTE. Elle appartient à la catégorie "Accès multiple par répartition en fréquence" et est également utilisée dans d'autres systèmes de radiocommunication tels que les normes améliorées des réseaux locaux sans fil WIFI (IEEE 802.11 versions n, IEEE 802.22 et WiBro), ainsi que certaines normes de télévision numérique.

L'objectif de l'OFDMA, tout comme d'autres méthodes de codage permettant l'accès multiple (TDMA, FDMA, CDMA), est de partager une ressource radio commune (bande de fréquence) et d'allouer dynamiquement des parties de cette ressource à plusieurs utilisateurs.

* Origine et avantages

Le codage OFDM est à l'origine de l'OFDMA et de sa variante SC-FDMA, mais contrairement à l'OFDM, l'OFDMA est optimisé pour l'accès multiple et est compatible avec la technique des antennes MIMO .

Grâce à sa grande efficacité spectrale (nombre de bits transmis par Hertz) et à sa capacité à conserver un débit élevé même dans des environnements défavorables avec des échos et des trajets multiples d'ondes rafraîchissantes, l'OFDMA a attiré l'attention comme une alternative séduisante au codage CDMA utilisé dans les réseaux 3G UMTS, particulièrement dans le sens de la transmission downlink des réseaux mobiles.

Ce codage (comme le CDMA utilisé dans les réseaux mobiles 3G) permet une réutilisation des fréquences égale à "1", ce qui signifie que les cellules radio voisines peuvent réutiliser les mêmes fréquences.

* Principes

Le processus de codage OFDMA implique la transformation numérique d'un ou plusieurs signaux binaires en échantillons numériques qui doivent être diffusés sur une ou plusieurs antennes radio. En réception, le signal radio subit le traitement inverse.

L'OFDMA consiste à répartir le signal numérique souhaité sur un grand nombre de sous-porteuses, ce qui entraîne un débit plus faible sur chaque canal pour un même débit global et un temps d'émission de chaque symbole plus long (66.7 μ s pour le LTE). Cela réduit les problèmes de fading et d'interférences entre les

symboles causés par les « chemins multiples de propagation » présents dans les liaisons radio de moyenne et longue portées. Lorsque le débit binaire sur une porteuse est élevé, l'Écho d'un symbole arrivant en retard en raison d'une propagation multi-trajets perturbe un ou plusieurs symboles suivants.

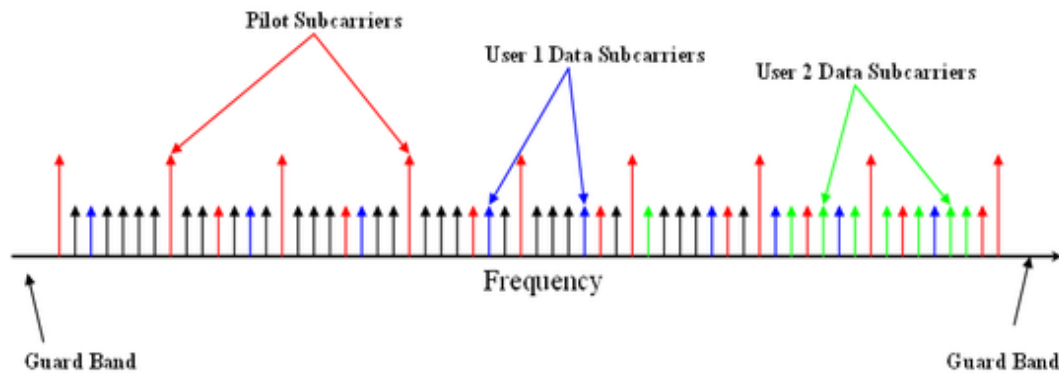


Figure II-10: Les porteuses de l'OFDMA.[12]

Une "Transformée de Fourier Rapide" (FFT) est suffisante pour séparer les sous-porteuses les unes des autres, éliminant ainsi la nécessité de filtrer individuellement chaque sous-porteuse lors du décodage dans le terminal de réception. Le système LTE prend en charge jusqu'à 1200 sous-porteuses indépendantes.

En utilisant des signaux orthogonaux pour les sous-porteuses contiguës, on évite les interférences mutuelles. Cela est réalisé en maintenant un espacement en fréquence entre les sous-porteuses correspondant à la fréquence du symbole sur chaque sous-porteuse. Ainsi, lorsque les signaux sont démodulés, ils présentent un nombre entier de cycles pendant la durée du symbole, annulant ainsi leur contribution aux interférences. En d'autres termes, le produit scalaire entre chaque paire de sous-porteuses est nul pendant la période de transmission du symbole (66,7 μ s dans LTE, correspondant à un espacement en fréquence de 15 kHz entre deux sous-porteuses).

En utilisant des signaux orthogonaux parmi les sous-porteuses contiguës, on évite les interférences mutuelles. Cela implique que lorsque les signaux sont démodulés, ils présentent un nombre entier de cycles pendant la durée du symbole, ce qui entraîne une contribution nulle aux interférences. En d'autres termes, le produit scalaire entre chaque paire de sous-porteuses est nul pendant toute la période de transmission du symbole (66,7 μ s dans LTE, ce qui correspond à un espacement en fréquence de 15 kHz entre deux sous-porteuses). [11]

II-5-8-2 SC-FDMA

Les réseaux de téléphonie mobile de quatrième génération LTE utilisent la technologie de codage radio de type accès multiple par répartition en fréquence appelée single-carrier FDMA.

Comme pour les autres schémas d'accès multiples tels que le TDMA, le FDMA, le CDMA et l'OFDMA, l'objectif est d'attribuer et de partager une ressource radio commune (bande de fréquence) entre plusieurs utilisateurs. Le SC-FDMA est une variante linéaire des codages OFDM et OFDMA car il utilise également la répartition du signal numérique sur de nombreuses sous-porteuses. Cependant, il utilise également une « **DFT** » (Transformation de Fourier discrète du signal) supplémentaire pour précoder l'OFDMA traditionnel.

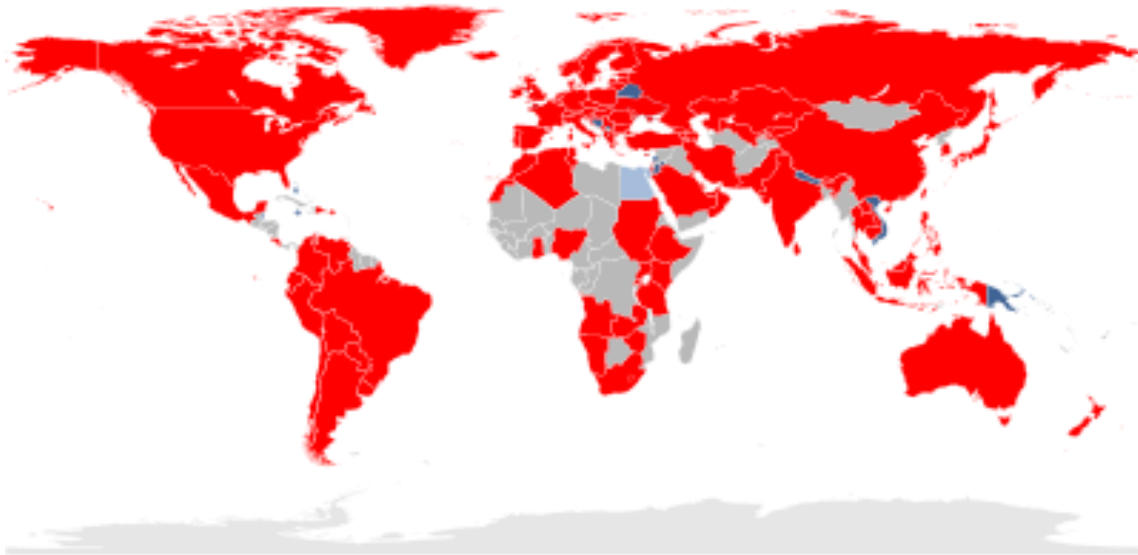
Le SC-FDMA a attiré l'attention comme une alternative attrayante à l'OFDMA, particulièrement dans les communications terre-satellite et dans le sens de transmission montant des réseaux 4G LTE. En termes d'efficacité énergétique, il a un PAPR (ratio de puissance maximale à moyen) plus faible que celui de l'OFDMA, ce qui améliore le poids et le coût du terminal mobile (smartphone ou tablette tactile).

Il a été utilisé pour les connecteurs uplink de certaines normes 3GPP, en particulier pour la partie radio (eUTRAN) des réseaux mobiles « LTE », car ce codage réduit la consommation électrique du terminal et augmente ainsi l'autonomie de sa batterie. Pour les liaisons radio downlink des réseaux LTE, qui présentent moins de limitations énergétiques l'OFDMA est utilisé car il permet un débit binaire plus élevé pour une même largeur spectrale.

Les codes radio OFDMA et SC-FDMA permettent une conversion numérique/analogique.

II-6 LA 4G DANS LE MONDE

Dans le monde, il y a 4,8 milliards d'utilisateurs GSM et UMTS-HSPA, avec des systèmes basés sur des normes 3GPP, ce qui place le LTE en position favorable pour rivaliser avec d'autres normes de radiocommunication mobile telles que le CDMA2000/EV-DO ou l'IEEE/WiMAX.



Réseaux commerciaux.

Réseaux en cours de déploiement.

Réseaux en test.

Figure II-11 Pays équipés début 2018 de réseaux mobiles LTE.[13]

II-6-1 Afrique

*** Algérie**

Algérie

Le lancement officiel de la 4G a eu lieu le 26 septembre 2016. Les opérateurs ont été autorisés à commencer la commercialisation de leurs offres de téléphonie mobile de quatrième génération (4G). Les décrets autorisant les trois opérateurs, Djezzy, Mobilis et Ooredoo, à exploiter les licences ont été publiés le 25 septembre 2016 dans le Journal Officiel.

Cameroun

Le principal fournisseur de télécommunications mobiles du pays, MTN, a lancé le réseau MTN 4G TurboSpeed LTE en décembre 2015 dans quatre grandes villes : Yaoundé, Douala, Bamenda et Buea.

Tunisie

Le 29 mars 2016, la Tunisie est officiellement passée à la 4G. Les trois opérateurs (Ooredoo, Tunisie Télécom et Orange Tunisie) ont lancé commercialement la 4G en Tunisie [13].

II-6-2 Asie

Chine (République populaire de Chine)

China Mobile prévoit de lancer le premier réseau 4G chinois en août 2013. Les chiffres indiquent qu'il y aura 200 000 stations d'émission 4G réparties dans 150 endroits à travers le pays.

Corée du Sud

Le 7 juillet 2008, la Corée du Sud a annoncé un plan d'investissement de 60 milliards de Won (environ 40 millions d'euros) pour le développement des technologies 4G et 5G. L'objectif était d'augmenter sa part de marché dans le secteur de la téléphonie mobile et de devenir une référence internationale. Les premiers réseaux 4G LTE du pays ont été ouverts commercialement en juillet 2011.

Japon

Alors que les réseaux mobiles commerciaux LTE (Long Term Evolution) commençaient tout juste à être déployés début 2011, l'opérateur japonais NTT DoCoMo se préparait déjà à expérimenter la génération suivante, le LTE-Advanced, en dehors de ses laboratoires. DoCoMo a obtenu l'approbation du bureau des télécommunications rattaché au ministère de l'Intérieur japonais pour mener des expérimentations LTE-Advanced sur le terrain, en utilisant une pré-licence qui lui permettra d'exploiter des fréquences dans les villes de Yokosuka et Sagami-hara. Ces pilotes permettront de tester des équipements LTE-Advanced en intérieur et en extérieur. DoCoMo a déjà effectué une série d'expérimentations en simulant un environnement radio perturbé par des obstacles, reproduisant des configurations que l'on peut trouver dans les villes. Dans ses centres de recherche et développement, il a déjà réussi à atteindre des débits descendants de 1 Gbit/s et montants de 200 Mbit/s.[13]

II-6-3 États-Unis

Les États-Unis ont choisi d'utiliser les bandes de fréquence duplex (FDD) de 700 MHz et 1700-2100 MHz (connues sous le nom de "AWS").

Aux États-Unis, Verizon Wireless a lancé sa première offre commerciale 4G LTE à la fin de l'année 2010. En fin 2012, l'opérateur compte déjà plus de 16 millions d'abonnés LTE, ce qui en fait le leader mondial en termes de nombre d'abonnés, devançant le japonais NTT DoCoMo ainsi que les opérateurs coréens KT et SK Telecom. Le deuxième opérateur américain, AT&T, a également lancé son offre LTE à mi-2011.

II-7 CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons fourni un aperçu des composants et des caractéristiques essentielles de la technologie LTE (quatrième génération). Cette présentation prépare le terrain pour le prochain chapitre, qui se concentre sur la terminologie spécifique utilisée dans cette technologie.

Le troisième chapitre abordera en détail les processus de dimensionnement du réseau mobile LTE, permettant ainsi une compréhension approfondie de cette étape essentielle..

III-CHAPITRE III : DIMENSIONNEMENT D'UN RESEAU LTE

III.1 INTRODUCTION

Le processus de planification globale commence par une étape cruciale : le dimensionnement du réseau. Cette étape initiale permet d'effectuer une évaluation préliminaire de la densité et de la configuration des sites nécessaires, de la capacité des éléments du réseau à planifier, ainsi que de la couverture estimée en corrélation avec la capacité. Ce chapitre se concentre sur les concepts fondamentaux et les calculs mathématiques essentiels au dimensionnement, offrant ainsi une base solide pour cette phase cruciale de la planification.

III.2 PROCESSUS DE DIMENSIONNEMENT

La partie la plus sensible est le dimensionnement des eNodeBs. Par conséquent, elle nécessite un développement approfondi. Il existe deux options. La première tient compte des exigences de capacité et de couverture pour déterminer le rayon de chaque cellule et le nombre de sites.

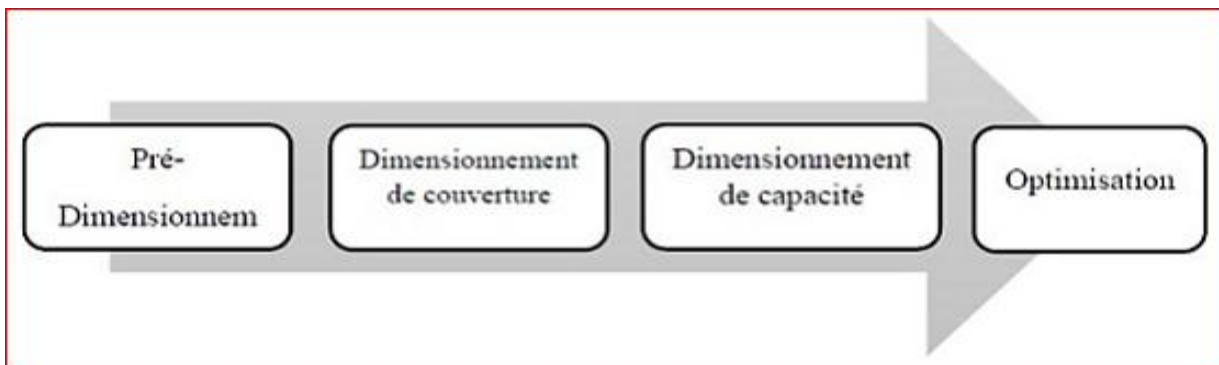


Figure III.1 : Processus de dimensionnement [10.]

Comme montre la figure ci-dessus, le processus de dimensionnement comporte 4 étapes :

- **Pré-dimensionnement :**

Il n'est pas nécessaire de collecter des informations sur la zone de déploiement. Par exemple, on peut trouver des informations détaillées sur l'eNodeB :

- * Les données géographiques comprennent la cartographie, la population, la zone couverte et le taux de pénétration des abonnés (services demandés, trafic offert).
- * Les services proposés comprennent la voix et les données.
- * La liste des sites sert à déterminer où placer les eNodeB. Le type d'antenne que vous devez utiliser.

- **Dimensionnement de couverture:**

L'analyse de la couverture continue d'être l'étape la plus importante de la conception de réseau LTE. Nous utiliserons le bilan de liaison (RLB), qui permet d'évaluer le taux de perte de trajet. Cela nécessite la sélection du modèle de propagation approprié. La taille de la cellule à couvrir est le résultat final, qui donne une estimation du nombre total de sites. Les besoins de capacité doivent également vérifier cette estimation basée sur les exigences de couverture.

- **Dimensionnement de capacité:**

La capacité vérifiera la taille des cellules et le nombre de sites obtenus par l'analyse de couverture. Nous vérifierons si le système est capable de supporter la charge ou si de nouveaux sites doivent être ajoutés.

- **Optimisation:**

Les résultats obtenus de deux dimensionnements sont comparés et le nombre de sites le plus important est pris en compte. Nous allons commencer par mesurer la couverture.

III.3 Dimensionnement de couverture

Les limites de la couverture d'une station de base incluent les perturbations causées par certains phénomènes. Lorsque les ondes émises par le mobile ne parviennent pas à la station de base la plus proche ou lorsque les ondes émises par l'antenne des eNodeB ne parviennent pas avec une puissance suffisamment détectable par la station mobile, il y a un problème de couverture.

La mauvaise couverture augmente les taux d'échec d'accès, de coupure de communication et de transfert.

III.3.1 Les étapes de dimensionnement de couverture

Le processus de dimensionnement de la couverture est le suivant :

*Exigence de qualité : L'exigence de qualité de couverture est d'atteindre le débit binaire demandé avec une probabilité spécifique, par exemple, 64 kbps doivent être atteints avec une probabilité de 98.%

* Dimensionnement de la liaison montante : à cette étape, nous calculons le rayon d'une cellule en utilisant le débit binaire à sa bordure .

*Dimensionnement de la liaison descendante : Si les exigences de qualité de la liaison descendante sont remplies, la distance entre le site et le mobile est calculée et comparée au résultat limite de la liaison descendante.

* Couverture des canaux de contrôle : La performance du canal de contrôle à la bordure de la cellule doit être évaluée en utilisant la valeur de la distance intersite calculée. Les étapes à effectuer sont représentées à la figure III.2 :

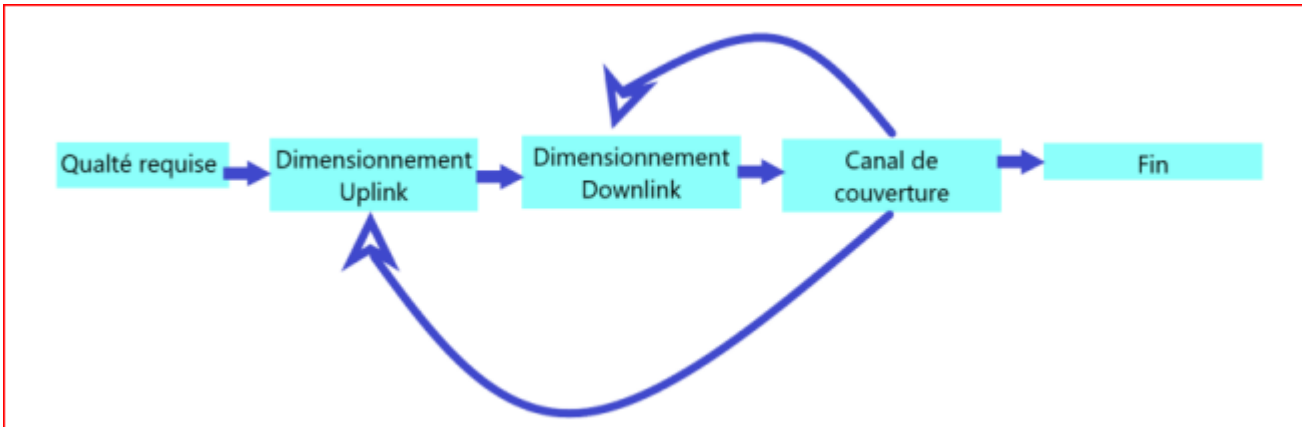


Figure III.2 : Processus de dimensionnement de couverture pour le DL et UL.[14]

III.3.2 Le calcul à faire

Tout en répondant aux exigences de performance dans les conditions de propagation, nous devons estimer la distance maximale entre un émetteur et un récepteur. Par conséquent, la première étape consiste à calculer l'affaiblissement de parcours maximal (Maximum Allowable Path Loss MAPL) en utilisant le bilan de liaison radio. Comme indiqué dans la figure III.3 ci-dessous, nous allons effectuer le calcul suivant :

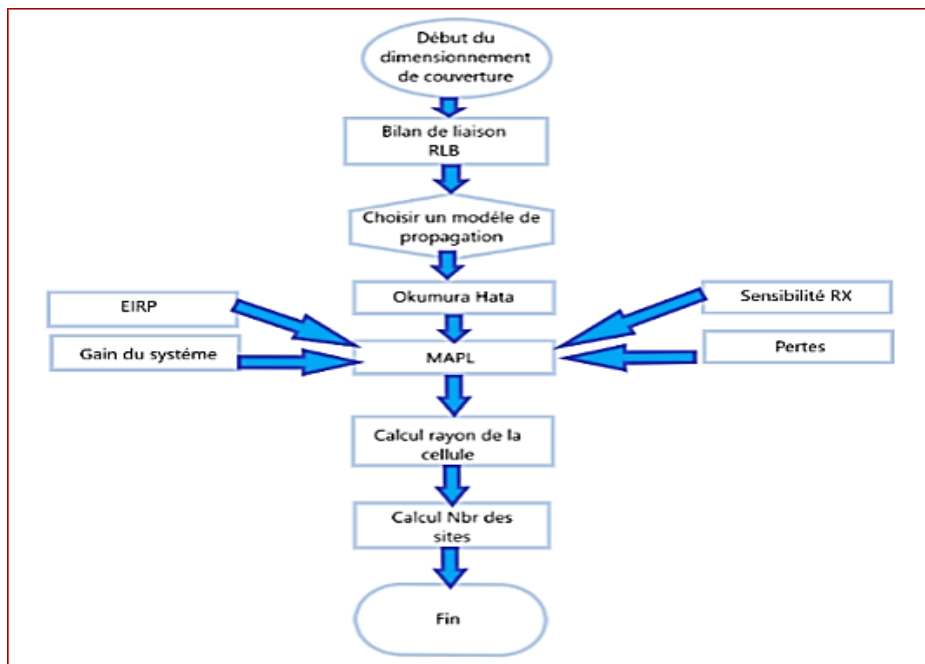


Figure III.3: calcul du dimensionnement de couverture.[14]

III.3.2.1 Bilan de liaison Radio RLB

La perte de trajet maximale autorisée par le RLB est déterminée en utilisant un modèle de propagation approprié. Le RLB prend en compte divers facteurs tels que les puissances d'émission, les avantages, les pertes d'antenne, les avantages en diversité et les marges d'interférence. Afin de LTE, l'équation RLB de base est la suivante (en dB) .[15]

$$\text{PathLoss} = \text{TxPower} + \text{TxGain} - \text{TxLosses} - S_{eNB} + \text{RXGains} - \text{RxLosses} - B_{iUL} \dots \dots \dots (III.1)$$

Avec :

- **PathLoss** : Perte de trajet totale rencontré par le signal envoyé de l'émetteur au récepteur (dB).
- **Tx Power dB** : La puissance transmise par l'antenne d'émission (43-49dBm).
- **Tx Gains dB** : Gain de l'antenne d'émission (dBi).
- **Tx Losses dB** : Les pertes de l'émetteur (dB).
- **Rx Gains dB** : Gain de l'antenne de réception (dB).
- **Rx Losses dB** : Les pertes de réception (dB).
- **B_{iUL}** : Bruit de réception (dB).
- **S_{eNB}** : Sensibilité du l'eNodeB (dBm).

III.3.2.2. Modèle de Propagation

La valeur de l'atténuation de trajet peut être estimée à l'aide du modèle de propagation. Le choix du modèle de propagation est un compromis entre l'efficacité de calcul et la précision de prévision. Il est crucial de souligner que les modèles de propagation dépendent du type de zone, par exemple, urbaine, suburbaine ou rurale. Les modèles de propagation appartiennent à deux catégories principales.:

III.3.2.2.1 Modèle Macro-cellule

Les modèles macrocellules sont principalement destinés aux installateurs de réseaux mobiles en milieu rural et sont basés sur l'analyse des obstacles rencontrés (collines, forêts, etc.). Ces modèles utilisent généralement des données géographiques de type maillage du sol et du sol supérieur. En raison de la rareté des informations géographiques fournies et de la simplicité des algorithmes de calcul, une mise au point par ajustement de variables est effectuée à l'aide de mesures expérimentales.

III.3.2.2.2 Modèle Micro-cellule

Les modèles microcellules essaient de prédire une zone de couverture moins étendue mais plus précise, contrairement aux modèles statistiques macrocellules qui prédisent une couverture radio moyenne et peu précise principalement en milieu ouvert. Ces modèles sont principalement conçus pour les installateurs de réseaux mobiles situés dans des zones urbaines ou semi-urbaines.

III.3.2.2.3 Types de modèles de propagation

- Modèles empiriques

Ces modèles sont basés sur la collecte de données sur les mesures et les formules mathématiques pour prédire l'impact et la valeur moyenne d'affaiblissement d'un émetteur sur une zone spécifique de réception. Les modèles empiriques ont l'avantage d'être simples et de dépendre peu des caractéristiques d'un site. Pour une première estimation de la perte de propagation, les communications cellulaires les utilisent fréquemment. Le modèle empirique est divisé en plusieurs catégories :

• Le modèle Okumura-Hata:

C'est le modèle le plus fréquemment utilisé. La fréquence, la radiosité, la distance entre l'émetteur et le récepteur et la hauteur de la station de base et du mobile sont tous pris en compte. Il prend également en compte la nature de l'environnement en décrivant son degré d'urbanisation .

Les limites suivantes ont été modifiées dans le modèle Hata :

- La fréquence (f) est comprise entre 150 et 1000 MHz.
- La hauteur de la station de base (H_b) varie entre 10 et 200 m (selon la zone : clutter.)
- La hauteur du terminal mobile (H_m) est comprise entre 1 et 10 mètres.
- La distance (d) varie de 1 à 20 kilomètres.

• Modèle de COST 231-Hata:

Les conditions du modèle COST 231-Hata sont les mêmes que celles du modèle Okumura-Hata, mais il a été créé pour être utilisé sur les bandes de 1500 à 2200MHz [15]. Les équations suivantes indiquent l'affaiblissement selon ce modèle :

a) Zone urbaine

$$L_u(db) = 69,55 + 26,16 \log(f) - 13,82 \log(H_b) - a(H_m) + [44,9 - 6,55 \log(H_b)] \log(d) \dots \dots \dots (III.2)$$

$$(H_m) = [1,1 \log(f) - 0,7] \times H_b - [1,56 \log(f) - 0,8] \dots \dots \dots (III.3)$$

b) Zone urbain dense

Pour $f \leq 2000$ MHz :

$$(h_m) = 8,29 \times [\log(1,54 \times H_m)]^2 - 11 \dots \dots \dots (III.4)$$

Pour $f \geq 2000$ MHz :

$$(h_m) = 3,2 \times [\log(11,75 \times H_m)]^2 - 4,97 \dots \dots \dots (III.5)$$

c) Zone sous urbaine

$$(db) = L_u - 2 \times [\log(f/28)]^2 - 5,4 \dots \dots \dots (III.6)$$

d) Zone rural**Quasi-ouverte**

$$(db) = L_u - 4,78 \times [\text{Log}(f)]^2 + 18,33 \text{Log}(f) - 35,94 \dots \dots \dots (III.7)$$

Ouverte

$$(db) = L_u - 4,78 \times [\log(f)]^2 + 18,33 \text{Log}(f) - 40,94 \dots \dots \dots (III.8)$$

• Modèle de Walfish-Bertoni:

Ce modèle est utilisé pour les cellules micro/macro. Lorsque les antennes sont placées sous les toits dans un environnement urbain, c'est un élément du modèle OkumuraHata. On prend en compte:

- *Un environnement urbain homogène (généralisation géométrique (
- *L'antenne Tx peut être au-dessus ou en dessous des toits
- *L'antenne Rx se trouve entre deux bâtiments et n'est pas en visibilité directe de Tx
- * Chaque bâtiment est un écran absorbant/diffractant

• **Modèle de COST231 Walfish-Ikegami:**

Le groupe de travail COST231 a fusionné les modèles Walfish et Ikegami pour créer un modèle de propagation pour environnement urbain avec des antennes sous les toits. Ce modèle offre une bonne précision car il prend en compte les propriétés de diffraction et de réflexion des bâtiments. L'effet de guide d'onde des bâtiments rapprochés est le seul qui n'est pas pris en compte. Il est compatible avec les cellules macro, micro et pico (avec une portée de 20m).

• **Le modèle Standard Propagation Model:**

Le modèle de propagation standard (SPM) est un modèle avec différents paramètres et est basé sur la formule du modèle Cost231-Hata. Cependant, il possède plus de fonctionnalités que le Cost231-Hata, dont certaines sont les suivantes:

* La carte prend en compte la diffraction car

*les facteurs sont variables.

*SPM soutient l'utilisation de coefficients K1 constants et K2 différents pour les régions LOS/NLOS et proches/lointains.

SPM est plus adaptable et plus souple grâce aux nouvelles fonctionnalités précédentes.

⇒ **Les modèles déterministes ou physiques** Les modèles déterministes donnent des résultats beaucoup plus précis, mais ils nécessitent une quantité considérable d'informations sur la région où ils doivent être utilisés. De plus, ils nécessitent beaucoup de temps pour le calcul. Ils sont généralement destinés aux endroits où les autres modèles ne peuvent pas fonctionner. En tenant compte des phénomènes de réflexion et de diffraction, ces modèles permettent de prédire la propagation des ondes radio et de calculer leurs trajets. Ces modèles incluent :

• **Le modèle de lancer de rayon:** Le principe de cette technique entièrement déterministe (basée sur une approche dérivée de l'optique géométrique) est :

* Lancement de lignes directrices (rayons) dans toutes les directions à partir de l'émetteur .

* Les rayons sont espacés régulièrement à partir de l'émetteur et tracés à mesure qu'ils se propagent .

Les trajets entre l'émetteur et le récepteur qui sont recherchés. La condition d'arrêt est atteinte si:

* La puissance du rayon est inférieure ou égale à un seuil

*Rayon qui a quitté la zone de simulation

Rayon qui a subi le plus grand nombre de réflexions (5 à 10)

⇒ **Les modèles semi-empiriques** L'objectif principal de ce modèle est de combiner les avantages des deux premiers .

Ils allient à la fois des aspects mesurables et théoriques. Ils tiennent compte de la topologie du terrain. Ces types de modèles sont généralement plus faciles à calculer que les modèles théoriques et plus efficaces pour estimer l'atténuation de puissance induite par un site de propagation. En raison de son degré de complexité, ils sont peu utilisés pour valider une solution sans fil pour un site de propagation tel qu'en intérieur .

Nous allons utiliser le modèle de propagation empirique pour notre étude. Il y a plusieurs

éléments qui influencent sa formule, notamment:

La vitesse de l'onde

La hauteur des antennes d'émission et de réception (TX (

*La hauteur de l'antenne RX, ainsi que d'autres facteurs

*La distance qui a été parcourue .

*Type de sol .

*Clutter (caractéristiques des bâtiments et densité), etc .

Ces modèles sont capables de prédire le comportement le plus probable de la liaison radio, mais ils ne peuvent pas le prédire à 100 % exactement. Ils sont utilisés pour calculer le rayon d'une cellule en utilisant la perte de trajet maximale autorisée.[10]

III.3.3 Calcul de la couverture pour les Uplink

Les calculs sont réalisés de la manière suivante :

*Le débit requis *SINR requis pour le récepteur* sensibilité du récepteur eNodeB

bruit d'Uplink (marge d'interférence) sont tous nécessaires bilan de la liaison.

III.3.3.1 Débit requis

La première étape consiste à définir l'exigence de qualité, qui peut être exprimée par un débit binaire déterminé qui peut être fourni à un utilisateur sur les bordures de la cellule.

Le service pour lequel le système est dimensionné détermine le débit binaire requis. Chaque calcul est effectué à l'aide d'un bloc de ressources.

Pour obtenir le débit binaire par nombre de blocs, divisez le débit binaire requis R_{req} par le nombre de blocs des ressources n_{RB} ..[15]

$$R_{req} = R_{req} / n_{RB} \dots \dots \dots (III.9)$$

Le nombre nRB peut être choisi librement, mais dans les limites de la bande passante comme montre le tableau suivant :

| Bande passante MHz | Nombre de ressources de block nRB |
|--------------------|-----------------------------------|
| 1,5 | 6 |
| 2 | 15 |
| 10 | 50 |
| 15 | 75 |
| 20 | 100 |

Tableau III.1 : largeur de bande et les blocs de ressources spécifiées LTE.[14]

III.3.3.2 SINR requis

C'est une mesure de la capacité du système. Plus le système est efficace, plus il est faible

Comme indiqué dans la figure III.4 ci-dessous, le SINR dépend du nombre de blocs de ressource :

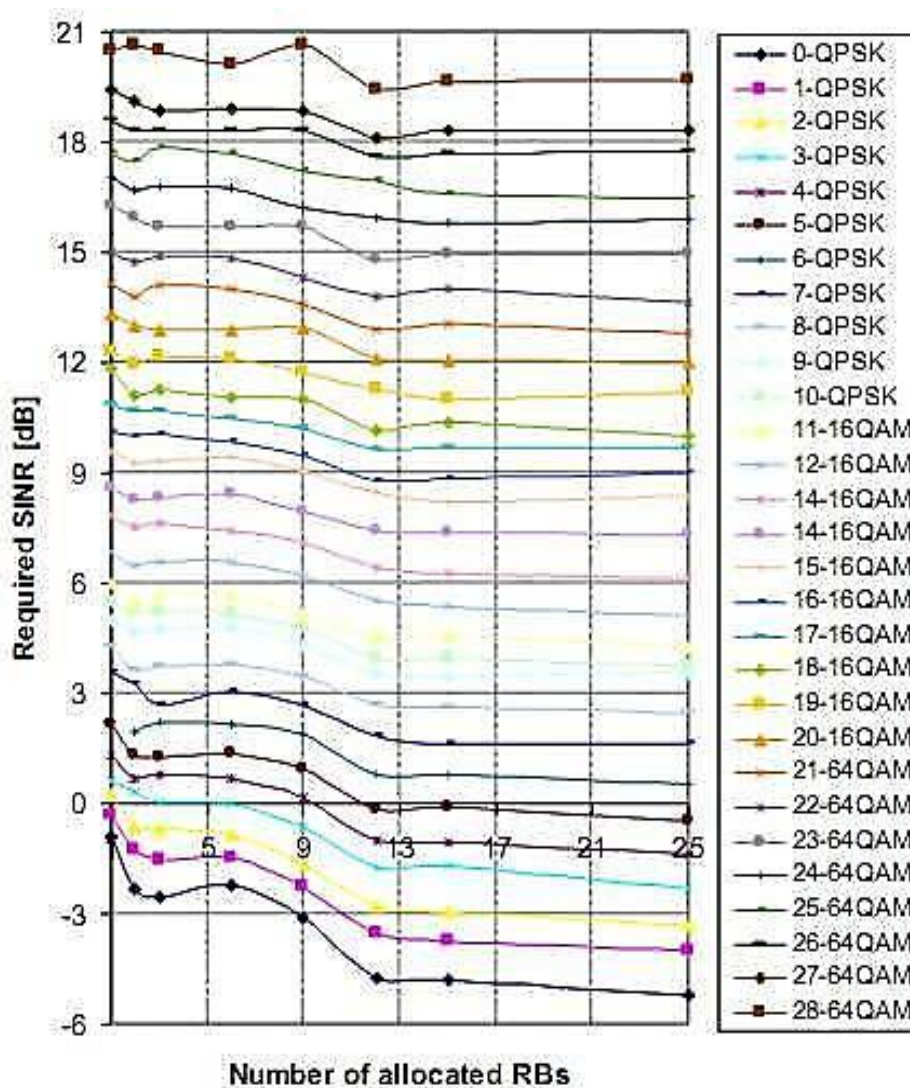


Figure III.4 : variation SINR en fonction de nombre de bloc de ressources.[16]

III.3.3.3 Sensibilité eNodeB récepteur

La sensibilité des eNodeB est la force du signal que le récepteur doit recevoir pour effectuer une tâche particulière en l'absence d'interférences intercellulaires. C'est le niveau minimum de signal pour éviter les coupures radio.

$$S_{eNB} = N_t + N_f + 10 \log(W_{RB}) + \gamma = N_{RB} + \gamma \text{ [dBm]} \dots \dots \dots \text{ (III.10)}$$

Avec :

- NT: Densité de puissance de bruit thermique -174 dB m / Hz
- NF: Le facteur de bruit qui est le rapport du signal d'entrée sur bruit pour déterminer les performances d'amplificateur.
- WRB: Bande passante par bloc de ressources: 180 kHz.
- SINR γ : rapport signal sur interférence et bruit de l'up Link.
- NRB, UL: Bruit thermique par bloc de ressource pour les up Link.

III.3.3.4 Les marges de bruit

Pour éviter le phénomène "SwissCheese" (surface avec trous de couverture), il est nécessaire de calculer l'affaiblissement de trajet maximum sans calculer les marges de bruit, qui correspondent à l'environnement radio.

* Marge de pénétration

L'atténuation du signal causée par la pénétration des bâtiments est connue sous le nom de perte de pénétration. Comme le montre le tableau (III.2), elle dépend du type de zone.

| Environnement | Perte de pénétration dB |
|---------------|-------------------------|
| Dense urbaine | 18-25 |
| Urbaine | 15-18 |
| Suburbaine | 10-12 |
| Rurale | 6-8 |

Tableau III.2 : pertes de la pénétration.[14]

Les pertes de la pénétration sont influencées par :

- La fréquence du signal : Les pertes varient selon la fréquence du signal.
- Le type des bâtiments : suivant le matériel de construction (brique, bois, pierre, verre, etc.).
- La structure des bâtiments : la composition interne des bâtiments.
- Perte de types de signal dans le corps.

Le taux de perte d'un signal vocal est représenté dans le tableau ci-dessous. C'est l'affaiblissement qui résulte de l'absorption par le corps humain d'une partie de l'énergie transmise. (Seulement pour la prestation vocale) :

| Type de signal | Perte en (dB) |
|----------------|---------------|
| VoIP | 3 |
| Données | 0 |

Tableau III.3: Pertes selon le type de signal.[14]

* Marge de shadowing

L'effet masque est lorsque les obstacles dans le milieu de propagation modifient le signal. Les mesures réelles du terrain ont montré que l'effet de masque est une valeur aléatoire Log Normale (Logarithme est une variable aléatoire Gaussienne) qui dépend de :

*La probabilité de couverture de la zone : densité de l'environnement

* La déviation standard.

| Environnement | σ [dB] | Probabilité de couverture | | | | |
|---------------------------|---------------|---------------------------|-----|-----|------|------|
| | | 98% | 95% | 90% | 85% | 75% |
| Rural, suburbaine | 6 | 5,5 | 2,9 | 0,5 | -1,2 | -3,7 |
| Urbaine | 8 | 8,1 | 4,9 | 1,8 | 0,2 | -3,4 |
| Dense urbaine, suburbaine | 10 | 10,6 | 6,7 | 3,1 | 0,6 | -3,1 |
| Urbain indoor | 12 | 13,1 | 8,4 | 4,2 | 1,3 | -3,1 |
| Dense urbaine indoor | 14 | 15,3 | 9,9 | 5,1 | 1,8 | -3,2 |

Tableau III.4 : Marge de shadowing.[14]

*** Évanouissement rapide Perte de Rayleigh :**

L'effet multi-trajet, également connu sous le nom de perte de Rayleigh, se produit lorsque le signal émis traverse des chemins différents et que le récepteur reçoit le même signal à partir de chemins différents.

La marge d'évanouissement rapide est de 1.2 dB.

*** La marge des lignes d'alimentation**

C'est une perte causée par les différents dispositifs qui sont situés sur le trajet de l'antenne vers le récepteur, comme la perte de la ligne d'alimentation selon qui dépend de la longueur de la ligne, des connecteurs et des jumpers (sauts).

La figure ci-dessous représente les connexions courantes du système d'alimentation de l'antenne dans une station de base:

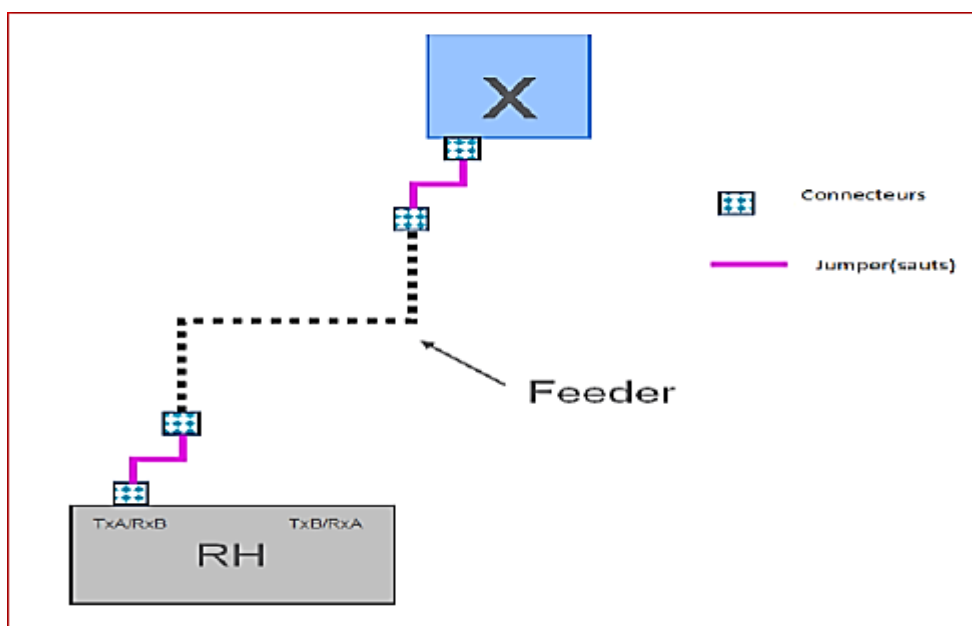


Figure III.5 : Connexions du système d'alimentation de l'antenne.[14]

La formule qui est utilisée pour calculer la perte de ligne est la suivante :

Length feeder = Base station height + 5m

Perte Feeder (dB) = Feeder loss/100m × Feeder length/100m(III.11)

Perte de Jumper = 1/2 cm feeder × nombre de cavaliers (jumpers)

Perte de connecteurs = nombre de connecteurs × 2 × 0.1 dB

Le tableau III.5 présente les pertes de la ligne d'alimentation.

| Type de ligne | Pertes (dB/100m) | | |
|---------------|------------------|------------|-----------|
| | 2600 (MHz) | 2100 (MHz) | 900 (MHz) |
| 0.5 cm | 11 | 10.8 | 9 |
| 0.875 cm | 6.3 | 6 | 4.9 |
| 1.25 cm | 4.6 | 4.5 | 3.2 |
| 1.625 cm | 3.8 | 3.5 | 2.6 |

Tableau III.5: pertes de ligne d'alimentation.[14]

*** Marge d'interférence**

En LTE, un utilisateur n'interfère pas avec d'autres utilisateurs dans la même cellule car ils sont séparés dans le domaine fréquence/temps, mais il interfère avec les cellules voisines. Pour compenser l'augmentation du bruit et maintenir l'équilibre, une marge d'interférence sera ajoutée au bilan de liaison.

$$B_{iUL} = 1 - (1 - SINR_{trajet} * Q_{UL} * F) \dots \dots \dots (III.12)$$

Avec :

- Q_{UL} : Facteur de charge du système de liaison montante.
- F : facteur d'interférence cellulaire avec la cellule en service.

III.3.3.5 Puissance par bloc de ressource EIRP (Effective Isotropic Radiated Power)

Capacité par bloc de ressources EIRP (Puissance efficace rayonnée isotrope)

La puissance isotrope rayonnée est la quantité d'énergie d'une antenne isotrope théorique qui prend en compte le gain de l'antenne ainsi que les pertes de la ligne de transmission et des connecteurs. On suppose que la puissance P (UE, rb) est la même pour tous les blocs de ressources, qui peut être calculée de la manière suivante :

$$EIRP_{UE,} = P_{UE,} + (G_{UE} + G_{OTHER}) - L_{HBL} \dots \dots \dots (III.13)$$

III.3.3.6 Equation bilan de liaison Uplink

La figure ci-dessus illustre le bilan de liaison pour la liaison montante Uplink

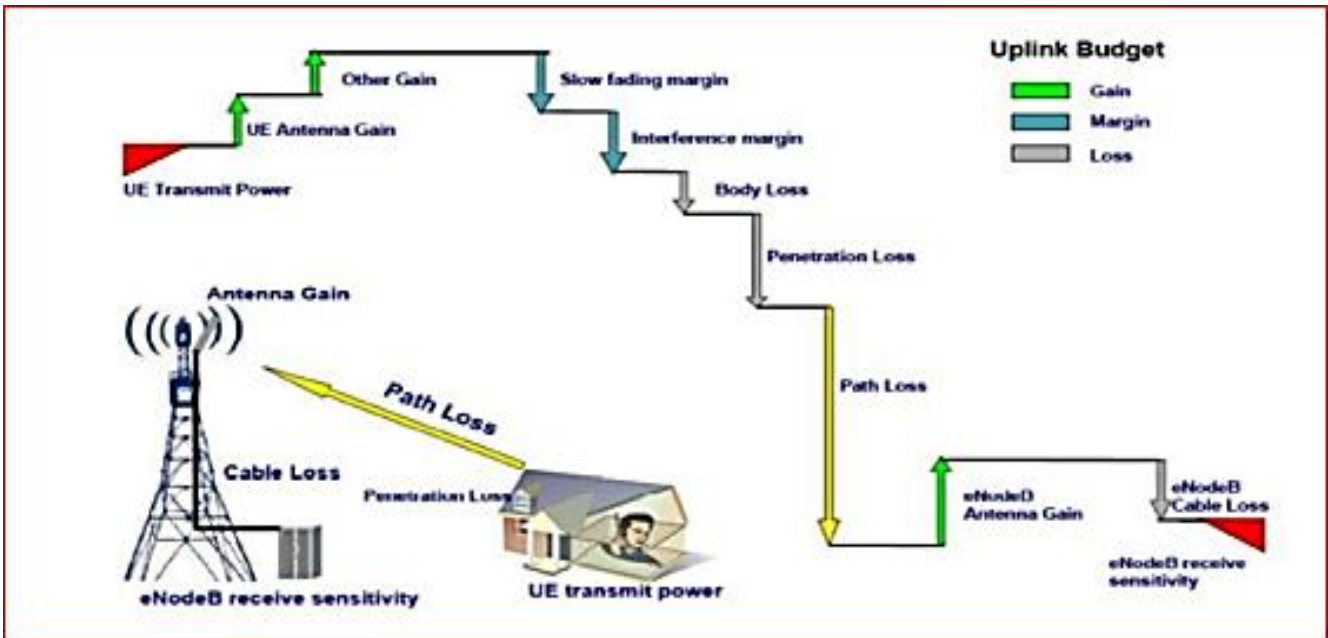


Figure III.6 : modèle bilan de liaison Uplink.[14]

L_{pmax} se calcule de cette manière [17]:

$$L_{pmax} = P_{UE, RB} - S_{eNB} - Perte_{marge} + Ga - L_j + TMA_{gain} \dots \dots \dots (III.14)$$

Avec :

- L_{pmax} : perte de trajet maximale autorisée pour la propagation dans l'air [dB].
- Perte : perte pénétration voiture + perte de pénétration du bâtiment (L_{bp}) + perte de corps (L_b) + BLNF+BIUL.
- TMA gain = 2 dB gains ou 5 dB pour MIMO.
- Perte pénétration voiture= 6dB.
- BLNF : log-normale marge d'évanouissement [dB].
- G_a : Somme des gains de l'eNodeB, et gain d'antenne de l'équipement utilisateur [dBi].
- L_j : perte des Jumpers et connecteurs d'antenne [dB].

III-4 LA CALCUL DE LA COUVERTEUR POUR LES DOWNLINK

Le bilan de liaison des liens descendants est calculé

*pour déterminer les limites des liens

*le débit binaire supporté par les liens descendants .

Les calculs sont réalisés de la manière suivante :

*Perte de trajets

* Débit nécessaire .

*Puissance pour chaque bloc de ressources utilisé .

*Espace de conflit.

* Bilan de liaison

* La sensibilité du récepteur de l'Union européenne.

* Le débit binaire à l'extrémité de la cellule

III.4.1 le Pertes de trajet

Le MAP_l pour les liens montants est utilisé pour calculer l'affaiblissement du parcours maximum MAP_l_{dl}.

III.4.2 la Débit binaire requis

Comme le montre l'équation (III.9) précédente, le débit binaire requis n'est pas exprimé par bloc de ressources, il faut diviser R_{req} par n_{RB}.

III.4.3 la Puissance par bloc de ressource

Tous les blocs de ressources partagent la puissance, sa formule est la suivante :

$$P_{tx, RB} = P / n_{RB} \dots\dots\dots (III.15)$$

Avec :

- P : est la somme de toutes les puissances des unités radio de la cellule.

III.4.4 l'Augmentation du bruit à la bordure de la cellule

Le bruit de liaison descendante B_{IDL} sur l'EDGE (bord) de la cellule est nécessaire pour le bilan de liaison. Il peut être calculé en utilisant l'expression suivante :

$$B_{IDL} = 1 + ((P_{tx, RB} * Q_{DL} * F_C) / (N_{RB, DL} * L_{samax})) \dots\dots\dots (III.16)$$

Avec :

- QDL: caractéristique de la liaison descendante..
- Fc : le pourcentage moyen des puissances des autres cellules .
- NRB,DL: bruit thermique par bloc de ressources dans la liaison descendante, défini par : $N_t + N_f 10 \log(\text{WRB})$ avec $N_f = 7\text{dB}$.

$L_{sa, \max}$: L'atténuation du signal en liaison descendante est calculée dans l'échelle logarithmique de la perte de trajet maximale. Son expression est la suivante [17] :

$$LSA_{max} = L_{pmax} + B_{LNF} + L_{BL} + L_{CL} - L_{BPL} - G_a + L_j \text{ [dB]} \dots \dots \dots \text{ (III.16)}$$

III.4.5 l'Equation bilan de liaison Downlink:

L'équation de bilan de liaison pour les liens descendants est illustrée à la figure ci-dessous :

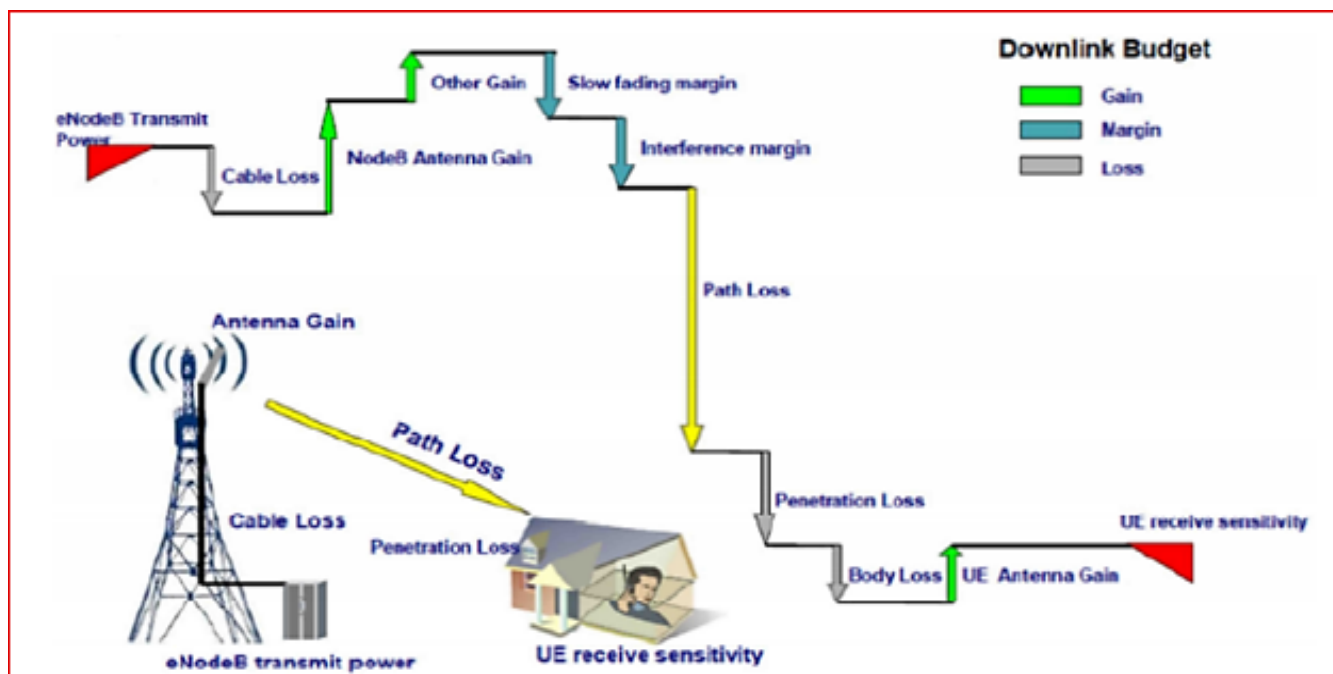


Figure III.7 : Bilan de liaison Downlink.

L_{pmax} se calcule de cette manière [17]:

$$L_{pmax} = P_{tx, RB} - S_{UE} - B_{IDL} - B_{LNF} - L_{BL} - L_{CL} - L_{BPL} + G_a - L_j \text{ [dB]} \dots \dots \dots \text{ (III.17)}$$

Avec :

- $P_{tx,}$: La puissance d'émission par bloc de ressources [dBm].

- *SUE*: Sensibilité de l'équipement utilisateur en [dBm].

III.4.6 la Sensibilité du récepteur de l'équipement utilisateur :

La sensibilité de l'équipement utilisateur est la seule variable inconnue de l'équation (2.18).[17] :

$$S_{UE} = N_t + N_f + 10 \log W_{RB} + \gamma = N_{RB}, + [dB] \dots \dots \dots (III.18)$$

III.4.7 la SINR a la bordure de la cellule

L'estimation de SINR en (dB) sur le bord d'une cellule est la suivante [17] :

$$\gamma = P_{tx,RB} - L_{pmax} - N_{RB,DL} - B_{IDL} - B_{LNF} - L_{BL} - L_{CL} - L_{BPL} + G_a + L_j \dots (III.19)$$

III.4.8 la Limite du bilan de liaison

Voici l'équation de l'atténuation du système [17] :

$$LSA_{max} = L_{pmax} + B_{LNF} + L_{BL} + L_{CL} - L_{BPL} - G_a + L_j [dB] \dots \dots \dots (III.20)$$

Nous utiliserons LSA_{max} pour déterminer B_{IDL} . Lorsque la qualité d'uplink dépasse l'exigence on parle alors d'un système down Link limité. Le B_{IDL} est calculé selon l'expression suivante :

$$B_{IDL} = 1 + [(P_{tx,RB} \times Q_{DL} \times F_c) / (N_{RB,DL} \times LSA_{max})] \dots \dots \dots (III.21)$$

Avec :

H : étant le facteur d'affaiblissement de propagation utilisé dans le dimensionnement de couverture et de capacité dont la valeur recommandée est 0.36.

III.4.9 Les modes de transmission

Les modes de transmission suivants sont disponibles :

*Le SIMO fonctionne avec une seule source d'entrée et de sortie (SIMO), avec une antenne TX dans la station de base et deux antennes RX dans l'équipement utilisateur.

* Diversité TX, avec deux antennes TX et deux antennes RX dans la station de base.

* L'OLSM utilise deux antennes TX et deux antennes RX à la station de base.

III.4.9.1 Cas de liaison descendante Les techniques d'antenne :

* SIMO 1x2, 2x2 TX diversité, OLSM : 2x2.

* Les schémas de modulation disponibles sont QPSK, 16-QAM et 64-QAM.

*Les types de canaux sont EPA5, EVA70 et ETU 300.

III.4.9.2 Cas de liaison montante Les techniques d'antenne :

* Diversité de branche RX.

* Les modes de modulation sont QPSK et 16-QAM.

* Les types de canaux sont EPA5, EVA70 et ETU 300.

* Le débit par RB est calculé comme suit [17] :

$$R_{RB} = \max [0, a_3 + (a_0 - a_3) \times e^{-\ln(2) \left[\frac{a_1 - a_2}{\gamma} \right]^2}], \gamma < a_1 \dots \dots \dots (III.22)$$

Avec :

$$R_{RB} = a_0; \gamma \geq a_1$$

a_0, a_1, a_2 et a_3 sont les paramètres empiriques

Le SINR γ est exprimée en dB [17] :

$$\gamma = a_1 - a_2, \sqrt{\ln\left(\frac{a_0 - a_3}{R_{RB} - a_3}\right) / \ln 2}, 0 \leq R_{RB} \leq a_0 \dots \dots \dots (III.23)$$

Le tableau suivant fournit les paramètres semi-empiriques pour le lien down:

| Type d'antenne | SIMO 1X2 | | | Tx Div 2X2 | | | OLSM 2X2 | | |
|------------------|----------|-------|--------|------------|-------|--------|----------|-------|--------|
| | Epa5 | Eva70 | Etu300 | Epa5 | Eva70 | Etu300 | Epa5 | Eva70 | Etu300 |
| A0 [Kbps] | 808,2 | 808,4 | 708,8 | 777,6 | 777,2 | 775 | 1347,1 | 1199 | 989 |
| A1 [dB] | 27 | 29,34 | 27,75 | 25,92 | 27,17 | 27,7 | 34,03 | 34,99 | 31,93 |
| A2 [dB] | 16,03 | 15,9 | 15,34 | 16,01 | 15,38 | 15,49 | 18,37 | 18,16 | 16,48 |
| A3 [Kbps] | -9,3 | -3,88 | -4,68 | -13,8 | -5,44 | -6,2 | -15,8 | -8,46 | -7,12 |

Tableau III.6: paramètres semi empiriques pour la liaison descendante.[14]

Le tableau suivant fournit les paramètres semi-empiriques pour l'uplink

| Mode de canal | Epa5 | Eva70 | Etu300 |
|------------------|-------|-------|--------|
| A0 [Kbps] | 536,6 | 533,1 | 376,2 |
| A1 [dB] | 20,76 | 23,91 | 20,15 |
| A2 [dB] | 13,28 | 13,74 | 12,41 |
| A3 [Kbps] | 0 | 0 | 0 |

Tableau III.7: paramètres semi empiriques pour la liaison montante.[14]

III.4.10 la Rayon de la cellule

Le rayon de la cellule est déterminé à l'aide d'un modèle de propagation en utilisant la perte de trajet maximum autorisée. La formule utilisée pour déterminer la distance en kilomètres R est la suivante :

$$R = 10^\alpha \dots \dots \dots (III.24)$$

Avec :

$$\alpha = \frac{Lpmax - A + 13,8 \times 2 \log(Hb) + ahm}{44,9 - 6,55 \log(Hb)} \dots \dots \dots (III.25)$$

Le tableau suivant montre l'atténuation des valeurs A qui peuvent être utilisées :

| Environnement (zone) | Fréquences [MHz] | | | | | | | |
|-------------------------|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 700 | 850 | 900 | 1700 | 1800 | 1900 | 2100 | 2600 |
| Urbaine | 144,3 | 146,2 | 146,8 | 153,2 | 153,8 | 154,3 | 155,1 | 157,5 |
| Suburbaine | 133,5 | 136,1 | 136,9 | 145,4 | 146,2 | 146,9 | 147,9 | 151,1 |
| Rural | 125,1 | 127 | 127,5 | 133,6 | 134,1 | 134,6 | 135,3 | 137,6 |
| ouverte | 116,1 | 117,8 | 118,3 | 123,8 | 124,3 | 124,8 | 125,4 | 127,5 |

Tableau III.8: Atténuation fixe dans le modèle de propagation Hata-Okumura.[14]

III.4.11 les Nombres de sites :

Il est simple de déterminer le nombre de sites à déployer en utilisant la zone de la cellule et la valeur d'entrée de la zone de déploiement Zd. Il existe deux types de sites distincts : omnidirectionnel et tri-sectoriel.

Les zones du site pour deux modèles de cellules hexagonales peuvent être calculées de la manière suivante :

$$d = \sqrt{3} \times R[\text{km}] \dots \dots \dots (III.26)$$

$$S_{s1} = \frac{[3\sqrt{3}R^2]}{2} = 2,6 \times R^2 \dots \dots \dots (III.27)$$

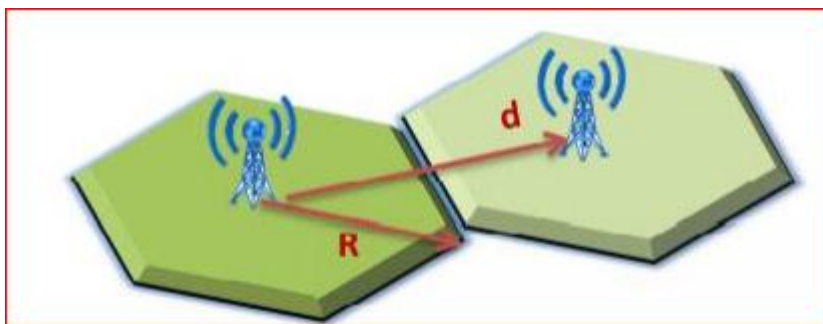


Figure III.8: Modèle hexagonales de cellule omnidirectionnel.[14]

Et pour un site à 3 secteurs :

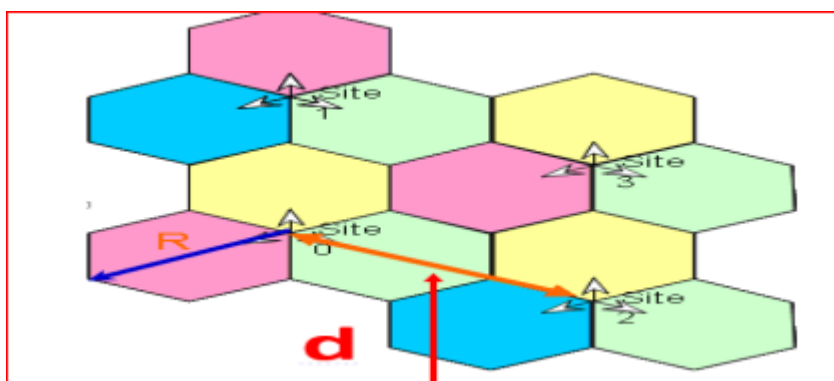


Figure III.9: Modèle hexagonales de cellule tri-sectoriel [14].

$$d = (3/2)R \dots \dots \dots (III.28)$$

$$S_{s3} = (9\sqrt{3} \times R^2) / 8 = 1,95 \times 2,6 \times R^2 \dots \dots \dots (III.29)$$

Ensuite, le calcul du nombre de sites est très simple ; c'est le quotient entre la surface de la zone et la surface du site :

$$N_s = S_z / S_s \dots \dots \dots (III.30)$$

La surface totale de la zone, qui dépend du type de zone, est représentée par S_z , comme le montre le tableau suivant :

| Type de zone | Surface de la zone (Km^2) |
|---------------|-------------------------------|
| Urbaine dense | 50 |
| Urbaine | 400 |
| Suburbaine | 200 |
| Rural | 300 |

Tableau III.9: valeurs références des surfaces de la zone.[14]

III.5 LA DIMENSIONNEMENT DE CAPACITÉ

Le dimensionnement de la capacité suit le dimensionnement de l'interface radio : dimensionnement de la liaison de transmission et dimensionnement eNodeB. La méthode est spécifiée pour la charge du système. La méthode de dimensionnement détermine la capacité maximale que la cellule cible peut actuellement supporter en fonction de la charge du système dans les cellules environnantes.

Il est peu probable que toutes les cellules d'un système soient complètement chargées simultanément, contrairement aux réseaux réels de différentes technologies..

III.5.1 la Calcul dimensionnement de capacité pour les uplink

Pour évaluer les besoins en capacité, suivez ces étapes:

*Faire une analyse complète de la demande de trafic (répartition géographique des abonnés et leurs consommations.)

*Estimer le débit de cellule .

La diffusion Le SINR est le principal indicateur de couverture en fonction de la capacité : plus nous avons d'utilisateurs, plus l'interférence et le bruit augmentent, ce qui réduit la couverture cellulaire et force le rayon cellulaire à devenir plus petit

III.5.1.1 Débit de la cellule

Nous recherchons le nombre d'eNodeB nécessaire pour atteindre la capacité. Les opérateurs de réseau déterminent ces derniers en fonction du volume de trafic. La formule suivante est utilisée pour déterminer le débit de cellule nécessaire pour déterminer le nombre de sites :

$$T_{\text{cell}} = Q_{\text{UL}} \times R_{\text{avg,UL}} \dots \dots \dots (III.31)$$

Avec :

$$R_{\text{avg}} = R_{\text{RB}} \times (n_{\text{RB}} - n_{\text{pucch}}) \dots \dots \dots (III.32)$$

N_{rb} : nombre total de blocs de ressources de la bande passante

N_{pucch} : C'est le nombre de blocs de ressources attribués aux canaux de contrôle PUCCH illustré par la figure suivante :

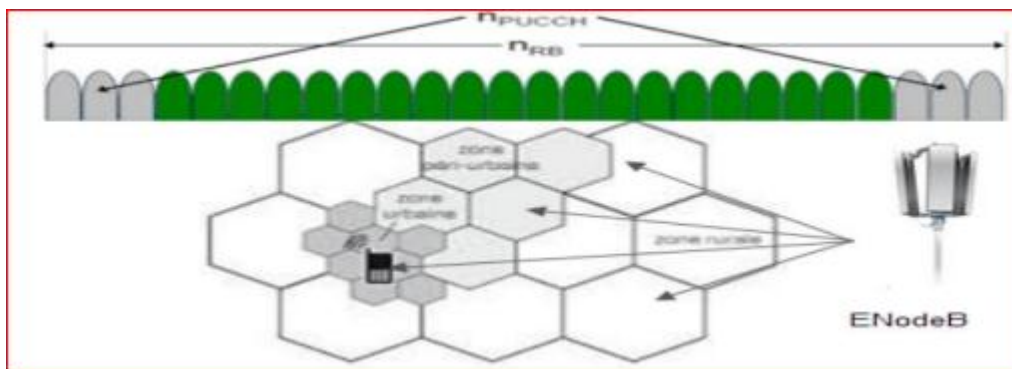


Figure III.10: illustration du calcul de dimensionnement de capacité.[14]

III.5.2 Calcul de dimensionnement de capacité down Link

III.5.2.1 SINR

La capacité de la liaison descendante repose sur le SINR moyen (Signal-to-Interference-plus-Noise Ratio) à l'emplacement central d'une cellule, notée $\gamma_{DL,moy}$, exprimée en tant que rapport linéaire. Le SINR moyen est calculé en tenant compte de l'augmentation moyenne du bruit. Cette mesure est similaire à la marge d'interférence, mais le SINR est évalué à un emplacement central plutôt qu'au bord de la cellule. Le SINR moyen résultant, $\gamma_{DL,moy}$, est représenté par l'équation suivante:

$$\gamma_{DL,moy} = \frac{P_{t,RB}}{(B_{DL} N_{RB,DL} H_{Lsa,max})} \dots \dots \dots (III.33)$$

Dans cette équation, le facteur H représente le facteur d'atténuation moyen. Il correspond au rapport entre l'atténuation moyenne du signal (exprimée de manière linéaire) à l'intérieur de la cellule et l'atténuation du signal (exprimée de manière linéaire) à la distance de la portée de la cellule de l'antenne. La valeur de H dépend de divers facteurs tels que la géométrie du site, le modèle d'antenne, l'exposant de propagation des ondes et la hauteur de l'antenne de la station de base. Dans le contexte du dimensionnement, il est recommandé d'utiliser une valeur de 0,36 pour H.

III.5.2.2 Débit de la Cellule

Le débit de l'utilisateur par cellule est donné par la formule suivante :

$$R_{avg,DL} = n_{RB} \times R_{RB,DL} \dots \dots \dots (III.34)$$

Le débit de la cellule se calcul comme suit :

$$T_{cell} = Q_{DL} \times R_{avg} = Q_{DL} \times n_{RB} \times R_{RB}, \dots \dots \dots (III.35)$$

III.5.2.3 Nombre des sites décidé

Nous devons ici calculer T_{site} à partir de T_{cell} avec le cas par exemple de 3 cellules par site :

$$T_{site} = T_{cell} \times 3 \dots \dots \dots (III.36)$$

Le planificateur entrera ici comme entrées, le nombre des abonnés et le débit moyen de chacun, afin de calculer le nombre des sites :

$$N_{site} = T_{user} T_{site} \times N_{abonnés} \dots \dots \dots (III.37)$$

Le nombre des abonnés est calculé à partir de l'équation suivante et ce suivant certaines données qui ne peuvent être fournies que par l'opérateur :

$$N_{abonnés} = \prod_{i=1}^N (1 + \alpha_i) \times (1 + \beta_i) \times d \times surface) \dots \dots \dots (III.38)$$

- d : la densité des abonnés par Km.
- Surface : de la zone totale à couvrir.
- λ_i : Augmentation de nombre des habitants.
- β_i : Données opérateurs, indique le taux de migration des abonnés des autres opérateurs vers l'opérateur en question.

III-6 CONCLUSION

Ce chapitre fournit un modèle analytique simple pour calculer l'impact de dimensionnement d'un réseau mobile LTE qui comprend deux éléments : la couverture et la capacité. Par la suite, toutes ces idées seront utilisées pour concevoir, étudier et dimensionner un réseau mobile 4G LTE à la ville De Tebessa, qui sera abordé dans le chapitre suivant.

**IV-CHAPITRE IV : LA
SIMULATION ET ANALYSE
DES RESULTAS**

IV-1 INTRODUCTION

La planification du réseau LTE (4G) revêt une importance capitale pour la réussite d'un opérateur, car elle peut être déterminante pour répondre aux attentes des clients et influencer leur satisfaction.

Il existe une multitude de logiciels de planification réseau, parmi lesquels on peut citer Atoll, Nokia Planer, Siemens Planer, Ericsson Planer, etc. Ces outils de planification ont pour objectif de concevoir un réseau tout en garantissant la compatibilité des réseaux de télécommunication.

Dans ce chapitre, nous présenterons une simulation réalisée avec le logiciel Atoll d'un réseau LTE. Après avoir dimensionné le réseau, nous procéderons à la simulation d'un réseau dans la ville de Tébessa sur le logiciel Atoll

IV-2 PRÉSENTATION DU LOGICIEL ATOLL

Atoll est un outil complet de dimensionnement et de planification des réseaux cellulaires, qui peut être utilisé à toutes les étapes du cycle de vie des réseaux, de la conception à l'expansion et à l'optimisation.

Ce logiciel utilise différentes données en entrée et permet de sélectionner le type de réseau à dimensionner (GSM, UMTS ou LTE), avec des paramètres spécifiques à chaque technologie. Il offre la possibilité de définir le modèle de propagation, le type d'antenne et les caractéristiques des sites.

Une fois le réseau planifié, l'outil Atoll permet de réaliser diverses prédictions, telles que:

- La couverture en fonction du niveau de champ.
- La couverture par émetteur.
- La prédiction de la capacité de la cellule.

Grâce à ses fonctionnalités avancées, Atoll facilite l'analyse et l'optimisation des réseaux cellulaires pour garantir une performance optimale.

IV-3 ORGANISATION DE LA PROCÉDURE DU DIMENSIONNEMENT

Nous commençons par donner l'organigramme de simulation mis en œuvre dans le logiciel Atoll pour réaliser une planification d'un réseau LTE de façon générale (figure IV.1). Dans les paragraphes qui suivent dans ce rapport, nous expliquons en détail les réflexions, et manipulations effectuées.

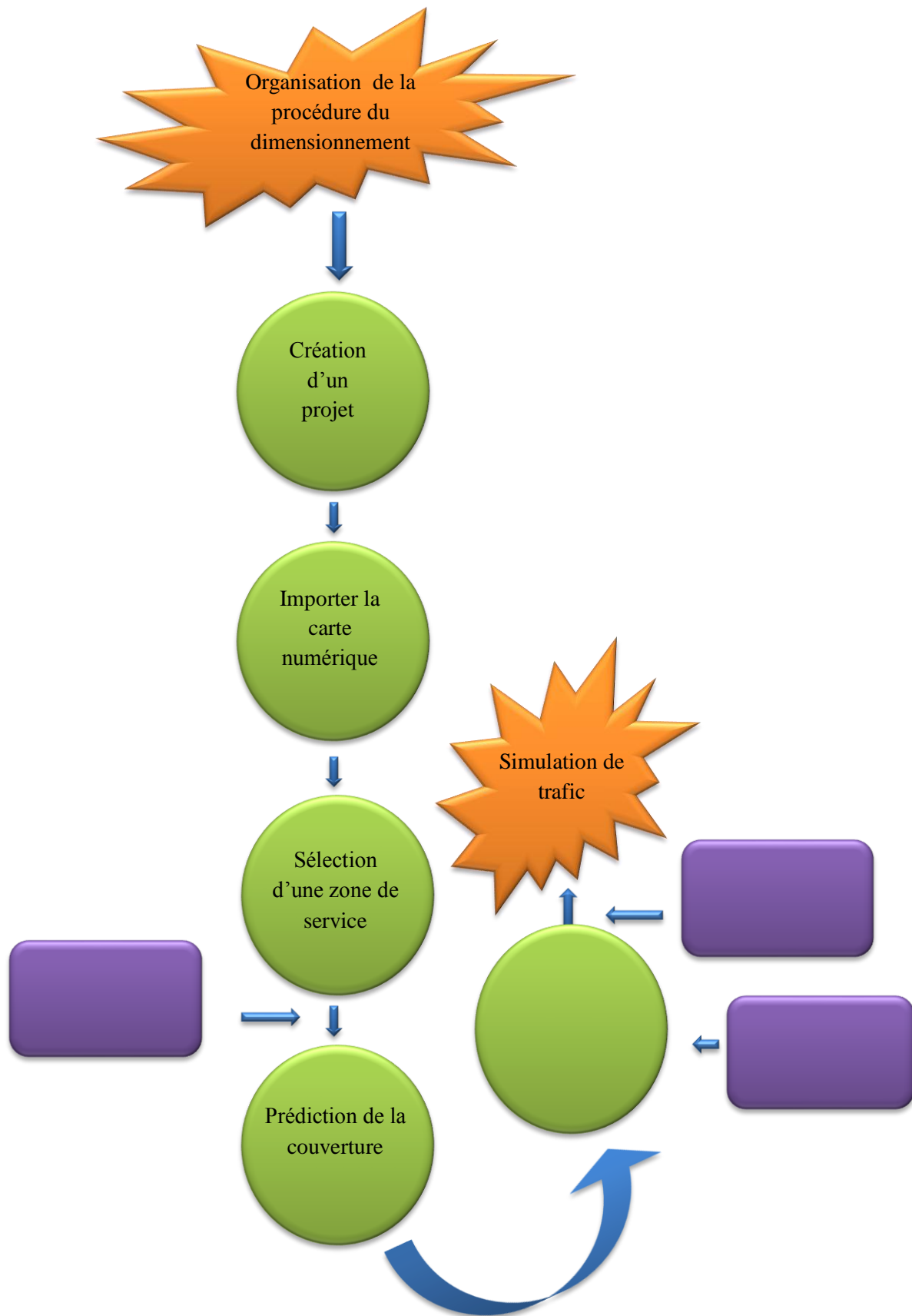


Figure IV.1: organigramme de simulation.[14]

IV.4 ÉTUDE D'UN CAS GÉNÉRAL

Dans cette partie, nous nous sommes intéressés au cas général qui concerne la commune à la ville De Tebessa. Les fichiers permettant cela sont des documents cartographiques.

IV-5 CRÉATION D'UN PROJET

IV-5-1 Présentation de la région à planifier à l'intérieur d'un polygone

La figure IV.2 présente la carte de la zone géographique considérée, il s'agit de la ville De Tebessa .



Figure IV.2 : la carte de la ville De Tebessa .[18]

IV-5-2 Définition de la zone de calcul

Il convient de définir la zone à couvrir. Dans notre cas, nous avons choisi de délimiter seulement la zone concernée



Figure IV.3 : la zone de couverture.

IV.6 DEMARRAGE D'UN PROJET DANS ATOLL :

IV.6.1 Ouvrir un nouveau projet :

Afin de démarrer la planification dans l'outil Atoll, la première étape consiste à créer un nouveau projet. La Figure IV.4 illustre la procédure de création d'un nouveau projet à partir d'un modèle:

Sélectionnez Fichier — Nouveau — A partir d'un modèle de document — LTE

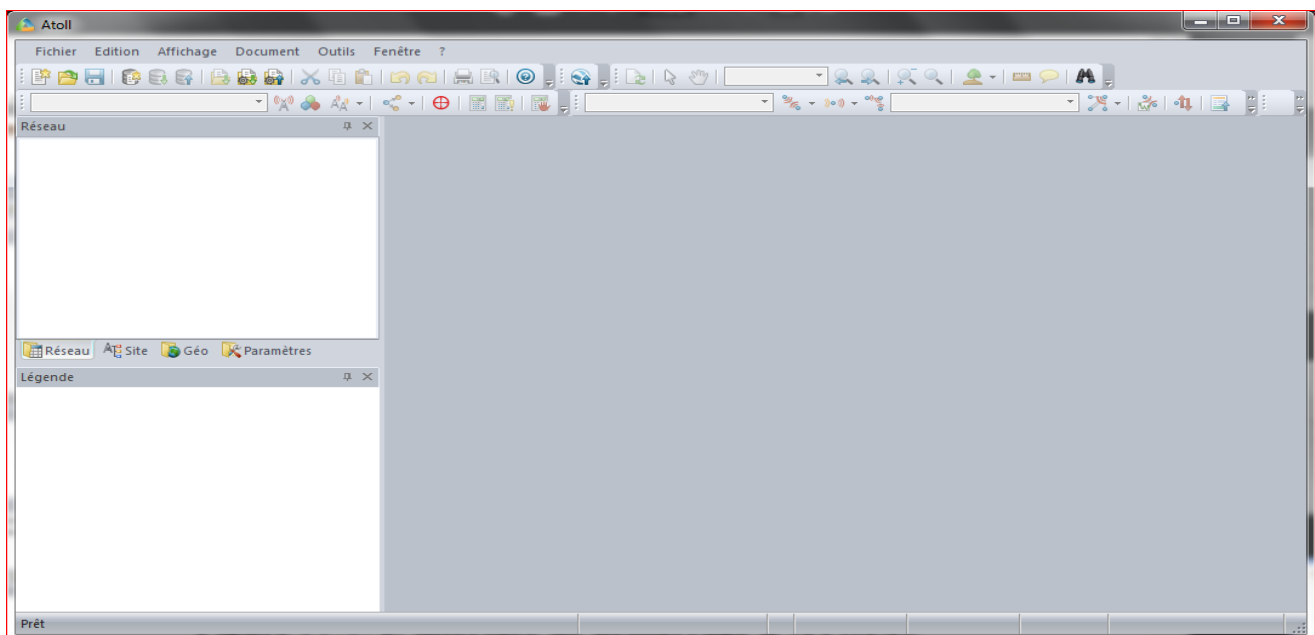


Figure IV.4: L'interface de démarrage d'ATOLL.

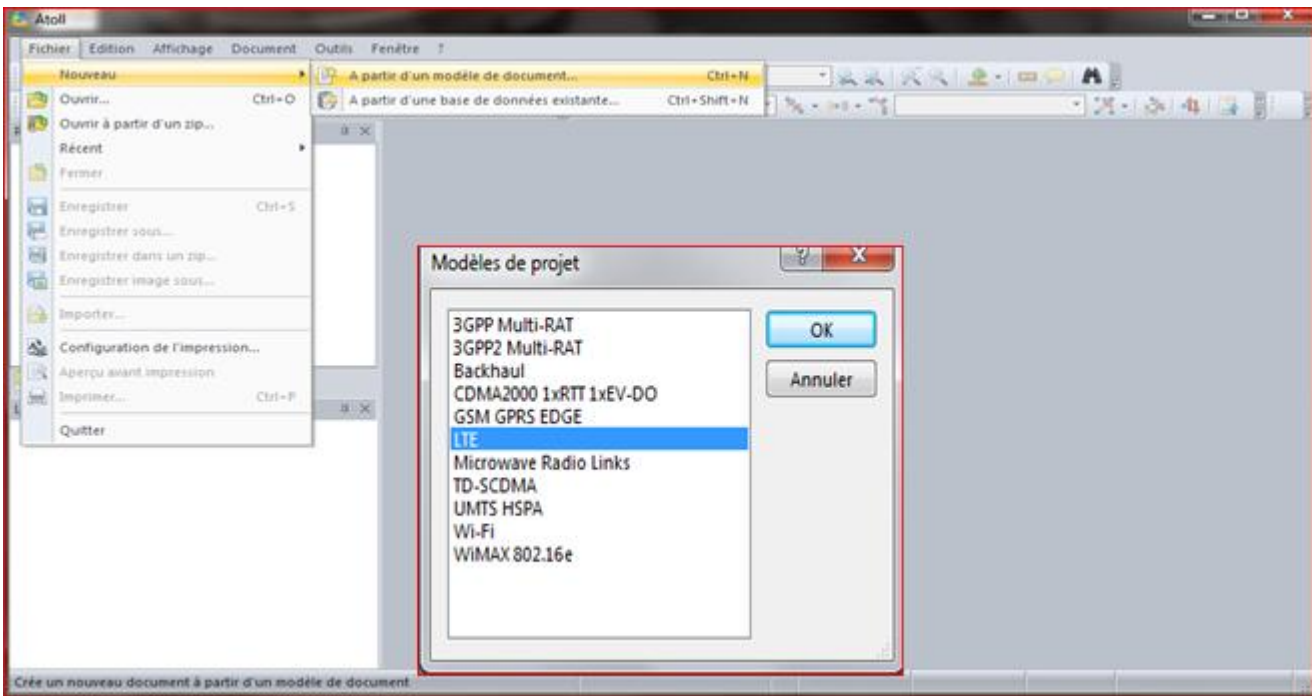


Figure IV.5: Choix du projet.

IV.7 PRE-PLANIFICATION

IV.7.1 La Réglage des paramètres de la zone :

Pour le réglage des paramètres on procède comme suite :

Sélectionnez — Document — Propriétés

➤ Les paramètres sélectionnés sont :

Projection -> Nord Sahara1959/ UTM Zone 32 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 géospatiale qui permet d'identifier tous les points de la terre.

Le système de coordonnées WGS84 est le système géodésique standard mondial, notamment utilisé par le système GPS ; il s'est rapidement imposé comme une référence pour la cartographie numérique. Un

Le système géodésique est un système de référence permettant d'exprimer les positions au voisinage de la Terre.

Les deux figures IV.6 et IV.7 expliquent les étapes à suivre pour le choix du système de coordonnées convenable a notre projet.

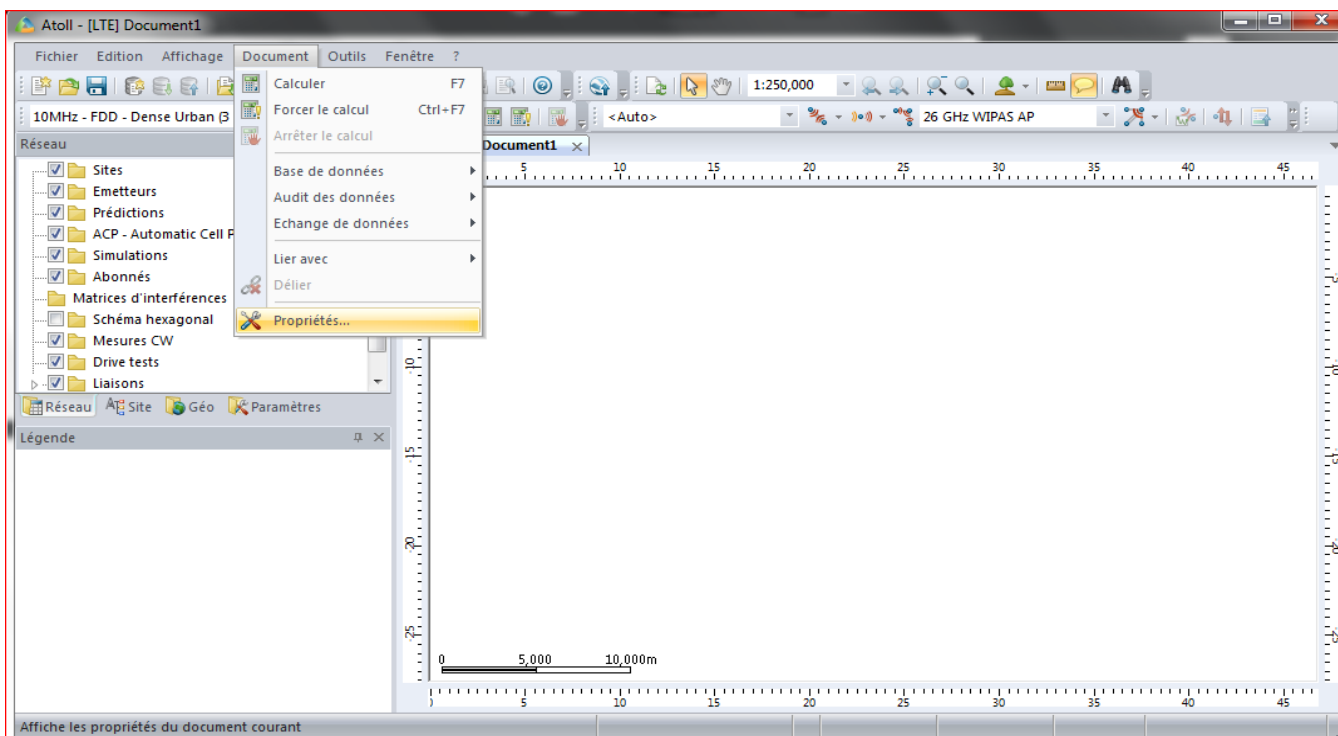


Figure IV.6: Choix du système de coordonnées.

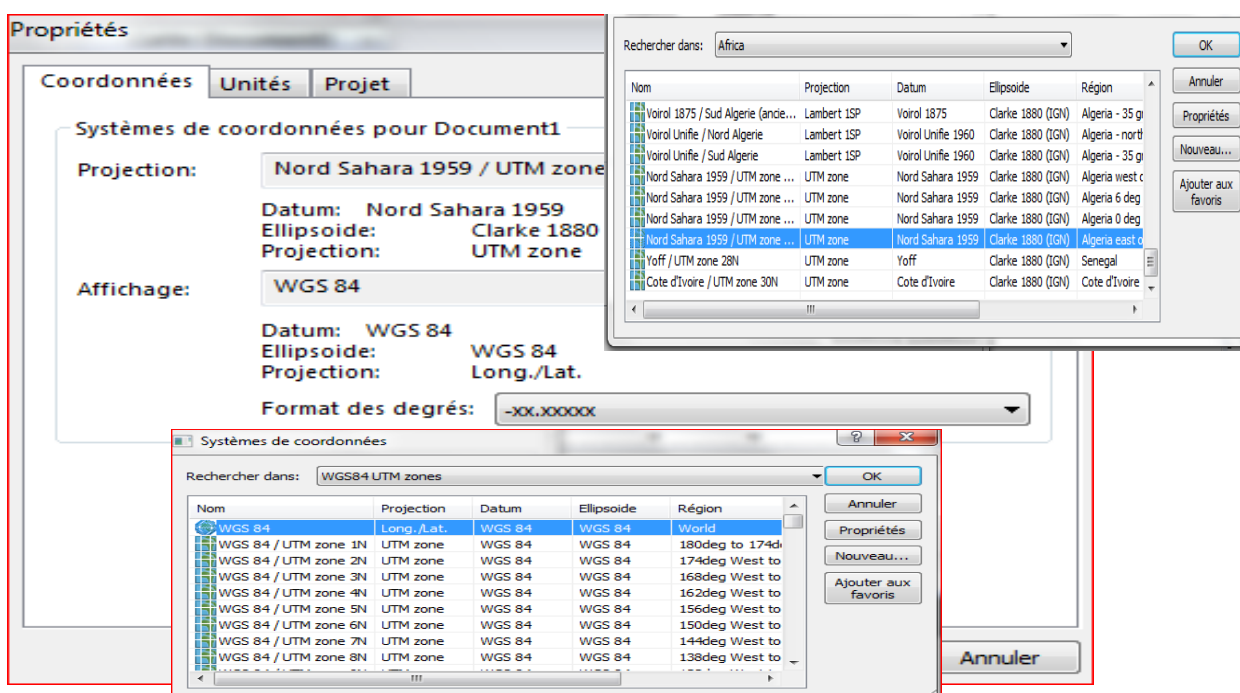


Figure IV.7: Liste des systèmes de coordonnées.

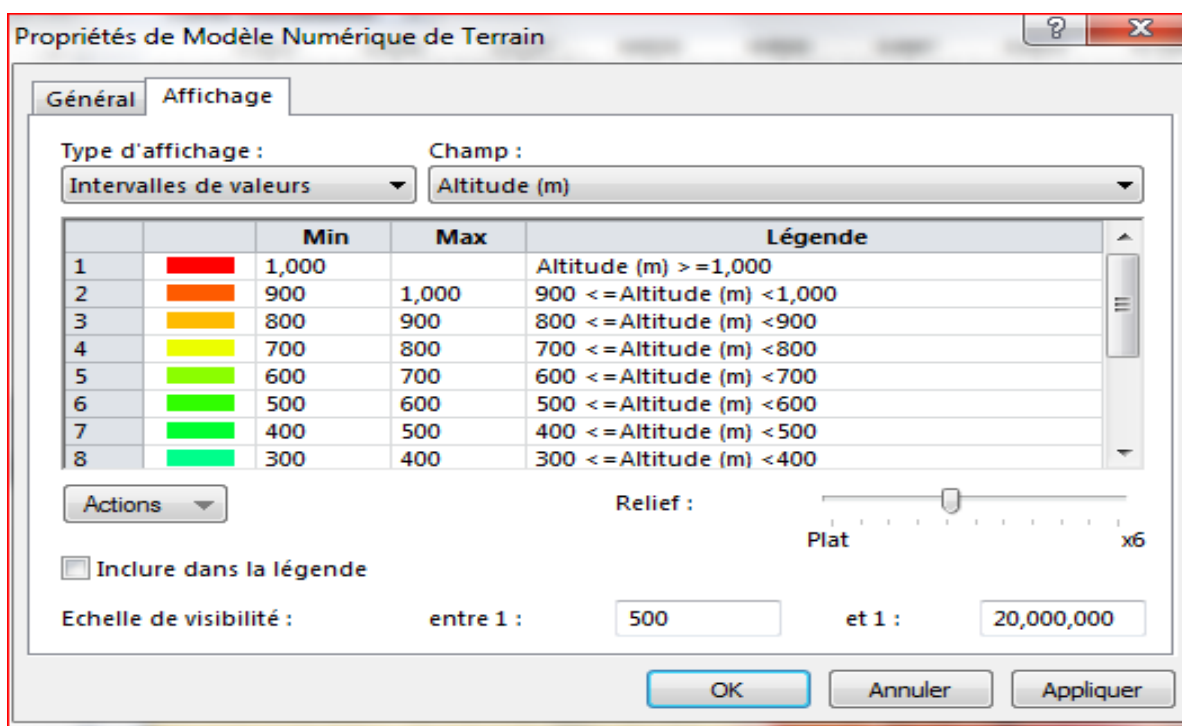


Figure IV.10: Tableau représente les niveaux d'altitude de Tebessa .

IV.8 PLANIFICATION

IV.8.1 Création des sites

Considérant le site comme étant l'eNodeB, chaque site est équipé de trois émetteurs. Pour positionner les sites sur notre carte, nous avons opté pour la méthode du motif hexagonal. Atoll propose un outil qui recherche automatiquement le ou les meilleurs emplacements pour optimiser la couverture. Il calcule également le nombre de sites nécessaires pour couvrir efficacement notre zone.

Le principal défi auquel les opérateurs sont confrontés est d'assurer une bonne couverture dans les zones densément peuplées. Pour atteindre cet objectif, plusieurs paramètres liés aux émetteurs sont pris en compte, tels que:

Le tilt : qu'il soit électrique ou mécanique, il ajuste l'inclinaison du lobe principal de l'émetteur par rapport à la verticale.

L'azimut : il permet de changer l'orientation de l'antenne dans le plan horizontal pour mieux cibler la zone à couvrir.

La hauteur des émetteurs : en modifiant cette hauteur, on permet à l'onde de se propager au-delà des bâtiments, évitant ainsi les effets d'écran causés par les réflexions des ondes.

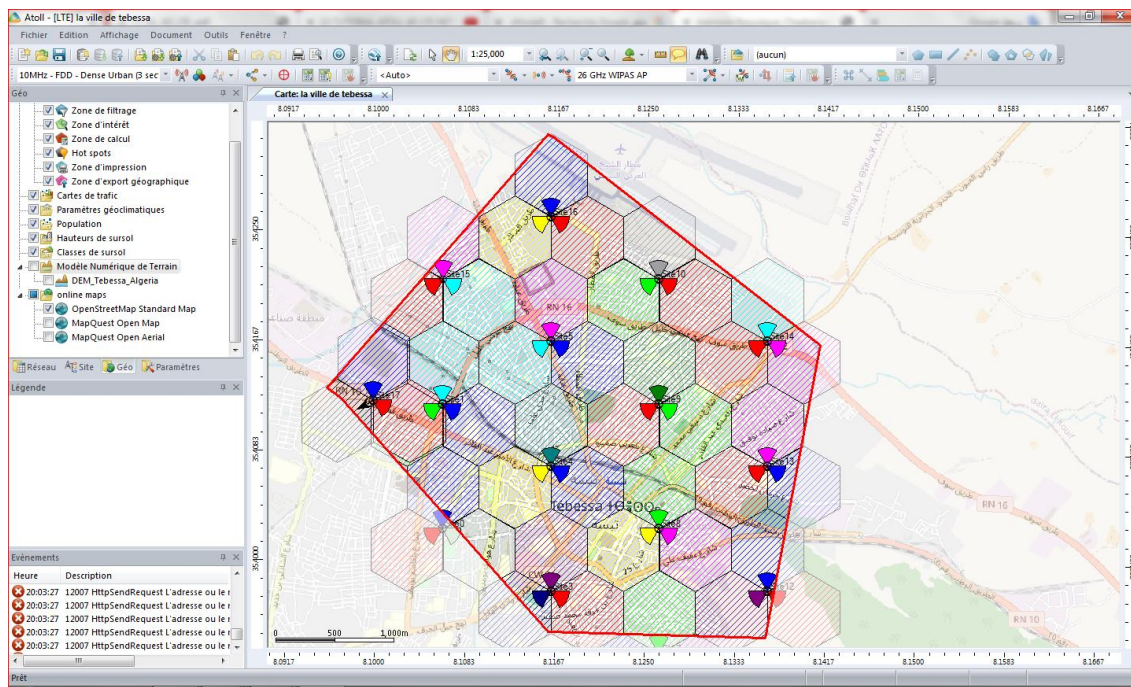


Figure IV.11: Emplacement des sites LTE mobile sur la Map

IV.8.2 Les caractéristiques des sites:

Atoll effectue automatiquement le calcul du nombre de sites nécessaires et les positionne dans notre ville (la zone de calcul). Les caractéristiques des sites sont présentées dans le tableau (IV.1):

| Nom | Longitude | Latitude | Altitude (m) |
|--------|-------------|--------------|--------------|
| Site0 | 8.106264941 | 35.402459502 | [1073] |
| Site1 | 8.106160428 | 35.411926003 | [1087] |
| Site3 | 8.116337107 | 35.397799961 | [1065] |
| Site4 | 8.116233789 | 35.407266495 | [1070] |
| Site5 | 8.116130423 | 35.416733014 | [1089] |
| Site7 | 8.126397116 | 35.393139481 | [1069] |
| Site8 | 8.126294992 | 35.402606048 | [1071] |
| Site9 | 8.12619282 | 35.4120726 | [1077] |
| Site10 | 8.126090601 | 35.421539136 | [1099] |
| Site12 | 8.136355049 | 35.397944742 | [1072] |
| Site13 | 8.136254071 | 35.407411327 | [1073] |
| Site14 | 8.136153046 | 35.416877896 | [1096] |

| | | | |
|--------|-------------|--------------|--------|
| Site15 | 8.106066879 | 35.42139257 | [1094] |
| Site16 | 8.116027009 | 35.426199518 | [1112] |
| Site17 | 8.099530818 | 35.411867739 | [1086] |

Tableau IV.1: les Coordonnées des sites.

IV.5.3 Propriétés d'une cellule :

Dans l'outil Atoll, chaque cellule est représentée comme un canal de fréquence radio (RF) avec toutes ses caractéristiques associées à un émetteur. Cette représentation est illustrée dans la Figure IV.10..

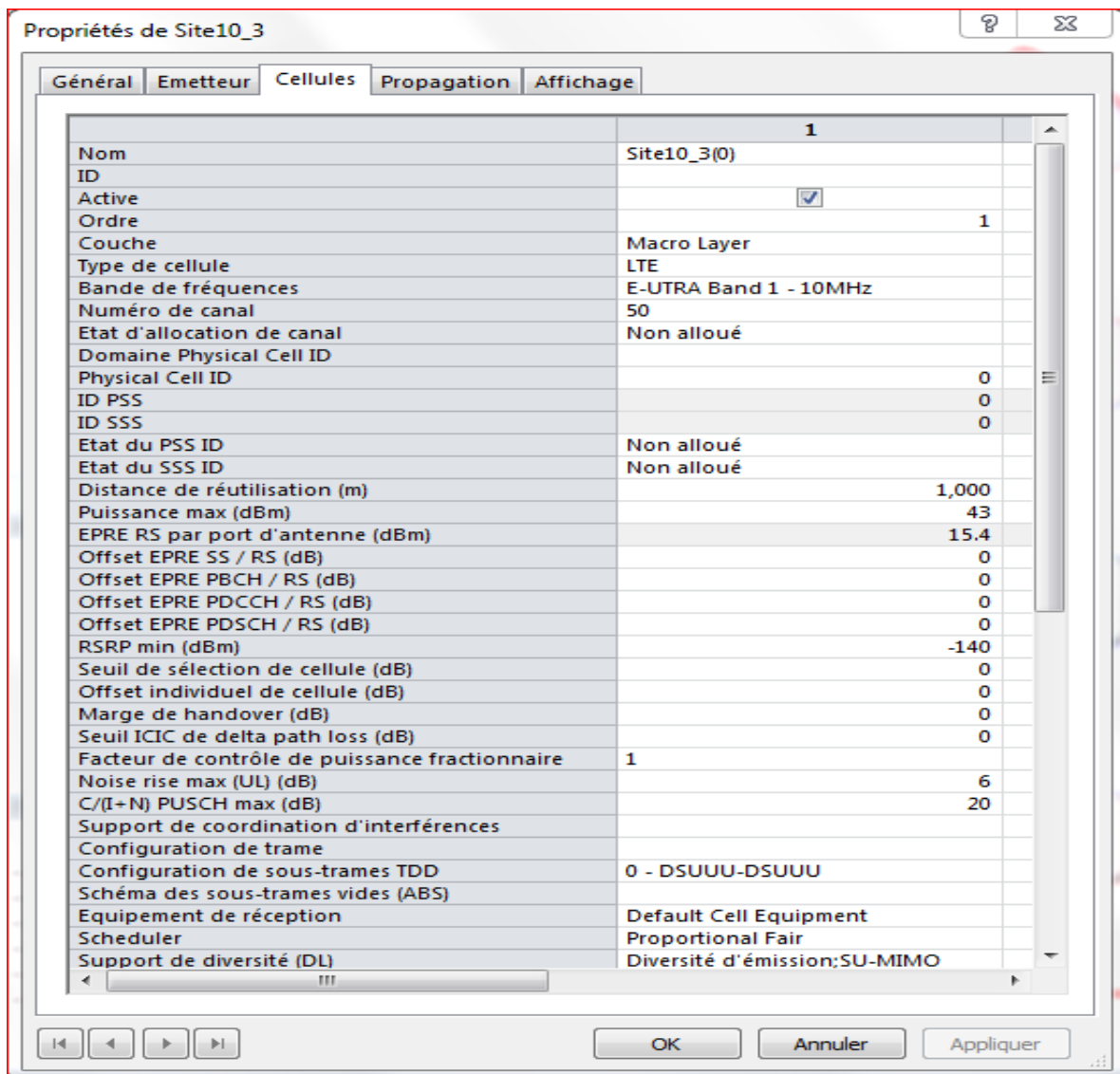


Figure IV.12: Configuration de la cellule ou antenne

L'état initial des Emetteurs:

Atoll génère initialement les sites nécessaires dans notre carte (la ville de Tebessa). Les caractéristiques des sites et des émetteurs sont considérées comme des valeurs de départ. Les caractéristiques sont présentées dans le tableau IV.2.

| Emetteur | Antenna | Height (m) | Azimuth (°) | Mec Downtilt (°) | Puissance (dBm) | Electri Downtilt (°) |
|----------|---------------------------------|------------|-------------|------------------|-----------------|----------------------|
| site | 65deg 18dBi 6Tilt 1800MHz | 40 | 120° | 4 | 0 | 0 |

Tableau IV.2: paramètres d'optimisation d'un émetteur.

IV.9 VERIFICATION**IV.9.1 Couverture**

Dans la pratique, le déploiement d'un réseau LTE nécessite une optimisation du placement des sites en respectant deux contraintes : la contrainte radio et la contrainte de trafic. Cela implique de tester différentes configurations en fonction du type d'antenne, de la puissance d'émission, de l'orientation et de la couverture de l'émetteur. Cette approche vise à converger vers une configuration optimale du réseau en suivant les principes suivants:

Répartir les émetteurs sur le terrain.

- Établir les zones de couverture en déplaçant les sites sur différentes zones, en ajustant les puissances d'émission et en choisissant les orientations.
- Une fois la couverture établie, rechercher une répartition des fréquences qui tient compte des sites voisins.
- En cas de couverture insuffisante, densifier le réseau en ajoutant des sites ou en remplaçant les émetteurs omnidirectionnels par des émetteurs tri-sectoriels.

Dans notre cas, nous allons effectuer une simulation de la couverture radio dans la ville de Tebessa. L'objectif de cette simulation est d'obtenir une bonne couverture pour assurer une qualité de service optimale. La zone à couvrir est définie dans la Figure IV.10 et la surface de la ville (centre-ville) est de 10,91 km². Notre étude se concentre sur une zone urbaine

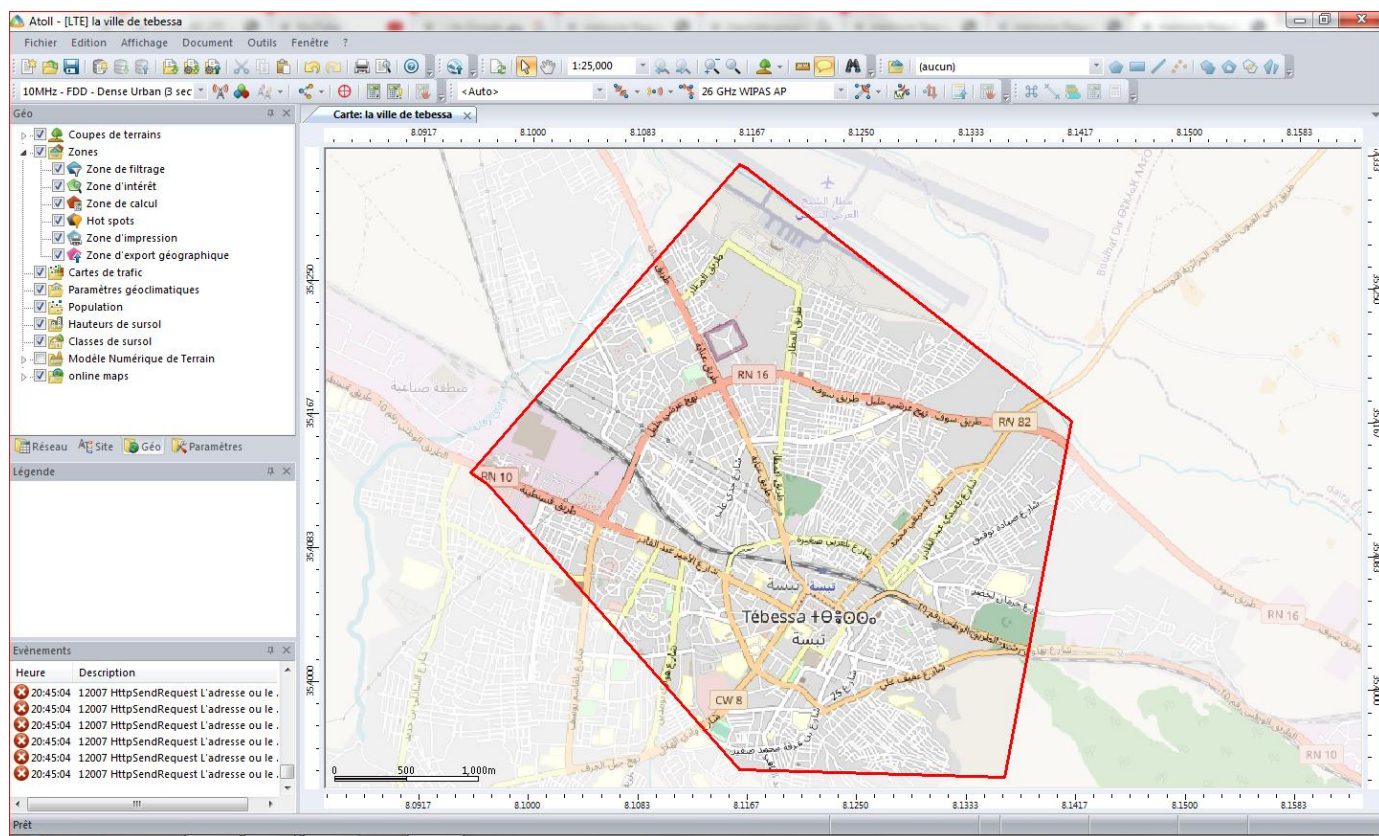


Figure IV.13: La ville de Tebessa (centre-ville)

Lors de cette étude, il est important de prendre en compte la résolution, qui détermine l'intervalle de simulation. Une résolution trop grande donnera des résultats très approximatifs, tandis qu'une résolution trop petite augmentera considérablement le temps de calcul.

IV.9.2 Prédiction de couverture:

Les prédictions de couverture sont essentielles pour analyser la qualité du signal dans le cadre des réseaux LTE. Dans Atoll, nous disposons de deux types de prévisions de couverture :

- Les prévisions de couverture sont utilisées pour évaluer le niveau de signal sur les liaisons montantes et descendantes. Elles nous permettent de comprendre comment le signal se propage dans différentes zones du réseau.
- Les prévisions de couverture nous aident à analyser la qualité du signal. Elles nous permettent d'étudier la zone de couverture en termes d'efficacité de service et de capacité de chaque cellule du réseau. Cela nous aide à identifier les éventuels problèmes de signal et à prendre des mesures pour les résoudre.

Dans notre cas, nous allons examiner trois types spécifiques de prévisions de couverture : [spécifier les trois types de prévisions de couverture que vous souhaitez mentionner].

* La couverture par niveau de signal

Cette prédiction vise à évaluer la puissance reçue par un appareil mobile à chaque point de la zone étudiée. L'objectif de cette étude est de détecter d'éventuelles zones où la réception est faible ou inexistante, communément appelées "zones aveugles", et de les éliminer en apportant des modifications à la configuration des sites et des émetteurs. Ces modifications peuvent inclure le déplacement d'un site, le changement de l'azimut d'un émetteur, l'ajustement de la puissance d'émission ou l'inclinaison (tilt) d'une antenne. L'objectif final est d'améliorer la couverture et la qualité du signal dans l'ensemble de la zone étudiée.

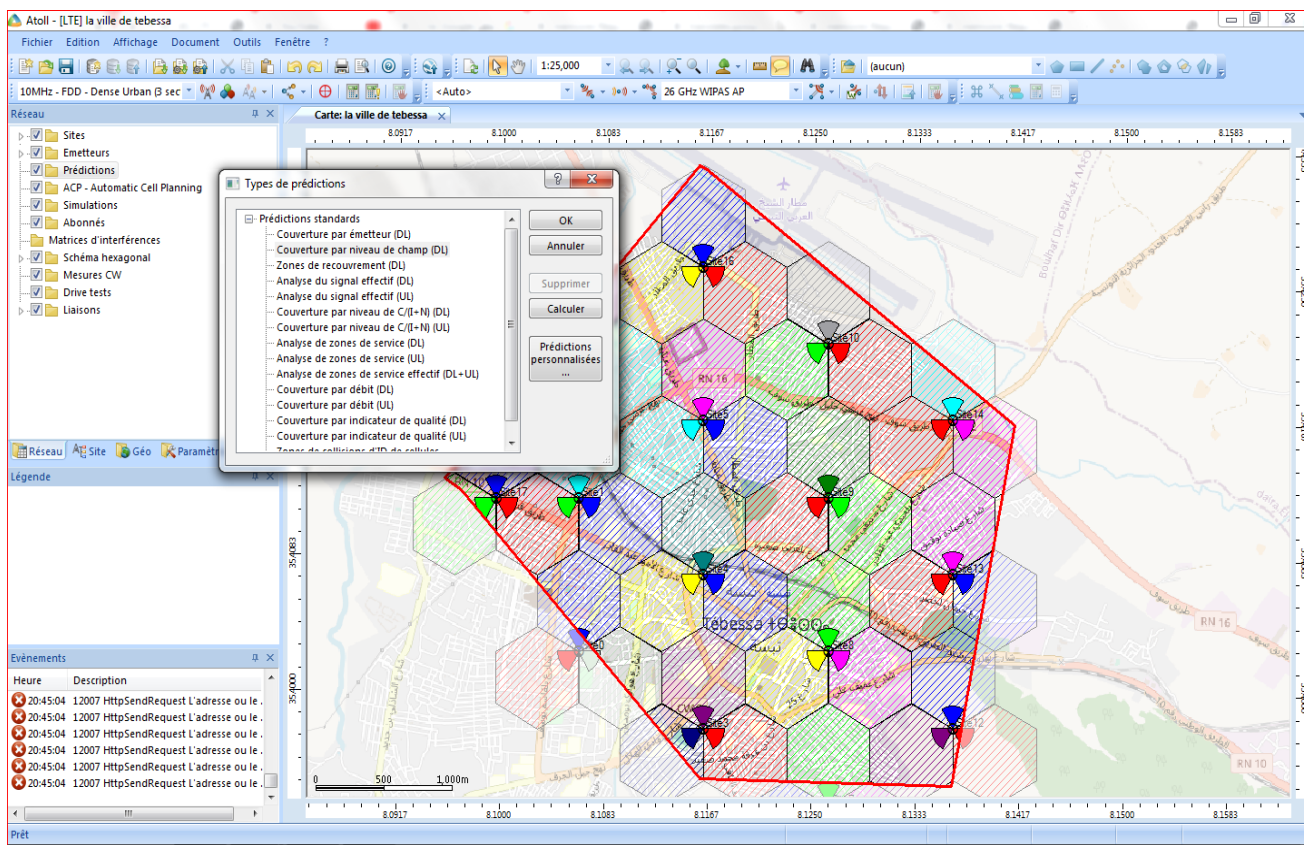


Figure IV.14: Création d'une couverture par niveau de signal

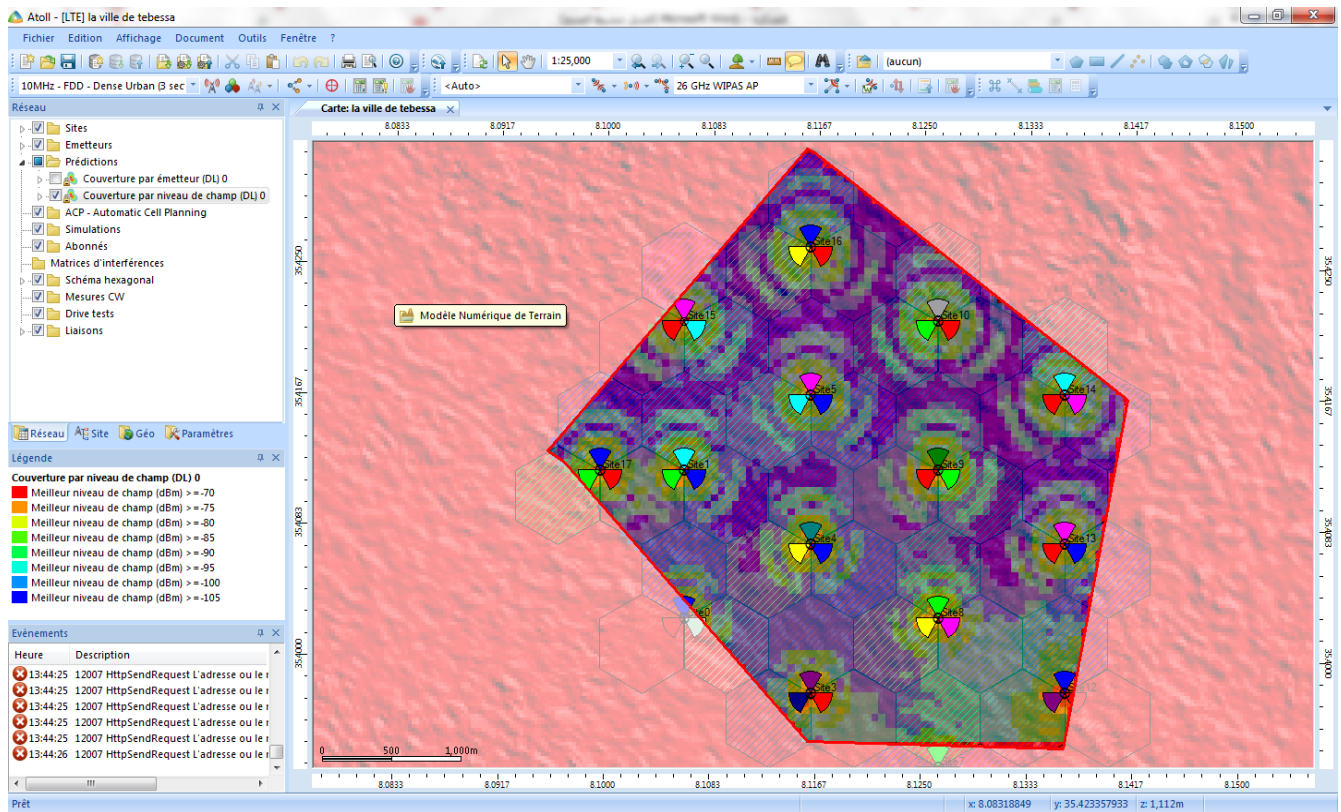


Figure IV.15: Résultat de la prédiction de couverture par niveau de signal

La figure IV.15 révèle que la ville de Tébesa est bien couverte avec un signal de haute qualité. Cependant, nous remarquons également que les sites des environs contiennent des émetteurs qui couvrent des zones en dehors de notre ville, ce qui nécessite leur suppression.

De plus, nous observons que les valeurs de puissance de signal les plus élevées sont concentrées autour des sites (représentées en vert). À mesure que l'on s'éloigne des sites, ces valeurs diminuent en raison de l'atténuation, comme en témoignent les couleurs (jaune, vert, bleu turquoise, bleu).

La figure IV.16 représente l'histogramme de la couverture en fonction des niveaux de signal, illustrant ainsi la distribution de ces niveaux.

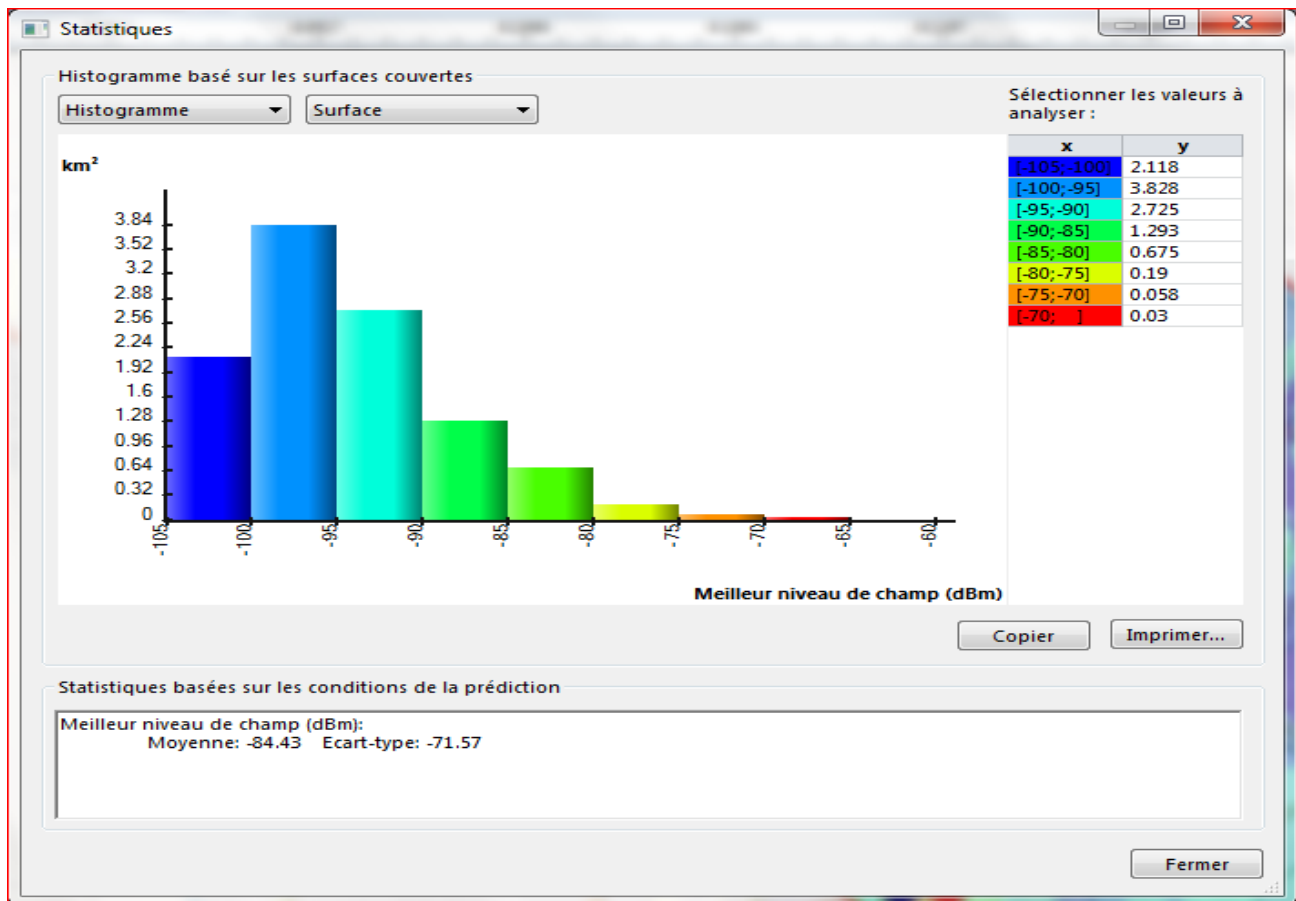


Figure IV.16: Histogramme de la couverture par niveau de signal initial

***La prédiction de couverture par émetteur**

Va nous donne une vue d'ensemble de tous les émetteurs du réseau, ce qui est extrêmement utile pour supprimer les émetteurs superflus. Cela est illustré dans la figure IV.17.

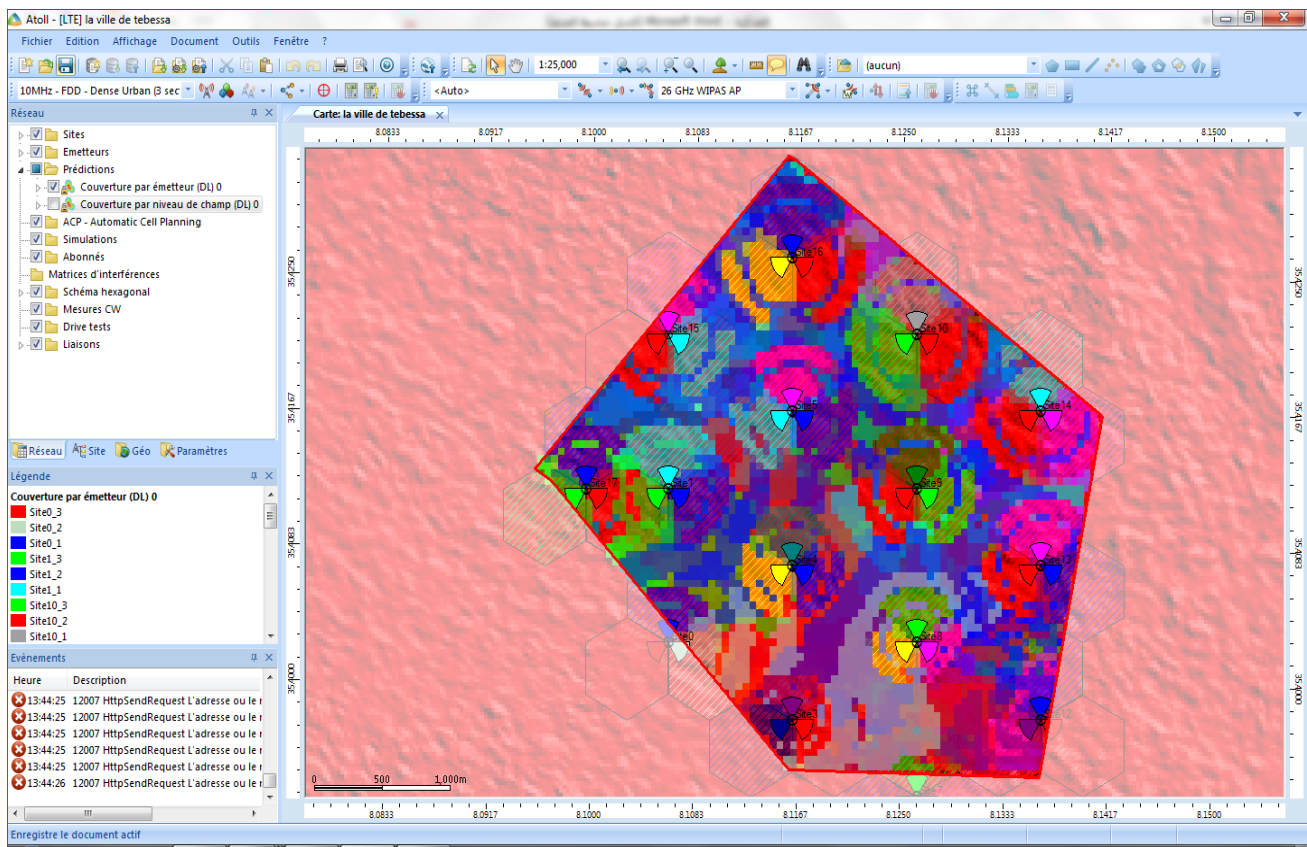


Figure IV.17: Résultat de la prédiction de la couverture par émetteur

La figure IV.14 met en évidence le fait que les sites environnants contiennent des émetteurs qui couvrent des zones en dehors de notre ville, ce qui nécessite leur suppression.

IV.10 L'OPTIMISATION

Atoll dispose d'une application appelée ACP (Automatique Cell Planning) pour optimiser un réseau et obtenir une bonne couverture. Cette application se base sur plusieurs facteurs liés aux caractéristiques des émetteurs, tels que la hauteur, la puissance, l'azimut, le tilt mécanique, le tilt électrique, ainsi que l'ajout ou la suppression de sites.

L'optimisation de notre réseau s'appuie sur les prédictions précédentes. La figure (IV.18) illustre le processus d'optimisation tel qu'il est réalisé dans l'application ACP d'Atoll. Pour effectuer une optimisation, nous sélectionnons ACP (Automatic Cell Planning), puis nous créons une nouvelle configuration en cliquant sur "New".

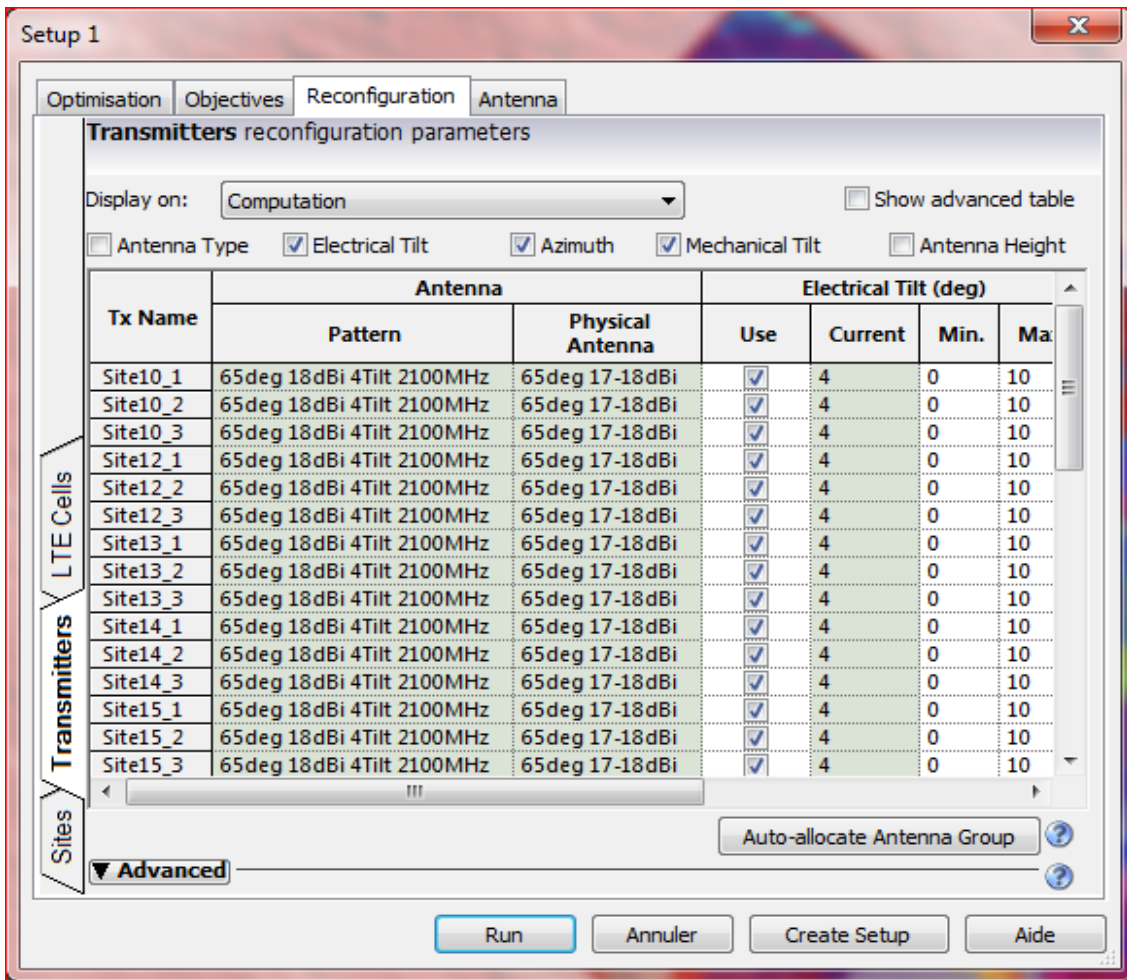


Figure IV.18: Paramètres de création d'un ACP-Automatique Cell Planning.

Une fois notre configuration mise en place pour l'optimisation de notre réseau, nous lançons le processus d'optimisation. La figure (IV.19) ci-dessous illustre cette procédure ainsi que les modifications apportées aux sites et aux émetteurs.

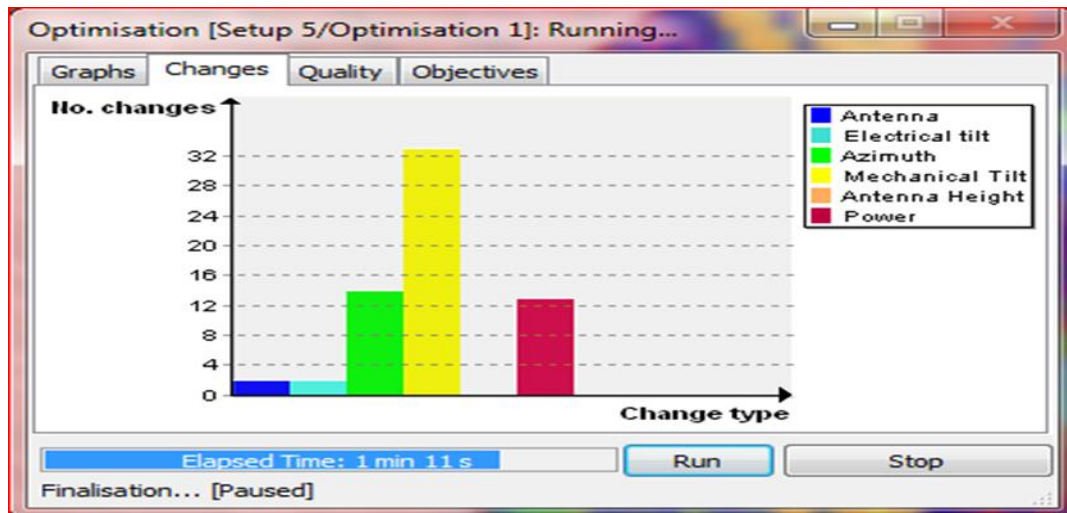


Figure IV.19: L'optimisation de notre réseau.

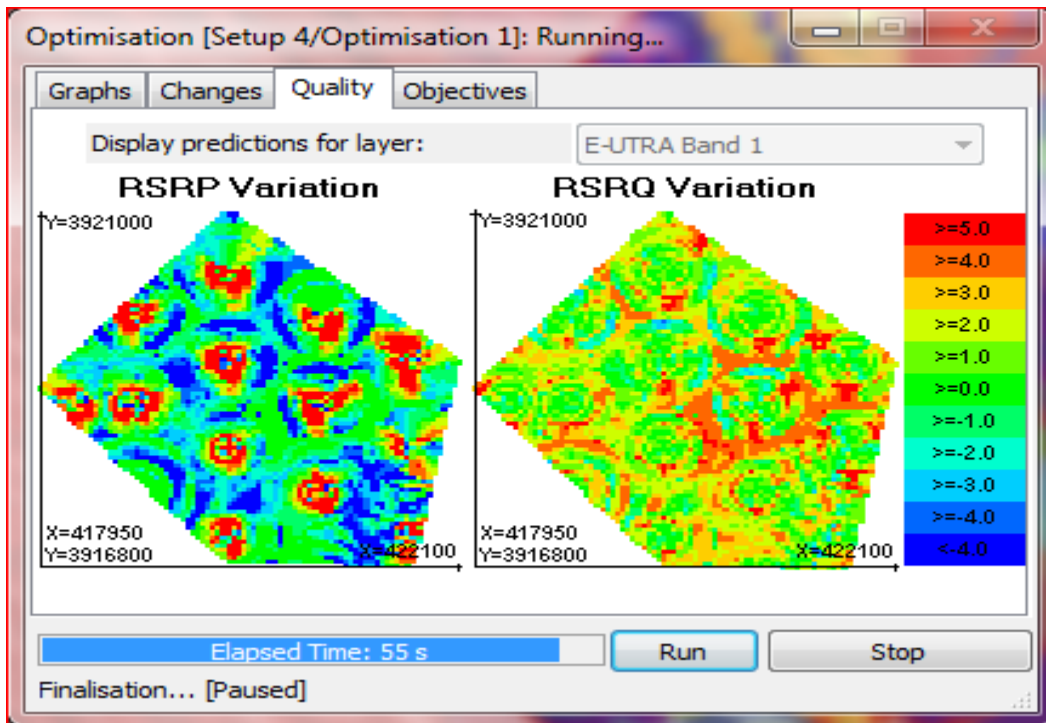


Figure IV.20: La couverture par RSRP variation et RSRQ variation

❖ Calcul de la zone de chevauchement (Overlapping zone)

Les zones de chevauchement font référence aux zones où le signal est couvert par au moins deux émetteurs. Les résultats de la simulation nous fournissent une carte de recouvrement permettant de distinguer les zones où les appareils mobiles seront couverts par un ou plusieurs émetteurs. Ces zones correspondent aux endroits où les handovers ont lieu. Afin de faciliter la procédure de sélection des cellules, il est important de limiter la couverture à un maximum de trois serveurs.

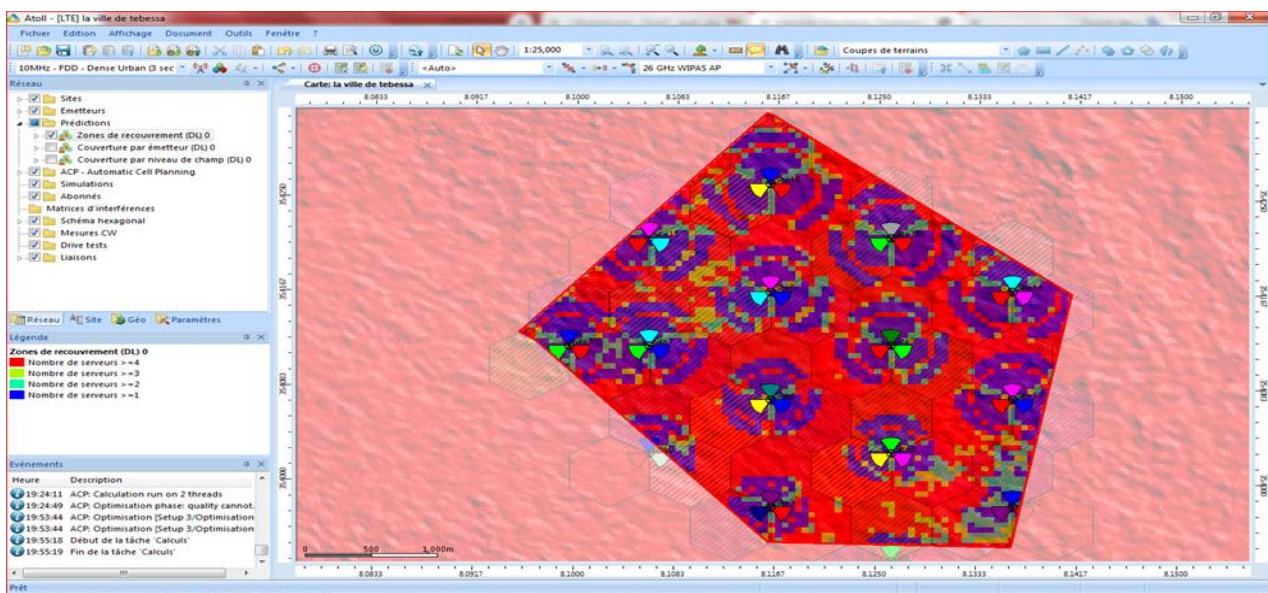


Figure IV.21: Carte de recouvrement

La figure IV.21 souligne la capacité du réseau à assurer les transferts intercellulaires (handovers) entre chaque cellule qui le compose, et cette capacité est confirmée de manière plus explicite par l'histogramme présenté dans la figure IV.22.

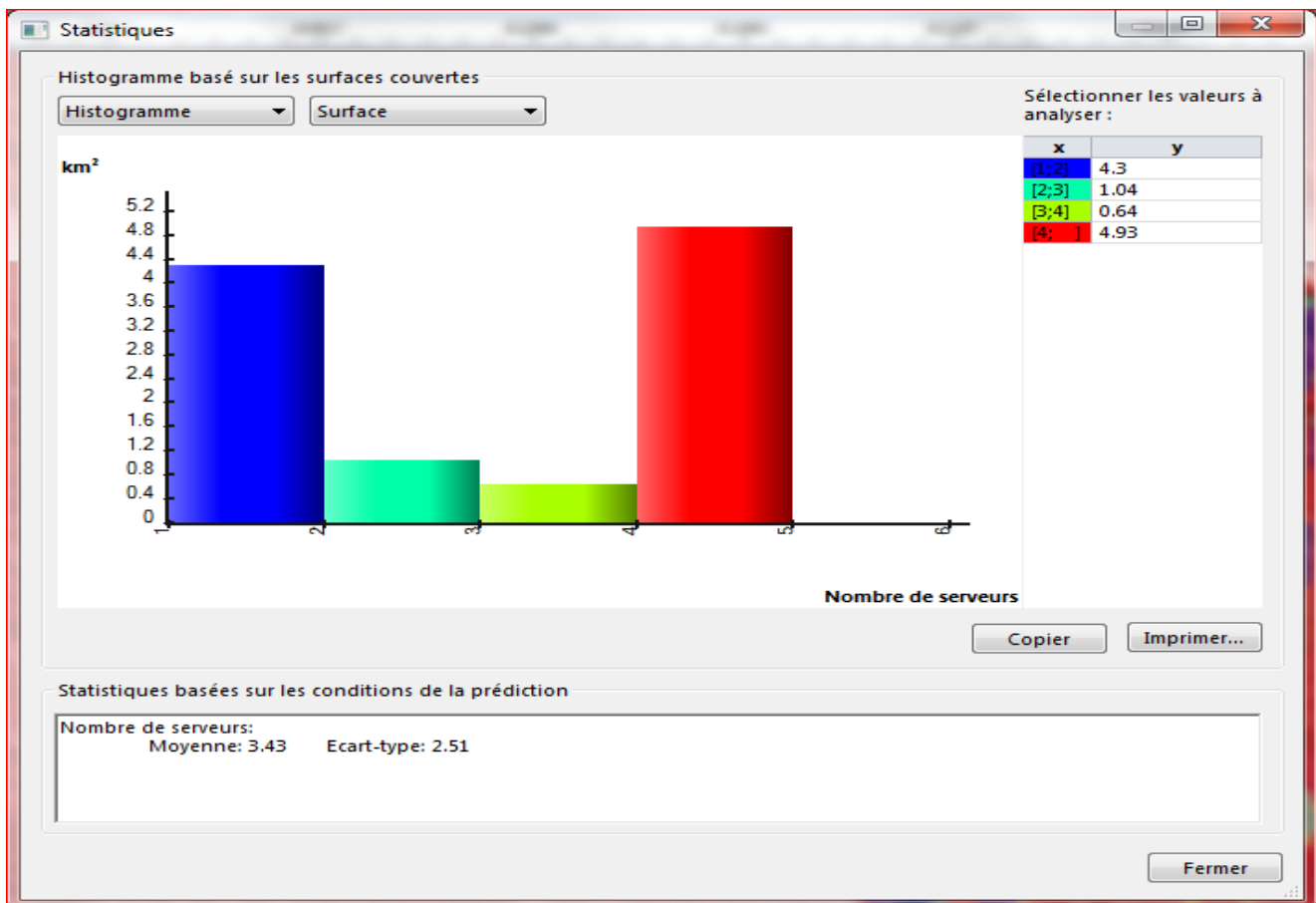


Figure IV.22: Histogramme de couverture par les zones de chevauchement.

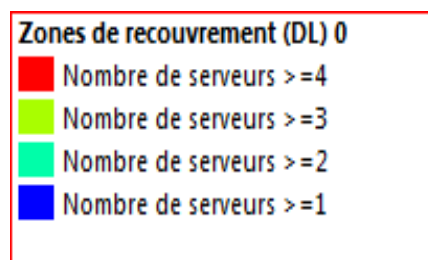


Figure IV.23: Légende de la carte de recouvrement

D'après la légende, nous pouvons conclure que l'intégralité de la zone est couverte par un seul serveur. Aux abords des cellules, nous constatons la présence de deux ou trois serveurs, correspondant aux zones de chevauchement entre les cellules.

IV.11 ANALYSE DES TRONÇONS

Il est essentiel de bien comprendre le profil topographique de la zone en question afin d'évaluer si nos sites réseau fourniront une couverture adéquate. Nous effectuons des études détaillées des tronçons qui relient chaque paire de sites successifs. Prenons l'exemple du tronçon entre le site 14 et le site 3. Les résultats de l'analyse de ces tronçons sont schématisés dans la figure IV.24.

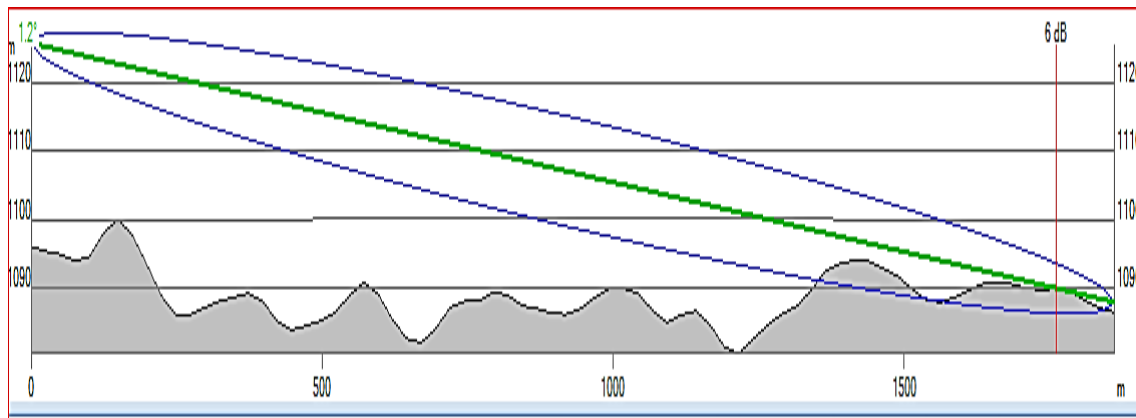


Figure IV.24:Test de la liaison site 14-site3

❖ Couverture par débit de navigation (traffic)

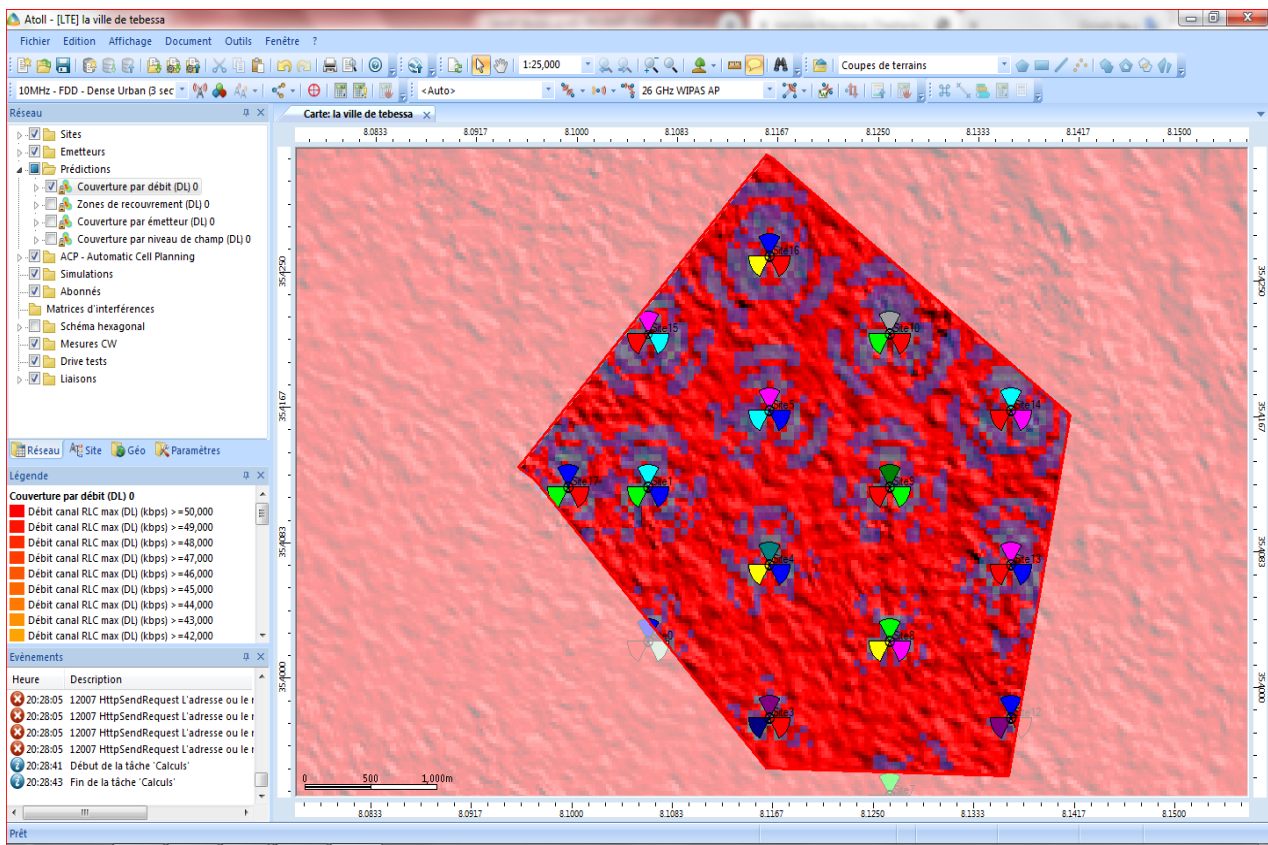


Figure IV.25: couverture par débit de navigation (DL throughput).

La majeure partie de la ville (35 %) bénéficie d'un débit d'accès très élevé (50 Mbps), indiqué par la couleur rouge sur la carte.

L'histogramme ci-dessous (Figure IV.26) présente les débits des zones couvertes en fonction de la superficie de la zone planifiée.

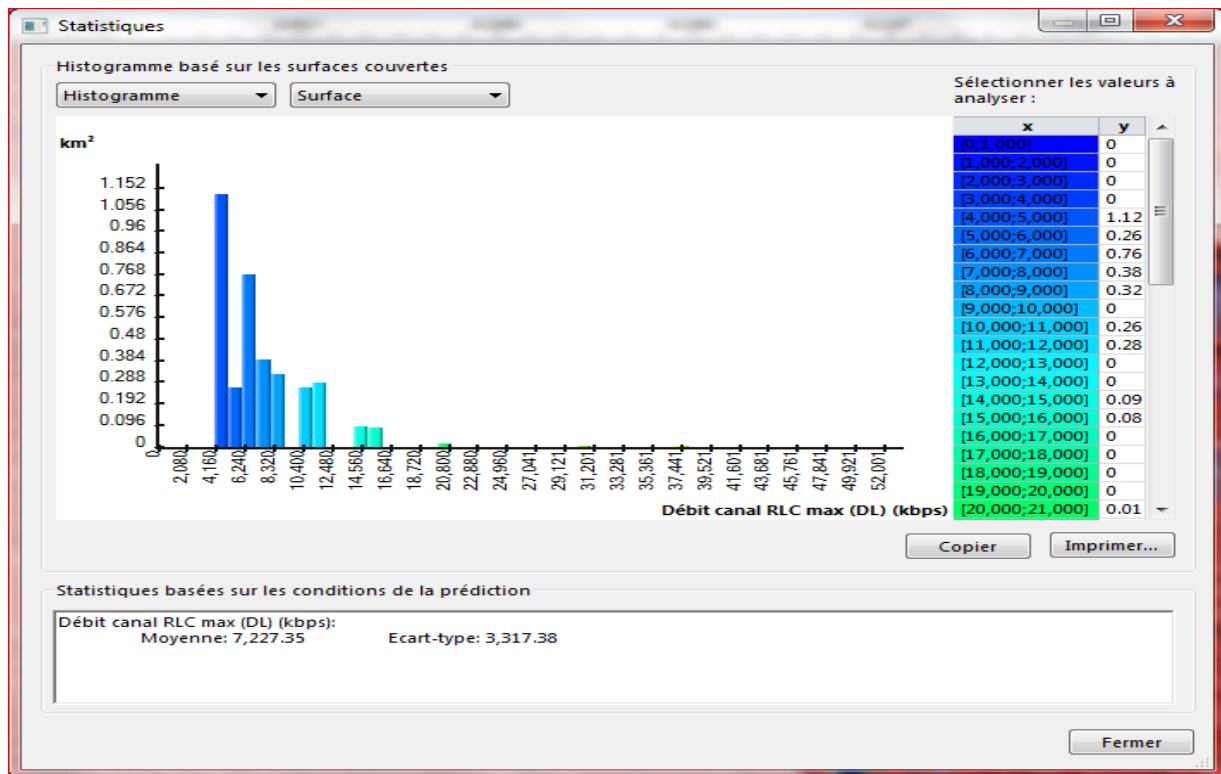


Figure IV.26: Histogramme de couverture par DL débit.

❖ Couverture par Emetteur:

Cette prédiction nous permet de déterminer les limites des différents secteurs de cellules du réseau pour chaque site. La figure suivante montre la prédiction de transmission de chaque site avec ces 3 secteurs après l'optimisation.

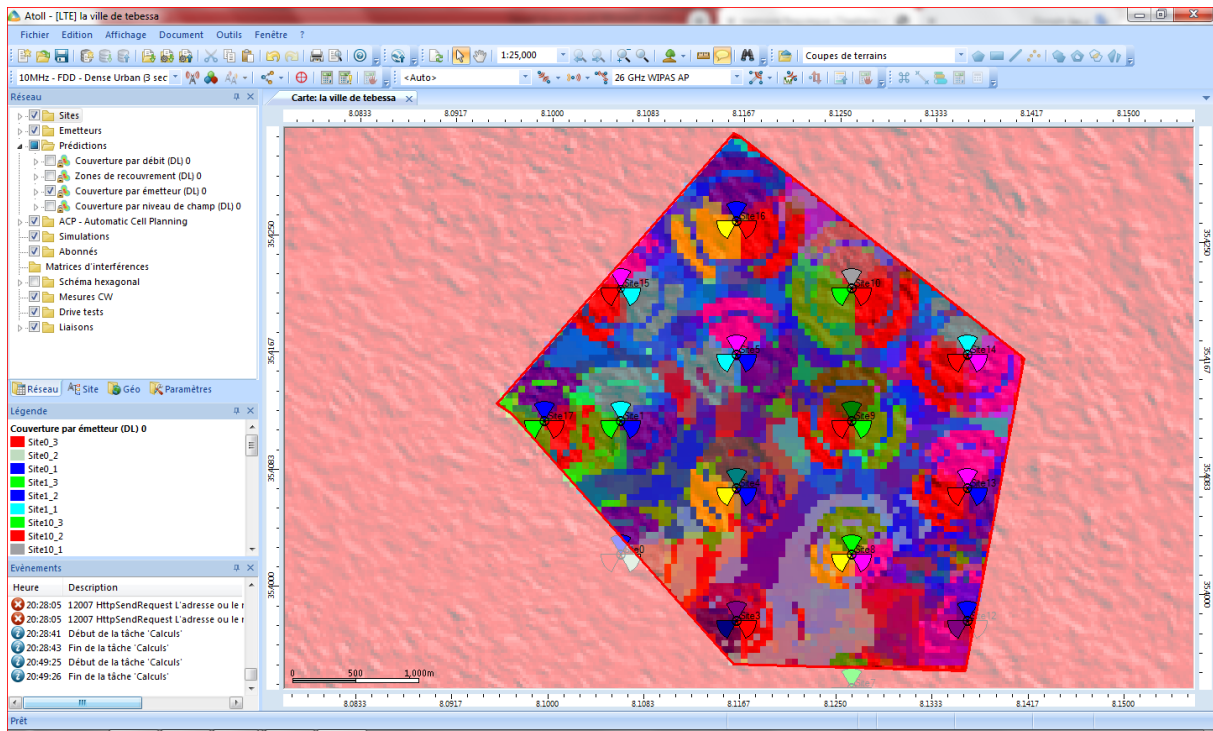


Figure IV.27:Prédiction de la couverture par secteur (Emetteur).

Remarque : Lors du test de couverture à n'importe quel point de la carte, nous utilisons l'outil d'analyse par point qui nous fournit deux éléments clés : le profil du terrain et une évaluation quantitative des puissances de réception.

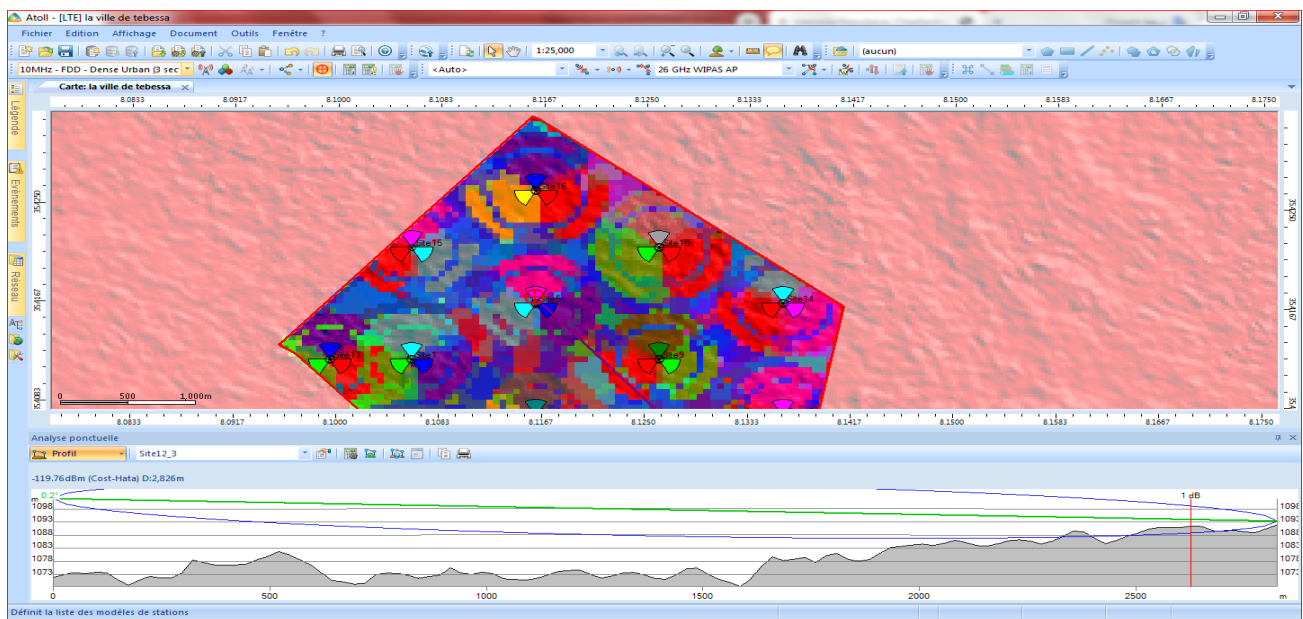


Figure IV.28: Onglet « Profile » du point d'analyse d'émetteur site12-3.

Par exemple, nous avons sélectionné un site 12_3 où la bonne qualité du signal est attribuable à l'absence d'obstacles entre les deux terminaux, comme illustré dans la figure..

IV.12 LES ABONNES

Le nombre d'abonnés est une estimation basée sur des études marketing, fournie par l'opérateur au fournisseur chargé de réaliser les calculs de dimensionnement. Dans notre cas, nous avons estimé le nombre d'abonnés à environ 300 utilisateurs par kilomètre carré.

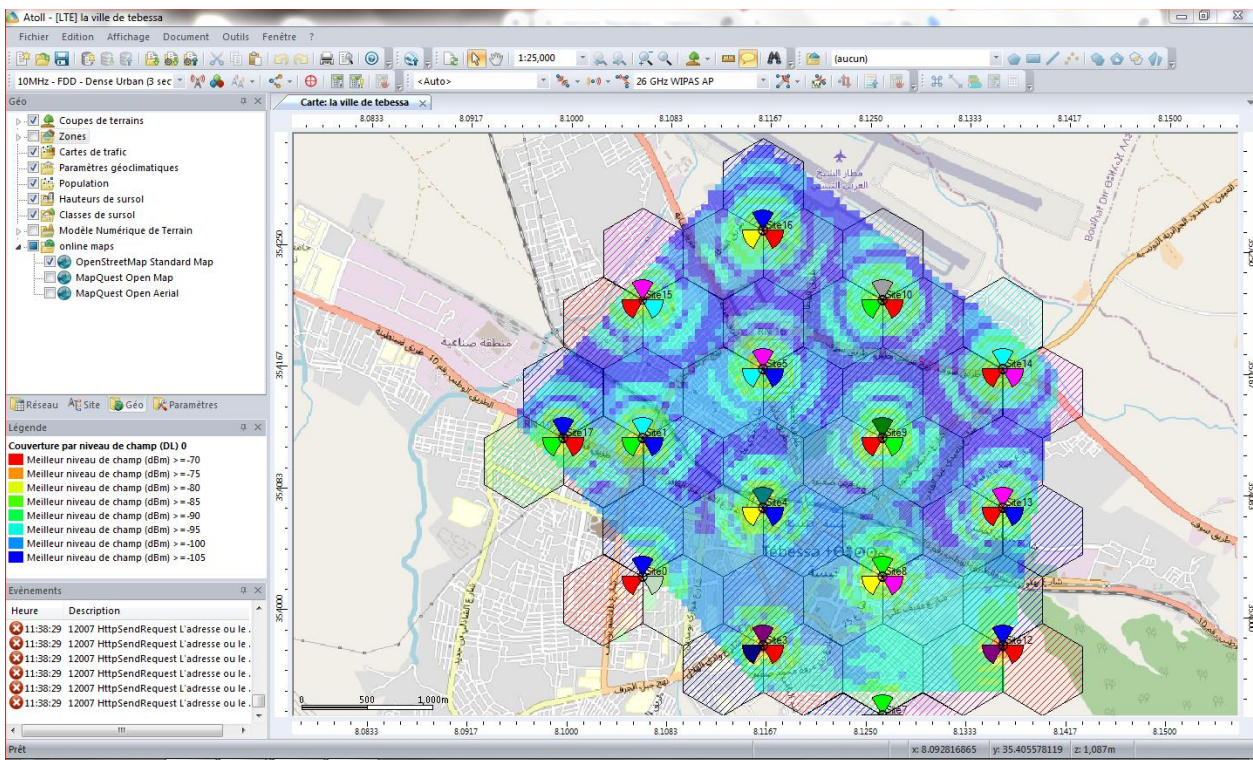


Figure IV.29: La création des utilisateurs

Propriétés de Simulation 0

Statistiques Sites Cellules **Mobiles** Conditions initiales

Actions

Total : 5268

| Id mobile | X | Y | Hauteur (m) | Profil utilisateur | Service | Terminal | Mob |
|-----------|-------------|--------------|-------------|--------------------|------------------------|---------------|---------|
| 1 | 8°7'45.05"E | 35°22'59.02" | 1.5 | Business User | High Speed Internet | MIMO Terminal | 90 km/h |
| 2 | 8°7'42.27"E | 35°22'59.97" | 1.5 | Business User | Mobile Internet Access | MIMO Terminal | 90 km/h |
| 3 | 8°7'41.9"E | 35°23'1.37" | 1.5 | Business User | High Speed Internet | MIMO Terminal | 90 km/h |
| 4 | 8°7'34.71"E | 35°23'2.71" | 1.5 | Business User | High Speed Internet | MIMO Terminal | 90 km/h |
| 5 | 8°7'39.46"E | 35°23'3.1"N | 1.5 | Business User | High Speed Internet | MIMO Terminal | 90 km/h |
| 6 | 8°7'33.54"E | 35°23'4.26" | 1.5 | Business User | High Speed Internet | MIMO Terminal | 90 km/h |
| 7 | 8°7'40.14"E | 35°23'5.87" | 1.5 | Business User | High Speed Internet | MIMO Terminal | 90 km/h |
| 8 | 8°7'46.8"E | 35°23'6.04" | 1.5 | Business User | Mobile Internet Access | MIMO Terminal | 90 km/h |
| 9 | 8°7'42.31"E | 35°23'6.95" | 1.5 | Business User | Mobile Internet Access | MIMO Terminal | 90 km/h |
| 10 | 8°7'34.73"E | 35°23'7.84" | 1.5 | Business User | High Speed Internet | MIMO Terminal | 90 km/h |
| 11 | 8°7'52.73"E | 35°23'7.58" | 1.5 | Business User | Mobile Internet Access | MIMO Terminal | 90 km/h |

Fermer

Figure IV.30: Table des paramètres des utilisateurs.

IV.13 RESULTAT DE FINALE LA SIMULATION

La figure (IV.30) illustre les résultats de la simulation, à la fois en termes de couverture et de capacité.

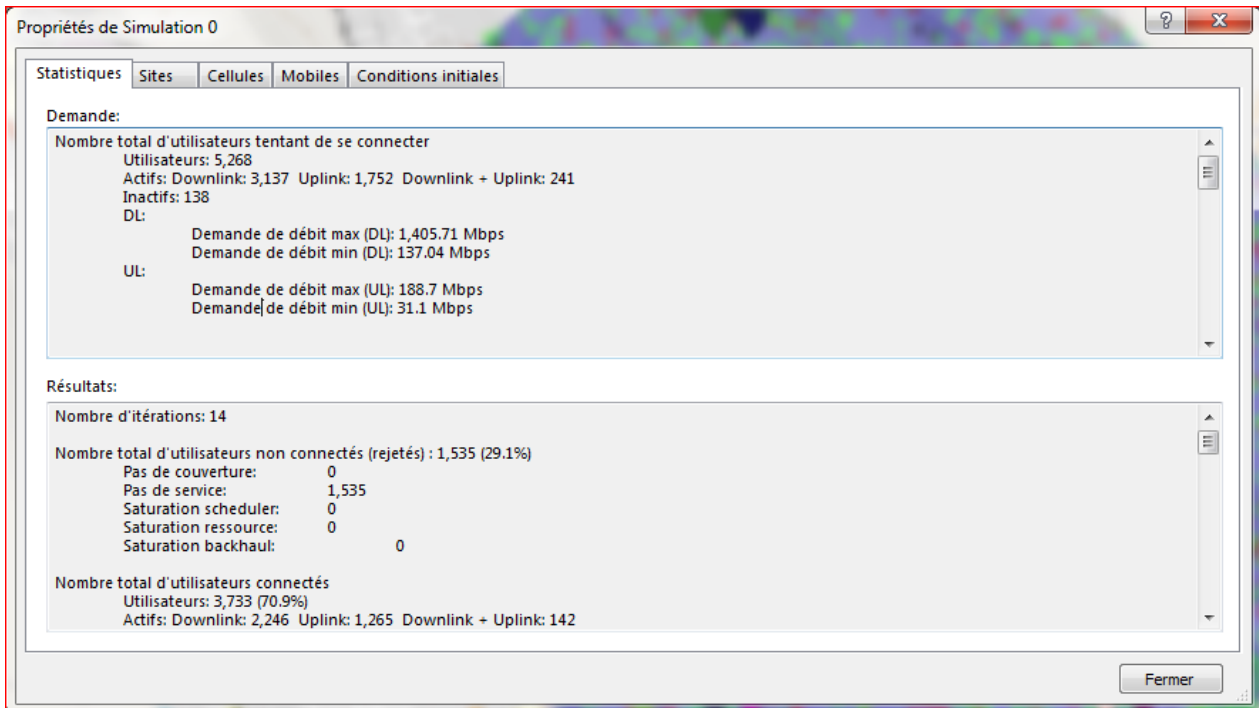


Figure IV.31: Résultat final de la simulation.

IV-14 CONCLUSION

Dans ce dernier chapitre, nous avons brièvement décrit le logiciel Atoll ainsi que ses différentes fonctionnalités. Depuis la création de notre projet, Atoll s'est révélé être un outil essentiel pour la planification des réseaux sans fil. Dans notre étude, nous avons traversé plusieurs étapes, notamment la pré-planification de notre réseau, la planification proprement dite et la vérification, au cours de laquelle nous avons effectué des prédictions de couverture du niveau de signal et des émetteurs. Enfin, la dernière étape consiste à utiliser Atoll pour optimiser certains paramètres des émetteurs afin d'améliorer leur efficacité.

CONCLUSION GÉNÉRALE

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 la ville De Tebessa.

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 la ville De Tebessa.

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.

Annexes

→ Pour télécharger la carte géographique de l'endroit où nous voulons étudier, il y a plusieurs étapes à prendre en premier. → D'abord, nous obtenons dans un site " www.earth explorer.com " connectez-vous au site et inscrivez-vous par e-mail ; Ce site affiche la carte du monde et nous mettons le siège des zone de la géographie étudiée :

1. أدخل معايير البحث.

لتحديد منطقة البحث: اكتب عنواناً أو اسم مكان ، أدخل الإحداثيات أو انقر على الخريطة لتحديد منطقة البحث (الأدوات الخريطة المتقدمة ، اعرض وثائق التعليمات) ، و / أو انقر نطقاً زمنيًا

تحميل ملف شكل / KML / المكون الجغرافي

حدد طريقة الترميز الجغرافي

الميزة (GNIS)

حدود البحث: حد نتائج البحث هو 100 سجل، حدد الدولة و / أو لغة الميزة و / أو نوع الميزة لتطبيق فترتك في تجاوز هذا الحد

ميزات العالم

اسم الميزة (استخدم / كحرف بدل)

ولاية

الجميع

نوع الميزة

الجميع

إظهار / مسح

منطق محددة مسبقاً / دائرة / منط

عدد عشري / الدرجة / الدقيقة / الثانية

1. شرقاً "08° 07' 18" Lon: N خط العرض: 35° 24' 56" شرقاً

2. شرقاً "08° 06' 42" Lon: N خط العرض: 35° 24' 12" شرقاً

3. خط العرض: 35° 23' 45" شمالاً ، خط الطول: 08° 07' 46" شرقاً

4. شرقاً "08° 08' 16" Lon: N خط العرض: 35° 24' 32" شرقاً

استخدم الخريطة / إضافة الإحداثيات / مسح الإحداثيات

USGS الخرائط المقدمة ليست للبراءة أو للتوزيع ؛ يجب استخدامها كدليل للأغراض المرجعية والبحث فقط ؛ ليست مملوكة أو معارة من قبل ESRI و GIS وجامعة ستانفورد و IGP و IGN و Aerogrid و Getmapping و GeoEye و AEX و USGS و USDA و i-cubed و Esri المصدر © Esri Tiles

→ Pour télécharger la carte à partir du site, nous Appuyons sur " DATA SETS " et ouvrir " Digital élévation " et coucher sur "ASTER GLOBAL DEM V3.0 " cliquer sur "Résultat " et télécharger la carte.

4. نتائج البحث

إذا حددت أكثر من مجموعة بيانات واحدة للبحث ، فاستخدم القائمة المنسدلة لمشاهدة نتائج البحث لكل مجموعة بيانات محددة

إظهار ضوابط النتيجة

مجموعة البيانات

ASTER Global DEM V3.0

«الأول» السابق 1 من 1 التالي «الآخر»

عرض 1-1 من 1

رقم تعريف الكيان: ASTGMTV003_N35E008.zip

الإحداثيات: 8.5 ، 35.5

تاريخ البدء: 2000/03/01

تاريخ الانتهاء: 2013/11/30

«الأول» السابق 1 من 1 التالي «الآخر»

البحث في مجموعة البيانات:

قائمة مجموعة البيانات هذه مخزنة مؤقتًا للأداء. إذا تغيرت أدوات المستخدم الخاصة بك أو لم تكن ترى مجموعة بيانات متوقعة ، فانقر هنا لتحديث قائمتك .

الصور الجوية

AVHRR

CEOS إرت-

الأقمار الصناعية التجارية

البيانات التي رفعت عنها السرية

الارتفاع الرقمي

الرسوم البيانية الخطية الرقمية

الخرائط الرقمية

EO-1

العالمية Fiducials

HCMM

ISERV

الغطاء الأرضي

لاحتسنت

LCMAP

مجموعات تاسا LPDAAC

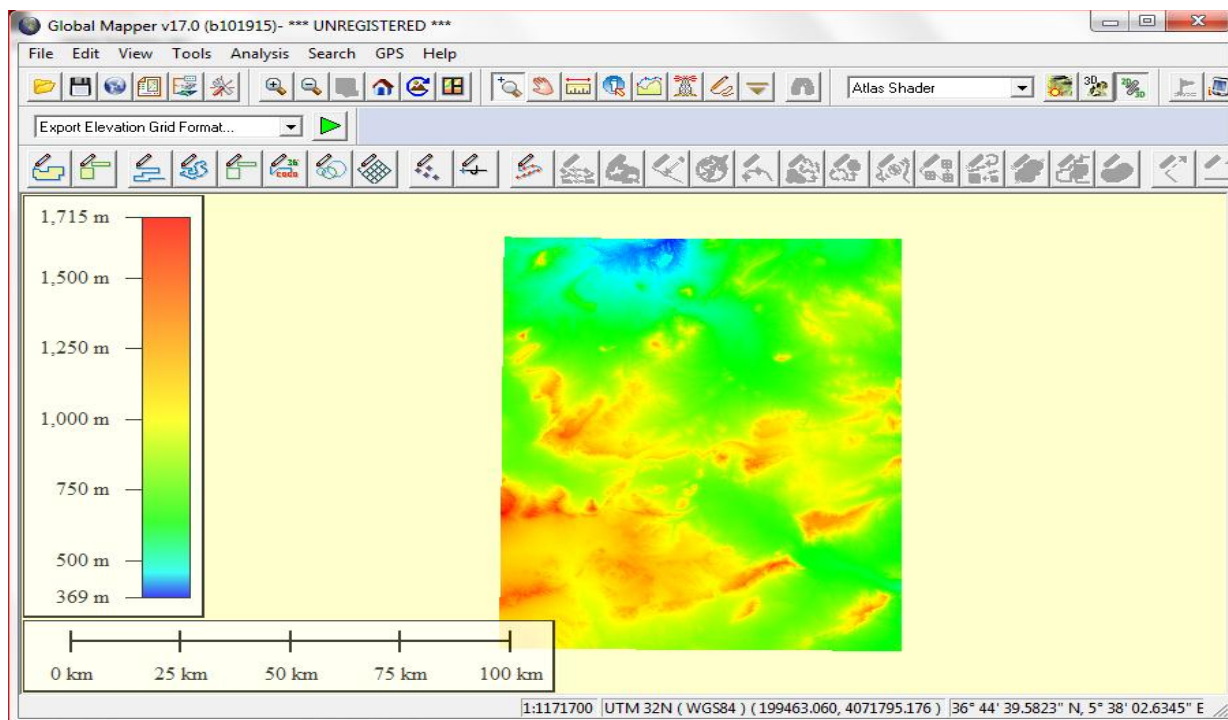
مجموعات ASTER

ASTER 1 المستوى V3.0

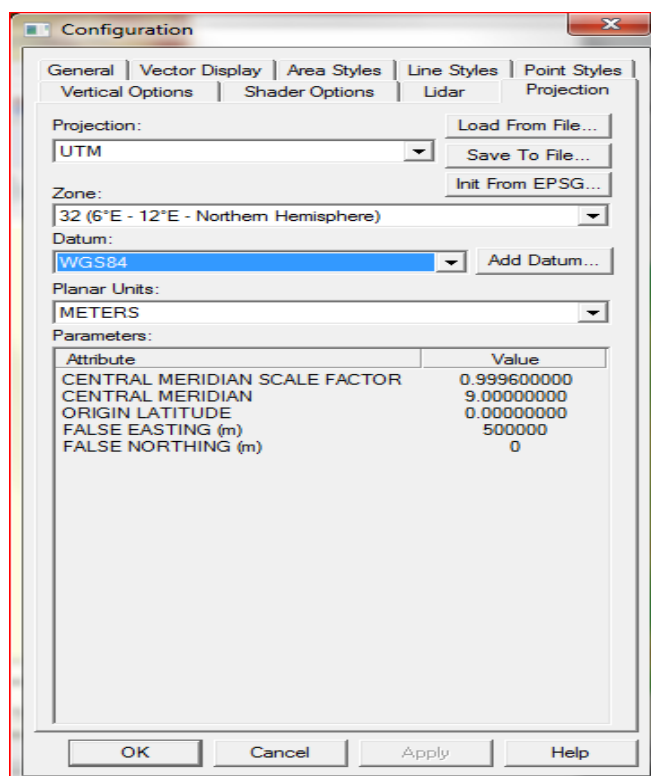
ASTER Global DEM V3.0

ASTER Water Bodies قاعدة بيانات V1.0

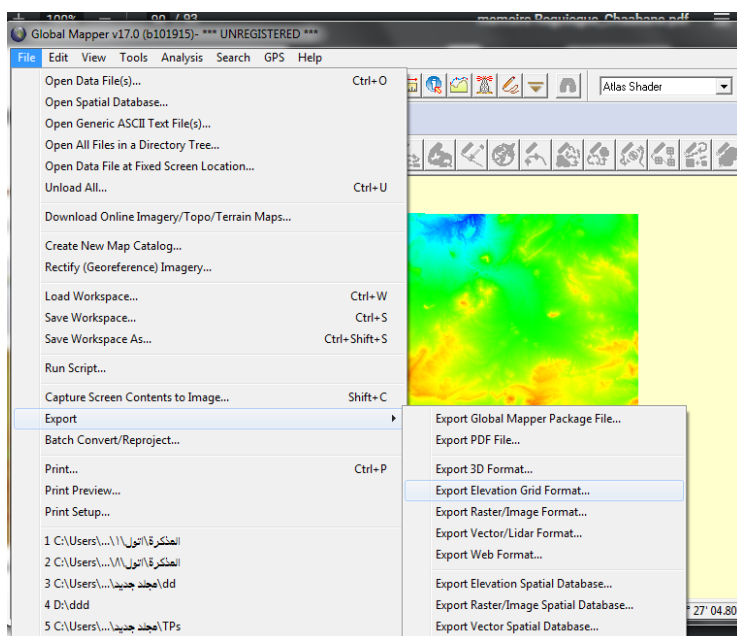
→ Prochaine étape Connectez-vous au logiciel " GLOBAL MAPPER " et insérez la carte téléchargée et convertissez-la en (.grd)



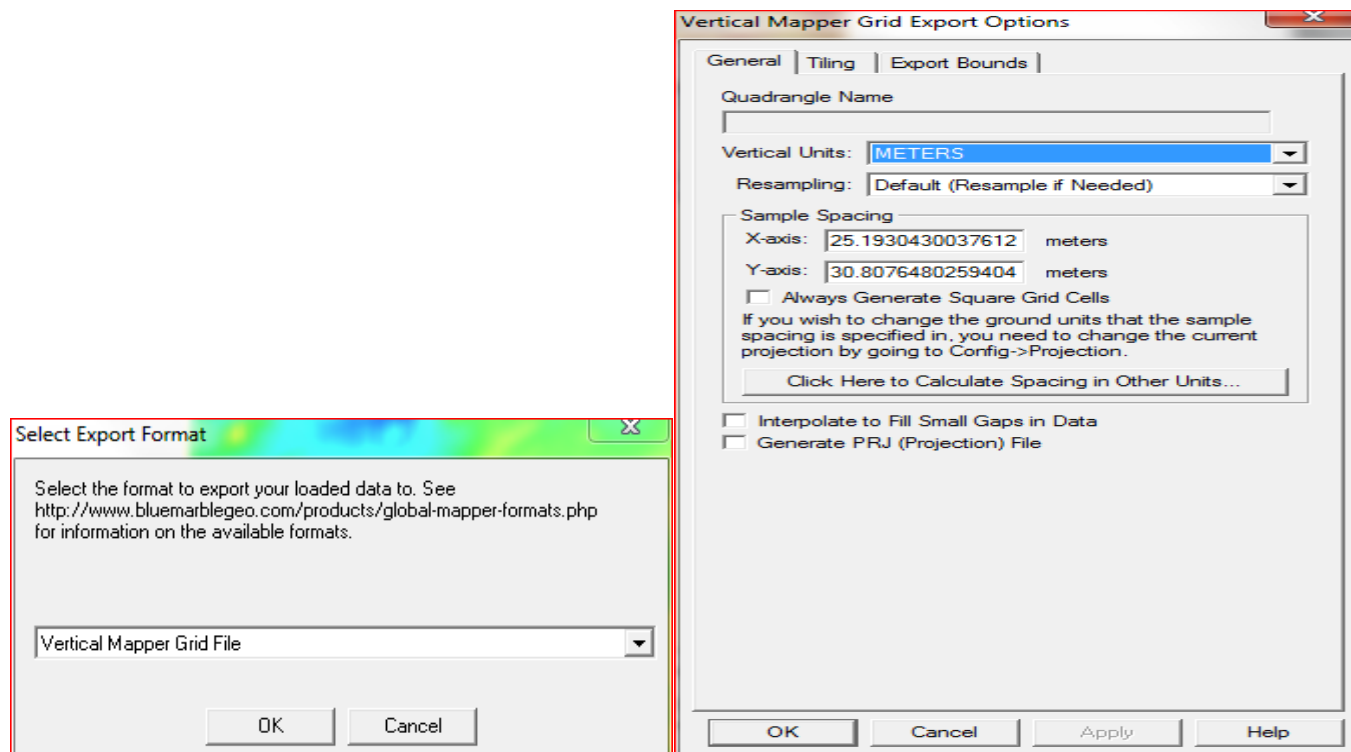
→ Cliquer " Tools" → " Configure " → " Projection " → Sélectionnez dans la liste " WGS84 " → "OK".



→ Cliquer " File" → " Export " → " Export Elévation Grid Format"



→ Coucher sur " VERTICAL MAPPER GRID FILE "



→ Cliquer sur "OK " et choisissez où enregistrer la carte.

→ Maintenant, la carte géographique appropriée du travail et de l'étude que nous faisons a été téléchargée.

Références bibliographie

- [1] Hacini, Kamel, Transition 2G/3G/4G en communication mobile: Cas site université d'ATM Mobilis. Diss. Université de Jijel, 2019.
- [2] <http://www.marche-public.fr>
- [3] REGUIEGUE Mohammed CHAABANE Ali, Etude et dimensionnement d'un réseau mobile 4G LTE à la ville d'El-Oued. Université El-Oued 2021.
- [4] <https://www.officeeasy.fr>
- [5] Dihia, Chihaoui, and Moudir Sonia. Dimensionnement d'un réseau 4G LTE. Diss. Université DE TIZI-OUZOU, 2018.
- [6] Nouradine Saïd Ali. Etude de Transmission pour les réseaux LTE/4G(Mobilis). Diss. Université de BLIDA.2016
- [7] Bouguen, Yannick, Éric Hardouin, and François-Xavier Wolff. "réseaux 4G." (2012).
- [8] Ouchene, Oussama, Houssein Mahmoudi, and L. Achour. Dimensionnement et planification d'un réseau mobile 4G/LTE. Diss. Université de Béjaïa, 2022.
- [9] <https://wikimemoires.net/>
- [10] ZENATI, Ilyas, and Oussama BOUFERSAKHA. Dimensionnement et planification d'un réseau LTE. Diss. Université de Tlemcen 2017
- [11] BOUCHENTOUF, Hadjer, and Riyad BOUDGHENE STAMBOULI. Etude des performances des réseaux 4G (LTE). Diss Université de Tlemcen . 2013.
- [12] <https://fr.fmuser.net/>
- [13] <https://fr.wikipedia.org/>
- [14] BOUSHAKI O, MOSBAH A . Dimensionnement et planification d'un réseau LTE. Diss Université de Blida.2020
- [15] M.COULON, "canal de propagation", institut de recherche informatique de Toulouse, 2007.
- [16] <https://docplayer.fr/>
- [17] LTE Features Atoll 3.4.0, FORSK, 2019.