

N° d'ordre :

N° de série :

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Mémoire de Fin d'Étude

Présenté à

L'Université Echahid Hamma Lakhdar d'El Oued

Faculté de Technologie

Département de Génie Electrique

En vue de l'obtention du diplôme de

MASTER ACADEMIQUE

En Télécommunications

Thème

**Etude et dimensionnement d'un réseau mobile 4G LTE à la ville
d'El-Oued**

Présenté par:

REGUIEGUE Mohammed

CHAABANE Ali

Soutenu le. 23/09/2021. Devant le jury composé de:

Mr. Ghendir Said.	Maitre de conférences	Président
Mr. Touhami Reda	Maitre de conférences	Rapporteur
Mr. Ajgou Riadh	Maitre de conférences	Encadreur

Année Universitaire 2020/2021

Dédicace

*Je dédie ce modeste travail à:
Les esprits de mes très chers parents,
Je dédie aussi ce travail à ma toute famille,
Mes fils, mes sœurs et mes frères.
À tous mes amis et mes collègues de travail en
INSFP Hassi Messaoud – Ouargla.*

Mohammed

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à:

Mes très chers parents, pour leurs soutient moral et financier en leurs espérant une longue vie et que Dieu les garde. Je dédie aussi ce travail à mes sœurs et frères en part

Et à tous mes amis.

*A tous les étudiants de ma promotion de 2ème année
master de Système et Télécommunication*

Ali

Remerciements

Nous tenons à remercier en premier lieu ALLAH, le tout Puissant de nous avoir donné courage, santé et patience pour achever ce travail
Deuxièmement, après Dieu, nous exprimons notre gratitude à ceux qui ont été la raison de notre existence dans ce monde à nos parents, qui sont notre source constante de soutien, qui ont travaillé dur pour atteindre ce point de notre chemin de vie.

Même

Les remerciements ne leur suffisent pas pour faire valoir leur droit
À notre promoteur de mémoire,
AJGOU Riadh, maître de conférences A la
Faculté des sciences et Technologie -Université d'El Oued, pour qui nous a
Fait l'honneur d'accepter la présidence de cette mémoire.
Un grand merci à tous nos frères, nos sœurs, les amis et les personnes qui nous ont apportées leurs soutiens et leurs aides.

Nous tenons à remercier profondément a tous ceux qui ont contribué avec nous
et

Nous ont soutenus dans ce travail de loin ou de près.

Enfin, nous tenons à exprimer notre profonde gratitude, tous les encadrements et les professeurs d'Université
Echahid HAMMA LAKHDAR, El-Oued., qui nous contenait jusqu'à ce que nous atteignons ce point.

Mohammed; Ali

Résumé

Le LTE est l'une des nouvelles technologies sans fil, elle dispose d'un ensemble de techniques hertziennes permettant de connecter un utilisateur distant au réseau IP par l'intermédiaire d'un lien radio. Son rôle, consiste à offrir une qualité de service (QoS) meilleure et une véritable augmentation du débit que celle du réseau terrestre. Dans cette thèse nous avons étudié le réseau LTE dans le but de le dimensionner et le planifier au niveau de la ville d'Eloued en mettant en œuvre un logiciel de calcul qui facilite cette tâche et la rend plus simple.

Mots clés : LTE, 4G, planification, Dimensionnement, capacité, Réseau cellulaire.

Abstract

LTE is one of new wireless technologies; it has a set of wireless technologies to connect a remote user to the IP network via a radio link. His role is to provide a quality of service (QoS) and better real increase in throughput than the terrestrial network. In this theme, we studied the LTE network in order to size the planning and implementing in the city of Eloued, computing software that facilitates this task and makes it simple.

Keywords : LTE, 4G, planning, sizing, capacity, Cellular network.

ملخص:

تعتبر تقنية ال تي إي LTE من التقنيات الحديثة للاتصالات اللاسلكية حيث تضم هذه التكنولوجيا مختلف التقنيات المستعملة لربط المستخدمين إلى شبكة الاتصال وذلك عن طريق الأمواج الهوائية. من بين أهداف هذه التكنولوجيا، السعي لتوفير نوعية جيدة للخدمات ورفع لمستوى التدفق أكثر مما هو معروض في الشبكة الأرضية. ولقد تطرقنا في هذه المذكرة إلى دراسة تقنية "ال تي إي" بهدف التخطيط والتقدير على مستوى مدينة الوادي، ولهذا قمنا باستعمال برنامج معلوماتي يجعل هذه الدراسة سهلة وبسيطة.

الكلمات المفتاحية: (LTE) ال تي إي، (4G) الجيل الرابع، التخطيط، التقدير، القدرة، الشبكة الخلوية.

Table de matière

DEDICACE.....	I
REMERCIEMENTS.....	III
RESUME.....	IV
TABLE DE MATIERE.....	V
LISTE DES FIGURES.....	VIII
LISTE DES TABLEAUX.....	X
LISTES DES ABREVIATIONS	X
INTRODUCTION GENERALE	1
ICHAPITRE I: DESCRIPTION DES DIFFERENTES GENERATIONS DE LA TELEPHONIE.....	1
I.1INTRODUCTION.....	3
I.2LES DIFFERENTES NORMES TELEPHONIQUES.....	3
I.2.1La première génération des téléphones mobiles (1G).....	3
I.2.2La deuxième génération des téléphones mobiles (2G).....	4
I.2.3La troisième génération 3G (UMTS).....	8
I.2.4La quatrième génération de la téléphonie mobile 4G (LTE).....	9
I.3CONCLUSION.....	10
II CHAPITRE II LE RESEAUX MOBILES 4G LTE.....	1
II.1INTRODUCTION.....	12
II.2LA 4G LTE.....	12
II.3BUTS DE LA 4G.....	13
II.4ARCHITECTURE DE LTE.....	13
II.4.1Le Réseau d'accès (la partie radio eUTRAN).....	14
II.4.2EPC (Evolved Packet Core).....	15
II.4.3La partie IMS (IP Multimedia Sub-system).....	16
II.5LES CARACTERISTIQUES DU RESEAU LTE.....	17
II.5.1Largeur de la bande et débit.....	17
II.5.2Latence.....	17
II.5.3L'agilité en fréquence.....	17
II.5.4La mobilité:.....	17
II.5.5Les techniques d'accès.....	18
II.5.6Modulation adaptative.....	20

II.5.7La structure des trames en LTE.....	20
II.6QUALITE DES SERVICES.....	23
II.7CONCLUSION.....	24
IIICHAPITRE III DIMENSIONNEMENT D’UN RESEAU LTE.....	1
III.1INTRODUCTION.....	25
III.2PROCESSUS DE DIMENSIONNEMENT D’UN RESEAU.....	25
III.2.1Pré-dimensionnement.....	26
III.2.2Dimensionnement de la couverture.....	26
III.2.3Dimensionnement de la capacité.....	26
III.2.4Optimisation.....	26
III.3DIMENSIONNEMENT D’UN RESEAU LTE.....	26
III.3.1Dimensionnement de couverture.....	27
III.3.2Bilan de la liaison radio (RLB).....	28
III.4MODELE DE PROPAGATION.....	29
III.4.1Modèle de propagation en espace libre.....	29
III.4.2Modèle de propagation Standard.....	29
III.4.3Le modèle empirique.....	29
III.5DIMENSIONNEMENT ORIENTE COUVERTURE EN LIAISON DESCENDANTE (DOWNLINK).....	31
III.5.1Débit requis.....	31
III.5.2Puissance de la sous-porteuse.....	32
III.5.3Le SINR (Signal to Interférence and Noise Radio) requis au récepteur.....	32
III.5.4Sensibilité du récepteur.....	32
III.5.5Les marges de bruit.....	33
III.6DIMENSIONNEMENT ORIENTE COUVERTURE POUR LA LIAISON MONTANTE (UPLINK).....	36
III.6.1Le SINR requis.....	36
III.6.2La puissance de la sous-porteuse.....	36
III.6.3Sensibilité de récepteur l’eNodeB.....	36
III.6.4Gain d’Antenne.....	37
III.6.5Bilan de la liaison montante (Uplink).....	37
III.7RAYON DE LA CELLULE.....	37
III.8LE NOMBRE DES SITES.....	37
III.9DIMENSIONNEMENT DE CAPACITE.....	39
III.9.1Calcul de la capacité en liaison montante et descendante.....	39
III.9.2Dimensionnement de l’interface S1 et X2.....	40
III.9.3L’interface X2.....	41
III.9.4L’interface S1.....	41
III.10CONCLUSION.....	41
IVCHAPITRE IV: SIMULATION ET L'ANALYSE DES RESULTATS	1
IV.1INTRODUCTION.....	41

IV.2PRESENTATION DE L'OUTIL ATOLL.....	41
IV.2.1Matériels de base.....	42
IV.3DEMARRAGE D'UN PROJET ATOLL :.....	42
IV.3.1Ouverture d'un nouveau projet :.....	42
IV.4LA PRE-PLANIFICATION :.....	43
IV.4.1Réglage des paramètres de la zone :.....	43
IV.4.2Importer les cartes numériques.....	45
IV.4.3Zone géographique à planifier.....	45
IV.5PLANIFICATION :.....	46
IV.5.1Création des sites.....	46
IV.5.2Les caractéristiques des sites:.....	47
IV.5.3Propriétés d'une cellule :.....	48
IV.6VERIFICATION.....	49
IV.6.1Couverture.....	49
IV.6.2Prédiction de couverture:.....	50
IV.7L'OPTIMISATION.....	53
IV.8ANALYSE DES TRONÇONS.....	60
IV.9LES ABONNES (SUBSCRIBERS):.....	63
IV.10RESULTAT DE LA SIMULATION:.....	64
IV.11CONCLUSION:.....	64
CONCLUSION GENERAL.....	41
ANNEXES.....	69
REFERENCES BIBLIOGRAPHIE	72

Liste des figures

FIGURE I.1: ARCHITECTURE DU RESEAU GSM. [1]	4
FIGURE I.2: ARCHITECTURE DU RESEAU GPRS. [2]	6
FIGURE I.3: ARCHITECTURE DU RESEAU UMTS. [3].....	8
FIGURE II.1: PRESENTATION GENERALE DU SYSTEME LTE. [5]	12
FIGURE II.2:ARCHITECTURE DU RESEAU 4G LTE. [7]	13
FIGURE II.3:ARCHITECTURE SIMPLIFIÉE D'EPS.[8].....	14
FIGURE II.4:ARCHITECTURE DE L'E-UTRAN. [9]	14
FIGURE II.5: RESEAU CŒUR SAE/ (EPC). [7].....	15
FIGURE II.6: LES PORTEUSES DE L'OFDMA. [16].....	18
FIGURE II.7: SIMILITUDE ENTRE UNE CHAINE OFDMA ET SC-FDMA. [18].....	19
FIGURE II.8: LA DIFFERENCE ENTRE OFDMA ET SC-FDMA. [19].....	20
FIGURE II.9: STRUCTURE GENERIQUE DE LA TRAME LTE. [20]	21
FIGURE II.10: STRUCTURE DE LA TRAME RADIO FDD. [21]	22
FIGURE II.11: LES SLOTS D'UNE TRAME RADIO. [10].....	22
FIGURE III.1: PROCESSUS DE DIMENSIONNEMENT D'UN RESEAU LTE. [23].....	25
FIGURE III.2: CONNEXIONS DU SYSTEME D'ALIMENTATION DE L'ANTENNE. [28].....	34
FIGURE III.3: CONFIGURATION DES SECTEURS CELLULAIRES. [24].....	38
FIGURE III.4: MODELE HEXAGONALE DE LA CELLULE. [3]	38
FIGURE IV.1: L'INTERFACE DE DEMARRAGE D'ATOLL.....	43
FIGURE IV.2: CHOIX DU PROJET.....	43
FIGURE IV.3: CHOIX DU SYSTEME DE COORDONNEES.....	44
FIGURE IV.4: LISTE DES SYSTEMES DE COORDONNEES.....	44
FIGURE IV.5: IMPORTATION DE LA CARTE NUMERIQUE DE LA VILLE D'ELOUED.....	45
FIGURE IV.6: CARTE AVEC NIVEAUX D'ALTITUDE.....	45
FIGURE IV.7: TABLEAU REPRESENTE LES NIVEAUX D'ALTITUDE D'ELOUED.....	46
FIGURE IV.8: EMLACEMENT DES SITES LTE MOBILE SUR LA MAP.....	47
FIGURE IV.9: CONFIGURATION DE LA CELLULE OU ANTENNE	48
FIGURE IV.10: LA VILLE D'EL OUED.....	50
FIGURE IV.11: CREATION D'UNE COUVERTURE PAR NIVEAU DE SIGNAL.....	51
FIGURE IV.12: RESULTAT DE LA PREDICTION DE COUVERTURE PAR NIVEAU DE SIGNAL.....	51
FIGURE IV.13: HISTOGRAMME DE LA COUVERTURE PAR NIVEAU DE SIGNAL INITIAL	52
FIGURE IV.14: RESULTAT DE LA PREDICTION DE LA COUVERTURE PAR EMETTEUR.....	52
FIGURE IV.15: PARAMETRES DE CREATION D'UN ACP-AUTOMATIQUE CELL PLANNING. ...	53
FIGURE IV.16: L'OPTIMISATION DE NOTRE RESEAU.....	54

FIGURE IV.17: LA COUVERTURE PAR NIVEAU DE SIGNAL INITIAL ET FINAL	57
FIGURE IV.18: HISTOGRAMME DE LA COUVERTURE PAR NIVEAU DE SIGNAL FINAL	58
FIGURE IV.19: HISTOGRAMME DE LA COUVERTURE PAR NIVEAU DE SIGNAL FINAL/INITIAL.....	58
FIGURE IV.20: CARTE DE RECOUVREMENT.....	59
FIGURE IV.21: HISTOGRAMME DE COUVERTURE PAR LES ZONES DE CHEVAUCHEMENT..	59
FIGURE IV.22: LEGENDE DE LA CARTE DE RECOUVREMENT	60
FIGURE IV.23:TEST DE LA LIAISON SITE 12-SITE7.....	60
FIGURE IV.24: COUVERTURE PAR DEBIT DE NAVIGATION (DL THROUGHPUT).....	61
FIGURE IV.25: HISTOGRAMME DE COUVERTURE PAR DL DEBIT.....	61
FIGURE IV.26: <i>PREDICTION DE LA COUVERTURE PAR SECTEUR (EMETTEUR)</i>	62
FIGURE IV.27: ONGLET « PROFILE » DU POINT D'ANALYSE D'EMETTEUR SITE10-1.	62
FIGURE IV.28: LA CREATION DES UTILISATEURS	63
FIGURE IV.29:TABLE DES PARAMETRES DES UTILISATEURS.....	63
FIGURE IV.30: RESULTAT FINAL DE LA SIMULATION.....	64

Liste des Tableaux

TABLEAU I.1.: EVOLUTION DU GSM AU GPRS.....	8
TABLEAU II.1: LES BANDES DE TDD. [10]	23
TABLEAU II.2:LES BANDES DE FDD. [10]	23
TABLEAU III1.: QUELQUES CARACTERISTIQUES REQUISES POUR LE DEBIT. [26].....	32
TABLEAU III2.: LES PERTES DE PENETRATION [27].....	33
TABLEAU III3.: LES PERTES SELON LE TYPE DE SIGNAL. [26].....	33
TABLEAU III4.: MARGE DE SHADOWING. [26]	34
TABLEAU III5.: LES PERTES DE LA LIGNE D'ALIMENTATION. [26]	35
TABLEAU III6.: LA MARGE IM (EN <i>DB</i>) EN FONCTION DE LA CHARGE DE LA CELLULE. [29].	36
TABLEAU III7.: EMPREINTE DU SITE EN FONCTION DU NOMBRE DE SECTEURS. [31].....	38
TABLEAU IV.1: COORDONNEES DES SITES.	48
TABLEAU IV2.: LES PARAMETRES D'OPTIMISATION D'UN EMETTEUR.....	49
TABLEAU IV3.: LES CHANGEMENTS SURVENUS SUR LES EMETTEURS.....	57

Listes des Abréviations

MAPL: Maximum Allowable PathLoss	1G: 1ère Génération
MME: Mobility Management Entity	2G: 2ème Génération
NGN: Next Generation Network	3G: 3ème Génération
nRB: nombre de blocs de ressources	4G: 4ème Génération
OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplexing	5G: 5ème Génération
OFDMA: Orthogonal Frequency Division Multiple Access	3GPP: 3ème Génération Partnership Project
PAPR: Peak-to-Average Power Ratio	BSC: Base Station Controller
PCRF: Policy and Charging Rules Function	BTS: Base Transceiver Station
PDN: GW Packet Data Network Gateway	CDMA: Code Division Multiple Access
PGW: Packet Switch-Getaway	CoMP: Coordinated Multipoint
PIRE: Puissance Isotrope Rayonnée Equivalente	Cp: Cyclic Préfix
QAM: Quadrature Amplitude Modulation	DFT: Transformation de Fourier Discrète
QoS: Quality of Service	EDGE: Enhanced Data Rates for GSM Evolution
QPSK: Quadrature Phase Shift Keying	eNodeB: evolved NodeB
RF: radio frequency	EPS: Evolved Packet System
RLB: Bilan de Liaison Radio	EPC: Evolved Packet Core
RNC: Radio Network Controller	E-UTRA: Evolved-Universal Terrestrial Radio Access
S1-U: S1 User plan (Interface entre eNodeB et S-GW)	eUTRAN: evolved UTRAN
S1-C: S1 Control plan (Interface entre eNodeB et MME)	FDD: Frequency Division Duplexing
S1: Interface entre MME et S-GW	FDMA: Frequency Division Multiple Access
SINR: Signal to Interference& Noise Radio	GPRS: General Packet Radio Service
SC-FDMA: Single Carrier- Frequency Division Multi-Access	GSM: Global System for Mobile Communication
S-GW: Serving Gateway	HLR: Home Location Register
SAE: System Architecture Evolution	HSS: Home Subscriber Service
SGSN: Serving GPRS Support Node	IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers
TDD: Time-Division Duplex	IMS: IP Multimedia Sub-systemGlossaire
TDMA: Time Division Multiple Access	IP: Internet Protocol
	LTE: Long Term Evolution

WIMAX: Worldwide Interoperability for
Microwave Access

X2: Interface entre eNodeB

UMTS: Universal Mobile
Telecommunications System

VoIP: Voice over IP

WCDMA: Wide Coding Division Multiple
Access

Introduction générale

Introduction générale

Notre accès à l'information a connu d'importants bouleversements. Après l'invention des téléphones analogiques de la Première Génération, la Deuxième Génération (2G) correspond à l'arrivée du nouveau standard de communication pour les mobiles : le GSM. Il améliore les communications vocales à l'international et permet grâce à la circulation numérique de données, l'envoi des SMS.

La Troisième Génération (3G) représentée par la norme UMTS, offre des débits rapides allant jusqu'à 2Mb/s et amorce ainsi l'accès à internet depuis un mobile, le visionnage des vidéos et la visiophonie. Les capacités en transmission de données de ces systèmes de 2^{ème} et 3^{ème} Génération sont encore limitées. Le système de la 4^{ème} Génération (4G LTE), constitue aujourd'hui une véritable révolution puisqu'il propose une multiplication des débits grâce à deux phénomènes ; Le premier consiste à faire circuler les appels vocaux non plus sur le réseau téléphonique, mais directement sur internet (voix sur IP). Le deuxième, recourt au multiplexage (plusieurs types d'informations passent par un même canal), ce qui permet d'augmenter la quantité d'information transmise.

La 4G LTE se définit ainsi comme le très haut débit mobile ; A noter que la norme 4G évolue déjà avec le standard LTE-Advanced, communément appelé 4G+ et qui permet d'augmenter encore les débits sur les réseaux mobiles LTE.

Cette thèse se concentre de près sur les performances des réseaux de la 4G LTE, ainsi que la simulation d'une chaîne de transmission. Dans notre simulation nous nous intéresserons exclusivement à la partie e-UTRAN du système avec une attention très particulière sur les aspects du canal de transmission et de signalisation.

Nous nous intéresserons particulièrement aux indicateurs de qualité qui servent de mesure pour la qualité de transmission en liaison descendante (Downlink) et ascendante (Uplink). Parmi ces indicateurs on trouve notamment le CQI (indicateur de la qualité du canal) mais aussi le SINR (rapport signal sur bruit) et le TB (bloc de transport).

L'organisation générale de notre mémoire est articulée sur quatre chapitres:

Dans le premier chapitre nous parlerons brièvement des différentes générations de la téléphonie Mobile (1G, 2G, 3G et 4G). Vous trouverez dans cette partie l'architecture et les caractéristiques de ces 4 générations.

Après connue les différentes générations dans le 1^{er} chapitre, Nous étudierons plus détaillée dans le deuxième chapitre les réseaux 4G LTE, ses architecture et ses caractéristiques.

Dans le troisième chapitre nous expliquerons l'objectif de notre travail qu'il est "le dimensionnement d'un réseau LTE". Nous présentons la procédure de planification et dimensionnement radio et ses étapes; Nous intéressons dans cette partie des modèles des propagations et les formules mathématiques liés au bilan de liaison.

Dans le dernier chapitre nous allons faire une simulation par le logiciel de planification Atoll sur notre région d'étude la ville d'El oued (centre ville).

Finalement, une conclusion est présentée pour souligner les résultats obtenus dans le cadre de notre travail du thème.

I Chapitre I: Description des différentes Générations de la téléphonie Mobile

I.1 Introduction

Depuis dizaines années le développement des réseaux mobiles n'a pas cessé d'accroître, plusieurs générations ont vues le jour (1G, 2G, 3G, 4G et maintenant les scientifiques préparent la 5G) et connues une évolution remarquable, en apportant un débit exceptionnel et qui ne cesse d'augmenter; une bande passante de plus en plus large et l'un des avantages d'une telle bande passante est le nombre d'utilisateur pouvant être supportés.

Les réseaux de la 1ere génération (appelée aussi 1G) ont été intègres au réseau de télécommunication dans les années quatre-vingts. Ces systèmes ont cependant été abandonnés il y a quelques années laissant la place à la seconde génération; appelée 2G lancée en 1991. Elle est encore active de nos jours. Nous pouvons distinguer deux autres types de générations au sein même de la seconde: la 2.5 et la 2.75. Le principal standard utilisant la 2G est GSM. A la différence de la 1G, la seconde génération de normes permet d'accéder à divers services, comme l'utilisation du WAP permettant d'accéder à l'internet, tant dit que pour la 3eme génération connue sous le nom de 3G permet un haut débit pour l'accès à l'internet et le transfert de données. En ce qui concerne la nouvelle génération 4G(LTE), déployer jusque-là que par quelque pays, elle permet le très haut débit, une moindre latence et beaucoup d'autres services qu'on verra par la suite dans le prochain chapitre.

Dans ce chapitre nous allons présenter les différentes générations de téléphones mobiles, leurs architectures ainsi que d'autres services pouvant être utilisés par chacune de ces générations cellulaires.

I.2 Les différentes normes téléphoniques

Avant d'expliquer l'état actuel des technologies utilisées aujourd'hui, il nous semble intéressant de rappeler l'évolution de ces techniques, cela a pour avantage de savoir de quoi nous sommes partis pour mieux se positionner à l'heure actuelle.

I.2.1 La première génération des téléphones mobiles (1G)

La première génération des téléphones mobiles est apparue dans le début des années 80 en offrant un service médiocre et très couteux de communication mobile. La 1G avait beaucoup de défauts, comme les normes incompatibles d'une région à une autre, une transmission analogique non sécurisée (Écouter les appels), pas de roaming vers l'international (roaming est la possibilité de conserver son numéro sur un réseau d'un autre opérateur).

I.2.2 La deuxième génération des téléphones mobiles (2G)

Le GSM est apparu dans les années 90. Il s'agit de la norme 2G. Son principe, est de passer des appels téléphoniques, s'appuyant sur les transmissions numériques permettant une sécurisation des données (avec cryptage), il a connu un succès et a permis de susciter le besoin de téléphoner en tout lieu avec la possibilité d'émettre des minimessages (SMS, limités à 80 caractères). Ainsi qu'il autorise le roaming entre pays exploitant le réseau GSM.

Devant le succès, il a fallu proposer de nouvelles fréquences aux opérateurs pour acheminer toutes les communications, et de nouveaux services sont aussi apparus, comme le MMS. Le débit de 9.6 kbps proposé par le GSM est insuffisant, dans ce concept, ils ont pensé à développer de nouvelles techniques de modulations et de codages qui ont permis d'accroître le débit pour la nouvelle génération.

I.2.2.1 Le réseau GSM

Le réseau GSM a pour 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.

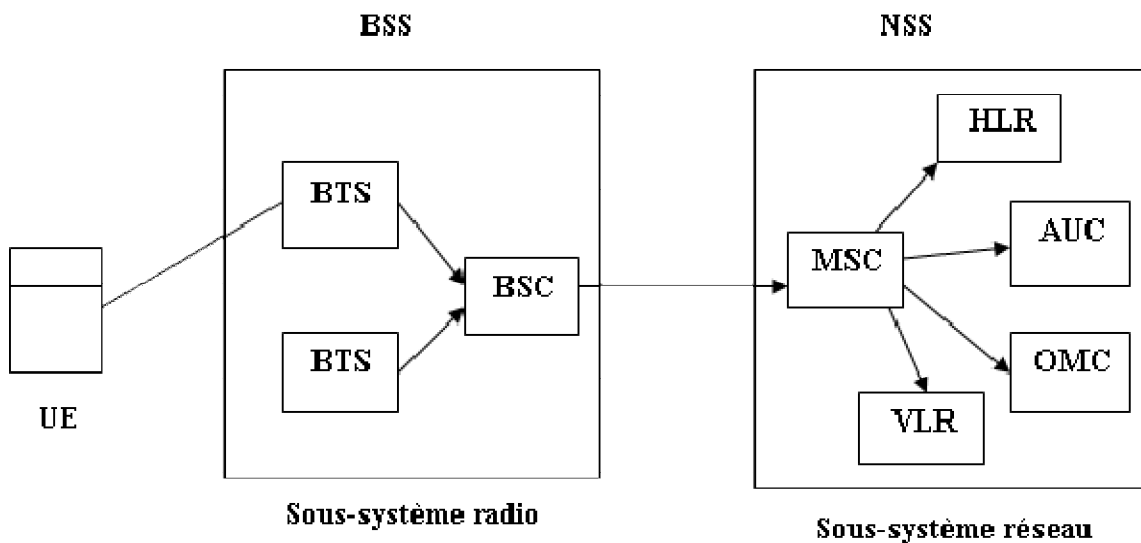


Figure I.1: Architecture du réseau GSM. [1]

Ainsi le réseau GSM est composé de trois sous-ensembles : [1]

I.2.2.1.A Le sous-système radio-BSS

BSS pour base station Sub-system, c'est un sous-système de l'architecture GSM qui assure la transmission radioélectrique et gère la ressource radio. Le BSS comprend le BTS qui sont des

émetteurs –récepteurs ayant une minimum intelligence et les BSC qui contrôlent un ensemble de BTS et permettent une premier concentration des circuits.

I.2.2.1.B Le sous-système d’acheminement –NSS

Son rôle est d'assurer les fonctions de commutations et de routage. C'est donc lui qui permet l'accès au réseau public RTC ou RNIS. En plus des fonctions indispensables de commutation, on y retrouve les fonctions de gestion de la mobilité, de la sécurité et de la confidentialité qui sont implantées dans la norme GSM.

Il se compose de plusieurs équipements, en citant quelques-uns :

❖Fonction HLR

Le HLR est une base de données de localisation et de caractéristiques des abonnés. Un réseau peut posséder plusieurs HLR selon des critères de capacité de machines, de fiabilité et d’exploitation. Le HLR est l’enregistreur de localisation nominale par opposition au VLR qui est l’enregistreur de localisation des visiteurs.

Une base de données qui conserve des données statiques sur l’abonné et qui administre des données dynamiques sur le comportement de l’abonné.

Les informations sont ensuite exploitées par l’OMC. L’AUC est une base de données associée au HLR.

❖Fonctions VLR

L’enregistreur de localisation des visiteurs est une base de données associée à un commutateur MSC. Le VLR a pour mission d’enregistrer des informations dynamiques relatives aux abonnés de passage dans le réseau, ainsi l’opérateur peut savoir à tout instant dans quelle cellule se trouve chacun de ses abonnés. Les données mémorisées par le VLR sont similaires aux données du HLR mais concernent les abonnés présents dans la zone concernée.

A chaque déplacement d’un abonné le réseau doit mettre à jour le VLR du réseau visité et le HLR de l’abonné afin d’être en mesure d’acheminer un appel vers l’abonné concerné ou d’établir une communication demandée par un abonné visiteur.

❖Fonction MSC

Le centre d’authentification AUC (Authentication Center) mémorise pour chaque abonné une clé secrète utilisée pour authentifier les demandes de services et pour chiffrer (crypter) les communications.

L’AUC de chaque abonné est associé au HLR. Pour autant le HLR fait partie du <sous-système fixe> alors que l’AUC est attaché au <sous-système d’exploitation et de maintenance>.

I.2.2.1.C Le sous-système d'exploitation et de maintenance-OSS

OSS (*Opération Sub-System*) permet à l'opérateur d'exploiter son réseau. La mise en place d'un réseau GSM (en mode circuit) va permettre à un opérateur de proposer des services de type <Voix> ses clients en donnant accès à la mobilité tout en conservant un interfaçage avec le réseau fixe RTC existant.

I.2.2.2 Le réseau GPRS [2]

Le réseau GPRS (*General Packet Radio Service*) vient ajouter un certain nombre de modules sur le réseau GSM sans changer le réseau existant. Ainsi sont but est de conservés l'ensemble des modules de l'architecture GSM, nous verrons par ailleurs que certains modules GSM seront utilisés pour le fonctionnement du réseau GPRS. La mise en place d'un réseau GPRS va permettre à un opérateur de proposer de nouveaux services de type "Data" à ses clients. Le GPRS est en mode paquets.

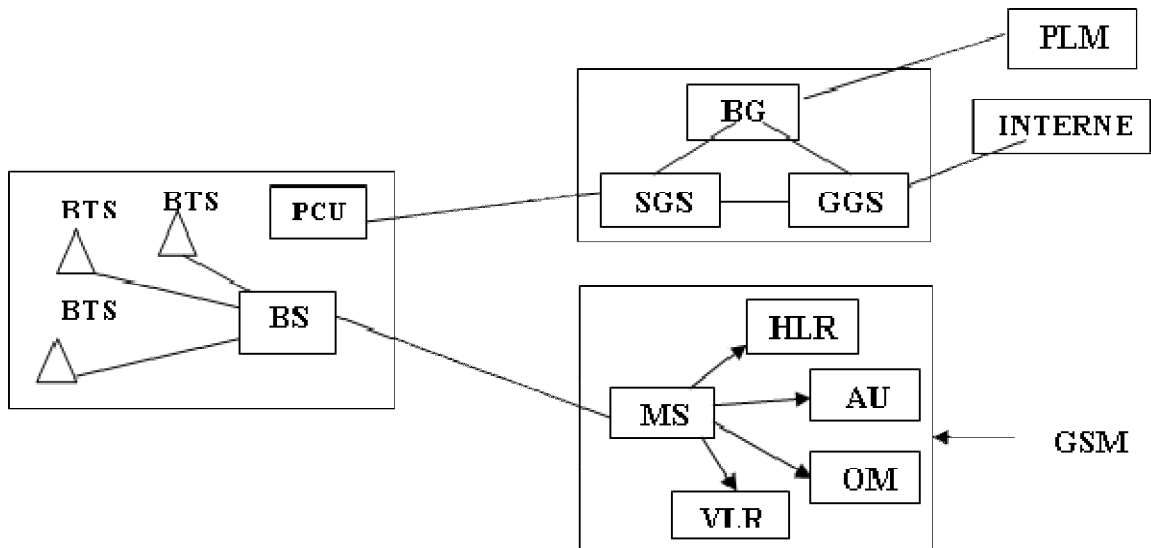


Figure I.2: Architecture du réseau GPRS. [2]

Un réseau GPRS est un réseau IP. Qui est donc constitué de routeurs IP. L'introduction de la mobilité nécessite par ailleurs la précision de deux nouvelles entités :

I.2.2.2.A Le nœud de service (SGSN)

Le nœud de service dénommé SGSN (Serving GPRS Support Node) est relié au BSS du réseau GSM. Le SGSN est en connexion avec l'ensemble des éléments qui assurent et gèrent les transmissions radio: BTS, BSC, HLR ... Le SGSN joue un rôle de routeur, il gère les terminaux GPRS présents dans une zone donnée. Le SGSN est le < contrôleur > des terminaux GPRS présents dans sa zone de surveillance.

I.2.2.2.B Le nœud de passerelle (GGSN)

Le nœud de passerelle dans le GPRS dénommé GGSN (*Gateway GPRS Support Node*) est relié à un ou plusieurs réseaux de données (Internet, autre réseau GPRS...). Le GGSN est un routeur qui permet de gérer les transmissions de paquets de données:

- Paquet entrants de réseau externe, acheminé vers le SGSN du destinataire.
- Paquet sortant vers un réseau externe, émanant d'un destinataire interne au réseau.

I.2.2.2.C Le module BG pour la sécurité

Les recommandations introduisent le concept de BG (*Border Gateway*) qui permettent de connecter les réseaux GPRS via un réseau fédérateur et qui assurent les fonctions de sécurité pour la connexion entre ces réseaux.

Ces BG ne sont néanmoins pas spécifiés par les recommandations mais elles jouent le rôle d'interface avec les autres PLMN (*Public Land Mobile Network*) permettant ainsi de gérer les niveaux de sécurité entre les réseaux (par exemple entre deux réseaux de deux opérateurs concurrents).

I.2.2.2.D Les équipements GSM utilisés

Le réseau GPRS appuie son architecture sur les Eléments du réseau GSM :

- Les BTS et BSC permettent de couvrir un territoire national pour localiser les terminaux.
- Le MSC et le VLR permettent également de gérer les problématiques d'itinérance des abonnés sur les réseaux GSM et GPRS.
- Le SMSC et le GMSC permettent la communication interne au réseau par l'envoi de message courte à destination du terminal GPRS.
- Le HLR permet de gérer les problématiques liées à la localisation de l'individu (en mode GPRS, fournir une carte de la ville où se trouve l'abonné).
- L'EIR permet de gérer les problématiques liées au terminal visé.

Le réseau GPRS est totalement dépendant du bon fonctionnement des infrastructures du réseau GSM. Le réseau GSM constitue donc en effet une base pour la mise en place du réseau GPRS.

Entité GSM/GPRS	Logiciel	Matériel
BTS	Extension Requise	Aucun changement
BSC	Extension Requise	Interface PCU
MSC/VLR	Extension Requise	Aucun changement

HLR	Extension Requite	Aucun changement
Nouvelles entités		
MS		Mobile Station
SGSN		Serving GPRS Support Node
GGSN		Gateway GPRS Support Node

Tableau I.1:: Evolution du GSM au GPRS.

✚Type de transmission dans le réseau GPRS

Le standard GPRS utilise un mode de transmission par paquet. Lorsque le mobile transmet des données vers un terminal fixe; les données sont transmises via le BSS (BTS + BSC) au SGSN qui envoie ensuite les données vers le GGSN qui les route vers le destinataire.

Le routage vers des terminaux (terminal mobile vers terminal mobile ou terminal fixe vers terminal mobile) utilise le principe de l'encapsulation et des protocoles tunnels. Les données revues par le GGSN sont transmises au SGSN dont dépend le mobile destinataire.

I.2.3 La troisième génération 3G (UMTS)

La 3G a été lancée en Belgique en 2004. La 3G désigne la troisième génération du réseau de téléphonie mobile et elle est basée sur la norme UMTS qui succède au réseau GSM.

La particularité de 3G par rapport aux générations précédentes est qu'elle utilise une bande de fréquences plus large et grâce à des débits supérieurs. Elle est capable d'offrir des services supplémentaires comme la transmission de vidéos, la télévision mobile et la visiophonie.

I.2.3.1 Architecture du réseau UMTS

L'architecture du réseau UMTS est présentée par la figure I.3 ci dessous

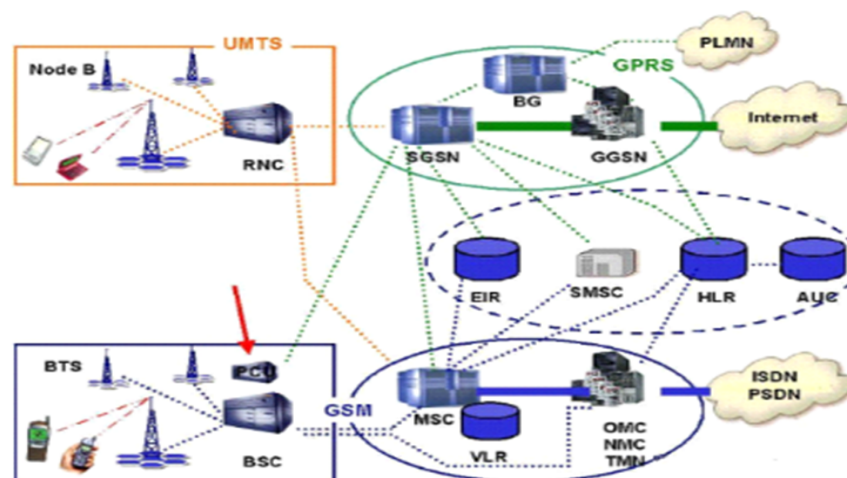


Figure I.3: Architecture du réseau UMTS. [3]

- Équipement utilisateur (UE): l'équipement utilisateur ou UE est le nom donné à ce que l'on appelait auparavant le mobile ou le téléphone portable. Le nouveau nom a été choisi en raison de la fonctionnalité considérablement plus grande que l'UE pourrait avoir. Il peut également s'agir de n'importe quoi entre un téléphone mobile utilisé pour parler à un terminal de données connecté à un ordinateur sans capacité vocale.
- Sous-système de réseau radio (RNS): Le RNS également connu sous le nom de réseau d'accès radio UMTS, UTRAN, est l'équivalent du précédent sous-système de station de base ou BSS dans le GSM. Il fournit et gère l'interface aérienne du réseau global.
- Réseau central: Le réseau central fournit tout le traitement central et la gestion du système. C'est l'équivalent du sous-système de commutation de réseau GSM ou NSS.

I.2.4 La quatrième génération de la téléphonie mobile 4G (LTE)

La quatrième génération (4G) représente la prochaine évolution des communications sans fil et elle est basée sur l'infrastructure existante, sur l'interconnexion des réseaux déjà déployés. C'est-à-dire qu'il s'agit d'un réseau de réseaux.

La 4G est la norme succédant à la 3G et on l'étudiera plus en détail dans le prochain chapitre. Mais on peut dire que la 4G c'est la norme des standards de téléphonie mobile permettant des débits jusqu'à 50 fois plus important que la première norme.

I.2.4.1 Définition de réseau LTE

Les services de communications mobiles sont en train de suivre la même évolution que celle des services fixes; c'est-à-dire une transition accélérée vers l'accès à très haut débit. Ce sont les réseaux 4G qui permettent de répondre aux demandes croissantes des usages mobiles, tant en termes de qualité des services offerts que de capacité d'écoulement du trafic par les réseaux.

Ces fréquences sont destinées au déploiement de réseaux mobiles à très haut débit; pour apporter au consommateur une capacité et une qualité de services supérieures aux offres actuelles d'internet mobile. La technologie LTE <Long Term Evolution> offre aux utilisateurs des débits de plusieurs dizaines de Mbit/s, largement supérieurs aux performances des technologies 3G actuellement déployées, ainsi que des latences plus faibles favorisant une meilleure interactivité.

Avec le 4G, on se dirige vers la transmission de toutes les informations-voix et données - par IP, le même protocole qu'on utilise sur Internet. Pour les fournisseurs, c'est plus facile et

moins cher à gérer. «a facilite aussi le développement d'applications multimédias. Cette génération permet des vitesses de téléchargement plus rapides et des temps de latence plus courts.

I.2.4.2 Historique sur la 4G

En 2002, la vision stratégique pour la 4G, que l'UIT a désigné comme IMT-Advanced, a été aménagée.

En 2005, la technologie de transmission OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) est choisie comme candidat pour la liaison descendante HSOPA (High Speed OFDM Packet Access), rebaptisée plus tard par 3GPP Long Term Evolution LTE. En Novembre 2005, KT (Korea Télécommunication) démontre le service mobile WiMax à Busan ,Corée du Sud.[4]

La société japonaise NTT DoCoMo (Nippon Telegraph & Téléphone) a testé, en Février 2007 un prototype de communication 4G système MIMO 4x4 appelé VSF-OFCDM à 100 Mbit/s en se déplaçant et 1 Gbit/s à l'arrêt. Un an plus tard, le commissaire européen Viviane Reding a proposé de réaffecter des 500-800 MHz pour les communications sans fil.

En Avril 2008, juste après avoir reçu la lettre circulaire, le 3GPP a organisé un atelier sur les IMT-Advanced où il a été décidé que LTE-Advanced, une évolution de la norme LTE encourra permettra de répondre, voire dépasser les exigences IMT-Advanced qui suit l'ordre du jour de l'UIT-R.

En Décembre 2009, Sprint a commencé à annoncer "4G" de service dans certaines villes des États-Unis, en dépit de la moyenne des vitesses de téléchargement de seulement 3-6 Mbit/s avec une vitesse de pointe de 10 Mbit /s (pas disponible sur tous les marchés).

Le 25 Février 2010, l'Estonie a ouvert EMT LTE "4G" travail en réseau dans le régime d'essai.

Le 5 Juin 2010, Sprint Nextel a publié le premier Smartphone 4G, l'Evo HTC 4G .

En Juillet 2010, MTS Ouzbékistan à Tachkent déployé LTE. Le 25 août 2010, la Lettonie a ouvert LMT LTE "4G" travail en réseau dans le régime d'essai de 50% du territoire.

I.3 Conclusion

Dans ce chapitre introductif, nous avons présenté d'une façon générale les différentes générations de téléphone mobiles et les principales caractéristiques d'un réseau cellulaire .

Ainsi, la mise en œuvre du service GPRS implique une évolution matérielle et logiciel s'ajoutant au réseau GSM déjà existants .L'évolution du GSM vers GPRS prépare à l'introduction des réseaux de troisième génération l'UMTS. En ce qui concerne l'infrastructure,

des modifications doivent être effectuées pour l'intégration du GPRS ou l'UMTS par l'ajout d'autres équipements, et le chargement de logiciels .

Le GPRS constitue une évolution majeure vers la troisième génération (UMTS). Il est conçu pour la transmission de données en mode paquet pour assurer l'accès simple au réseau Internet .

Pour les réseaux 4G (LTE), nous avons présenté un bref aperçu et dans le prochain chapitre, nous allons le détailler.

II **Chapitre II Le réseaux** **mobiles 4G LTE**

II.1 Introduction

Le système de la 4ème Génération (4G LTE), constitue aujourd'hui une véritable révolution puisqu'il propose une multiplication des débits grâce à deux phénomènes; Le premier consiste à faire circuler les appels vocaux non plus sur le réseau téléphonique, mais directement sur internet (voix sur IP). Le deuxième, recourt au multiplexage (plusieurs types d'informations passent par un même canal), ce qui permet d'augmenter la quantité d'information transmise. La 4G LTE se définit ainsi comme le très haut débit mobile Par rapport aux générations précédentes.

Dans ce chapitre, on s'est concentré sur l'étude les performances de réseaux 4G.

II.2 La 4G LTE

LTE (Long Term Evolution) est une 4G sans fil avec technologie haut débit développée par la troisième génération Projet de partenariat (3GPP), et il représente la compétitivité du système universel de télécommunications mobiles (UMTS). Les concepts pour LTE systèmes ont été introduits dans la version 8 de 3GPP, avec pour objectif d'accès radio à haut débit, à faible latence et optimisé.

Le LTE utilise des bandes de fréquences hertziennes d'une largeur pouvant varier de: 1.4 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 20 MHz, Où pour la bande 20 MHz, il est possible d'obtenir un débit binaire théorique jusqu'à 300 MHz, en downlink, alors que la "vraie 4G" offre un débit descendant atteignant 1 Gbit/s.

Le multiplexage OFDMA apporte une optimisation dans l'utilisation des fréquences en minimisant les interférences. Le recours à des techniques d'antennes, et permet de multiplier les canaux de communication parallèles, ce qui augmente le débit total et la portée. [5]

La forme générale du système LTE présente par la figure suivante:

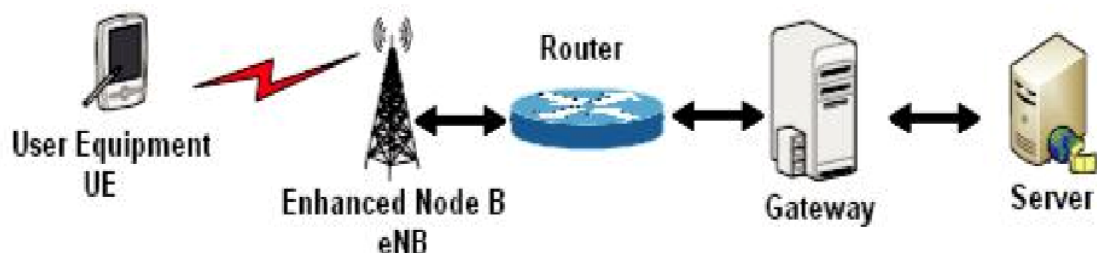


Figure III.1: Présentation générale du système LTE. [5]

II.3 Buts de la 4G

La 4^{ème} génération vise amélioration de l'efficacité spectrale qui permet le transfert de données à haut débit, de l'ordre de 50Mbps, avec une portée plus importante, un nombre d'appels par cellule plus élevée que dans l'UMTS avec une latence plus faible. Et augmenter la capacité de gestion du nombre de mobiles dans une même cellule. Fournit une mobilité totale l'utilisateur en établissant l'interopérabilité entre différentes technologies existantes. Elle vise rendre le passage entre les réseaux transparent pour l'utilisateur, éviter l'interruption des services durant le transfert intercellulaire, et basculer l'utilisation vers le tout-IP. [6]

Les principaux objectifs visés par les réseaux de 4^{ème} génération sont les suivants:

- Assurer la continuité de la session en cours.
- Réduire les délais et le trafic de signalisation.
- Fournir une meilleure qualité de service.
- Optimiser l'utilisation des ressources.
- Réduire le délai de relevé, le délai de bout-en-bout, la gigue et la perte de paquets.
- Minimiser le cout de signalisation. [6]

II.4 Architecture de Lte

La technologie LTE est caractérisée par son architecture qui comporte: un réseau d'accès: L'E-UTRAN et un réseau cœur (EPC): Réseau tout-IP.

La Figure II.2 présente l'architecture globale du réseau 4G LTE.

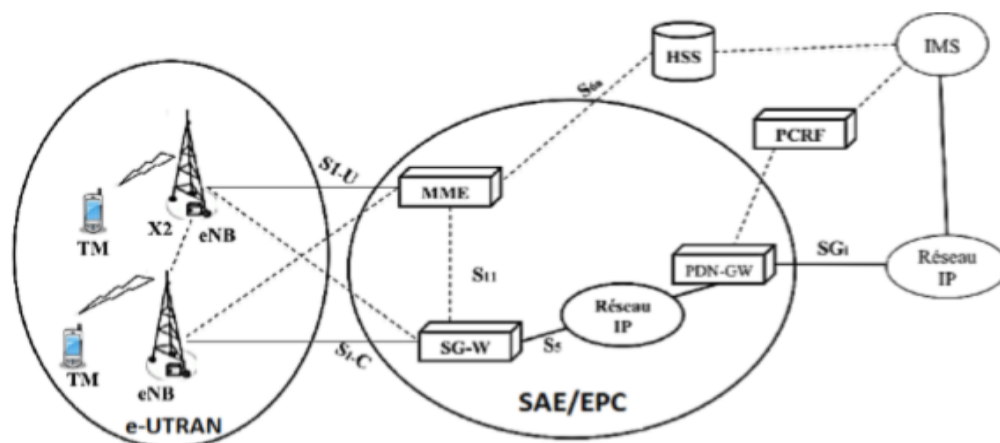


Figure II.2: Architecture du réseau 4G LTE. [7]

Les nouveaux blocs spécifiés pour l'architecture, connus aussi sous le nom d'EPS (Evolved Packet System), sont l'EPC (Evolved Packet Core) et l'E-UTRAN (Evolved UTRAN).

La Figure II.3 présente une architecture simplifiée de la partie EPS du réseau LTE.

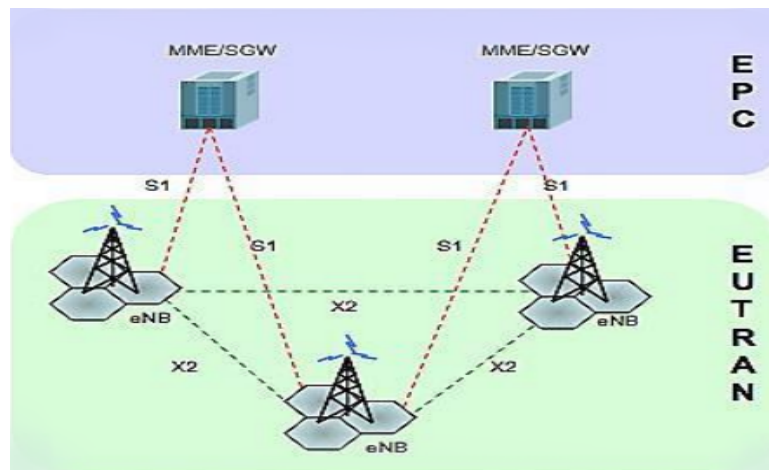


Figure II.3: Architecture simplifiée d'EPS. [8]

II.4.1 Le Réseau d'accès (la partie radio eUTRAN)

La partie radio du réseau, appelée 'eUTRAN ne contient que des eNodeB. A la différence de la 2G et 3 G les fonctions supportées par le RNC ont été réparties entre l'eNodeB et du réseau cœur connecte les eNodeBs entre eux (liens X2) et avec le cœur de réseau.

La Figure II.4 décrit l'architecture de l'e-UTRAN avec ses eNodeBs, les interfaces X2 (entre les eNodeBs) et S1 (entre eNodeB et entités du réseau cœur MME/SGW).

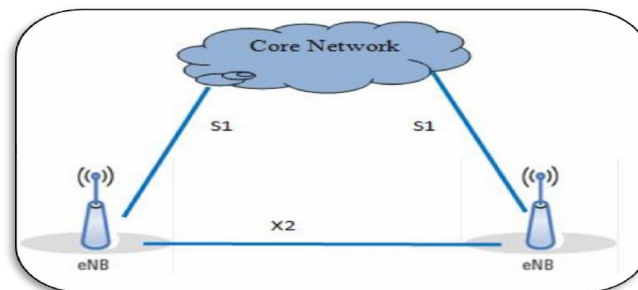


Figure II.4: Architecture de l'e-UTRAN. [9]

II.4.1.1 eNodeB

L'eNodeB est l'équivalent de la BTS dans le réseau GSM et NodeB dans l'UMTS, la fonctionnalité de handover est plus robuste dans LTE. Ce sont des antennes qui relient les UE avec le réseau cœur du LTE via les RF air interface. Ainsi qu'ils fournies la fonctionnalité du contrôleur radio réside dans eNodeB, le résultat est plus efficace, et le réseau est moins latent, par exemple la mobilité est déterminée par eNodeB a la place de BSC ou RNC. [10]

II.4.1.1.A L'interface X2

Est une interface logique. Elle est introduite dans le but de permettre aux eNodeBs d'échanger des

informations de signalisation durant le Handover ou la signalisation ,sans faire intervenir le réseau cœur. L'eNodeB est relié au cœur du réseau à travers l'interfaceS1.

II.4.1.1.B L'interface S1

C'est l'interface intermédiaire entre le réseau d'accès et le réseau cœur, elle peut être divisée en deux interfaces élémentaires :

- *S1-U (S1-Usager) entre l'eNodeB et le SGW.
- *S1-C (S1-Contrôle) entre l'eNodeB et le MME.

Les eNodeBs ont offert deux qualités au réseau:

- La sécurité: en cas de problème d'un relais.
- Un partage des ressources équitable: partage de ressource en cas de saturation du lien principale.[11]

II.4.2 EPC (Evolved Packet Core)

Le cœur de réseau appelé EPC (Evolved Packet Core), utilise des technologies Tout- IP, c'est-à-dire basées sur les protocoles Internet pour la signalisation, le transport de la voix et des données. Ce cœur de réseau permet l'interconnexion via des routeurs avec les autres eNodeBs, les réseaux des autres opérateurs mobiles, les réseaux de téléphonie fixe et le réseau Internet.

Son architecture est simplifiée, comme montre la Figure □.5, en la comparant à celle de 2G/3G.

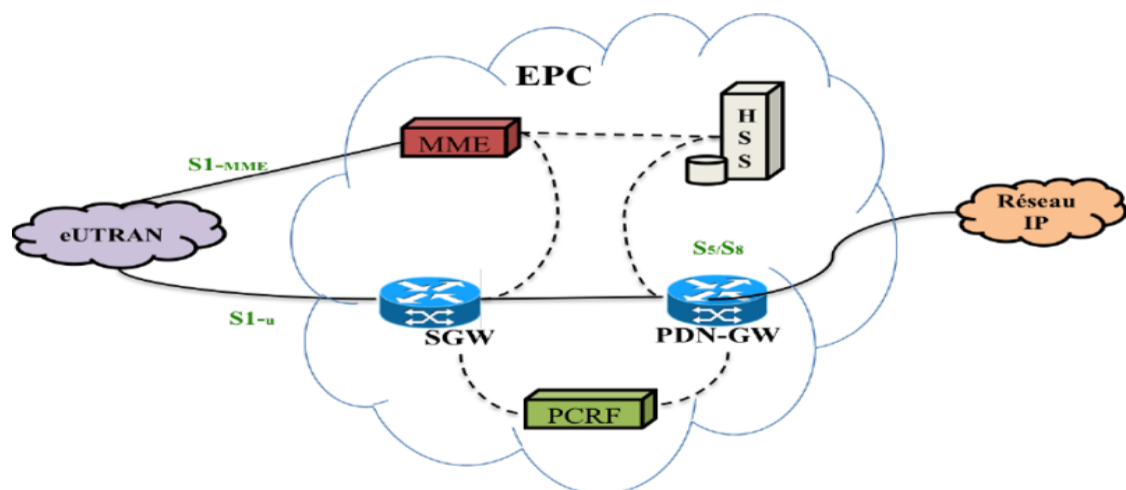


Figure II.5: Réseau cœur SAE/ (EPC). [7]

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

L'EPC d'un opérateur LTE est principalement constitué de:[7]

- Le MME : gère la signalisation (plan de contrôle) et donne l'accès aux bases de données.

•Le SGW: qui transporte le trafic de données (plan utilisateur) et concentre le trafic de plusieurs eNodeB.

•Le P-GW: sert de passerelle vers le réseau Internet, a aussi pour rôle d'attribuer les adresses IP aux terminaux LTE.

•Le HSS: contient les identifiants et les droits des abonnés.

•PCRF: cette entité fournit les règles de taxation des flux usagers et permet également de demander au PDN-GW d'établir, de modifier et de libérer des «dedicated bearer» sur la base de la qualité de service (QoS) souhaité par l'utilisateur.

II.4.3 La partie IMS (IP Multimedia Sub-system)

• Définition

L'IMS (IP MultiMedia Sub-system), est une architecture standardisée NGN (Next Génération Network) pour les opérateurs de téléphonie, qui permet de fournir des services multimédias fixes et mobiles. Cette architecture utilise la technologie VoIP ainsi qu'une implémentation 3GPP standardisée.

Les systèmes téléphoniques existants (commutation de paquets et commutation de circuits) sont pris en charge. L'objectif d'IMS n'est pas seulement de permettre de nouveaux services, existants ou futurs, proposés sur Internet, les utilisateurs doivent aussi être capables d'utiliser ces services aussi bien en déplacement (situation de Roaming) que depuis chez eux

Pour cela, l'IMS utilise les protocoles standards IP. Ainsi, une session multimédia, qu'elle effectue entre deux utilisateurs IMS, entre un utilisateur IMS et un internaute, ou bien encore entre deux internautes, est établie en utilisant exactement le même protocole .

De plus, les interfaces de développement de services sont également basées sur les protocoles IP. C'est pour cela que l'IMS fait véritablement converger l'Internet et le monde de la téléphonie cellulaire IL utilise les technologies cellulaires pour fournir un accès en tout lieu, et les technologies Internet pour fournir les services .

• Exemples des services de l'IMS

-Echange de fichiers pendant un appel.

- Un usager peut créer une règle qui le montre connecté après une certaine heure et rejette tous les appels en provenance d'un appelant de son groupe professionnel.

- Un usager peut couper lorsque ses collègues professionnels appellent et les rediriger vers une page Web spécifique présentant l'hôtel où il passe ses vacances.

-Un usager peut activer la sonnerie au niveau de tous ses appareils en fonction de L'appelant Messagerie instantanée et vidéo conférence.[7]

II.5 Les caractéristiques du réseau LTE

La 4G permet effectivement d'avoir des performances de Qos très fiables, en citant par la suite quelques paramètres:

II.5.1 Largeur de la bande et débit

100Mbit/s descendant et 50 Mbit/s montant. L'interface radio eUTRAN doit pouvoir supporter un débit maximum descendant instantané (du réseau au terminal) de 100 Mbit/s en considérant une allocation de bande de fréquence de 20 MHz pour le sens descendant et un débit maximal montant instantané (du terminal au réseau) de 50 Mbit/s en considérant aussi une allocation de bande de fréquence de 20 MHz. [12]

II.5.2 Latence

Latence: il existe principalement deux (02) types de latence

A- Latence du plan de contrôle

Latence du plan de contrôle est le temps d'établissement d'une connexion avec un service (l'émission et la réception de la signalisation). Tandis que l'objectif principal pour le LTE est d'améliorer la latence du plan de contrôle par rapport à l'UMTS.

B- Latence du plan usager

La latence du plan usager est définie le temps d'émission d'un paquet de donnée s'appartenant à l'utilisateur du réseau, et ce, après l'établissement de la connexion. En d'autres termes, la latence du plan usager correspond au délai de transmission d'un paquet IP au sein du réseau d'accès.

Le LTE vise une latence du plan usager inférieure à 5 ms dans des conditions de faible charge du réseau et pour des paquets IP de petite taille.[13]

II.5.3 L'agilité en fréquence

Le LTE doit pouvoir opérer sur des porteuses de différentes largeurs afin de s'adapter à des allocations spectrales variées. Les largeurs de bande initialement requises ont par la suite été modifiées pour devenir les suivantes: 1, 4 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz et 20 MHz dans les sens montant et descendant Les technique. [13]

II.5.4 La mobilité:

La mobilité est une fonction clé pour un réseau mobile. LTE a comme objectif de permettre à des utilisateurs se déplaçant à de très grandes vitesses (350 km/voire même 500 km/h en fonction de la bande de fréquence utilisée), de pouvoir user correctement des services. [14]

II.5.5 Les techniques d'accès

II.5.5.1 L'OFDMA

L'OFDMA est une technique de multiplexage et de codage des données utilisée principalement dans les réseaux de téléphonie mobile de 4e et 5e génération. Appartenant à la famille OFDM, conçu pour l'accès multiple et adopté par les standards du 3GPP LTE, uniquement pour la liaison descendante. La technique de multiplexage et de codage OFDMA a combiné les techniques TDMA et FDMA en adoptant le couple temps-fréquence. Il est notamment utilisé dans les réseaux de téléphonie mobile 4G LTE1, LTE Advanced, 5G New Radio et WiMax (IEEE 802.16e). Elle a succédé la technique CDMA présentant des limites pour les systèmes des réseaux de téléphonie de troisième génération à cause de problème d'interférence quand le nombre des utilisateurs augmente. L'OFDMA a apporté la solution par une efficacité spectrale meilleure. Il est à noter que cette technique d'accès a été aussi choisie pour la norme LTE-A, et plusieurs autres normes récentes.

Un autre point fort du signal OFDM est la simplicité de son implémentation. En effet un signal échantillonné sera converti du domaine temporel vers le domaine fréquentiel au moyen d'une transformée de Fourier rapide (FFT). Comme nous l'avons présenté, la technique OFDMA a pu s'imposer comme solution qui offre un meilleur compromis entre débit élevé et bande de fréquence optimisée et peu d'interférences. L'utilisation du codage OFDMA est une technologie de codage radio de type « Accès multiple par répartition en fréquence » (FDMA) pour la liaison descendante et du SC-FDMA (Le single carrier FDMA est une technologie de codage radio de type accès multiple par répartition en fréquence pour la liaison montante au lieu du W-CDMA en UMTS).

La figure suivante décrit l'utilisation des sous porteuses en LTE: celles en noir, en vert et bleu (les plus nombreuses) transportent les données des utilisateurs, celles en rouge, les informations de synchronisation et de signalisation entre les 2 extrémités de la liaison radio. [15]

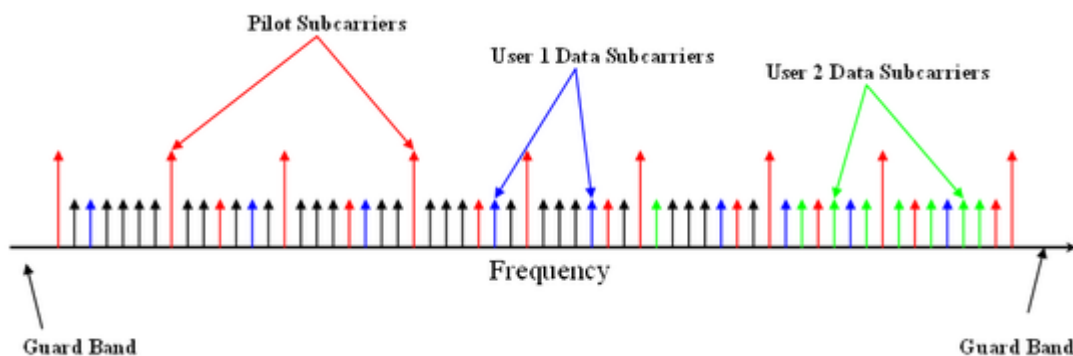


Figure II.6: Les porteuses de L'OFDMA. [16]

II.5.5.2 SC-FDMA

SC-FDMA: est une technologie de codage radio numérique qui a été adoptée pour la liaison montante du système LTE .Le principe de base du SC-FDMA est identique à l’OFDMA à la différence qu’une DFT est appliquée avant la modulation OFDM, ce qui permet de disperser les symboles de données sur l’ensemble de sous porteuses transportant l’information et permet ainsi de produire une structure à une seule porteuse .Est aussi caractérisée SC-FDMA par son facteur de critère PAPR plus faible que celle de l’OFDMA. [17]

II.5.5.3 Comparaison entre l’OFDMA et le SC-FDMA

La figure suivante permet de relever les points communs entre l’OFDMA et le SC-FDMA:

- Une transmission de données en blocs.
- Un multiplexage des données en fréquence dans le cas où ils sont répartis sur plusieurs sous-porteuses orthogonales.
- Une égalisation de canal réalisée dans le domaine fréquentiel.
- Une complexité globalement équivalente.

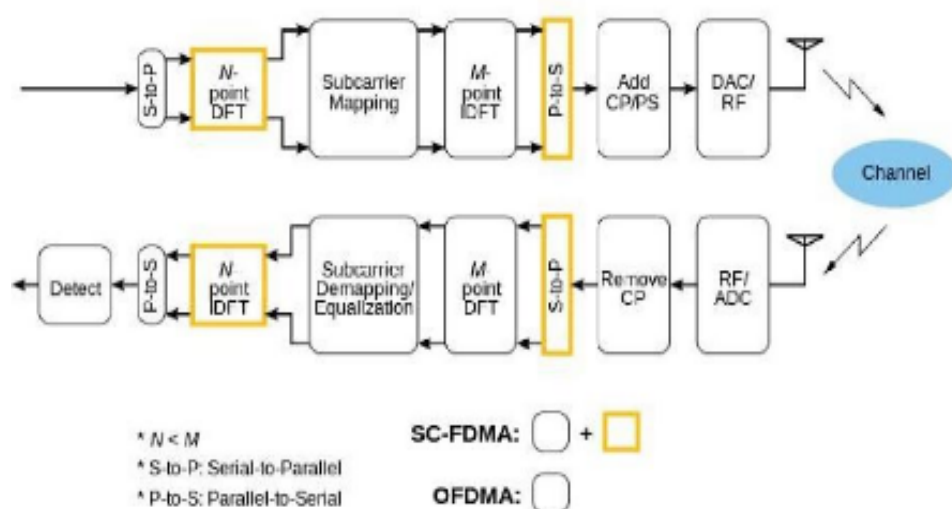


Figure II.7: Similitude entre une chaîne OFDMA et SC-FDMA. [18]

La différence majeure entre elle, réside dans le fait que le porteuse l’OFDMA est une technique de transmission multi-porteuse tandis que la SC-FDMA est une technique mono-porteuse. La figure II.8: présente la différence entre OFDMA et SC-FDMA.

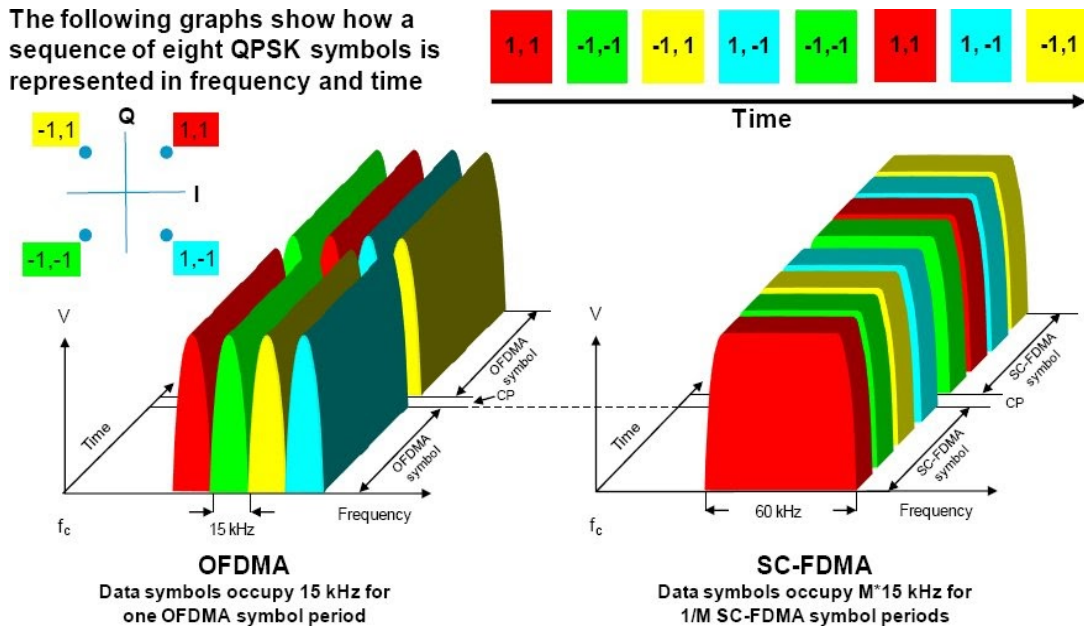


Figure II.8: La différence entre OFDMA et SC-FDMA. [19]

II.5.6 Modulation adaptative

Dans la direction montante (Uplink) le type de modulateur utilisé est la modulation d'amplitude en quadrature (QAM). Cette modulation permet de doubler la capacité de transfert par rapport à la modulation utilisée pour l'UMTS, la QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) qui est basée sur deux porteuses de même fréquence déphasées de 90 degrés, soit 2 puissance 2 = 4 états d'information. Pour sa part, la 16 QAM combine deux niveaux d'amplitude avec deux porteuses en quadrature, soit 2 puissance 4 = 16 états d'information. Chacune de ces modulations est utilisée pour un lien précis Tel que :

- * Modulations Downlink: QPSK, 16QAM et 64QAM.
- *Modulations Uplink: QPSK et 16QAM. [10]

II.5.7 La structure des trames en LTE

L'opération de l'interface radio dans le domaine temporel est découpée en trames radio consécutives de 10 ms. Chaque trame radio divisés en 10 sous- trames, chaque sous-trame de longueur 1,0 ms.

Chaque sous-cadre est divisé en deux slots, donc on a 20 slots de 0.5 ms chacun, numérotés de 0 à 19. UN slot est composé de 6 ou 7 symboles OFDM, selon que le préfixe cyclique normal ou étendu est employé.

La figure II.9: présente la structure générique de la trame LTE.

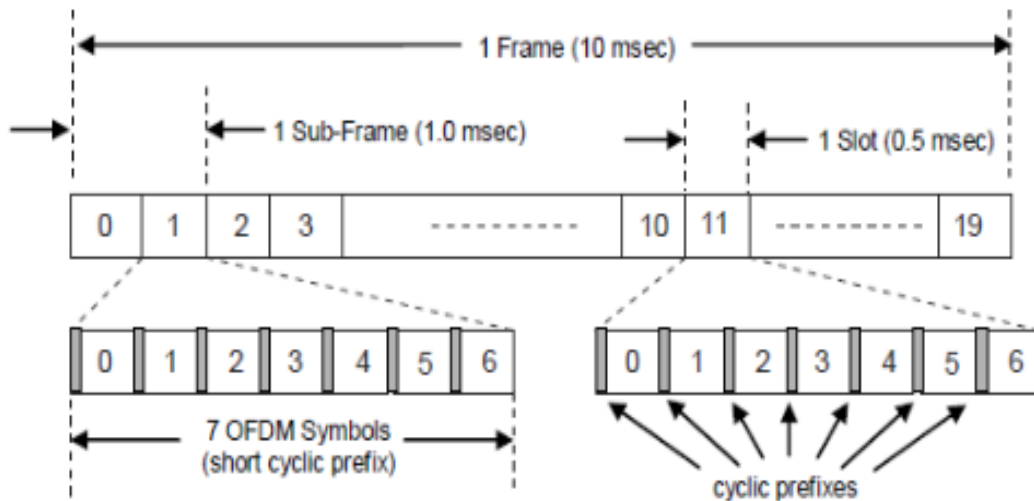


Figure II.9: Structure générique de la trame LTE. [20]

Un Time Slot dans la (Release 8) de la 3GPP a une durée de 0.5 ms, alors selon le choix du CP (Cyclic Préfix) on peut avoir soit:

- *7 symboles OFDM pour un CP court.
- *6 symboles OFDM pour un CP long.

Rappelant qu'un symbole OFDM a une durée de 66.66 μ s. -

Les transmissions « Downlink » et « Uplink » sont organisés en deux types de structures qui sont:

- Structure de type 1: duplex de fréquence division FDD. □
- Structure de type 2: duplex par séparation temporelle TDD. [20]

II.5.7.1 Structure de type 1: FDD

Les deux sens de liaison radio opèrent sur des fréquences différentes (L'émission et la réception des données) c.à.d. que la fréquence porteuse du signal est différente suivant le sens de la liaison (montant ou descendant).

Cette technique permet d'émettre et de recevoir simultanément, c'est son principal avantage face

à l'autre technique majeure de duplexage, le TDD.

La figure II.10 présente la structure de la trame radio FDD.

LTE a l'avantage de s'adapter aux anciennes normes existantes. La transition est donc possible avec le l'UMTS FDD (W-CDMA), l'UMTS TDD et le GSM/EDGE.

Les tableaux II.1 et II.2 présentent respectivement les bandes de fréquences utilisées pour le TDD ainsi que pour le FDD.

Bandes	Frèquences 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 I.1: Les bandes de TDD. [10]

Bandes	Frèquences 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 I.2: Les bandes de FDD. [10]

II.6 Qualité des services

La 4^{ème} génération vise à améliorer l'efficacité spectrale et à augmenter la capacité de gestion du nombre de mobiles dans une même cellule. Elle tente aussi d'offrir des débits élevés en situation de mobilité et à offrir une mobilité totale à l'utilisateur en établissant

l'interopérabilité entre différentes technologies existantes. Elle vise à rendre le passage entre les réseaux transparent pour l'utilisateur, à éviter l'interruption des services durant le transfert intercellulaire, et à basculer l'utilisation vers le tout-IP.

Les principaux objectifs visés par les réseaux de 4^{ème} génération sont les suivants :

- Réduire les délais et le trafic de signalisation. - Fournir une meilleure qualité de service.
- Optimiser l'utilisation des ressources.
- Réduire le délai de relève, le délai de bout-en-bout, la gigue et la perte de paquets.
- Minimiser le coût de signalisation.

Le développement du réseau Internet et le nombre d'utilisateurs pouvant se connectés à ce réseau impose le recours à des niveaux importants de QoS désirée par l'utilisateur.

La qualité de service est généralement définie par les critères suivants :

- Délai : temps écoulé entre l'envoi d'un paquet et sa réception.
- Gigue sur le délai : variation du délai de deux paquets consécutifs.
- Bande passante minimum: taux de transfert minimum pouvant être maintenu entre deux points terminaux.
- Fiabilité : taux moyen d'erreurs d'une liaison. [10]

II.7 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons donné un aperçu des différents composants et caractéristiques de la technologie LTE (quatrième génération) afin de présenter la terminologie utilisée dans cette technologie.

Car cette génération a fait ses preuves et est connue par la meilleure génération existante qui permet un très haut débit en plus de la possibilité d'interopérabilité avec d'autres réseaux d'ancienne génération (**3G, 2G,**).

Les principaux paramètres du réseau 4G qui ont fait ce réseau le meilleur et le plus cher sont sa vitesse très élevée utilisée, et la transition temporelle est beaucoup moins importante que dans un réseau 3G, une bande passante élevée, une plage de fréquences flexible et l'interopérabilité avec d'autres réseaux. Le paramètre donne à l'utilisateur la possibilité de l'utiliser dans la 4G.

III

Chapitre III

Dimensionnement d'un réseau LTE

III.1 Introduction

Le dimensionnement d'un réseau LTE est la première étape du processus global de la planification, permettant ainsi une première évaluation de la densité, de la configuration des sites demandés, de la capacité offerte et de la couverture à estimer conjointement avec la capacité. C'est une étape primordiale dans la conception d'un réseau, elle permet aux opérateurs de trouver une position optimale des sites, en tenant compte des caractéristiques de l'environnement, des caractéristiques des abonnés à desservir en termes de densité et de demande de trafic.

Cette étape est importante pour un opérateur de télécommunication qui a pour but d'offrir des services de voix et de données au public et ainsi les communications peuvent s'établir n'importe où dans la zone de couverture.

L'opérateur doit effectuer en premier lieu la planification de son réseau avant sa mise en œuvre afin d'optimiser de manière fiable le coût de déploiement.

Dans ce chapitre, nous allons présenter le processus de planification et dimensionnement d'un réseau LTE en introduisant les concepts de base et les calculs mathématiques nécessaires au dimensionnement sur les deux phases : couverture et capacité.

III.2 Processus de dimensionnement d'un réseau

La planification en LTE, comme tout autre réseau cellulaire est une tâche très complexe. Par rapport à ses prédécesseurs, la planification de la couverture et de la capacité en LTE se font de manière conjointe, en une seule tâche d'où le nom « Dimensionnement ». [22]

Le processus de dimensionnement se résume en quatre étapes comme le montre la figure III.1 :

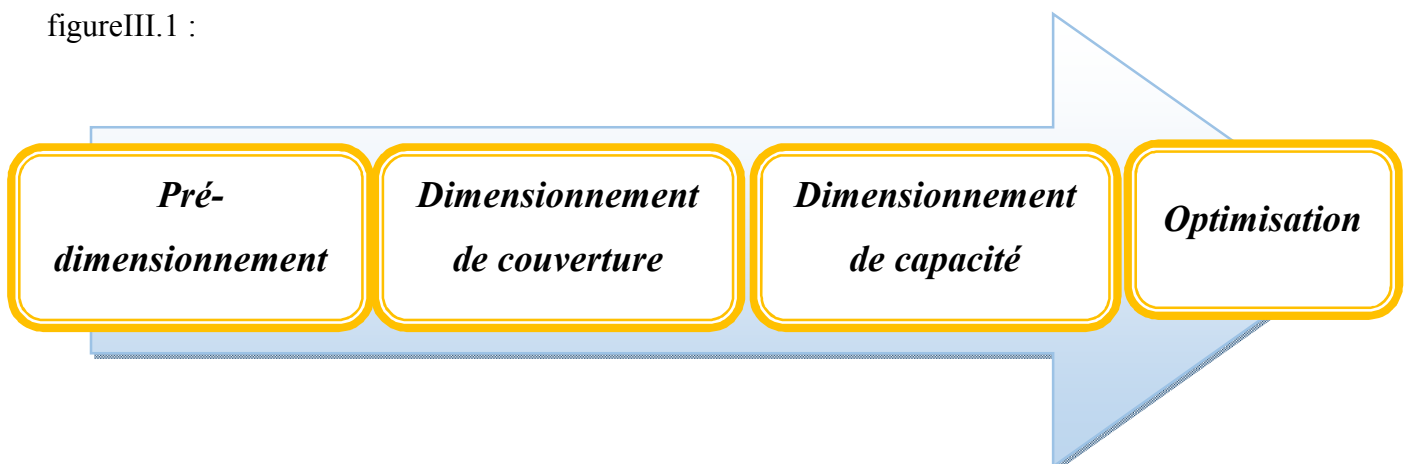


Figure III.1: Processus de dimensionnement d'un réseau LTE. [23]

III.2.1 Pré-dimensionnement

Le pré-dimensionnement nécessite la collecte des informations qui interviennent sur la zone de déploiement, comme informations nous pouvons citer:[24]

- Les informations (en détail) sur l'eNodeB et l'UE.
- Les informations de la zone de déploiement (superficie, information démographiques).
- Les données géographiques: cartographique, population, zone à couvrir et taux de pénétration des abonnés dans cette zone (services demandés, trafic offert...).

Les services à offrir : voix et données.

- La liste des sites : Identifier clairement les lieux pour placer les eNodeB.
- Type d'antenne à utiliser.

III.2.2 Dimensionnement de la couverture

Le dimensionnement de couverture est une phase très importante parce qu'elle est l'étape la plus critique dans la conception d'un réseau LTE. On va se baser sur le bilan de liaison, qui fournit une estimation du taux de perte du trajet. Pour ce faire, il est nécessaire de choisir un modèle de propagation approprié. Le résultat final obtenu est la taille de la cellule à couvrir, ce qui donne une estimation sur le nombre total de sites. Cette estimation basée sur les exigences de couverture doit être vérifiée et complétée par les besoins de capacité.

III.2.3 Dimensionnement de la capacité

Le dimensionnement de la capacité est une étape qui consiste à sélectionner les positions géographiques adéquates des sites, la vérification de la taille des cellules et le nombre de sites obtenus par l'analyse de la couverture doit être comparé avec l'analyse de la capacité afin de savoir si le système peut supporter la charge demandée sinon de nouveaux sites doivent être ajoutés dans le but de maximiser la couverture et la qualité.

III.2.4 Optimisation

L'étape d'optimisation a pour but de maintenir les exigences de la qualité de service préétablis. Dans cette étape on compare les résultats obtenus du dimensionnement de la couverture et de la capacité et on considère le nombre de sites le plus grand. [23]

III.3 Dimensionnement d'un réseau LTE

C'est une phase importante qui permet de déterminer le volume des équipements et les logiciels à acquérir et à déployer afin de satisfaire ses abonnés.

Le dimensionnement des réseaux mobiles est un problème très complexe qui met en jeu à la fois des aspects théoriques et pratiques, c'est-à-dire trouver une meilleure architecture cellulaire en tenant compte de plusieurs critères qui sont :

- **Qualité de couverture:** Elle permet de garantir un lien radio en tout point de la couverture.

- **Mobilité:** Elle permet de faciliter le handover lors du changement de cellule. Chaque station de base doit connaître ses voisines pour permettre à un utilisateur de se déplacer sans perte de connexion.

- **Adsorption de la charge:** le réseau doit être capable de fournir un nombre de canaux de communication adapté à la densité de trafic associée à chaque cellule.

Dans la pratique le déploiement d'un réseau LTE demande l'optimisation des sites, sous les deux contraintes de types radio et trafic, il s'agit de tester en fonction du type d'antenne, de la puissance d'émission et de son orientation, la zone couverte par l'émetteur.

Avec une telle approche le réseau convergera vers une bonne configuration. Le principe est de répartir les émetteurs sur le terrain, établir des zones de couverture et les adapter en déplaçant les sites, en modifiant les puissances d'émission et en choisissant les orientations. Après une couverture assurée il faut rechercher une répartition des fréquences en tenant compte des sites qui sont voisines ainsi à ce moment nous pouvons rechercher une répartition des fréquences entre les sites. [22]

III.3.1 Dimensionnement de couverture

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

- ❖ **Exigence de qualité:** L'exigence de qualité de couverture est d'atteindre le débit binaire demandé avec une certaine probabilité en liaison montante et descendante. Comme par exemple 128 kbps doit être atteint avec une probabilité de 98% dans la zone de couverture.

❖ Dimensionnement de la liaison montante (Uplink)

La plupart des systèmes de téléphonie mobile sont souvent limités par la liaison montante (Uplink). Il est donc important de commencer les calculs de bilan de liaison avec les exigences de couverture de la liaison montante que l'on expliquera par la suite.

❖ Dimensionnement de la liaison descendante (downlink)

Le bilan de liaison descendante est calculé pour déterminer les limites de chaque lien, déterminer le débit binaire qui peut être pris en charge dans la liaison descendante. Il dépend de quelques paramètres que l'on aborder dans ce mémoire [23].

III.3.2 Bilan de la liaison radio (RLB)

Souvent, lorsqu'on veut planifier une liaison radio, pour toute application sans fil, la première question à se poser est : Quelle est la distance maximale entre l'émetteur et le récepteur? Le premier pas à faire pour répondre à cette question est de déterminer l'affaiblissement de parcours maximal (ou Maximum Allowable PathLoss MAPL), en passant par établir un bilan de liaison radio (RLB). Ce dernier est utilisé conjointement avec un modèle de propagation approprié pour enfin déduire la distance maximale séparant l'émetteur du récepteur. [22]

Pour le LTE, l'équation du RLB de base est comme suite (en dB):

$$\text{MAPL} = \text{PIRE} - \text{IM} + \text{RXg} - \text{K} - \text{Rx} \quad [\text{II.1}]$$

Avec :

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

PIRE (Puissance Isotrope Rayonnée Equivalente) ou **EIRP** (Equivalent Isotropic Radiated Power): la puissance rayonnée équivalente à une antenne isotrope, elle s'exprime comme suite :

$$\text{PIRE} = \text{PTx} + \text{GTx} - \text{LTx} \quad [\text{II.2}]$$

IM: marge d'interférence

RXg: gain d'antenne de réception

K: perte de câble

Rx: sensibilité de réception

PTx: puissance d'émission de l'eNodeB au niveau du connecteur de l'antenne (43-49dBm)

GTx: gain de l'antenne de l'eNodeB

LTx: ensemble des pertes d'alimentation entre l'eNodeB et le connecteur d'antenne

III.4 Modèle de propagation

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

- ❖ **Les modèles empiriques:** sont des formules mathématiques utilisées pour prédire l'impact d'un émetteur sur une certaine zone de réception.

- ❖ **Les modèles physiques:** prédisent la propagation des ondes radio et calculent les trajets des ondes radio en tenant compte des phénomènes de réflexion et de diffraction. [25]

III.4.1 Modèle de propagation en espace libre

Le modèle de propagation en espace libre ou l'affaiblissement de parcours en espace libre (Free Space) est la perte générée lorsque le signal traverse un milieu de propagation vide des obstacles (réflexions, diffractions, dispersions, etc.). Bien que ce modèle soit idéal, il peut être considéré comme étant le point de départ pour tout autre modèle. L'affaiblissement de parcours dans un espace libre est donné par :

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

Avec :

F: la fréquence

C: la célérité de la lumière

d: la distance parcourue

III.4.2 Modèle de propagation Standard

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

III.4.3 Le modèle empirique

Les modèles empiriques de prédiction sont en réalité des formules mathématiques exprimant l'atténuation en fonction de plusieurs paramètres comme par exemple la fréquence d'émission, la hauteur des antennes, le degré d'urbanisation....

Ils ont l'avantage d'être simple et dépendent faiblement des caractéristiques d'un site raison pour laquelle ils sont couramment utilisés dans les communications cellulaires. On distingue ainsi les différentes sortes de modèles empiriques:

III.4.3.1 Le modèle Okumura-Hata

Le modèle Okumura-Hata est le modèle le plus utilisé à l'heure actuelle au niveau des outils de planification cellulaire. Ce modèle tient compte de plusieurs facteurs dont la fréquence, la distance entre l'émetteur et le récepteur, la hauteur de la station de base au mobile et aussi la nature de l'environnement en tenant compte du degré d'urbanisation (urbain, suburbain, rural). Il a pour principe le calcul de l'affaiblissement en espace libre et ajoute un facteur d'atténuation selon le degré d'urbanisation. [25]

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

Fréquence (f) : 150 à 1000MHZ

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

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

Distance (d) : 1 à 20 km

L₀: l'affaiblissement

Il s'exprime par la formule suivante :

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

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

$$L_{\text{urbain}} = L_0 - a(H_m) \text{ avec } a(H_m) = [(1.1 \log_{10}(f) - 0.7) H_m - (1.56 \log_{10}(f) - 0.8)] \quad [\text{III.5}]$$

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

$$L_{\text{urbain-dense}} = L_0 - a(H_m) \text{ où } a(H_m) = 8.29 [\log_{10}(1.54 H_m)]^2 - 1.1 \text{ pour } f \leq 200 \text{ MHz} \quad [\text{III.6}]$$

$$L_0 - a(H_m) \text{ où } a(H_m) = 8.29 [\log_{10}(1.54 H_m)]^2 - 4.97 \text{ pour } f \geq 200 \text{ MHz} \quad [\text{III.7}]$$

A=0 pour $H_m = 1.5$

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

$$L_{\text{sous-urbain}} = L_0 - 2[\log_{10}(f/28)]^2 - 5.4 \quad [\text{III.8}]$$

❖ Pour un environnement rural les pertes ont pour expressions :

$$L_{\text{rural}} = L_0 - 4.78 [\log_{10}(f)]^2 + 18.33 \log_{10}(f) - 35.94 \quad [\text{III.9}]$$

L'inconvénient de modèle Okumura-Hata est qu'il ne tient pas compte des masques de diffraction et sa bande de fréquence interdit son utilisation pour la planification en LTE donc un modèle amélioré a été proposée qui est le modèle COST 231 de HATA.

III.4.3.2 Le modèle Cost 231 de Hata

Le modèle COST 231-Hata a les mêmes conditions que le modèle d'Okumara-Hata sauf qu'il est développé pour étendre l'utilisation de ce modèle pour les bandes de 1500 à 2000 MHz. Dans le déploiement LTE, pour une meilleure performance, de hautes antennes doivent être utilisées, tandis que le modèle COST-231 Hata doit être utilisé comme modèle de propagation radio puisqu'il présente de meilleurs résultats. Le modèle ne donne pas de bons résultats pour une hauteur de l'antenne moins que 50m. [25]

$$L_0 = 46.3 + 33.9 \log_{10}(f) - 13.82 \log_{10}(H_b) - a(H_m) + [44.9 - 6.55 \log_{10}(H_b)] \cdot \log_{10}(d) + C \quad [\text{III.10}]$$

$a(H_m)$: est un terme correctif dépendant de la hauteur de terminal mobile

❖ Pour les petites villes (urbain) ; elle s'exprime :

$$a(H_m) = [(1.1 \log_{10}(f) - 0.7) \cdot H_m] - 1.56 \log_{10}(f) + 0.8 \quad [\text{III.11}]$$

❖ Pour les villes denses (urbain dense) :

$$a(H_m) = [3.2 \log_{10}(11.72 \cdot H_m)]^2 - 7.97 \quad [\text{III.12}]$$

Avec :

C : étant un terme constant, sa valeur est donnée:

- C=0 dB pour les zones sous urbaines

- C=3 dB pour les zones urbaines

III.5 Dimensionnement orienté couverture en liaison descendante (Downlink)

Pour différents types de morphologie (urbain, suburbain, rurale...) on doit effectuer des calculs selon les paramètres suivants :

III.5.1 Débit requis

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

$$D_{req,Rb} = D_{req} / N_{Rb} \quad [\text{III.13}]$$

Le nombre de N_{Rb} peut être choisi librement mais dans les limites de la bande passante comme nous pouvons le voir sur le tableau III.1:

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

Tableau III.1: Quelques caractéristiques requises pour le débit. [26]

III.5.2 Puissance de la sous-porteuse

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

$$P_{SC} = P_{Total\ émission} - 10 \log_{10} (Sub_{cr})$$

Avec :

Sub_{cr} : l'espacement entre sous porteuse 15 KHZ

III.5.3 Le SINR (Signal to Interférence and Noise Radio) requis au récepteur

Le SINR est le rapport entre le signal utile et la somme des interférences provenant des cellules propres et voisines et la puissance du bruit reçue. Le SINR requis est un indicateur de la performance du système, plus il est faible plus le système est performant. Il s'exprime comme suit :

$$SINR = \frac{\text{Puissance du signal}}{\text{Puissance d'interférence} + \text{Puissance du bruit}} \quad [III.15]$$

$$SINR_{Req} = 10 \log_{10}(SINR) \quad [III.16]$$

III.5.4 Sensibilité du récepteur

La sensibilité du récepteur est le niveau de puissance de signal requis au niveau de l'antenne de réception du mobile pour pouvoir atteindre un niveau de qualité de signal acceptable en réception. [24]

$$S_{UE} = \text{Noise figure} + \text{Thermal Noise} + \text{SINR requis}$$

Avec :

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

SINRreq: c'est la valeur du SINR requis au récepteur.

III.5.5 Les marges de bruit

Le calcul de trajet maximal n'est pas possible sans calculer les marges de bruit, qui correspondent à l'environnement radio, pour éviter le phénomène de «Swiss Cheese» c'est-à-dire (surface avec trous de couverture). Ainsi nous avons plusieurs types de marge qui sont :

❖ Marge de pénétration

La perte de pénétration est l'atténuation du signal due à la pénétration aux bâtiments. Elle dépend du type d'environnement comme nous pouvons le voir sur le tableau III.2.

Environnement	Perte de pénétration (dB)
Dense Urbaine	18-25
Urbaine	15-18
Suburbaine	10-12
Rurale	06-08

Tableau III.2: Les pertes de pénétration [27]

Cette marge dépend essentiellement de trois facteurs :

- **La fréquence du signal:** les pertes varient selon la fréquence du signal.
- **Le type de bâtiment:** principalement le type de construction (brisque, bois, pierre, verre...)
- **La structure des bâtiments:** densité et épaisseur des murs, nombre et dimensions.

Le meilleur moyen de déterminer la valeur de cette marge consiste à prendre des mesures expérimentales depuis la zone dont on veut faire la couverture car elle est assimilée à une variable aléatoire. Elle prend une valeur de 20 dB ou plus pour la perte des bâtiments et une valeur autour de 8 dB pour la perte des véhicules.

❖ La perte de types de signal (Body): Perte du corps

C'est l'affaiblissement dû à l'absorption d'une partie de l'énergie transmise par le corps humain (propre aux services vocaux). Sur le tableau II.3 nous pouvons voir le taux de perte pour un signal vocal.

Type de signal	Perte (dB)
VOIP	3
DATA	0

Tableau III.3: Les pertes selon le type de signal. [26]

❖ Marge de Shadowing

La marge de shadowing ou l'effet de masque est un phénomène dû aux obstacles qui existent dans un milieu de propagation radio comme les bâtiments et la morphologie du terrain. Le tableau suivant montre les marges d'évanouissement et les différentes probabilités de couverture. [2]

Environnement	Probabilité de couverture en (dB)				
	98%	95%	90%	85%	75%
Rurale – Suburbaine	5.5	3	0.06	-1	-4
Urbaine	8.4	5	2	0.2	-3.5
Urbaine Dense	10.6	6.7	3.1	1	-3

Tableau III.4: Marge de shadowing. [26]

❖ Evanouissement rapide

Perte de Rayleigh: c'est l'effet de Multi-trajet, elle apparait lorsque le signal émis passe par des chemins différents. A la réception, le récepteur reçoit le signal à partir des chemins différents.

❖ Marge des lignes d'alimentation (Feeder)

La marge des lignes d'alimentation est une perte causée par différents dispositifs situés sur le trajet de l'antenne vers le récepteur comme par exemple la perte de la ligne d'alimentation qui dépend de la longueur de la ligne et les connecteurs. Sur la figure II.2 nous pouvons voir les connexions du système d'alimentations de l'antenne vers une station de base.



Figure III.2: Connexions du système d'alimentation de l'antenne. [28]

Le tableau III.5 nous montre les pertes de feeder (ligne d'alimentation).

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

Tableau III.5: Les pertes de la ligne d'alimentation. [26]

❖ 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 on parle de l'interférence avec des cellules voisines.

L'interférence est due à la réutilisation de fréquence. En particulier en LTE, le facteur de réutilisation est de 1, ce qui mène à des niveaux d'interférence beaucoup plus importante. D'autres sources d'interférence peuvent être prises en compte, tel que les interférences des autres systèmes, on introduit une autre marge de sécurité pour maintenir l'équilibre du bilan de liaison.

La valeur d'IM est fortement liée à la charge de la cellule (le taux d'occupation des ressources physiques), la technique de coordination de l'interférence dans le concept CoMP, la distance entre deux sites, etc...

La marge d'interférence est donnée par l'équation :

$$IM_{dB} = 10 \log_{10} \left(\frac{SNR}{SINR} \right) = 10 \log_{10} \left(\frac{I + N_{th} \cdot B_{Rx}}{N_{th} \cdot B_{Rx}} \right) \quad [III.18]$$

Avec :

I: Le niveau de l'interférence provenant des cellules adjacentes qui utilisent les mêmes PRB simultanément.

N_{th} : La densité de bruit thermique (dB/Hz).

B_{Rx}: La largeur de bande de réception.

Charge de la cellule (%)	IMdB
35	1
40	1.3

50	1.8
60	2.4
70	2.9
80	3.3
90	3.7
100	4.2

Tableau III.6: La marge IM (en dB) en fonction de la charge de la cellule. [29]

L'équation de bilan de liaison (MAPL):

$$\text{MAPL DL} = P_{sc} - \text{SUE} - L_{\text{feeder}} + G_a - \text{IM} - \text{MP} - \text{Msh} \quad [\text{III.19}]$$

Avec :

P_{sc} : puissance de la sous-porteuse

SUE : sensibilité du récepteur

L_{feeder} : perte de feeder

G_a : Gain de l'antenne d'émission

IM : marge d'interférence

MP : marge de pénétration

Msh : marge shadowing

III.6 Dimensionnement orienté couverture pour la liaison montante (Uplink)

III.6.1 Le SINR requis

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

III.6.2 La puissance de la sous-porteuse

C'est la relation entre la puissance d'émission maximale et le nombre de sous porteuse.

Elle s'exprime par la formule suivante.

$$P_{sc} = P_{\text{Total d'émission}} - 10 \log_{10}(\text{Sub}_{cr}) \quad [\text{III.20}]$$

III.6.3 Sensibilité de récepteur l'eNodeB

La sensibilité de l'eNodeB est la puissance de signal nécessaire pour éviter les coupures radio. Elle s'exprime comme suite:

$$S_{\text{eNodeB}} = \text{eNodeB Noise Figure} + \text{Bruit thermique} + \text{SINR requis} \quad [\text{III.21}]$$

III.6.4 Gain d'Antenne

Le gain de l'antenne change avec le type d'antenne et la fréquence. Il est pratiquement fixé à 18 dBi pour les antennes tri-sectorielles.[30]

III.6.5 Bilan de la liaison montante (Uplink)

$$MAPL_{UP} = P_{sc} - S_{eNodeB} - L_{feeder} + G_a - IM - M_P - M_{sh} \quad [III.22]$$

III.7 Rayon de la cellule

Après le calcul de l'affaiblissement de parcours maximal (MAPL) par l'établissement d'un bilan de liaison, on peut déterminer le rayon de la cellule noté R_{cell} en utilisant un modèle de propagation adéquat. Le rayon de la cellule s'exprime par la formule suivante :

$$R_{cell} = 10^{\alpha} \quad [III.23]$$

Nous allons citer quelques exemples pour le principe du rayon de la cellule, en supposant qu'on est dans un environnement urbain alors on aura :

❖ Pour le modèle Okumura-Hata, on aura:

$$MALP = 69.55 + 26.16 \log_{10}(F) - 13.96 \log_{10}(H_b) - a(H_m) + [44.9 - 6.55 \log_{10}(H_b) \cdot \log_{10}(R_{cell})] \quad [III.24]$$

Avec :

$$R_{cell} = 10^{\alpha} = 10^{\frac{MALP - 69.55 - 26.16 \log_{10}(F) + 13.96 \log_{10}(H_b) + a(H_m)}{44.9 - 6.55 \log_{10}(H_b)}} \quad [III.25]$$

❖ Pour le modèle cost 231-Hata, on aura:

$$MALP = 46.3 + 33.9 \log_{10}(F) - 13.82 \log_{10}(H_b) - a(H_m) + [44.9 - 6.55 \log_{10}(H_b) \cdot \log_{10}(R_{cell})] \quad [III.26]$$

Alors le rayon de la cellule sera :

$$R_{cell} = 10^{\alpha} = 10^{\frac{MALP - 46.3 - 33.9 \log_{10}(F) + 13.82 \log_{10}(H_b) + a(H_m)}{44.9 - 6.55 \log_{10}(H_b)}} \quad [III.27]$$

III.8 Le nombre des sites

Après avoir déterminé le rayon de la cellule qui s'exprime en (Km), on peut calculer maintenant la superficie de couverture de cellule appelée aussi « empreinte du site » noté S_{cell} . Cette dernière dépend du nombre de secteurs par site noté $N_{secteur}$. Ainsi sur la figure II.3 nous pouvons voir la configuration des secteurs:

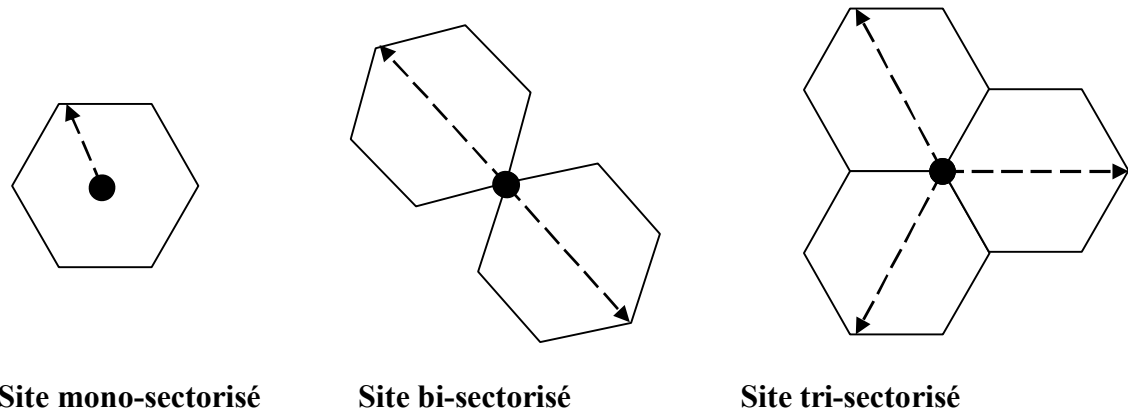


Figure III.3: Configuration des secteurs cellulaires. [24]

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

Tableau III.7: Empreinte du site en fonction du nombre de secteurs. [31]

La figure III.4 nous montre comment calculer la surface des sites à partir de deux modèles hexagonaux. Comme c'est le cas du site omni-sectorisé et du site tri-sectorisé sur la figure III.4 :

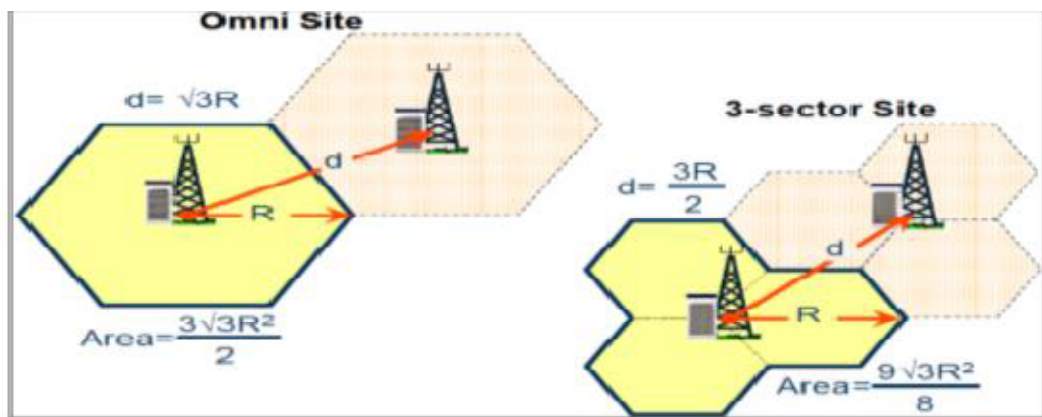


Figure III.4: Modèle hexagonale de la cellule. [3]

Pour obtenir le nombre de sites on procède de la manière suivante en faisant le quotient entre la surface de la zone et la surface du site:

$$N_{site} = \frac{S_{zone}}{S_{site}} \quad [III .28]$$

Avec:

S_{zone} : étant la surface totale de la zone.

III.9 Dimensionnement de capacité

Le dimensionnement de capacité permet de trouver la capacité maximale qui peut être supporté par une cellule. Son objectif est de déterminer le nombre des sites nécessaires pour satisfaire les trafics des abonnés dans une zone donnée. La capacité théorique du réseau est limitée par le nombre d'eNodeB installé dans le réseau. Elle dépend de plusieurs facteurs tels que type de la zone, service, nombre des abonnés, interférences ...

III.9.1 Calcul de la capacité en liaison montante et descendante

Pour calculer la capacité en liaison montante (uplink) et descendante (downlink), on doit faire appel aux paramètres suivants :

III.9.1.1 Calcul de l'efficacité de la bande spectrale

Le LTE permet de délivrer des débits très élevés pour la liaison montante et descendante, comme tout système de communication à large bande, grâce à une efficacité spectrale améliorée et une largeur de bande disponible. L'efficacité spectrale dépend du type d'antenne MIMO, du débit requis et de la largeur de bande. Elle s'exprime par la formule suivante : [3]

$$\eta_{BW} = \frac{\text{Débit}_{Req}}{Bw} \quad [III.29]$$

Nombre d'abonnés supportés par une cellule

Le nombre d'abonnés supportés par une cellule est le rapport entre la capacité de la cellule et le débit à l'heure forte de la charge.

$$N_{abonnée/Cell}^{Up} = \frac{C_{Cell}}{Throughput_{BH}^{Up}} \quad [III.30]$$

$$N_{abonnée/Cell}^{Dl} = \frac{C_{Cell}}{Throughput_{BH}^{Dl}} \quad [III.31]$$

Avec :

- **Ccell**: capacité de la cellule
- $N_{abonnée/Cell}^{Up}$ Et $N_{abonnée/Cell}^{Dl}$: nombre d'abonnés par cellule pour la liaison montante et descendante.
- $Throughput_{BH}^{Up}$ et $Throughput_{BH}^{Dl}$: le débit à l'heure forte de la charge dans le sens montant et descendant.

$$Throughput_{BH}^{Dl} = \text{Trafic}_{day} \quad [III.32]$$

Avec :

$Tafic_{day}$: Est la durée du trafic pendant une journée

III.9.1.2 Nombre des eNodeB requis:

Dans cette partie nous allons calculer le nombre d'abonnés par site en fonction du nombre d'abonnés par cellule en prenant trois cellules par site dans les deux liaisons (sens montant et descendant). [3]

$$N_{abonnée/Site}^{Up} = N_{abonnée/Cell}^{Up} * 3 \quad [III.33]$$

$$N_{abonnée/Site}^{Dl} = N_{abonnée/Cell}^{Dl} * 3 \quad [III.34]$$

Pour le calcul du nombre total des sites :

$$N_{abonnée/Site} = \min \left(N_{\frac{Site}{abonnée}}^{Up}, N_{abonnée/Site}^{Dl} \right) \quad [III.35]$$

$$N_{Capacite}^{eNodeB} = \frac{N_{Total\ abonnée}}{N_{abonnée/Site}} \quad [III.36]$$

Avec:

$N_{Total\ abonnée}$: C'est le nombre total d'abonné dans la zone de déploiement

$N_{Capacite}^{eNodeB}$: C'est le nombre d'eNodeB requis pour satisfaire la contrainte de la capacité.

III.9.1.3 Nombre final d'eNodeB requis

Nous allons déterminer le nombre final d'eNodeB mais pour cela on doit prendre en compte le nombre minimal des eNodeB requis pour établir la couverture demandée noté $N_{couverture}$ ainsi que le nombre minimum d'eNodeB pour satisfaire la demande en termes de capacité noté $N_{Capacite}^{eNodeB}$. Dans ce cas le nombre de sites demandés pour satisfaire la contrainte de couverture et de capacité est donné par l'expression suivante :

$$N^{eNodeB} = \max (N_{Capacite}^{eNodeB}, N_{couverture}) \quad [III.37]$$

III.9.2 Dimensionnement de l'interface S1 et X2

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

III.9.3 L'interface X2

Avec une architecture de réseau d'accès plate en LTE, les eNodeB sont connectés deux à deux à l'interface X2 alors le nombre d'interface X2 est donnée par:

$$N_{X2} = \frac{N^{eNodeB}(N^{eNodeB}-1)}{2} \quad [III.38]$$

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

III.9.4 L'interface S1

L'interface S1 est une interface qui transporte les données et la signalisation. Pour le calcul de sa capacité, on décompose cette dernière en somme d'une capacité sur le plan utilisateur et d'une capacité sur le plan contrôle. Elle s'exprime comme suite : [3]

$$C^{S1} = C_{user-plane}^{S1} + C_{Controle-plane}^S \quad [III.39]$$

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

$$C^{S1} = C_{abonnée} (Traffic_{abonnée}^{Up} + Traffic_{abonnée}^{Dl}). 102\% \quad [III.40]$$

III.10 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons parlé du principe de planification radio, particulièrement la phase de dimensionnement de l'eNodeB qui fait intervenir deux composantes: dimensionnement orienté couverture et capacité. Ces derniers s'avèrent essentielles pour le processus de planification radio d'une zone.

Dans le chapitre prochain nous allons parler des techniques d'optimisation et de dimensionnement d'un réseau LTE en se basant sur des mesures réelles à travers logiciel Atoll.

IV

Chapitre IV: Simulation et l'analyse des résultats

IV.1 Introduction

La simulation des réseaux mobile est une technique par laquelle un simulateur (logiciel) modélise le comportement d'un réseau. Un réseau nécessite l'utilisation d'outil informatique ou plus précisément connue sous le nom de logiciel de planification ou planificateur.

Il existe de multitude de planificateur réseau, parmi ces logiciels nous pouvons citer : Atoll, Nokia Planer, siemens planer, Ericsson planer etc.... L'objectif de ces planificateurs est de concevoir un réseau tout en respectant la compatibilité des réseaux de télécommunication.

Dans ce chapitre, nous allons présenter une simulation sous logiciel Atoll d'un réseau LTE.

Après avoir fait le dimensionnement du réseau, nous allons faire la simulation d'un réseau dans la ville d'El oued sur le logiciel Atoll, pour cela nous allons choisir le modèle numérique du terrain de la ville d'El oued, positionner les différents sites (en tenant compte de la longitude, latitude, hauteur de l'émetteur par rapport au sol, de l'azimut), choisir un modèle de propagation, définir le rayon couvert par chaque émetteur pour enfin aboutir aux différentes couvertures.

IV.2 Présentation de l'outil ATOLL

Le logiciel Atoll est un logiciel commercialisé par la société Forsk, c'est un logiciel professionnel destiné aux opérateurs. Il est utilisé pour la planification des réseaux cellulaires qui peut être utilisé sur tout le cycle de vie des réseaux. Le logiciel Atoll exploite différentes données en entrée, il nous offre l'opportunité de choisir le type de réseau à dimensionner (GSM, UMTS ou alors LTE) dont les paramètres diffèrent en fonction de la technologie choisie comme le modèle de propagation, le type d'antenne et les caractéristiques du site pour planifier le réseau. Après la planification le logiciel Atoll nous permet de faire de multiples prédictions comme la couverture par niveau de champ, la couverture par émetteur, zone de recouvrement etc....

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

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

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

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

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

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

IV.2.1 Matériels de base

Les différentes étapes de réalisation de notre projet sont réalisées sur une machine présentant les caractéristiques suivantes :

- Processeur Intel^(R) CoreTM i3 -3217U CPU @ 1.80GHz, 1.80GHz).
- Disque dur de capacité : 500 Go.
- Mémoire RAM : 8 Go.
- Système d'exploitation : Windows 7 Professionnel avec 64 bits.

IV.3 Démarrage d'un projet Atoll :

IV.3.1 Ouverture d'un nouveau projet :

Lorsqu'on ouvre un nouveau projet sur Atoll à travers la commande «fichier» on doit se baser sur un modèle qui contient les données et la structure des dossiers nécessaires à la technologie que l'on veut utiliser car une fois qu'on ouvre le nouveau projet Atoll, nous avons plusieurs modèles qui sont fournies par ce dernier comme : CDMA200 1xRTT, UMTS HSPA, GSM GPRS EDGE, Microwave Radio Link, Wi-Fi, WiMax, LTE....

Chaque modèle fournit des données pour la technologie appropriée, car les paramètres radio diffèrent selon le type de projet. Pour notre projet nous allons choisir le modèle LTE car il est utilisé pour modéliser la quatrième génération (4G).

Le logiciel Atoll possédant un modèle pour chaque technologie alors nous pouvons créer un document Atoll pour chaque modèle.

Pour commencer notre planification sous l'outil Atoll, il faut tout d'abord créer un nouveau projet. La figure IV.2 montre comment le créer à partir d'un modèle:

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

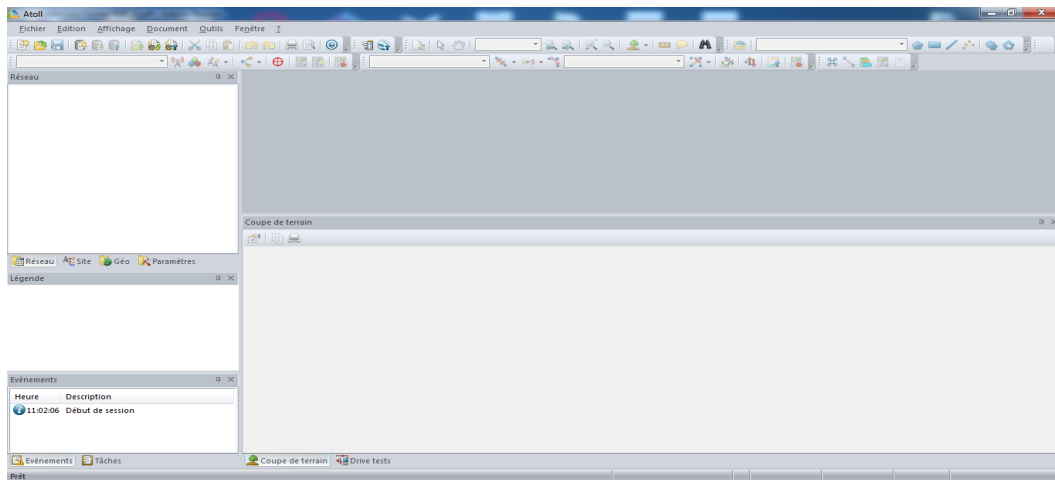


Figure IV.1: L'interface de démarrage d'ATOLL.

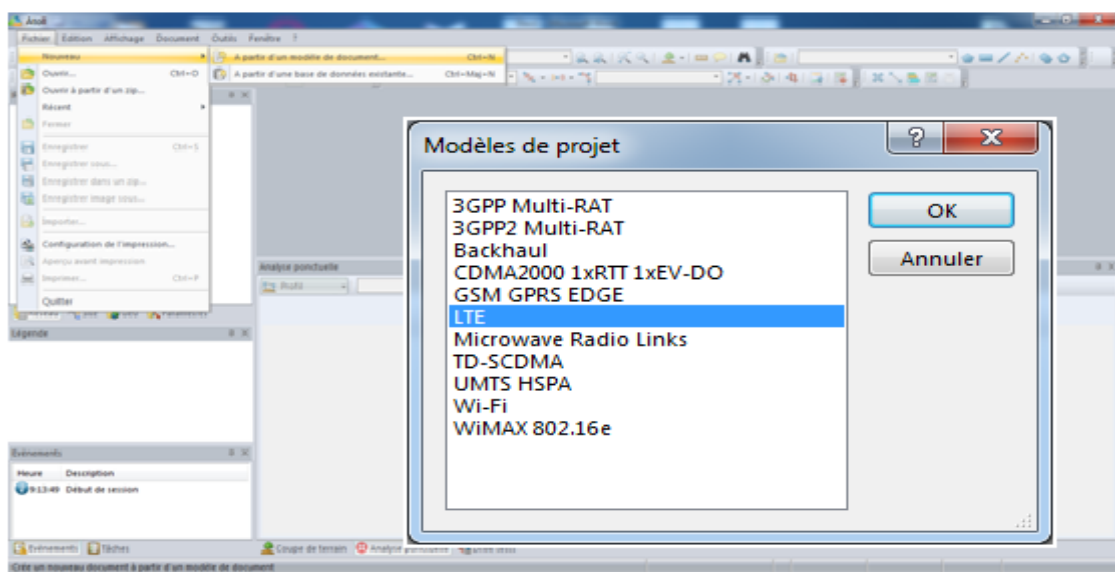


Figure IV.2: Choix du projet.

IV.4 La pré-planification :

IV.4.1 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 système géodésique est un système de référence permettant d'exprimer les positions au voisinage de la Terre.

Les deux figures IV.3 et IV.4 expliquent les étapes à suivre pour le choix du système de coordonnées convenable a notre projet.

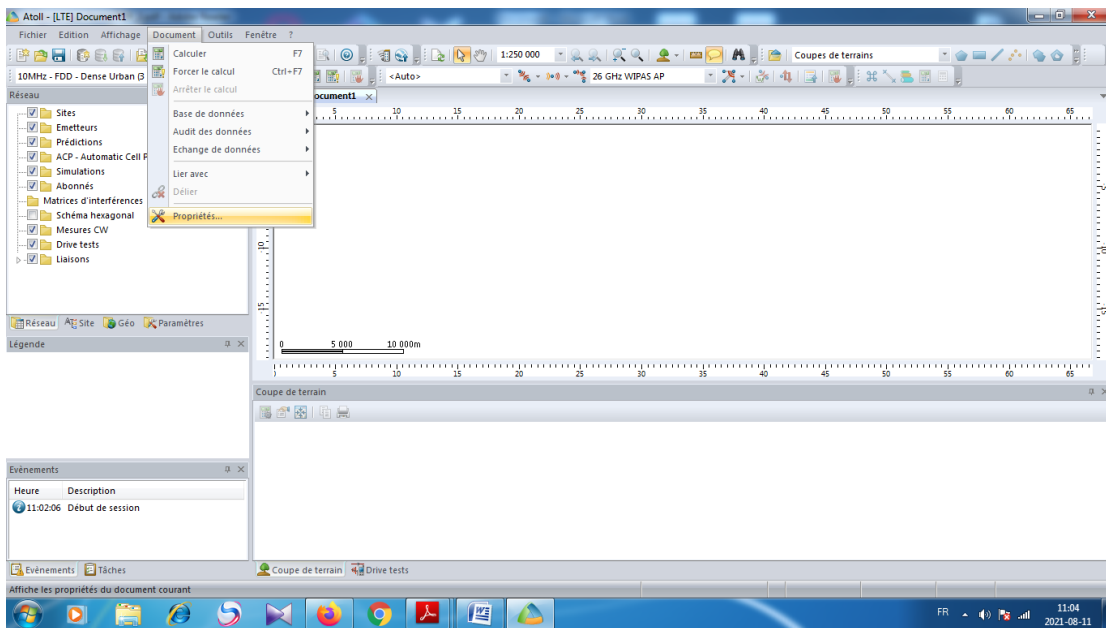


Figure IV.3: Choix du système de coordonnées.

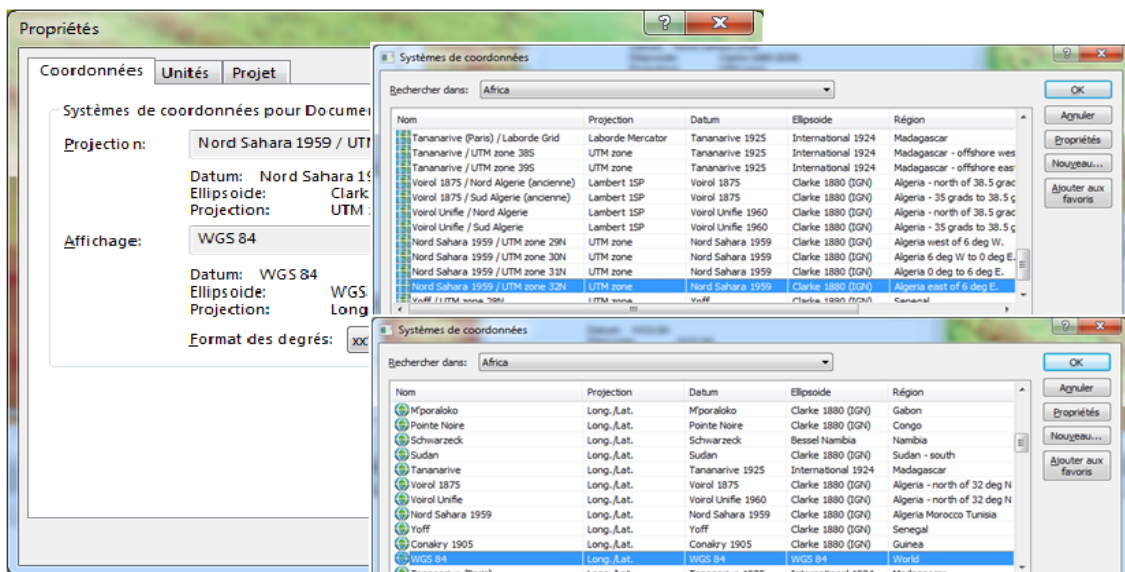


Figure IV.4: Liste des systèmes de coordonnées.

IV.4.2 Importer les cartes numériques

Tous d'abord, nous allons importer la carte de la ville d'EL OUED comme le montre la figure suivante.

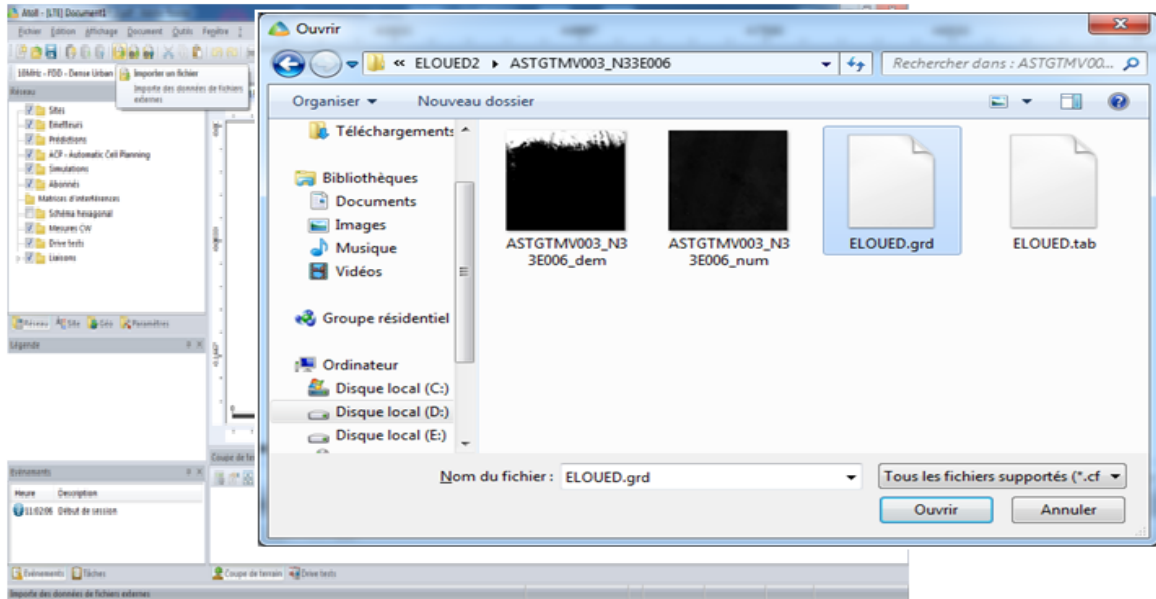


Figure IV.5: Importation de la carte numérique de la ville d'ELOUED.

IV.4.3 Zone géographique à planifier

La zone géographique couvre une partie de Wilaya d'ELOUED (Figure IV.6) (la ville d'ELOUED). La ville se situe à Sud-est de l'Algérie, elle présente beaucoup de zones d'habitation.

On trouve de nombreux immeubles, plusieurs quartiers résidentiels, quelques espaces vides, (Figure IV.7). Pour préciser la zone géographique et l'environnement sur lesquels nous allons travailler, nous avons besoin de niveaux d'altitude

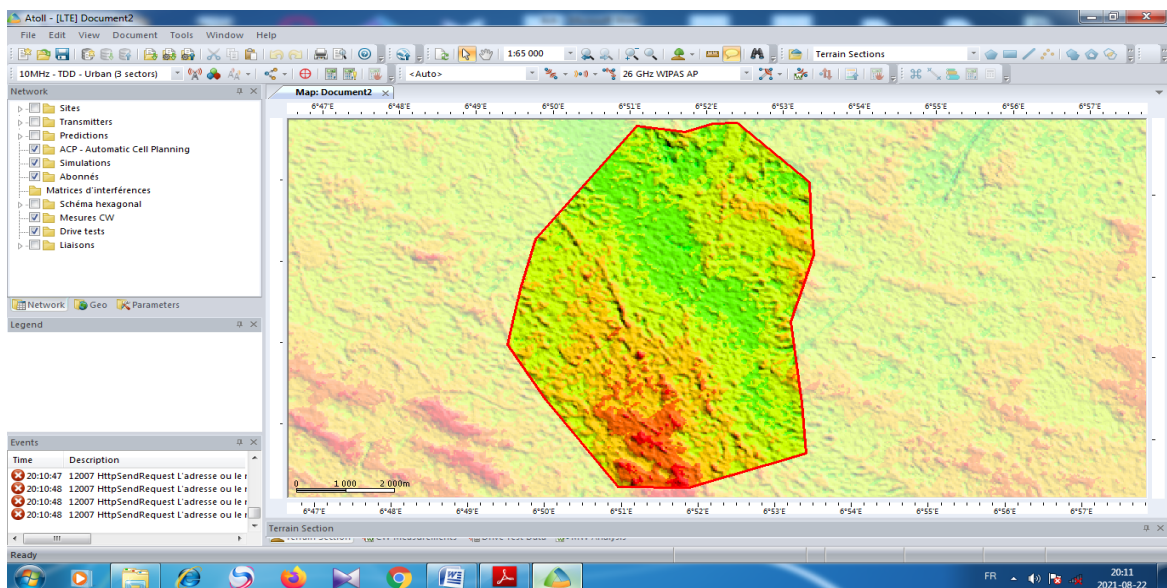


Figure IV.6: Carte avec niveaux d'altitude.

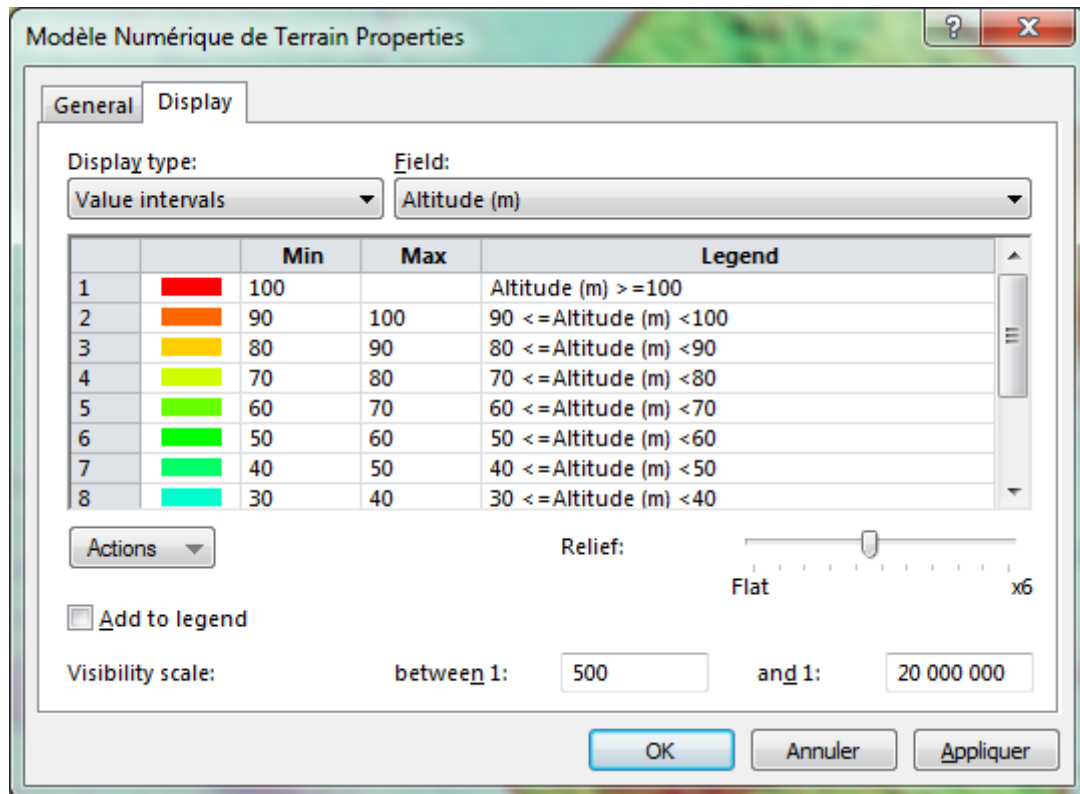


Figure IV.7: Tableau représente les niveaux d'altitude d'ELOUED.

IV.5 Planification :

IV.5.1 Création des sites

Le site étant considéré comme l'eNodeB. Chaque site est caractérisé par trois émetteurs. Pour positionner les sites dans notre carte, nous avons choisi la méthode du motif hexagonal. Atoll propose un outil qui cherche automatiquement le(s) meilleur(s) emplacement(s) à donner au site pour les optimiser. Il calcule de façon automatique le nombre des sites nécessaires pour couvrir notre zone.

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

- ❖ **Le tilt** : il peut être soit électrique, soit mécanique. Il a pour rôle d'ajuster l'inclinaison du lobe principale de l'émetteur par rapport à la verticale.

- ❖ **L'azimut** : il permet de changer l'orientation de l'antenne sur un plan horizontale pour mieux cibler la zone à couvrir.

❖ **La hauteur des émetteurs** : en changeant cette dernière, on permet à l'onde de se propager au-delà des bâtiments et donc éviter les effets << écran >> c'est-à-dire les réflexions dû à l'onde.

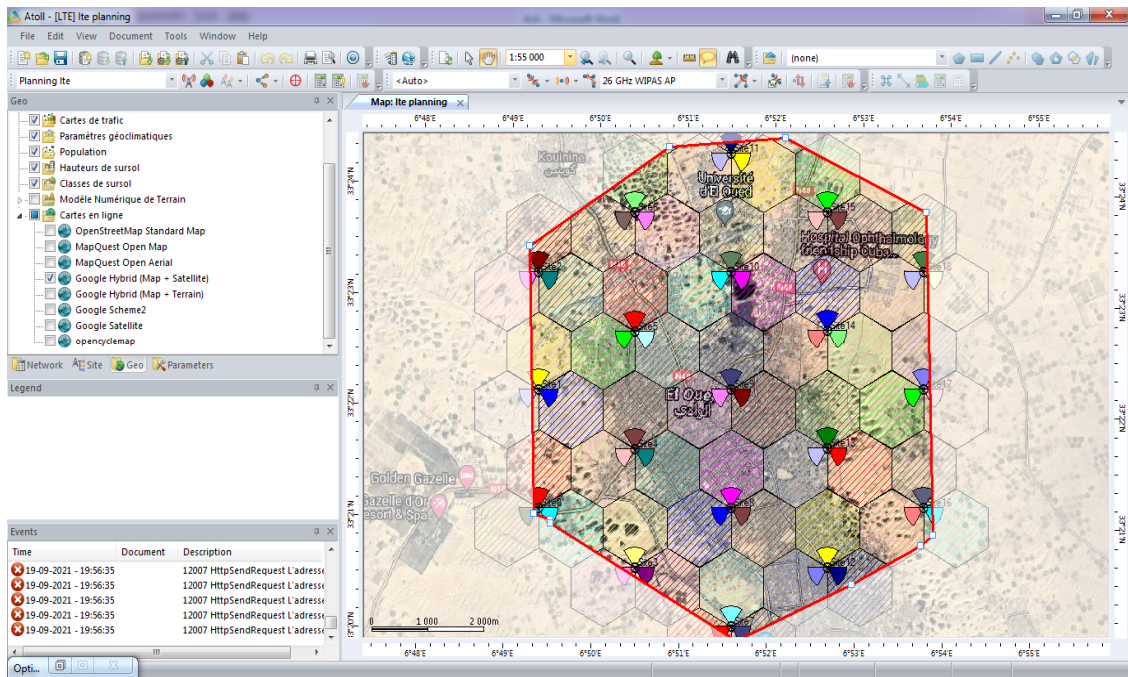


Figure IV.8: Emplacement des sites LTE mobile sur la Map.

IV.5.2 Les caractéristiques des sites:

Atoll calcule automatiquement le nombre des sites nécessaires et les place au niveau de notre ville (la zone de calcul). Les caractéristiques des sites sont illustrées au tableau (IV.1):

Name of site	Longitude	Latitude	Altitude (m)
Site0	"6°49'22,81""E"	"33°21'5,34""N"	[77]
Site1	"6°49'21,22""E"	"33°22'9,1""N"	[74]
Site10	"6°51'31,25""E"	"33°23'15,15""N"	[65]
Site11	"6°51'29,69""E"	"33°24'18,91""N"	[60]
Site12	"6°52'40,96""E"	"33°20'36,89""N"	[83]
Site13	"6°52'39,41""E"	"33°21'40,66""N"	[67]
Site14	"6°52'37,86""E"	"33°22'44,42""N"	[66]
Site15	"6°52'36,31""E"	"33°23'48,15""N"	[85]
Site16	"6°53'45,96""E"	"33°21'9,88""N"	[73]
Site17	"6°53'44,42""E"	"33°22'13,64""N"	[78]
Site18	"6°53'42,89""E"	"33°23'17,4""N"	[77]
Site2	"6°49'19,63""E"	"33°23'12,86""N"	[70]

Site3	"6°50'29,36""E"	"33°20'34,62""N"	[75]
Site4	"6°50'27,79""E"	"33°21'38,35""N"	[79]
Site5	"6°50'26,21""E"	"33°22'42,11""N"	[81]
Site6	"6°50'24,63""E"	"33°23'45,87""N"	[75]
Site7	"6°51'35,94""E"	"33°20'3,87""N"	[109]
Site8	"6°51'34,38""E"	"33°21'7,63""N"	[94]
Site9	"6°51'32,82""E"	"33°22'11,39""N"	[79]

Tableau IV.1: Coordonnées des sites.

IV.5.3 Propriétés d'une cellule :

Dans Atoll, chaque cellule est considérée comme un canal radio fréquence (RF) avec toutes ses caractéristiques sur un émetteur comme nous pouvons le voir sur la Figure IV.10.

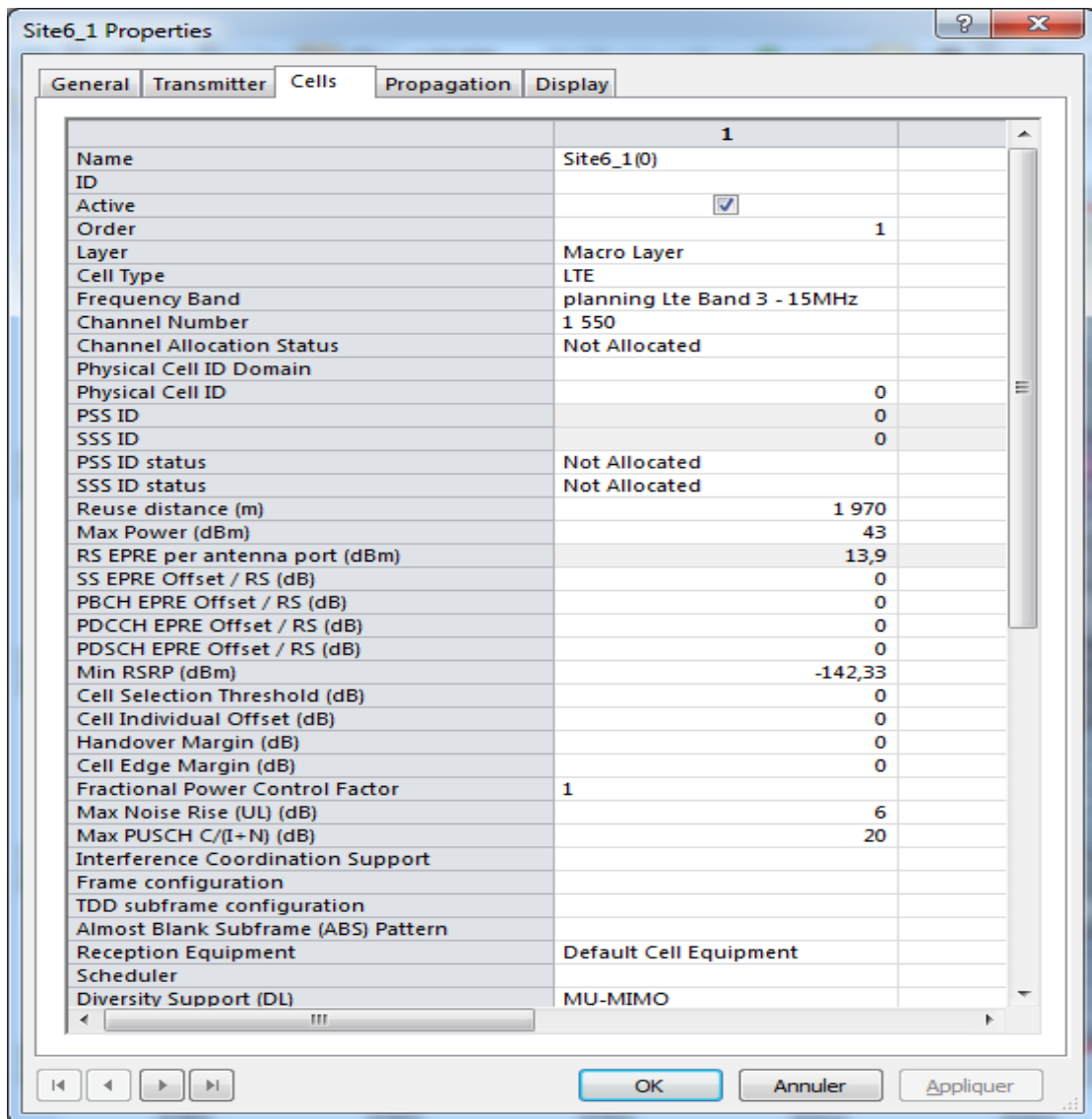


Figure IV.9: Configuration de la cellule ou antenne

L'état initial des Emetteurs:

Atoll crée comme état primaire les sites nécessaire au niveau de notre carte (notre zone: la ville d'El oued). Les caractéristiques des sites et les Emetteurs sont considérés comme des valeurs initiales. Le tableau (IV.2) démontre ces caractéristiques.

Emetteur	Antenna	Height (m)	Azimuth (°)	Mec Downtilt (°)	Puissance (dBm)	Electri Downtilt (°)
Site	65deg 17dBi 6Tilt 1800MHz	40	0;120;240	6	43	0

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

IV.6Vérification**IV.6.1 Couverture**

Dans la pratique le déploiement d'un réseau LTE nécessite l'optimisation du placement des sites, sous deux contraintes, radio et trafic, c'est à dire tester en fonction du type d'antenne, la puissance d'émission, l'orientation et la couverture par l'émetteur. Une telle approche permet de converger le réseau vers une bonne configuration, ainsi nous avons comme principe :

- Répartir les émetteurs sur le terrain
- Etablir les zones de couverture en déplaçant les sites sur différentes zones, en modifiant les puissances d'émission et en choisissant les orientations.
- Après avoir fait la couverture, il est nécessaire de rechercher une répartition des fréquences en tenant comptes des sites voisins.
- Dans le cas où l'on n'arrive pas à avoir une bonne couverture, il est nécessaire de densifier le réseau : soit en rajoutant des sites, soit en remplaçant les émetteurs omnidirectionnels par les émetteurs tri-sectoriels.

Dans notre cas, nous allons effectuer la simulation de la couverture radio dans la ville d'El oued. L'objectif de cette simulation est d'obtenir une bonne couverture de cette ville pour assurer une bonne qualité de service.

La zone qui doit être couverte est défini sur la figure IV.10.et la surface de cette ville est de 48 km². Dans notre cas l'étude se fait dans une zone urbaine.

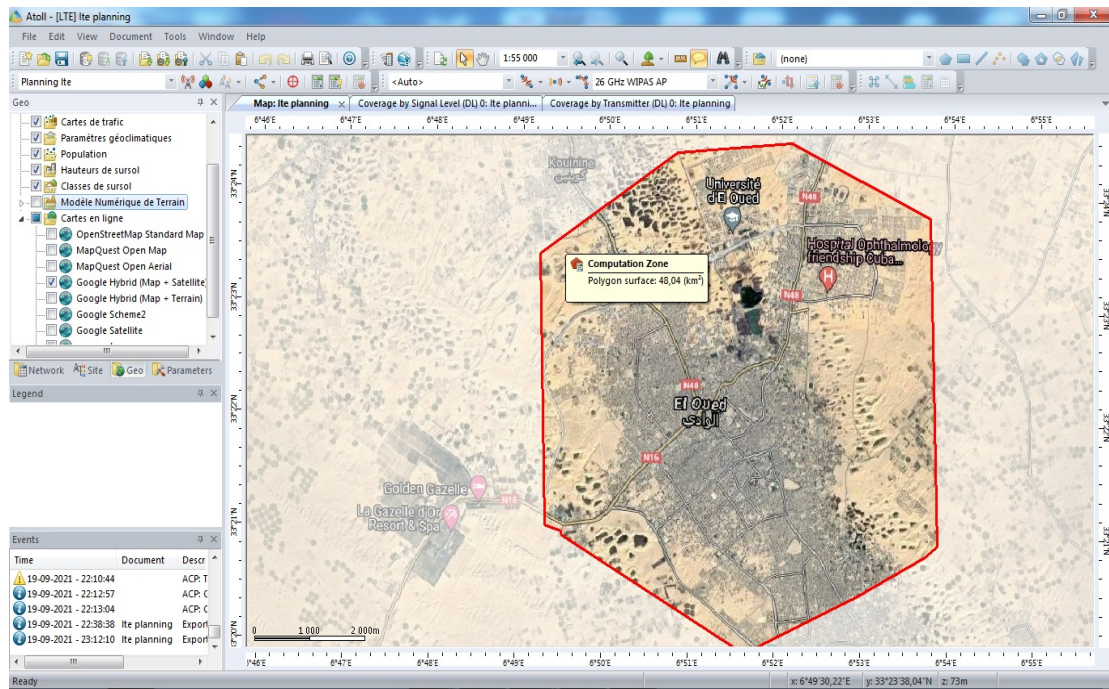


Figure IV.10: La ville d'El oued

Dans cette étude on doit tenir compte de la résolution qui permet de régler le pas de simulation, un pas très grand fournira des résultats très approximatifs alors qu'un pas trop petit alourdira très fortement le temps de calcul.

IV.6.2 Prédiction de couverture:

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

- ❖ Prévisions de couverture utilisées pour analyser le niveau de signal sur la liaison montante et la liaison descendante.

- ❖ Des prévisions de couverture utilisées pour analyser la qualité du signal, avec ces prévisions, il est possible d'étudier la zone de couverture en termes d'efficacité de service et de la capacité de chaque cellule du réseau.

Dans notre cas nous allons étudier trois types de prédictions :

La couverture par niveau de signal

Cette prédiction permet d'estimer la puissance reçue par un mobile en chaque point de la zone de calcul. L'objectif de cette étude est de détecter d'éventuelles zones aveugles et essayer de les éliminer en procédant à des modifications de la configuration des sites et des émetteurs comme un déplacement de site, un changement de l'azimut d'un émetteur, un réglage de puissance ou une inclinaison (tilt) d'une antenne.

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

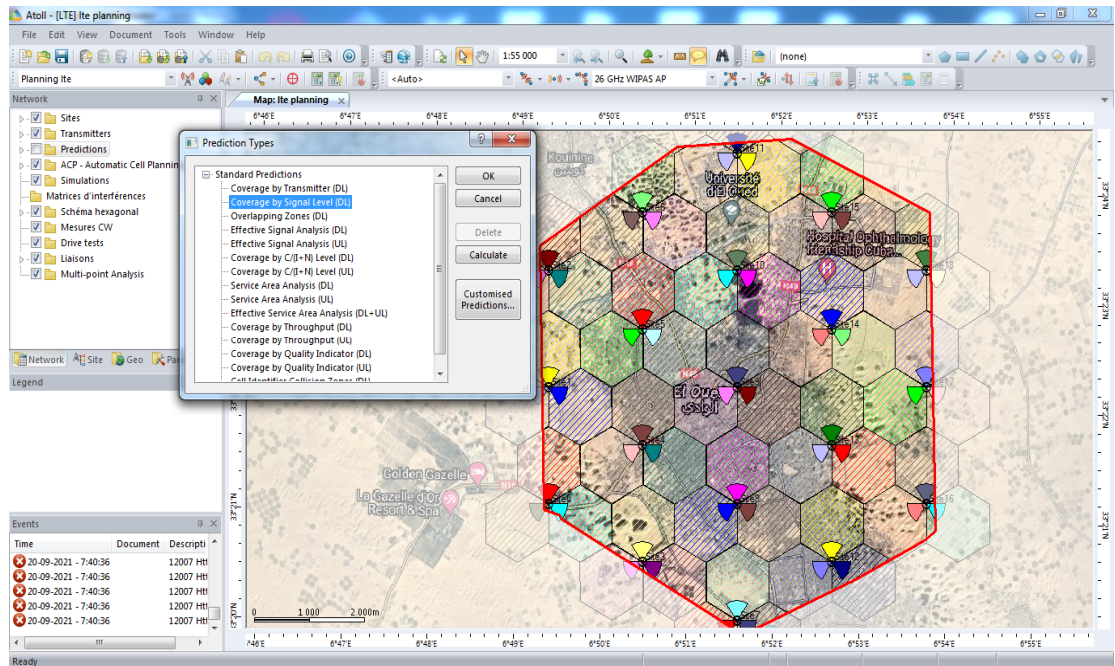


Figure IV.11: Création d'une couverture par niveau de signal

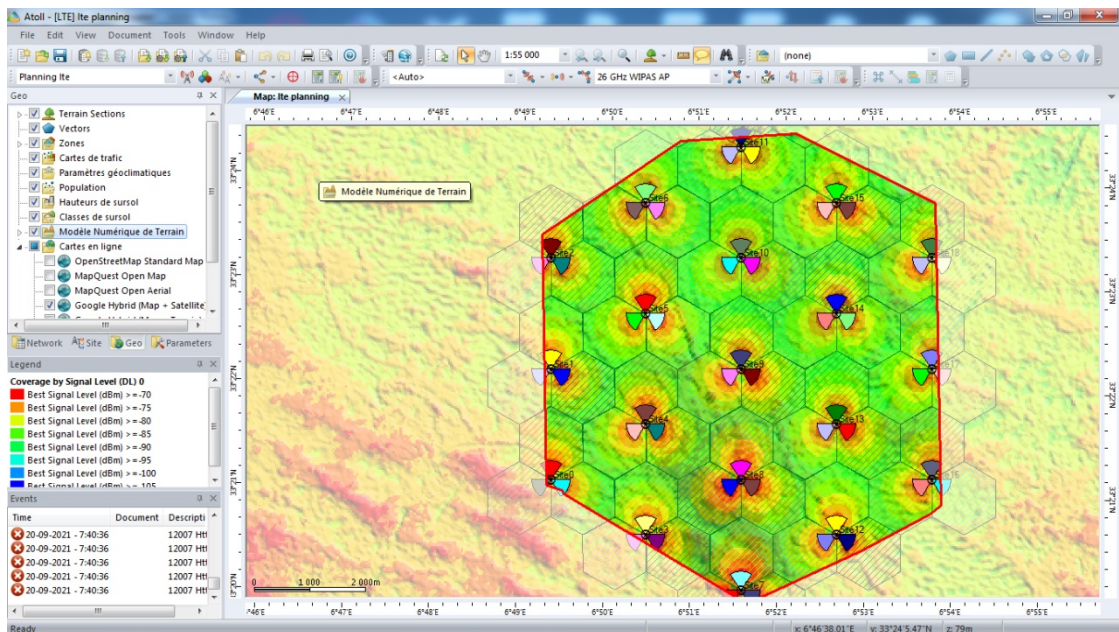


Figure IV.12: Résultat de la prédiction de couverture par niveau de signal

Nous remarquons sur la figure IV.12 que la ville d'El oued est bien couvert avec un haut niveau de signal mais nous constatons également que les sites des alentours contiennent des émetteurs couvrant des zones hors notre ville ce qu'il nécessite de la suppression.

Nous remarquons aussi que les valeurs de puissance de signal les plus élevées sont concentrées autour des sites (les zones en rouges) et ces valeurs diminuent en s'éloignant des

sites à cause de l'atténuation comme on peut le voir à travers les couleurs (jaune, vert, bleu turquoise, bleu).

La figure (IV.13) représente l'Histogramme de la couverture par niveau de signal qu'il montre la distribution des niveaux de signal.

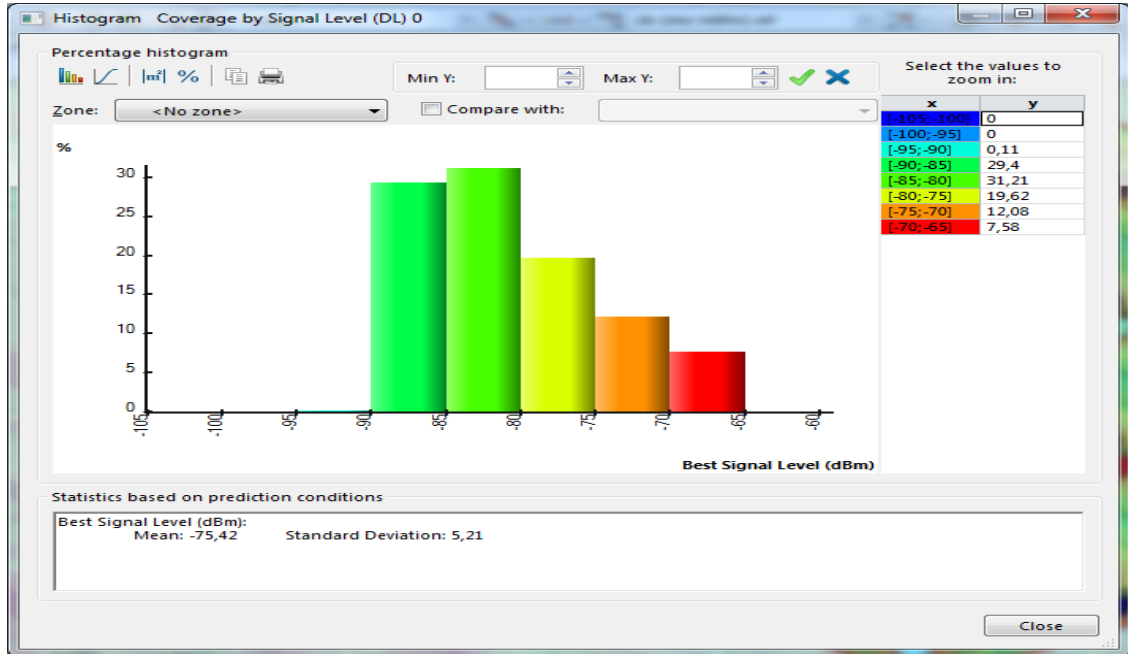


Figure IV.13: Histogramme de la couverture par niveau de signal initial

☒ La prédiction de couverture par émetteur

Cette prédiction permet d'avoir une vue globale de tous les émetteurs du réseau qui est très utiles pour supprimer les émetteurs inutiles (voir figure III.14).

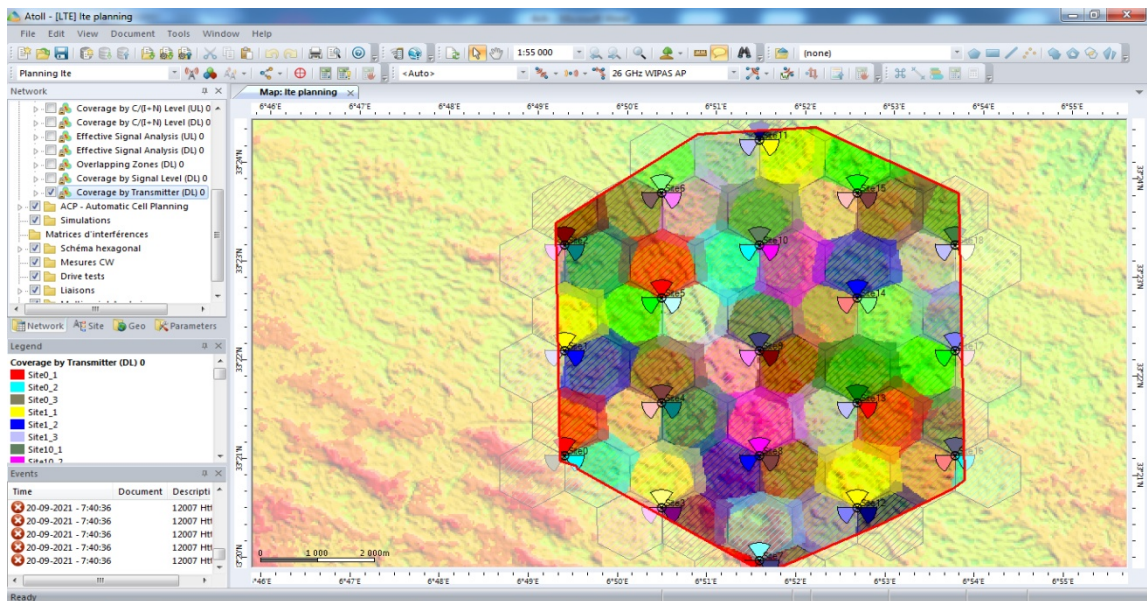


Figure IV.14: Résultat de la prédiction de la couverture par émetteur

Nous remarquons sur la figure IV.14 que les sites des alentours contiennent des émetteurs couvrent des zones hors notre ville ce qu'il nécessite de la suppression.

IV.7L'Optimisation

Atoll possède une application d'optimisation d'un réseau (ACP – Automatique Cell Planning) pour obtenir une bonne couverture. Cette application est basé sur le jouer de quelque facteurs (caractéristiques des émetteurs) comme la Hauteur, la puissance, l'Azimut, Mécanique Tilt, Electric Tilt, supprimé ou additionner des sites.

L'optimisation de notre réseau est basée sur les prédictions précédentes. La figure (IV.15) montre comment la fait.

ACP - Automatic Cell Planning>New>

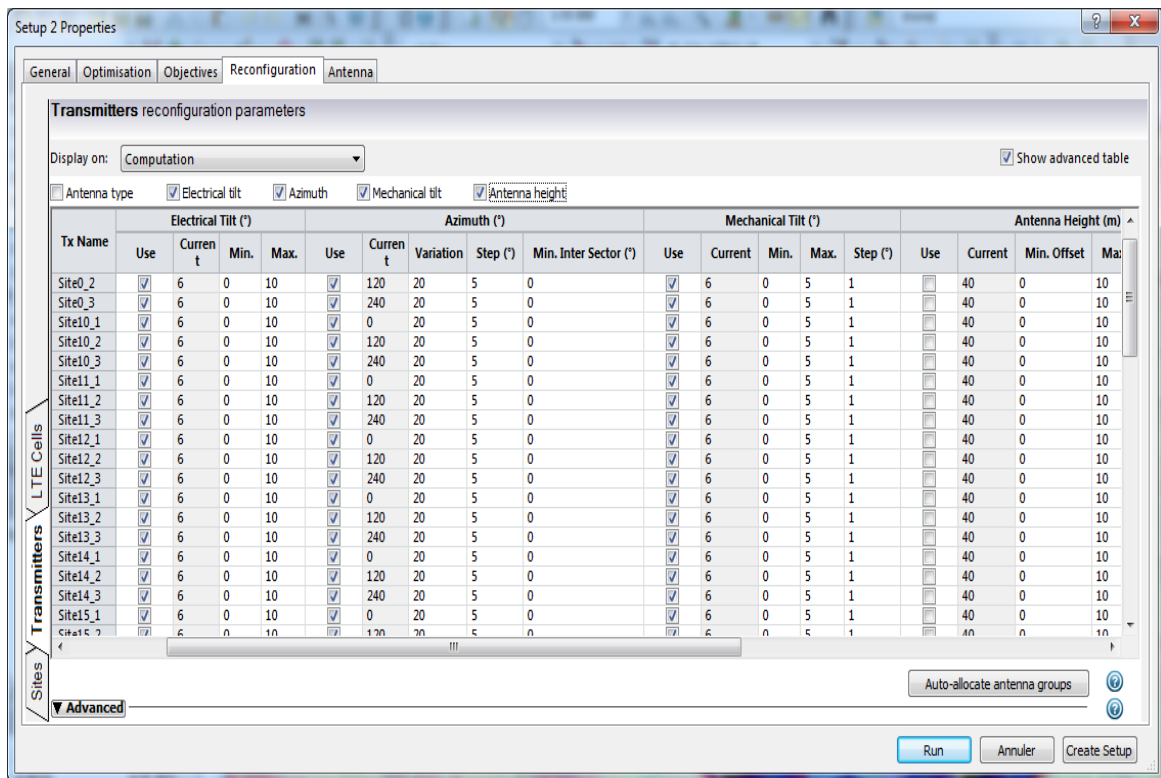


Figure IV.15: Paramètres de création d'un ACP-Automatique Cell Planning.

Après la création de notre Setup pour l'optimisation de notre réseau, on lance notre optimisation. La figure (IV.16) ci-dessous montre cette procédure et les changements survenus sur les sites et les émetteurs.

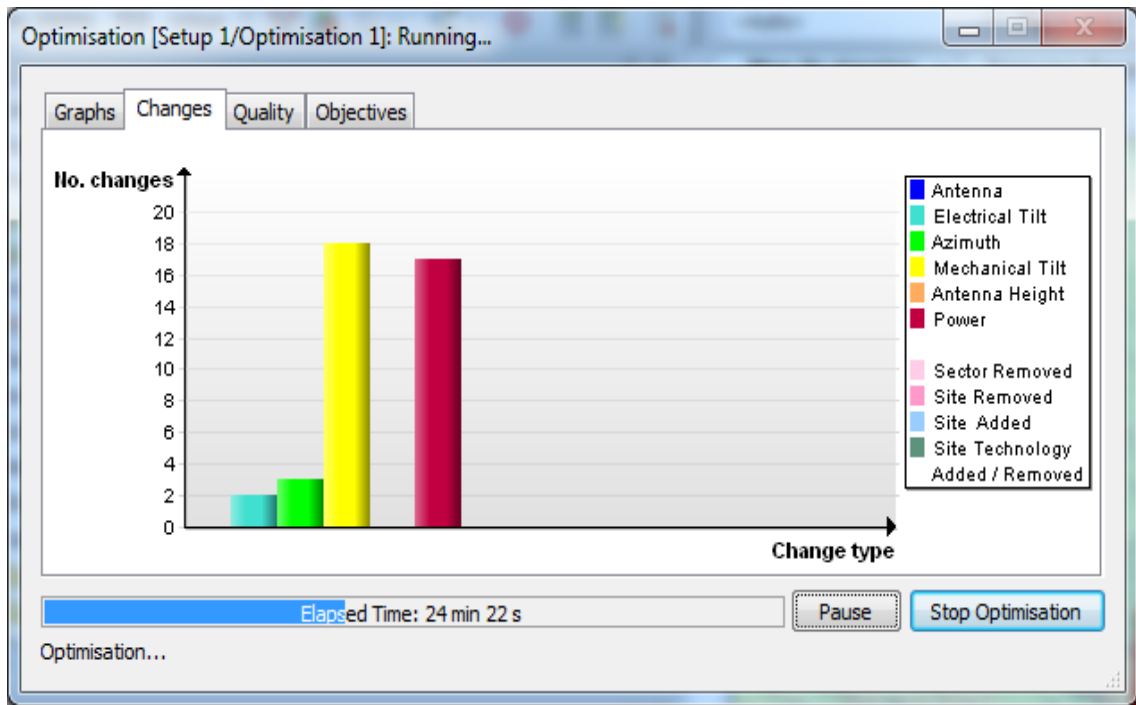


Figure IV.16: L'optimisation de notre réseau.

Résultat d'optimisation

Après l'optimisation l'état final et les changements survenus sur notre réseau est cité dans le tableau(IV.3)

Name (Site/Tx/Cell)	Change Type	Initial	Final	Quality Improvement Ratio %	Total Cost
Site3_2	Azimuth	120	00	95.93	74.4
Site8_2(0)	Max Power	43	46	2	2.1
Site8_3(0)	Max Power	43	46	3.88	2.2
Site8_1(0)	Max Power	43	46	5.64	2.3
Site15_3(0)	Max Power	43	46	7.64	4.4
Site15_2(0)	Max Power	43	46	9.51	4.5
Site6_2(0)	Max Power	43	46	11.39	6.6
Site6_3(0)	Max Power	43	46	13.03	6.7
Site12_1(0)	Max Power	43	46	14.85	8.8
Site3_1(0)	Max Power	43	46	16.66	10.9
Site10_1(0)	Max Power	43	46	18.42	13
Site7_1(0)	Max Power	43	46	20.18	15.1

Site4_3(0)	Max Power	43	46	21.94	17.2
Site4_1(0)	Max Power	43	46	23.57	17.3
Site17_3(0)	Max Power	43	46	25.33	19.4
Site9_1(0)	Max Power	43	46	27.09	21.5
Site9_2(0)	Max Power	43	46	28.78	21.6
Site9_3(0)	Max Power	43	46	30.42	21.7
Site10_3(0)	Max Power	43	46	31.87	21.8
Site14_1(0)	Max Power	43	46	33.57	23.9
Site14_3(0)	Max Power	43	46	35.09	24
Site5_1(0)	Max Power	43	46	36.72	26.1
Site5_2(0)	Max Power	43	46	38.3	26.2
Site5_3(0)	Max Power	43	46	39.81	26.3
Site16_3(0)	Max Power	43	46	41.45	28.4
Site14_2(0)	Max Power	43	46	42.78	28.5
Site10_2(0)	Max Power	43	46	44.12	28.6
Site18_3(0)	Max Power	43	46	45.69	30.7
Site4_2(0)	Max Power	43	46	48.36	31.8
Site2_2(0)	Max Power	43	46	49.87	33.9
Site13_1(0)	Max Power	43	46	52.66	37
Site13_3(0)	Max Power	43	46	54.05	37.1
Site13_2(0)	Max Power	43	46	55.39	37.2
Site1_2(0)	Max Power	43	46	56.84	39.3
Site11_2(0)	Max Power	43	46	58.24	41.4
Site11_3(0)	Max Power	43	46	59.39	41.5
Site12_3(0)	Max Power	43	46	64.11	44.6
Site17_1(0)	Max Power	43	46	65.2	44.7
Site1_1(0)	Max Power	43	46	73.08	50.8
Site15_1(0)	Max Power	43	46	77.08	53.9
Site16_1(0)	Max Power	43	46	77.99	54
Site3_2(0)	Max Power	43	46	80.78	56.1
Site18_1(0)	Max Power	43	46	84.29	59.2
Site0_1(0)	Max Power	43	46	90.84	68.3

Site0_2(0)	Max Power	43	46	91.69	68.4
Site6_1(0)	Max Power	43	46	96.47	74.5
Site2_1(0)	Max Power	43	46	99.75	79.6
Site2_3(0)	Max Power	43	46	99.93	79.7
Site7_2(0)	Max Power	43	45	100	79.8
Site10_2	Mechanical Tilt	6	2	47.09	31.7
Site14_2	Mechanical Tilt	6	2	51.21	34.9
Site13_1	Mechanical Tilt	6	2	60.6	42.5
Site18_3	Mechanical Tilt	6	2	61.81	43.5
Site10_3	Mechanical Tilt	6	2	63.02	44.5
Site13_3	Mechanical Tilt	6	1	66.36	45.7
Site4_2	Mechanical Tilt	6	3	67.51	46.7
Site11_2	Mechanical Tilt	6	1	68.72	47.7
Site11_3	Mechanical Tilt	6	1	69.87	48.7
Site9_3	Mechanical Tilt	6	2	71.02	49.7
Site1_2	Mechanical Tilt	6	3	72.11	50.7
Site2_2	Mechanical Tilt	6	3	74.11	51.8
Site14_1	Mechanical Tilt	6	2	75.14	52.8
Site13_2	Mechanical Til	6	2	76.17	53.8
Site5_2	Mechanical Tilt	6	3	78.96	55
Site14_3	Mechanical Tilt	6	3	79.93	56
Site9_2	Mechanical Tilt	6	3	81.69	57.1
Site4_1	Mechanical Tilt	6	2	82.6	58.1
Site3_2	Mechanical Tilt	6	1	83.51	59.1
Site3_1	Mechanical Tilt	6	2	85.14	60.2
Site5_3	Mechanical Tilt	6	3	85.99	61.2
Site17_3	Mechanical Tilt	6	3	86.78	62.2
Site16_1	Mechanical Tilt	6	2	87.57	63.2
Site5_1	Mechanical Tilt	6	3	88.35	64.2
Site6_3	Mechanical Tilt	6	3	89.14	65.2
Site10_1	Mechanical Tilt	6	3	89.93	66.2
Site4_3	Mechanical Tilt	6	3	92.41	69.4

Site16_3	Mechanical Tilt	6	3	93.14	70.4
Site12_3	Mechanical Tilt	6	2	93.87	71.4
Site0_2	Mechanical Tilt	6	3	94.59	72.4
Site12_1	Mechanical Tilt	6	4	95.26	73.4
Site6_2	Mechanical Tilt	6	3	97.08	75.5
Site1_1	Mechanical Tilt	6	2	97.69	76.5
Site0_1	Mechanical Tilt	6	3	98.23	77.5
Site15_3	Mechanical Tilt	6	4	98.78	78.5
Site8_1	Mechanical Tilt	6	3	99.32	79.5

Tableau IV.3: Les changements survenus sur les émetteurs.

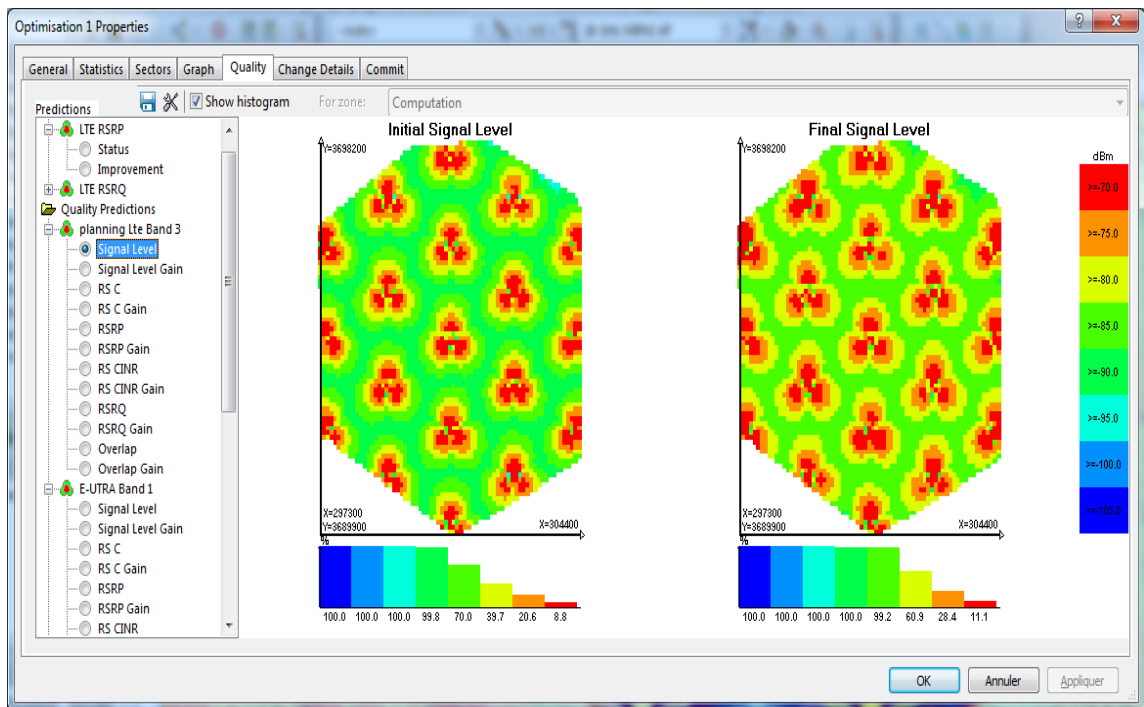


Figure IV.17: La couverture par niveau de signal initial et final

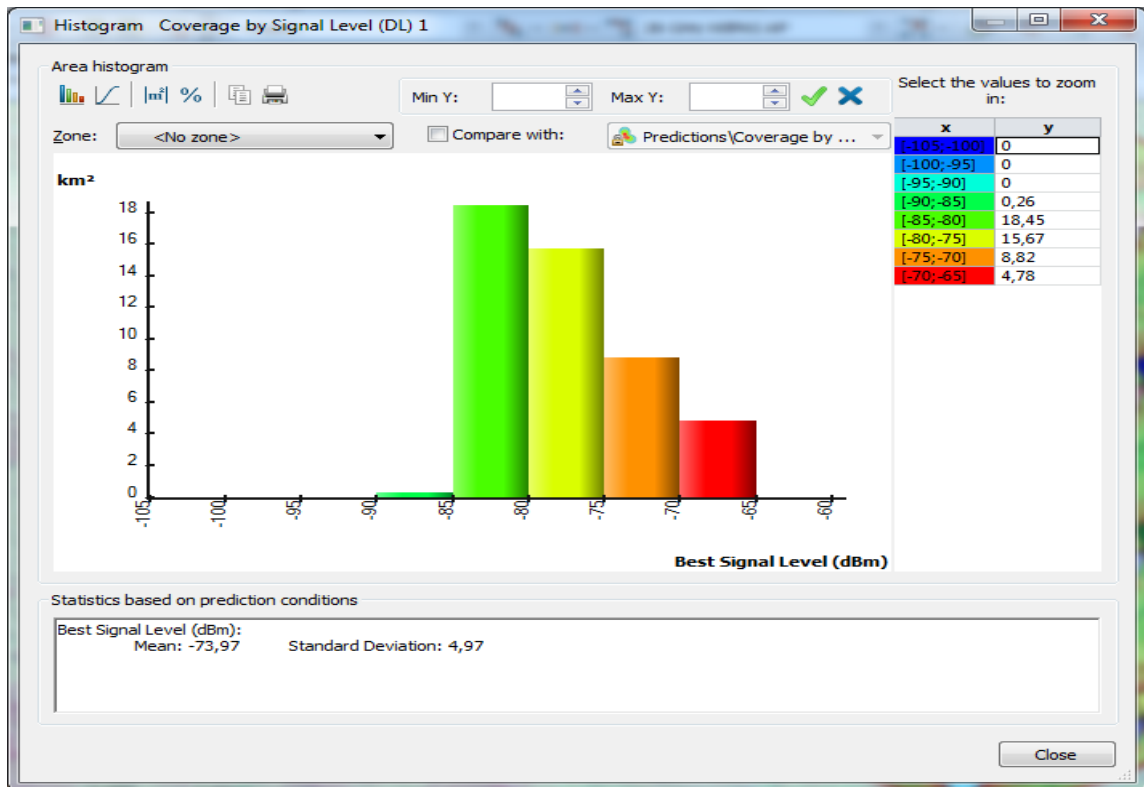


Figure IV.18: Histogramme de la couverture par niveau de signal final

On remarque une amélioration de la couverture par niveau de signal de l'état initiale après l'optimisation.

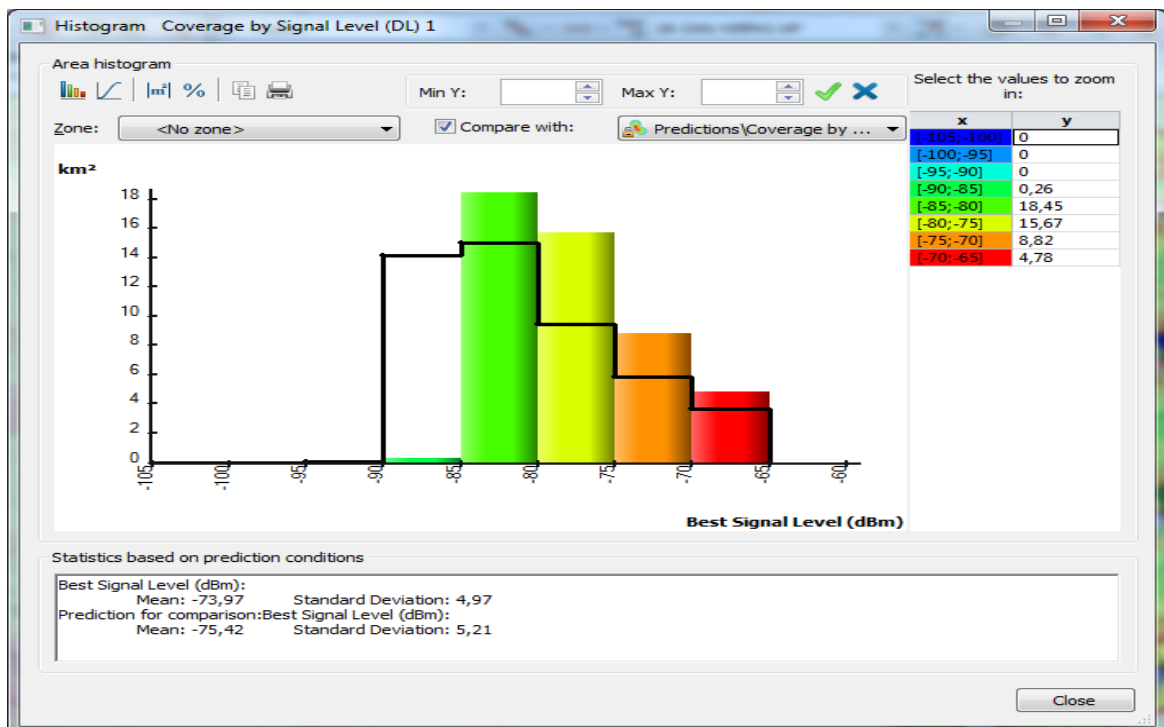


Figure IV.19: Histogramme de la couverture par niveau de signal final/initial

❖ Calcul de la zone de chevauchement (Overlapping zone)

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

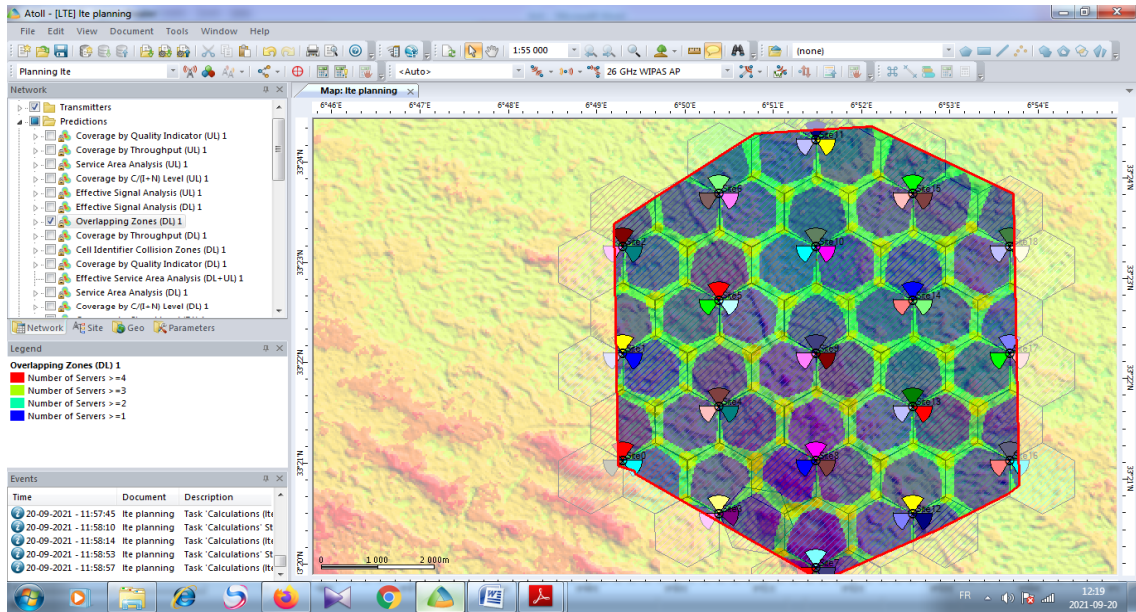


Figure IV.20: Carte de recouvrement.

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

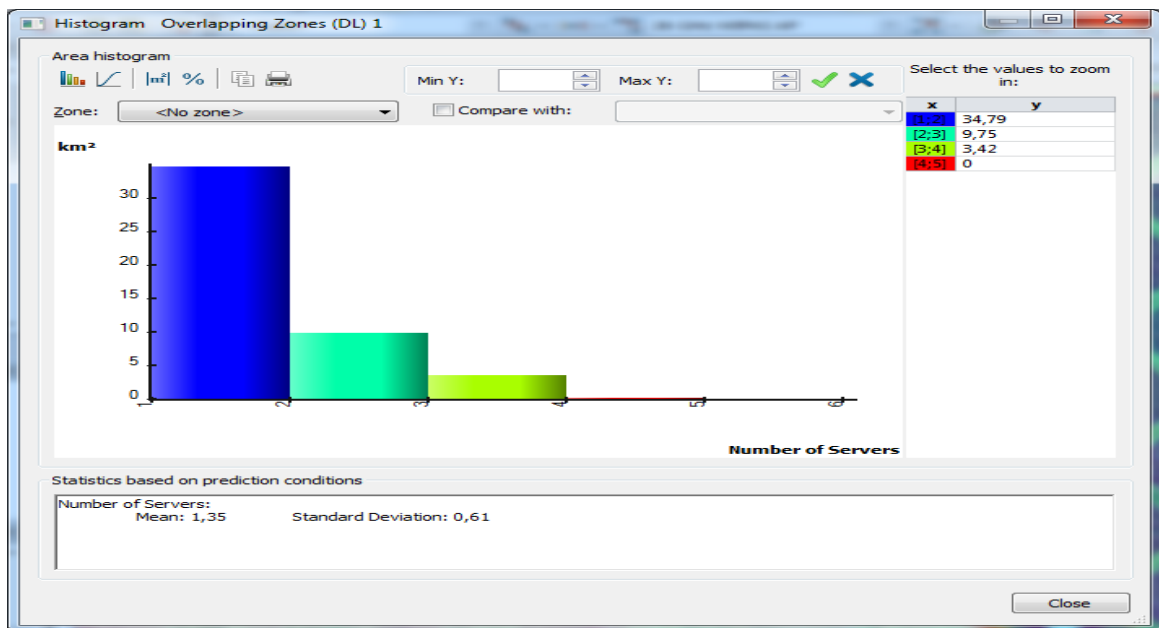


Figure IV.21: Histogramme de couverture par les zones de chevauchement.

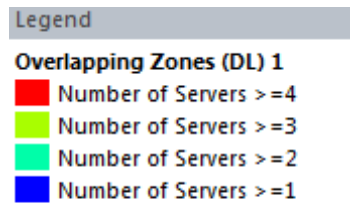


Figure IV.22: Légende de la carte de recouvrement

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

IV.8Analyse des tronçons

Il est impératif de bien connaître le profil terrain de la zone en question pour voir si les sites de notre réseau vont assurer une bonne couverture ou non. Nous procédons par des études élémentaires des tronçons qui séparent chaque deux site successif. Si on prend l'exemple du tronçon entre le site 12 et le site 7. Le résultat d'analyse des tronçons entre les sites est schématisé par la figure IV.23.

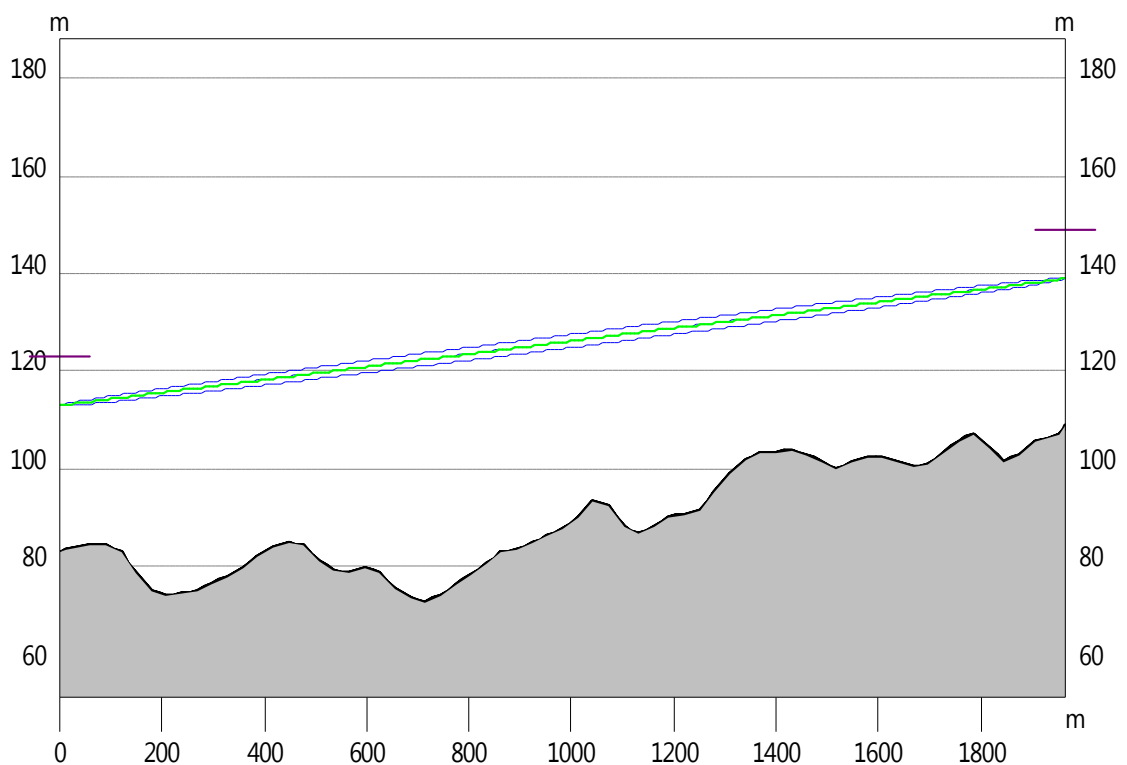


Figure IV.23: Test de la liaison site 12-site7

❖ Couverture par débit de navigation (trafic)

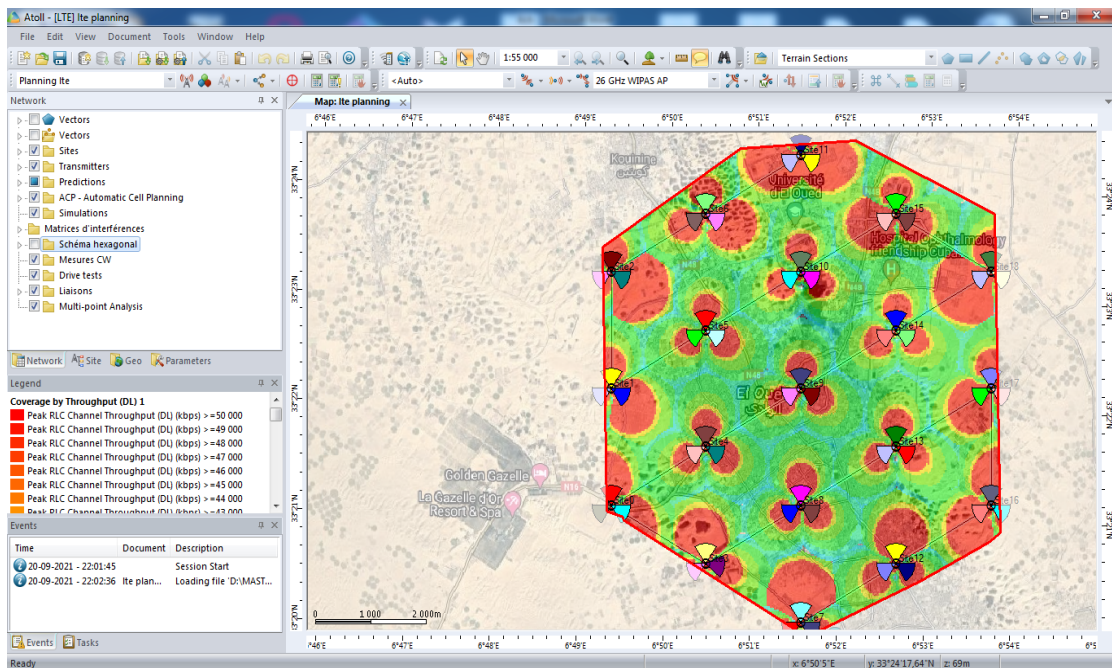


Figure IV.24: couverture par débit de navigation (DL throughput).

La plupart de la ville (33%) possède un débit d'accès très élevé (50 Mbps) indiqué par la couleur rouge dans la carte.

L'histogramme suivant (Figure IV.25) montre les débit de zones couvertes en fonction du surface de la zone planifiée.

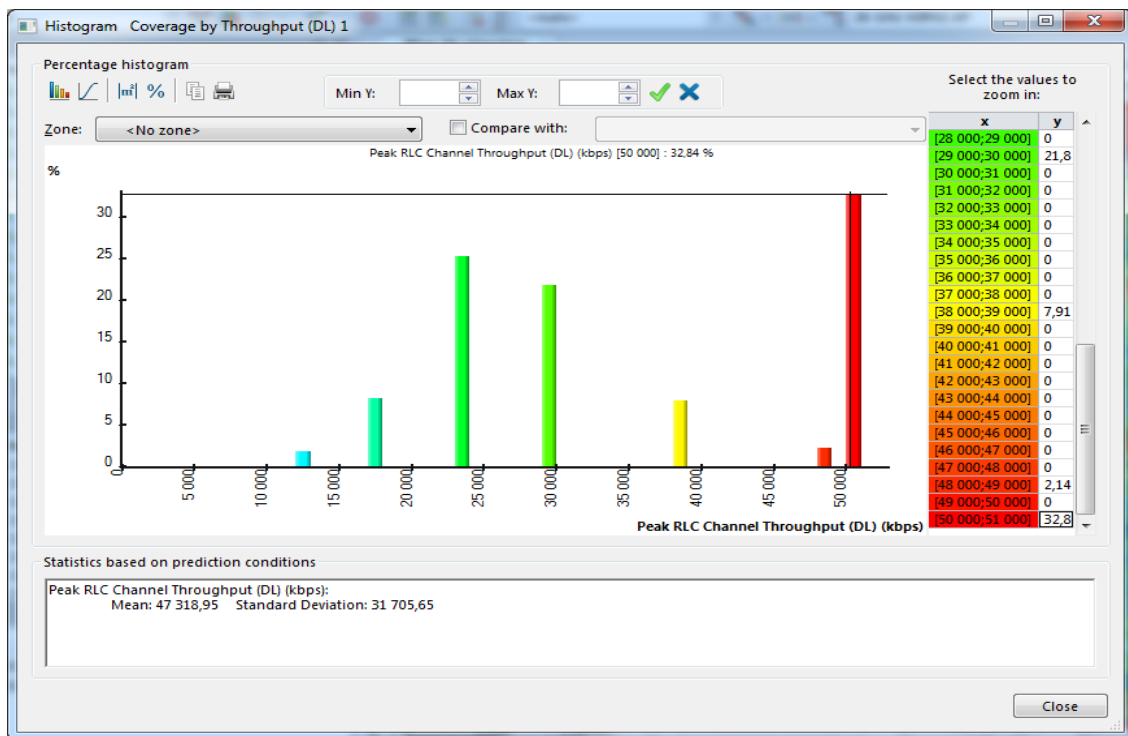


Figure IV.25: Histogramme de couverture par DL débit.

❖ **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.

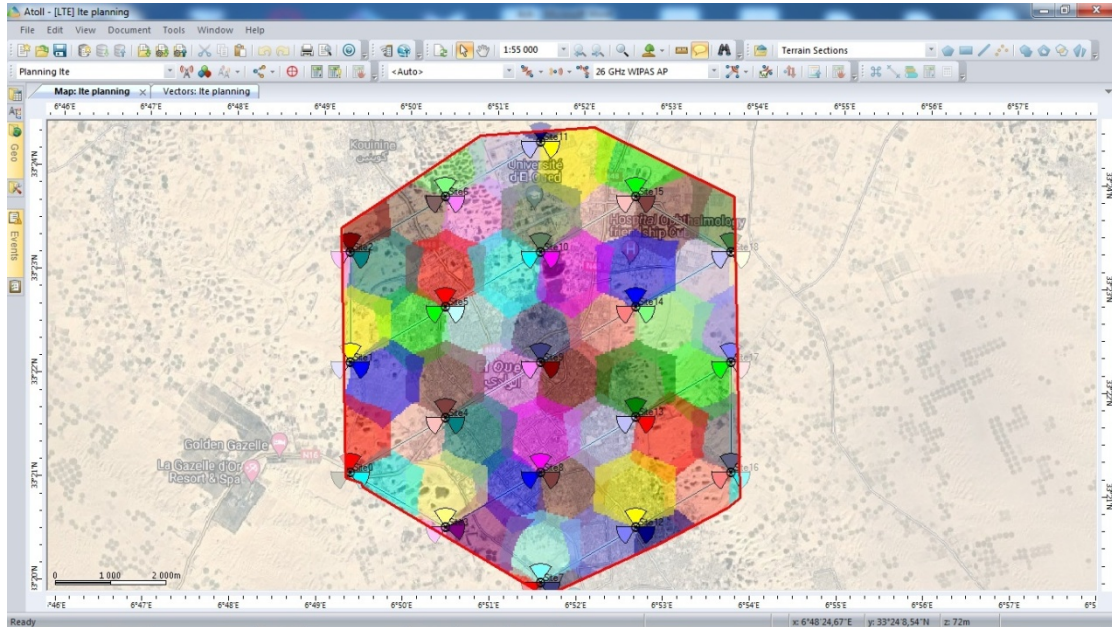


Figure IV.26: Prédiction de la couverture par secteur (Emetteur).

Remarque : Pour le test de la couverture à n'importe quel point de la carte, nous utilisons l'outil de "point d'analysis" qui nous donne:

- Le profil de terrain.
- La réception (la quantifier les puissances à la réception).

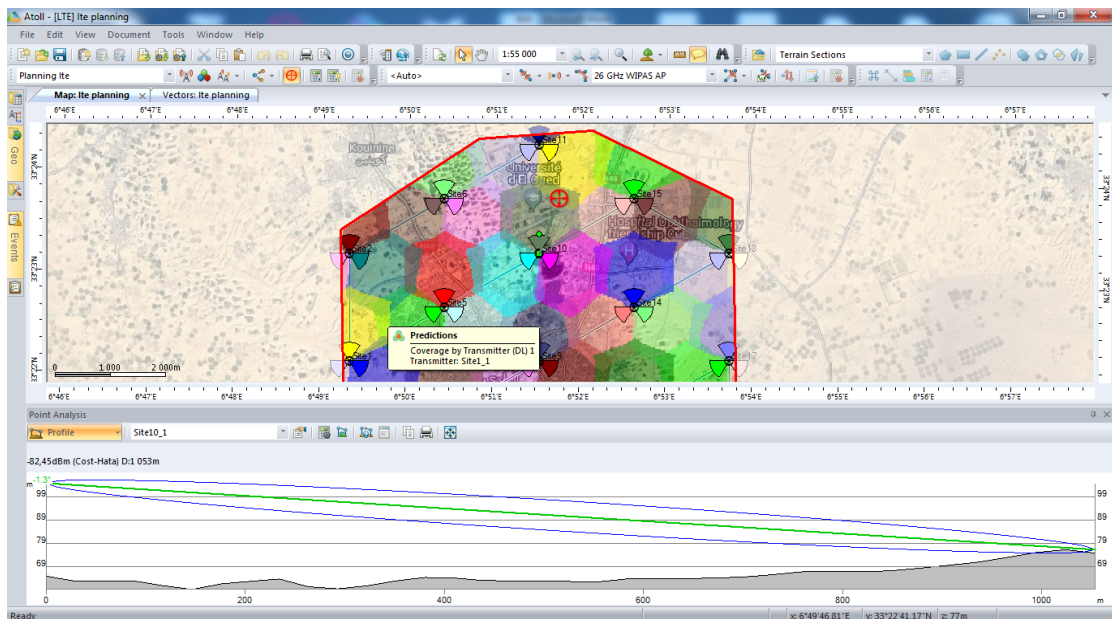


Figure IV.27: Onglet « Profile » du point d'analyse d'émetteur site10-1.

A titre d'exemple, nous avons choisi le site 10_1 dont la bonne qualité du signal revient à l'absence d'obstacles entre les deux terminaux, comme la figure le montre.

IV.9 Les abonnés (Subscribers):

Le nombre d'abonnés est une estimation, basée sur des études marketing, donnée par l'opérateur au fournisseur chargé de faire les calculs du dimensionnement. Dans notre cas, nous avons estimé le nombre d'abonnés aux alentours de 300 utilisateurs/km².

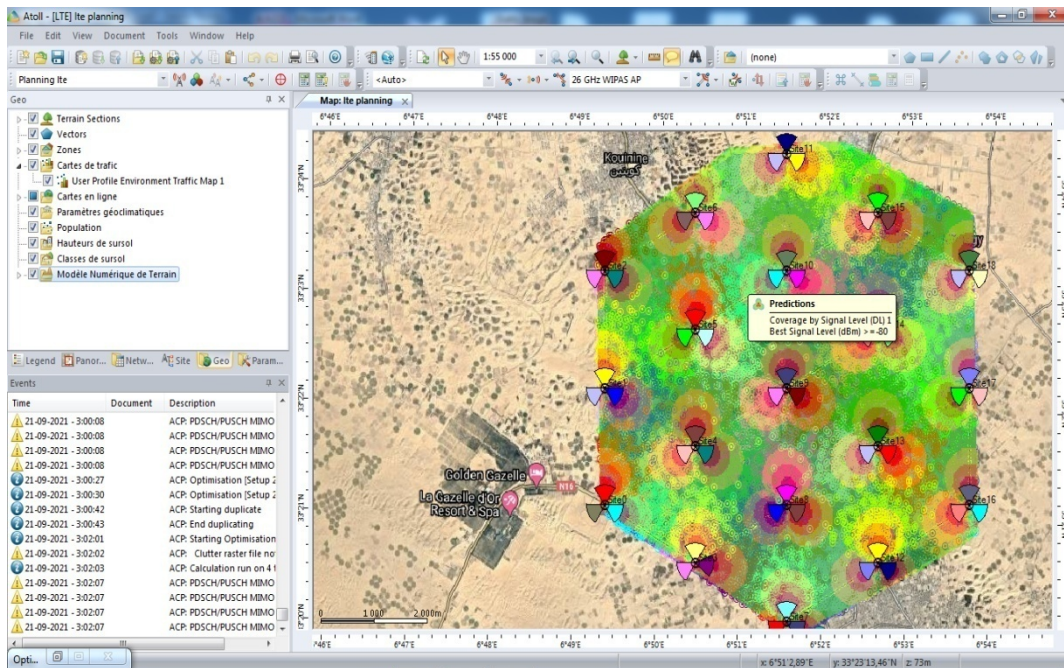


Figure IV.28: La création des utilisateurs

Simulation 0 Properties ***READ ONLY***

Statistics Sites Cells Mobiles Initial Conditions

Actions

Total: 7204

Mobile Id	X	Y	Height (m)	Service	Terminal	Mobility	Activity Status	Indoor	Best Server	Serving cell	
1	6°51'42,57"E	33°19'55,18"	1,5	VoIP	Mobile Terminal	Pedestrian	Active DL+UL	<input type="checkbox"/>	Site7_2	Site7_2(0)	Macro La
2	6°51'40,43"E	33°19'58,81"	1,5	VoIP	Mobile Terminal	Pedestrian	Active DL+UL	<input type="checkbox"/>	Site7_2	Site7_2(0)	Macro La
3	6°51'47,86"E	33°19'58,78"	1,5	VoIP	Mobile Terminal	Pedestrian	Active DL+UL	<input type="checkbox"/>	Site7_2	Site7_2(0)	Macro La
4	6°51'35,97"E	33°19'59,58"	1,5	VoIP	Mobile Terminal	Pedestrian	Active DL+UL	<input type="checkbox"/>	Site7_3	Site7_3(0)	Macro La
5	6°51'46,13"E	33°19'59,98"	1,5	VoIP	Mobile Terminal	Pedestrian	Active DL+UL	<input type="checkbox"/>	Site7_2	Site7_2(0)	Macro La
6	6°51'53,52"E	33°19'59,98"	1,5	Video Conferencing	Mobile Terminal	Pedestrian	Active UL	<input type="checkbox"/>	Site7_2	Site7_2(0)	Macro La
7	6°51'30,37"E	33°20'0,82"	1,5	VoIP	Mobile Terminal	Pedestrian	Active DL+UL	<input type="checkbox"/>	Site7_3	Site7_3(0)	Macro La
8	6°51'30,17"E	33°20'1,04"	1,5	VoIP	Mobile Terminal	Pedestrian	Active UL	<input type="checkbox"/>	Site7_3	Site7_3(0)	Macro La
9	6°51'29,74"E	33°20'1,16"	1,5	High Speed Internet	Mobile Terminal	Pedestrian	Active UL	<input type="checkbox"/>	Site7_3	Site7_3(0)	Macro La
10	6°51'39,83"E	33°20'3,12"	1,5	VoIP	Mobile Terminal	Pedestrian	Active DL+UL	<input type="checkbox"/>	Site7_2	Site7_2(0)	Macro La
11	6°51'41,11"E	33°20'2,95"	1,5	Video Conferencing	Mobile Terminal	Pedestrian	Active DL+UL	<input type="checkbox"/>	Site7_2	Site7_2(0)	Macro La
12	6°52'1,1"E	33°20'2,84"	1,5	VoIP	Mobile Terminal	Pedestrian	Active DL	<input type="checkbox"/>	Site12_3	Site12_3(0)	Macro La
13	6°51'24,67"E	33°20'3,06"	1,5	VoIP	Mobile Terminal	Pedestrian	Active DL	<input type="checkbox"/>	Site7_3	Site7_3(0)	Macro La
14	6°51'24,97"E	33°20'3,32"	1,5	VoIP	Mobile Terminal	Pedestrian	Active DL+UL	<input type="checkbox"/>	Site7_3	Site7_3(0)	Macro La
15	6°51'28,06"E	33°20'3,31"	1,5	Video Conferencing	Mobile Terminal	Pedestrian	Active DL+UL	<input type="checkbox"/>	Site7_3	Site7_3(0)	Macro La
16	6°51'41,05"E	33°20'3,63"	1,5	VoIP	Mobile Terminal	Pedestrian	Inactive	<input type="checkbox"/>	Site7_2	Site7_2(0)	Macro La
17	6°51'56,82"E	33°20'3,93"	1,5	VoIP	Mobile Terminal	Pedestrian	Active UL	<input type="checkbox"/>	Site7_2	Site7_2(0)	Macro La
18	6°52'0,1"E	33°20'4,35"	1,5	VoIP	Mobile Terminal	Pedestrian	Inactive	<input type="checkbox"/>	Site7_2	Site7_2(0)	Macro La
19	6°51'24,14"E	33°20'4,02"	1,5	VoIP	Mobile Terminal	Pedestrian	Active DL	<input type="checkbox"/>	Site7_3	Site7_3(0)	Macro La
20	6°51'28,62"E	33°20'4,39"	1,5	VoIP	Mobile Terminal	Pedestrian	Active UL	<input type="checkbox"/>	Site4_2	Site4_2(0)	Macro La
21	6°51'59,78"E	33°20'4,89"	1,5	VoIP	Mobile Terminal	Pedestrian	Active DL+UL	<input type="checkbox"/>	Site12_3	Site12_3(0)	Macro La
22	6°51'24,22"E	33°20'5,68"	1,5	VoIP	Mobile Terminal	Pedestrian	Active UL	<input type="checkbox"/>	Site7_3	Site7_3(0)	Macro La
23	6°51'26,03"E	33°20'5,77"	1,5	VoIP	Mobile Terminal	Pedestrian	Active DL+UL	<input type="checkbox"/>	Site7_3	Site7_3(0)	Macro La

Figure IV.29: Table des paramètres des utilisateurs.

IV.10 Résultat de la simulation:

La figure (IV.30) représente le résultat de la simulation (couverture + capacité).

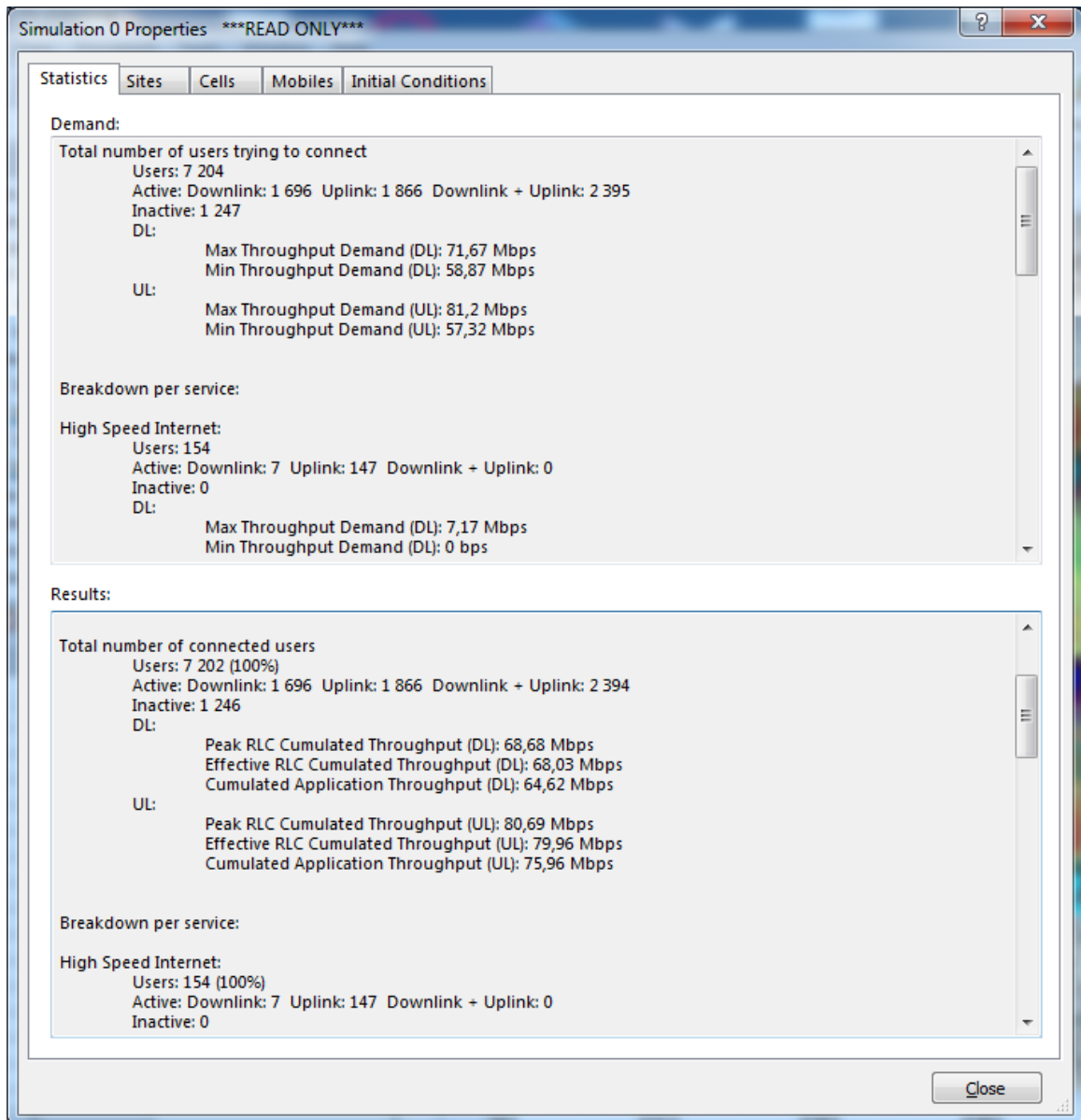


Figure IV.30: Résultat final de la simulation.

IV.11 Conclusion:

Dans ce chapitre nous avons utilisé l'Atoll pour créer un réseau Lte efficace.

A partir de la création de notre projet; Atoll est un outil très important pour la planification des réseaux sans fils. Dans notre étude nous avons passé de la pré-planification de notre réseau, la planification, la vérification où nous avons fait les prédictions de couverture de niveau de signal et des émetteurs. La dernière étape est l'utilisation l'atoll pour l'optimisation de quelques paramètres des émetteurs pour mieux d'efficacité.

Conclusion général

Conclusion générale

Durant ce travail on a pu constater que les générations de téléphonie mobile ont été développées pour garantir de meilleure performance en particulier les Qualités de Services, tout ça en apportant de nouvelles applications, de nouveaux services, ainsi qu'une meilleure gestion .

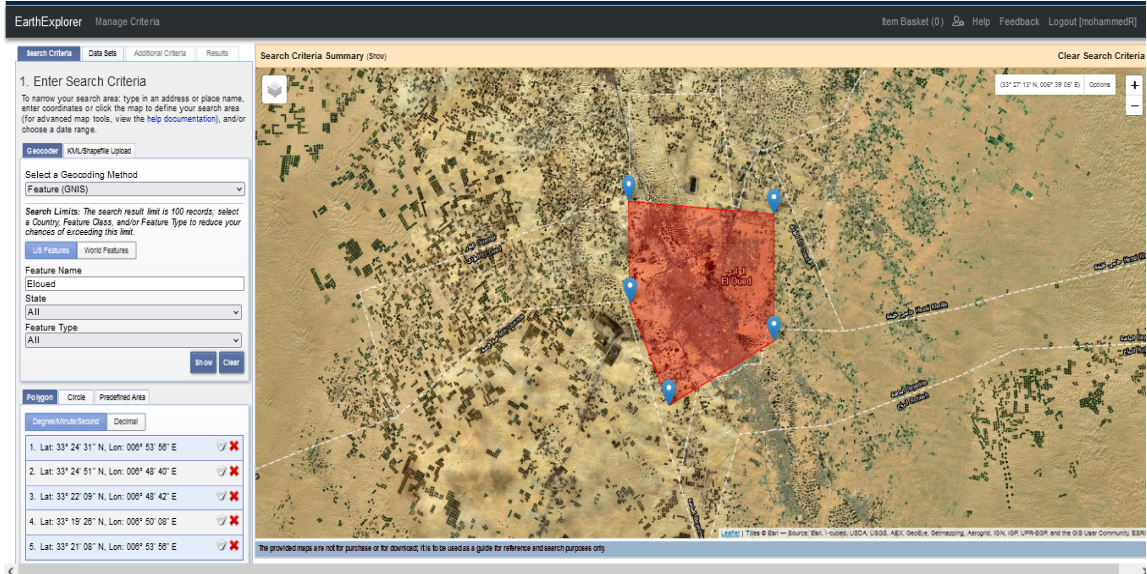
De nos jours la dernière génération est la 4G pas encore mis en œuvre dans le monde entier, mais a fait ses preuves et est connu par la meilleure génération existante permettant le très haut débit ainsi qu'une interopérabilité avec les autres réseaux d'ancienne génération (3G, 2G, 1G).

Les principaux paramètres du réseau 4G qui ont faits que ce réseau soit le meilleur et le Plus cher sont son très haut débit utilisé, la latence beaucoup moins importante que dans le réseau 3G, une large bande passante, une bande de fréquence flexible, et une interopérabilité avec les autres réseaux ainsi ce paramètre donne le choix aux utilisateurs pour leur utilisation au sein de la 4G.

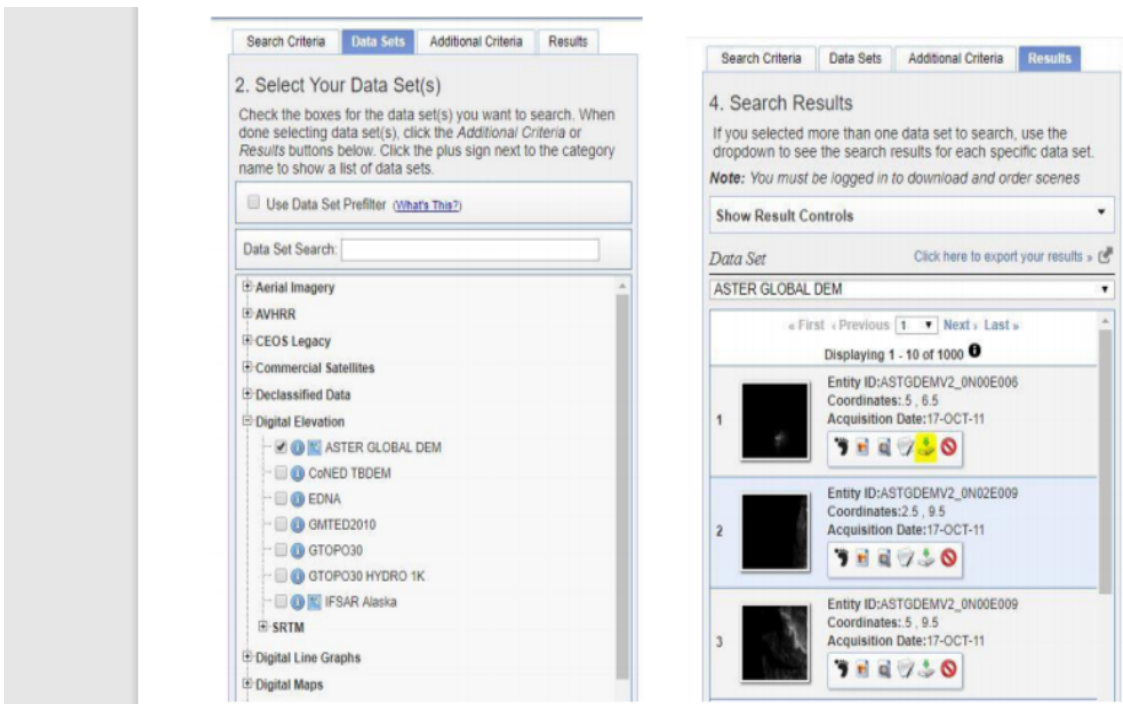
Annexes

Annexe

→ 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 :

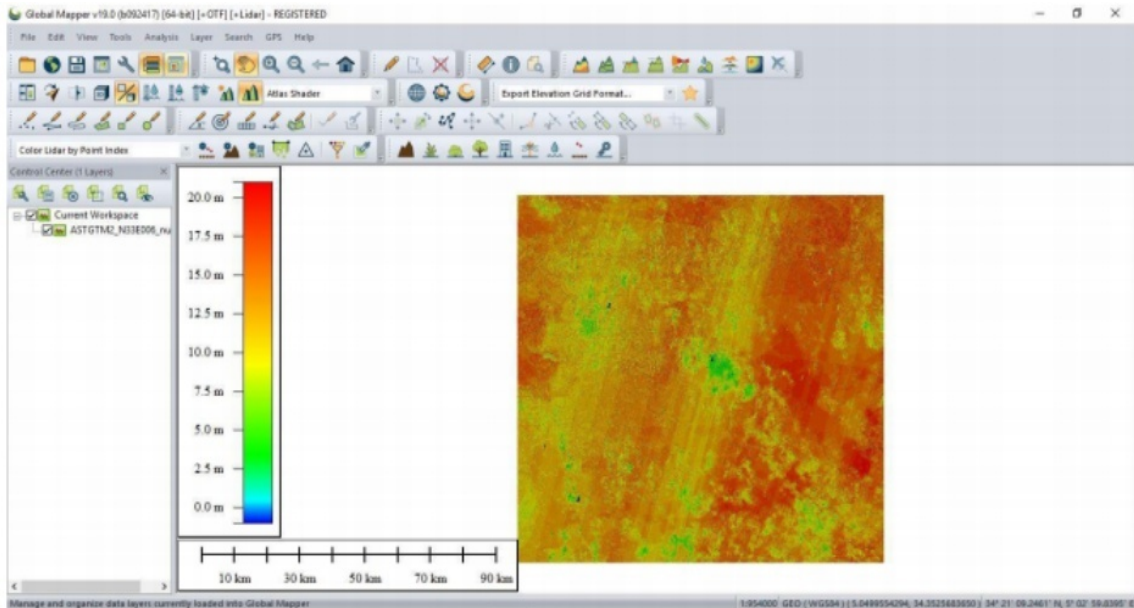


→ Pour télécharger la carte à partir du site, nous Appuyons sur " DATA SETS " et ouvrir " Digital élévation " et coucher sur "ASTER GLOBAL DEM " cliquer sur "Résultat " et télécharger la carte.

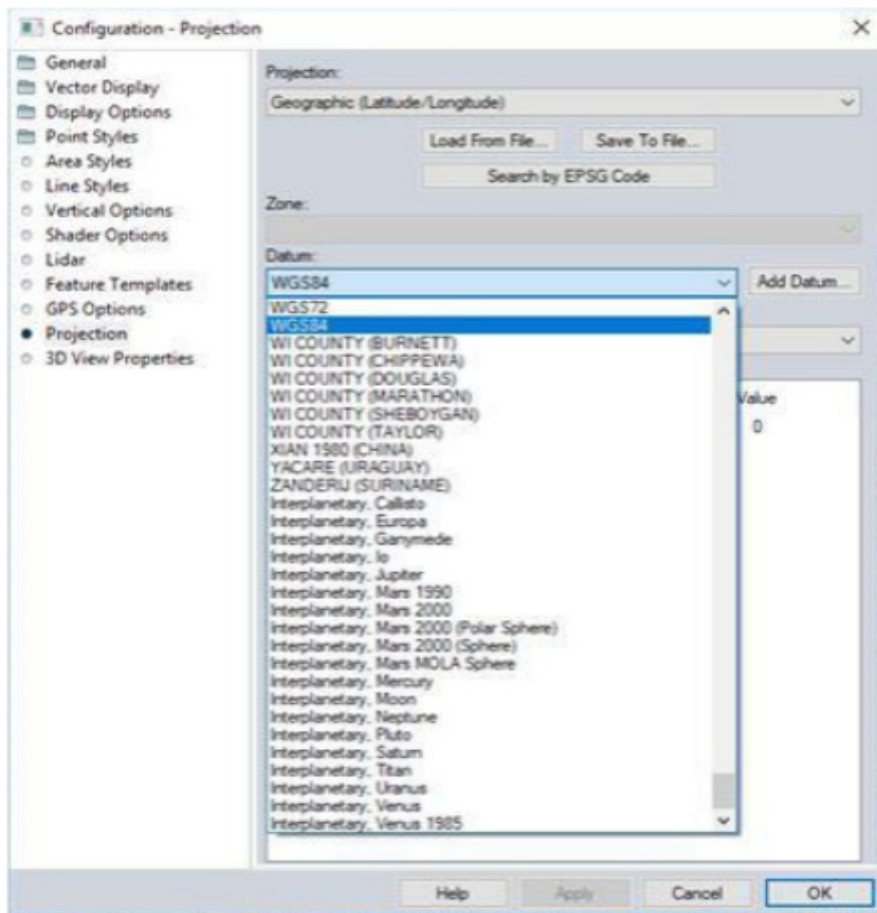


Annexe

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



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



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

Références bibliographie

- [1]-Global system for mobile communication, Pr.O.CHAKKOR-2015-2016.
- [2]-Selon le de document de la téléphonie mobile,général packet radio service (2.5G), université nice Sophia antipolis, Date de consultation Avril 2010.
- [3]-Selon le document de l'enseignant Mohamed Moussaoui, ENSA, tanger, 2008, réseaux UMTS et ses évolution.
- [4]- Abdelhak DJOUAHRA «Etude et simulation d'un réseau 4G sous logiciel Atoll» Mémoire de Fin d'Études De Master Académique UNIVERSITÉ MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU 05/06/2017.
- [5]- Ghassen.A.A, Mahamod. I et Kasmiran. J «Modeling and Performance Evaluation of LTE Networks with Different TCP Variants», Academia mondiale des sciences, 2011.
- [6]-Tarek Bchini, «Gestion de la Mobilité, de la Qualité de Service et Interconnexion de Réseaux Mobiles de Nouvelle Génération», Thèse de doctorat de l'Université de Toulouse, Le 10/06/2010 .
- [7]-Seide.G, « Planification d'un réseau de quatrième génération à Partir D'un Réseau De Troisième Génération », Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de maîtrise des Sciences appliquées (génie informatique), Université de MONTREAL, 2011.
- [8]-Huwei technologies "LTE radio planning introduction' CO LTD.
- [9]-Hiba Mouachi, «Etude et simulation de la norme LTE par 3GPP», Projet de semestre ,ENSA Marrakech, Université Cady Ayyad, 19/06/2012.
- [10]-Bouchentouf Hadjer,Boudghene Stambouli Riyad « Etude des performances des réseaux 4G (LTE) »,université de tlemcen,2013.
- [11]-Eya Jammazi, «Optimisation d'un réseau pilote 4G pour Tunisie Télécom», Mémoire deProjet de Fin d'Etudes en Réseaux et Communications, 21/Juin/2013.
- [12]-ERICSSON Proprietary and confidential«LTE Overlay Networks»· ERICSSONDesign Guideline·December 2011.
- [13]-Y.Bougan, E.Hardouin, F.X.Wolff, «LTE et les réseaux 4G », Préface d'Alain Maloberti, © Groupe Eyrolles, 2012.
- [14]-Ahmed SIDI AMAN, «Dimensionnement Et Planification D'un Réseau 4G LTE: Optimisation du Réseau D'accès», Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du Diplôme : MASTER UniversitéD'Antananarivo, 09/04/2015.
- [15]-<https://CHAPITRE I LE CANAL RADIO, L'OFDMA ET LE SC-FDMA>.

- [16]-DJELAD Sarra, Optimisation du Handover dans le réseau 4G avec la logique flou», Mémoire pour l'obtention du diplôme de master en télécommunication, Université de Aboubakr Blekaid-Tlemcen, 2017.
- [17]-MEHASSOUEL Mustapha, «APPLICATION DE LA TECHNOLOGIE MIMO A LA 4G DU MOBILE », mémoire de MAGISTER en Communication, département d'Electronique, UNIVERSITE FERHAT ABBAS, SETIF, Algérie, 12/2014.
- [18]-Alban Hounton, Etudes des performances des réseaux 4G, UATM GASA FORMATION,mémoire de Licence Professionnelle, 2015.
- [19]-<https://blog.3g4g.co.uk/2009/02/ofdm-and-sc-fdma.html>.
- [20]-LTE: Rapport Nokia Siemens/ INPT.
- [21]-HamzaYAHIAOUI RedouaneLOUNNAS «Étude des Performances des Réseaux 4G LTE» Mémoire de Fin d'Études De Master Académique UNIVERSITÉ MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU 13/07/2017.
- [22]- CHICHAOUI Dihia, MOUDIR Sonia << Dimensionnement d'un réseau 4G LTE >> Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2018.
- [23]-ZENATI Ilyas, BOUFERSAKHA Oussama << Dimensionnement et planification d'un réseau LTE >> Université Aboubakr Belkaid – Tlemcen, juin 2017.
- [24]- KHELIFI salim, HADDAD Aissa << Dimensionnement et planification d'un réseau mobile 4G/LTE>> Université Akli Mohand Oulhadj – Bouira, Septembre 2018.
- [25]-BETAOUAF Djezila BOUMECHERA Wissem «Développement d'un Outil de Dimensionnement et de Planification d'un Réseau 4G-LTE » Université Aboubakr Belkaid - Tlemcen, Mai 2015.
- [26]-Ericsson «Coverage and Capacity Dimensioning recommendation» Confidential.
- [27]- <http://fr.wikipedia.org>.
- [28]- <http://www.atdi.us.com/GeneralWimax.php>.
- [29]-<< Généralités et Architecture de la 4G>> sur Orange Développer.
- [30]-3GPP Technical Report TR 25.813, “Radio Interface Protocol Aspects for Evolved UTRA”, version 7.0.0.
- [31]-JAMMAZI. E, Optimisation d'un réseau pilote 4G pour Tunisie Télécom. école National s'Ingénieurs de Gabes, 2013.