

République Algérienne Démocratique et Populaire
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Université Mohammed Seddik BENYAHIA -Jijel-



Faculté des Sciences et de la Technologie
Département d'Electronique
Mémoire de fin d'études

Présenté pour l'obtention du diplôme de Master

en : Télécommunications

Option : Systèmes des Télécommunications

Thème

Planification d'un Réseau de Télécommunications

Présenté par :

Mlle. Isra MOHAMEDIOUA

Mlle. Wissam SID

Dirigé par :

Dr. Sofiane HADDAD

Mr. Ammar BOUFERSADA

Année universitaire : 2020-2021



Remerciements

Nous remercions Allah dieu tout-puissant de nous avoir accordé la santé, la capacité et la patience pour mener à bien ce projet.

*Nous adressons notre profond remerciement et respect à Monsieur **Boufersada Ammar**, notre encadreur externe, magister et chef de centre maintenance d'ATM Mobilis Jijel, Pour son encadrement, sa patience et ses conseils judicieux. Nous souhaitons aussi remercier Monsieur **Ouadi Djamal**, Ingénieur de planification Mobilis pour son aide.*

*Nous tenons à exprimer notre reconnaissance à Monsieur **Haddad Sofiane**, Docteur à l'université de Jijel, de nous avoir encadré, et de nous donner des conseils avisés et des remarques qui nous ont permis de réaliser notre travail.*

Nos vifs remerciements aux membres du jury pour avoir accepté de juger Notre travail, ainsi que tous les enseignants du département d'électronique.

Merci aussi à nos amis et camarades de promotion pour leur soutien et encouragement qu'ils nous ont apporté.

Sans oublier tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail, en particulier nos familles pour leur soutien.



Dédicaces

Je voudrais dédier le présent travail tout spécialement à mes très chers parents

*A mon héros mon très cher papa, ma force et mon soutien dans la vie **Merci pour les valeurs nobles, l'éducation et la confiance permanent venu de toi.***

A mon adorable maman qui a œuvré pour ma réussite, de par son amour pour toute son assistance et sa présence dans ma vie.

*A mes chers frères **Idris, Moumen** et à ma chère sœur **Imen.***

*A toute la famille **Mohamedioua et Yezid**, mes oncles et mes chères tantes : **Nadia, Souad, Radia** et leurs enfants, pour leurs encouragements.*

*A mes chers voisins, en particulier ma petite princesse **Jana.***

A mes grands-parents, que dieu leur donne une longue et joyeuse vie.

*A mon âme sœur et ma chère binôme **Wissam***

A tous mes chères amies chacun par son prénom qui m'ont toujours aidées et soutenue.

Finalement, une spéciale dédicace à tous mes collègues de promo des systèmes des Télécommunications.

ISRA



Dédicaces

*On remercie **ALLAH** le tout puissant de nous avoir donné la force et le courage afin d'accomplir ce travail.*

*A **mes parents** qui me sont chers, quoi que je fasse ou dise-je ne saurai vous remercier, je remercie Dieu de m'avoir donné des parents comme vous. Merci **maman** et grand merci **papa**. J'espère qu'un jour je serai capable de leurs donner au moins le minimum car quoiqu'on face on n'arrivera jamais de leurs rendre tout.*

*À mon grand frère **Abderrahim** qui m'a soutenue et encouragée tout au long de mon parcours, sans n'oublier sa femme **Nesrine** pour m'avoir toujours encouragé.*

*Et une dédicace spéciale à mon cher frère **Madani** qui a été toujours là Pour moi,*

*A ma chère sœur **Zineb**, la deuxième moi, mon unique et son mari **Khaled** et un salut chaleureux a ses enfants **Raid** et **Baraa** que dieu les protège et réussisse leurs études*

*A mon fiancé **Yasser**, mon soutien, ma confiance, ma force dans la vie, que dieu le protège.*

***Isra**, à toi ma chère binôme, copine et sœur, nous avons vécue toute cette expérience ensemble, nous y sommes Arrivées ensemble, je t'adore.*

*A toute la famille **Sid** et **Kadri**, mes **oncles**, mes **tentes**, que je cite chaleureusement.*

*A tous mes **cousins** et **cousines***

*A tous mes camarades de la promotion systèmes des télécommunications **2017/2021** merci pour les bons moments ensemble.*

Dans le souci de n'oublier personne, qui m'ont aidé de près ou de Loin, trouvé dans ces lignes l'expression de ma gratitude.

Wissam

Table des matières

Chapitre I : Introduction aux réseaux de Télécommunications

I. Introduction	4
II. Historique et évolution des télécommunications.....	4
III. Chronologie des télécommunications au 20ème siècle	5
IV. Services offerts par les télécommunications.....	5
V. Les réseaux de télécommunications	6
V.1 Les composants d'un réseau de télécommunication	6
V.2 Classification des réseaux :.....	7
V.2.1 Classification des réseaux téléinformatique	8
VI. Normes et standards des télécommunications	10
VI.1 Les organismes de normalisation	10
VI.2 Les modèles d'architecture réseaux	11
VII. Evolution des réseaux mobiles	12
VII.1 Première génération des réseaux mobile (1G) :.....	12
VII.2 Deuxième génération des réseaux mobile (2G) :.....	12
VII.3 Troisième génération des réseaux mobile (3G)	14
VII.4 La quatrième génération des réseaux mobile (4G)	14
VII.5 Cinquième génération 5G des réseaux mobiles	15
VIII. Conclusion	16

Chapitre II : Techniques d'accès multiples dans un réseau LTE

I. Introduction	18
II. Duplexage.....	18
III. Structure de la trame LTE.....	19
IV. Modulation.....	20
V. OFDM.....	20
V.1 Principes et fonctionnement de l'OFDM.....	22
V.1.1 Principe de modulation	22
V.1.2 Principe de la démodulation	23
V.2 Implantation numérique du modulateur/démodulateur.....	24
V.3 Intervalle de garde.....	25
VI. OFDMA.....	26
VII. SC-FDMA.....	28
VII.1 Émetteur SC-FDMA	28

VII.2 Allocation des ressources radio dans le système SC-FDMA.....	29
VII.3 Récepteur SC-FDMA.....	32
VIII. Conclusion	32

Chapitre III : Dimensionnement d'un réseau LTE

I. Introduction	34
II. Processus de Dimensionnement	34
III. Dimensionnement de couverture	36
III.1 Bilan de liaison Radio RLB	36
III.2 Modèle de propagation.....	38
III.2.1 Le modèle Okumura-Hata	38
III.2.2 Le modèle COST 231-Hata	40
III.3 Calcul de la couverture pour les liaisons montantes (Uplink)	41
III.3.1 Débit requis.....	41
III.3.2 SINR requis	42
III.3.3 Sensibilité eNodeB (récepteur).....	42
III.3.4 Les marges de bruit.....	42
III.4 Bilan de liaison en uplink	46
III.5 Calcul de la couverture pour les Downlink.....	47
III.6 Rayon de la cellule	50
III.7 Nombre des sites	51
IV. Dimensionnement de capacité	52
IV.1 Dimensionnement de la capacité en lien montant.....	52
IV.1.1 Débit de la cellule	53
IV.2 Dimensionnement de la capacité en lien descendant.....	54
IV.2.1 SINR	54
IV.2.2 Débit de la cellule	54
IV.2.3 Nombre des sites décidé	54
V. Conclusion	55

Chapitre IV : Planification et Optimisation d'un réseau LTE

I. Introduction	57
II. Présentation du logiciel	57
III. Planification du réseau LTE	58
IV. Démarrage d'un projet Atoll.....	58
IV.1 Création d'un projet LTE.....	59
IV.2 Configuration du système de projection	59

IV.3	Réglage des paramètres de la zone	59
IV.4	Importation de la carte géographique.....	60
IV.5	Zone géographique à planifier :	61
IV.6	Création d'un site.....	62
IV.7	Création d'un émetteur.....	64
IV.8	Création d'une cellule	65
IV.9	Paramètres de l'antenne.....	66
V.	Etude du cas de la ville de Jijel	67
V.1	Couverture.....	67
V.2	Prédiction	68
V.3	Prédiction de la couverture par niveau de champ (DL)	69
V.4	Prédiction de couverture par émetteur :	71
V.5	Prédiction de zone de recouvrement	71
VI.	Etude du cas la ville de l'Aouana	72
VI.1	Prédiction de la couverture par niveau de champ (DL)	73
VI.2	Prédiction de couverture par émetteur	75
VI.3	Prédiction de zone de recouvrement	75
VII.	Les problèmes de couverture	76
VIII.	Optimisation du réseau LTE	76
VIII.1	Cas de la ville Jijel.....	77
VIII.2	Cas de la ville de l'Aouana.....	79
IX.	Conclusion :	82
	Conclusion générale.....	80
	Bibliographie.....	84
	Résumé.....	84

Liste des Abréviations

	1G	Première génération
	2G	Deuxième génération
	3G	Troisième génération
	3GPP	Third génération Partnership Project
	4G	Quatrième génération
	5G	Cinquième génération
A	ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
	AFNOR	Association Française de Normalisation
	ANSI	American National Standard Institute
	ASTM	American Society for the Testing of Materials
	ATM	Asynchrones Transfer Mode
B	BPSK	Binary Phase Shift Keying
	BSI	British Standard Institute
	BS	Base station
C	CEI	Commission Électrotechnique Internationale.
	CENELEC	Comité Européen de Normalisation pour l'Électrotechnique
	CEN	Comité Européen de Normalisation

D	DFT	Discrete Fourier Transform
	DIN	Deutsches Institut für Normung
	DL	Down link
	DQDB	Distributed Queue Dual Bus
E	EDGE	Enhanced Data rates for GSM Evolution
	EIRP	Effective isotropic radiated power
	EvnodeB	Evolved NodeB
	ETSI	Européen Télécommunications Standard Institut.
F	FDMA	Frequency Division Multiple Access.
	FDDI	Fibre Distributed Data Interface
	FDM	Frequency Division Multiplex.
	FUSC	Full Usage of Subchannels
G	GPRS	General Packet Radio Service
	GSM	Global System for Mobile
H	HSPA	High Speed Packet Access.
I	IBN	Institut Belge de Normalisation

ICI	Inter-carrier interferences
IDFT	Inverse Fourier Transform.
IEP	Interférence Entre Porteuses
IFDMA	Interleaved-FDMA
IFFT	Inverse Fast Fourier Transform.
ISC-FDMA	Interleaved SC-FDMA
ISI	Inter Symbol Interference
ISO	International Organization for Standardization

L	LAN	Local Area Network.
	L-FDMA	Localized FDMA
	LTE	Long Term Evolution.

M	MAN	Metropolitan Area Network
	MAPL	Maximum Allowable Power Losses
	MS	Mobile station

N	NLOS	No Line Of Sight
----------	-------------	------------------

O	OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access.
	OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiple

P	PAPR	Peak-to-Average Power Ratio
	PIRE	Puissance Isotrope Rayonnée Equivalente
	PRACH	physical random access channel
	PRB	Physical Resource Block.
	Pucch	physical uplink control channel
	PUSC	Partial Usage of Subchannels
Q	QAM	Quadrature Amplitude Modulation
	QPSK	Quadrature Phase Shift Keying.
R	RF	Radio fréquence
	RLB	Radio Link Budget
	RNIS	Réseau Numérique à Intégration de Services
	RTCP	Real-time Transport Control Protocol
S	SC-FDE :	Single-Carrier Frequency Domain Equalization.
	SC-FDMA	Single Carrier Frequency Division Multiple Accès
	SINR	Signal to Interference & Noise Ratio
	SNV	Schweizerischen Normen Vereinigung
	SSC	Standards Council of Canada
T	TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol
	TD	Time Division.

	TDD	Time Division Duplex.
	TDMA	Time Division Multiple Access.
U	UE	User Equipment
	UIT	Union Internationale des Télécommunications
	UL	Up link
	UMTS	Universel Mobile Télécommunication System
	URL	Uniform Resource Locator
	UTE	Union Technique de l'Électricité
	UTM	Universal Transverse Mercator
V	VoIP	Voice over IP
W	WCDMA	Wide Coding Division Multiple Access
	Wifi	Wireless Fidelity
	WiMax	Worldwide Interoperability for Microwave Access
	WGS 84	World Geodetic System 1984

Liste des Figures

Figure I.1 : la chaine de transmission .	6
Figure I.2 : Schéma générale de la chaine de transmission.	7
Figure I.3 : Classification des réseaux informatiques selon leur porté.	8
Figure I.4 : Les différentes topologies d'un réseau .	9
Figure I.5 : Evolution des réseaux mobiles .	12
Figure I.6 : Architecture réseau GSM .	13
Figure I.7 : Architecture simplifiée réseau 2G .	13
Figure I.8 : Architecture réseau 3G.	14
Figure I.9 : Les différentes technologies d'accès sans fil pour l'utilisateur 4G .	15
Figure I.10 : la cinquième génération (5G).	16
Figure II.1 : Structure de la trame LTE (mode FDD).	20
Figure II.2 : Exemple d'un spectre FDM.	21
Figure II.3 : Exemple d'un spectre OFDM.	21
Figure II.4 : spectre d'un signal OFDM.	22
Figure II.5 : Schéma de la modulation OFDM.	23
Figure II.6 : Schéma du démodulateur OFDM.	24
Figure II.7 : Modulateur OFDM numérique.	24
Figure II.8 : Démodulateur OFDM numérique.	25
Figure II.9 : Insertion du préfixe cyclique.	25
Figure II.10 : Différence entre OFDM et OFDMA.	26
Figure II.11 : Description fréquentielle de l'OFDMA.	27
Figure II.12 : Schéma bloc d'émetteur SC-FDMA.	29
Figure II.13 : Le Mapping I-FDMA.	30
Figure II.14 : Spectre du signal ISC-FDMA au récepteur .	30
Figure II.15 : Le Mapping L-FDMA.	31
Figure II.16 : Spectre du signal LSC-FDMA au récepteur.	31
Figure II.17 : SC-FDMA au Récepteur.	32
Figure III.1 : Processus de dimensionnement.	35
Figure III.2 : Connexions du système d'alimentation de l'antenne.	45
Figure III.3 : Modèle bilan de liaison en uplink.	46
Figure III.4 : Modèle bilan de liaison descendante.	49
Figure III.5 : Modèle hexagonales de cellule.	51
Figure III.6 : Illustration du calcul de dimensionnement de capacité.	53
Figure IV.1 : Processus de planification .	58
Figure IV.2 : Création d'un projet LTE .	59
Figure IV.3 : Choix du Systèmes de projection de Jijel .	60

Figure IV.4 : Importation de la carte géographique :	60
Figure IV.5 : Importation de la carte numérique de jijel	61
Figure IV.6 : La zone de Jijel	61
Figure IV.7 : La zone d'El-Aouana	62
Figure IV.8 : L'emplacement des sites	63
Figure IV.9 : Propriétés de site	63
Figure IV.10 : Création d'un émetteur et ses caractéristiques	64
Figure IV.21 : Configuration de la cellule	65
Figure IV.32 : Paramètres d'antenne	66
Figure IV.43 : Polarisation d'antenne	67
Figure IV.54 : La zone précise à couvrir et Dispositions des sites et des émetteurs (ville de Jijel)	68
Figure IV.15 : Les types des prédictions	69
Figure IV.16 : Prédiction de couverture par niveau de champ	69
Figure IV.67 : Légende de la couverture par niveau de champ (DL)	70
Figure IV.78 : Histogramme de la couverture par niveau de signal	70
Figure IV.19 : La prédiction de la couverture par émetteur la prédiction de la couverture par émetteur	71
Figure IV.20 : Légende de la prédiction de la zone de recouvrement	71
Figure IV.21 : Prédiction par zones de recouvrement	19
Figure IV.22 : Histogramme de la zone de recouvrement	72
Figure IV.23 : La zone précise à couvrir et dispositions des sites et des émetteurs (ville d'El-Aouana)	73
Figure IV.24 : Prédiction de couverture par niveau de champ	73
Figure IV.25 : Histogramme de la couverture par niveau de signal	74
Figure IV.26 : La prédiction de la couverture par émetteur	75
Figure IV.27 : prédiction par zones de recouvrement	75
Figure IV.28 : Histogramme de la zone de recouvrement	76
Figure IV.29 : Zones à recouvrir	77
Figure IV.30 : Disposition de nouveau site dans la ville de Jijel	77
Figure IV.31 : Résultat de la nouvelle prédiction de la couverture par niveau de signal	78

Figure IV.32 : Légende de la nouvelle prédiction de la couverture par niveau de signal	78
Figure IV.33 : Histogramme de la nouvelle couverture par niveau de signal	79
Figure IV.34 : Zones à recouvrir	80
Figure IV.35 :Disposition de nouveau site dans la ville d'El-Aouana.	80
Figure IV.36 :Résultat de la nouvelle prédiction de la couverture par niveau de signal.....	81
Figure IV.37 :Histogramme de la nouvelle couverture par niveau de signal	81

Liste des Tableaux

Tableau I.1 : Les deux modèle OSI et TCP/IP.....	11
Tableau III.1 : Pertes de la pénétration.	43
Tableau III.2 : Pertes selon type de signal	43
Tableau III.3 : Marge de shadowing.....	44
Tableau III. 4 : Pertes de ligne d'alimentation.....	45
Tableau III. 5 : Atténuation fixe dans le modèle de propagation de Hata-Okumura.....	51
Tableau III.6 : Valeurs références de la surface de la zone.	52

Introduction générale

Les réseaux de télécommunications mobiles ont pris de plus en plus d'importance dans notre société. Le système de téléphonie cellulaire connaît un succès considérable, avec un nombre d'abonnés sans cesse croissant. En effet, l'opérateur est dans l'obligation d'optimiser ses ressources ou de déployer une nouvelle technologie capable de répondre aux exigences des abonnés, avec une faible latence, une meilleure fiabilité, et une meilleure efficacité spectrale par rapport aux précédentes générations, tout en réduisant les coûts d'investissement.

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

De nos jours, on passe vers le réseau 4G qui présente beaucoup d'amélioration quand à la bande passante de l'utilisateur ainsi que d'autres paramètres de qualité de service. Enfin, pour être plus précis, il y a d'abord la 3,9G avec la norme LTE et puis, la 4G, avec la norme LTE Advanced. Ce passage d'une génération à une autre doit faire l'objet d'une bonne planification.

Le dimensionnement ou planification d'un réseau mobile consiste à déterminer l'ensemble des composantes matérielles et logicielles de ces systèmes, les positionner, les interconnecter et les utiliser de façon optimale, en respectant, entre autres, une série de contraintes de qualité de service. Ainsi, Le besoin envers un outil de planification, qui accompagne l'évolution des réseaux mobiles semble nécessaire et cela en tenant compte du fait que la propagation radio est fortement influencée par le terrain et par d'autres facteurs.

L'objectif de ce travail consiste à maîtriser les techniques de planification, de dimensionnement et d'optimisation d'un réseau d'accès 4G. De ce fait, nous avons organisé notre mémoire en quatre chapitres :

Le premier chapitre donnera un aperçu général des différentes générations successives de réseaux de télécommunications s'étant succédées jusqu'à l'avènement du LTE et 5G. Ces technologies sont le fruit de nombreuses années de recherches, nous ne présenterons que l'essentiel de chacune d'elle. Ce premier chapitre nous permettra alors de mieux comprendre les différences majeures entre les différentes générations de réseaux mobiles

Le deuxième chapitre présente une étude approfondie sur les techniques d'accès multiple utilisés dans le réseau LTE (OFDM et SC-FDMA), On est intéressé dans cette partie par le concept de base pour chaque technique, ainsi que leurs principes et leurs propriétés.

Le troisième chapitre est consacré pour le dimensionnement du réseau 4G où nous expliquerons le processus de dimensionnement et les différents règles et modèles nécessaires pour le dimensionnement de la couverture.

Le quatrième chapitre est réservé à la partie simulations, où nous allons étudier le cas d'une zone de déploiement. Notre démarche se basera sur des études théoriques afin d'obtenir le nombre de sites nécessaires à déployer et procèdera ensuite aux prédictions de couverture tout en optimisant les paramètres nécessaires avec l'outil de simulation Atoll.

Les résultats des simulations obtenues à l'aide du logiciel de planification Atoll ont été réalisés sur deux zones géographiques déterminées (la ville de Jijel et la commune de l'Aouana).

Chapitre I

**Introduction aux réseaux de
Télécommunications**

I. Introduction

Les télécommunications sont aujourd'hui définies comme la transmission à distance d'informations avec des moyens électroniques. Les télécommunications se distinguent ainsi de la poste qui transmet des informations ou des objets sous forme physique. Le mot « télécommunication » vient du préfixe grec « télé » signifiant « loin » et du latin « communicare » qui signifie « partager ».

De nos jours, la télécommunication est caractérisée comme suit : « l'émission, transmission à distance et réception d'informations de toute nature par fil, radioélectricité, système optique ou électromagnétique ». Autrement dit, la télécommunication est d'abord et avant tout un échange d'information dans n'importe quel espace donné.

La spécificité de la télécommunication, contrairement à une communication ordinaire, est que l'information est véhiculée à l'aide d'un support (matériel ou non), lui permettant d'être transmise sur de longues distances [1].

Dans ce chapitre nous présenterons les principes de base des systèmes de télécommunications avec ses caractéristiques minimales. Et à en déduire les différentes évolutions des réseaux de télécommunications mobiles de la première à la cinquième génération.

II. Historique et évolution des télécommunications

• Télégraphe

Le télégraphe est l'ancêtre des transmissions de données et la première application des télécommunications. Le télégraphe est un système destiné à transmettre des messages, appelés télégrammes, d'un point à un autre sur de grandes distances, à l'aide de codes par signaux optiques (le télégraphe aérien), puis sur une ligne (le télégraphe électrique) puis par ondes radio (le télégraphe sans fil).

- 1.1791-Télégraphe aérien
- 2.1844-Télégraphe électrique
- 3. Télégraphe sans fil

• 1875-Téléphonie

Le transport de la voix par la téléphonie, fut la première avancée des télécommunications, juste après les premiers télégraphes, Les téléphonées l'appareil qui sert à tenir une conversation bidirectionnelle avec une personne lointaine. Il est utilisé à titre privé, pour garder le contact avec ses proches ou à titre professionnel, pour échanger des informations orales sans avoir à se rencontrer physiquement.

- **Radiotéléphonie** : C'est-à-dire la communication à distance sans fil.

III. Chronologie des télécommunications au 20ème siècle

- **1907-Fax**- La transmission d'images fixes par ligne téléphonique est utilisée comme échange de pages photocopiées, documents commerciaux ou techniques
- **1921-Fax radio** qui permet de transmettre des images par radio est utilisé surtout pour la diffusion d'écartes météo, soit directement depuis les satellites d'observation, soit retransmises vers les navires ou les terrains d'aviation.
- **1926-Télévision**
- **1927-Radiodiffusion** est la distribution de programmes à partir d'un émetteur vers des auditeurs équipés d'un récepteur. D'abord en modulation d'amplitudes basse fréquence (GO) et moyenne fréquence (PO), puis en modulation de fréquences VHF, elle évolue vers la radio numérique, diffusée par satellite ou en VHF terrestre.
- **1928-Télévision en couleur**
- **1957-Premier satellite artificiel américain**, premier satellite de télécommunication.
- **1960-Téléphonie numérique** commence à remplacer les réseaux analogiques.
- **1960-Réseaux informatiques** est un ensemble d'équipements reliés entre eux pour échanger des informations.
- **1999-ADSL** est une technique de communication numérique. Elle permet d'utiliser une ligne téléphonique, une ligne spécialisée, ou encore une ligne RNIS, pour transmettre et recevoir des données numériques de manière indépendante du service téléphonique conventionnel (c'est-à-dire analogique) via un filtre ADSL branché à la prise.
- **1990-Téléphonie mobile** offre la possibilité de téléphoner sans connexion filaire.
- **2003-WIFI** : réseaux sans fil [1]

IV. Services offerts par les télécommunications

La source d'information génère le message à transmettre. Le message transporté peut être soit directement d'origine numérique comme dans les réseaux informatiques, soit d'origine analogique (son, image, lumière, vidéo...).

- Son : Téléphone, Interphone, Messagerie vocale, Recherche de personnes, Conférence téléphonique, Informations téléphoniques (horloge parlante, météo), Radiodiffusion, Téléphonie mobile.

- Textes : Un texte est un ensemble de caractères d'un alphabet. Télex, télétext, Courrier électronique (EDI, messagerie etc.), Documentation électronique, Vidéotex, Télécopie
- Image : Transfert d'images fixes, Télévision, Visiophonie, Visioconférence, Vidéocommunication sur réseau câblé
- Téléinformatique : Télémessure, Transport de données, Télésurveillance, Télécommande, Paging [1, 2].

V. Les réseaux de télécommunications

Un réseau de communication peut être défini comme l'ensemble des ressources matériels et logiciels liées à la transmission et l'échange d'information entre différentes entités. Suivant leur organisation, ou architecture, les distances, les vitesses de transmission et la nature des informations transmises, les réseaux font l'objet d'un certain nombre de spécifications et de normes.

Un réseau de télécommunication est un système composé d'un ensemble d'équipements informatiques et de dispositifs interconnectés par des supports de transmission, ce système permet le partage des ressources et l'échange de données.

V.1 Les composants d'un réseau de télécommunication

En télécommunication, le système de communication nous montre l'ensemble des procédés et d'équipements mise en place lors de la transmission de l'information depuis l'émetteur jusqu'au récepteur [2]

D'une manière simplifiée, le schéma général d'un système de communication est représenté dans la Figure I.1.

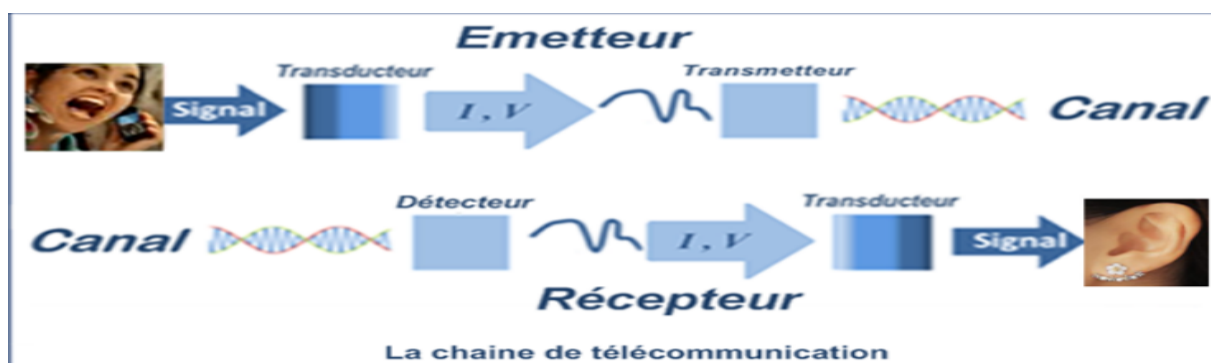


Figure I.1 : Chaîne de transmission [2].

Un Système de communication véhicule de l'information entre une source à un destinataire. La source d'information et le destinataire sont en général séparés par une distance

considérable. Le canal de transmission, en même temps qu'il assure la connexion entre ces deux entités, dégrade le signal transmis. Il faut alors mettre en place un système d'émission-réception pour minimiser l'effet du canal sur le signal.

Le canal constitue le support de transmission (lignes de transmission (ligne bifilaire, câble coaxial, guides d'ondes, fibres optiques) espace libre, équipement de stockage ...) entre l'émetteur et le récepteur [1].

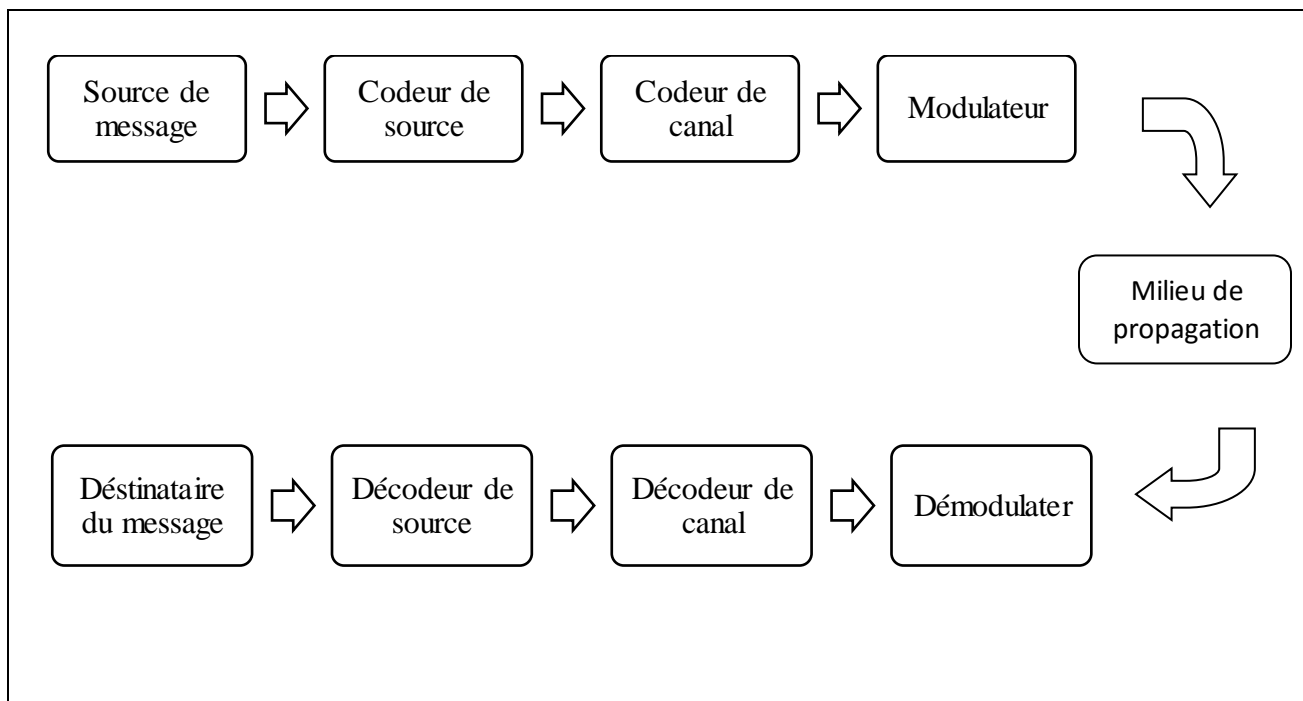


Figure I.2 : Schéma générale de la chaîne de transmission.

V.2 Classification des réseaux :

Les réseaux de communications peuvent donc être classés en fonction du type d'informations transportées et de la nature des entités impliquées. On distingue ainsi trois principales catégories de réseaux

- Les réseaux de télécommunications
- Les réseaux Téléinformatiques

- **Les réseaux de télécommunications**

Ce sont les plus anciens réseaux de communication. Leur objectif est de transmettre la communication vocale entre les individus. Puisque la voix peut être à l'origine envoyée sous forme d'ondes Électromagnétiques, nous l'appelons communication vocale analogique, ou l'envoyons sous la forme d'une série d'informations binaires («0 » ou «1 ») après une série de traitements numériques.

- **Les réseaux téléinformatiques**

Ils sont destinés à relier des équipements informatiques (serveurs, ordinateurs, imprimantes ...) pour :

- L'échange de données binaires issues d'applications ou processus informatiques tels que les traitements de textes, les bases de données, ou les navigateurs Internet,
- Le partage de ressources informatiques (imprimantes, disques durs, etc. ...).

Exemples : Internet, réseaux locaux d'entreprises, Transpac,

V.2.1 Classification des réseaux téléinformatique

a) Classification des réseaux selon la Taille (distance ou couverture géographique)

- Réseaux personnels (PAN) : pour permettre l'échange de données des appareils comme notamment les Smartphones, tablettes, les ordinateurs de bureau ces derniers peuvent d'être connectés a un réseau adapté celui-ci peut être relié sous la forme d'un réseau personnel ou PAN.
- Réseaux locaux (LAN) : exp : Ethernet, Token Ring, ATM
- Réseaux métropolitains (MAN) : FDDI, DQDB, ATM
- Réseaux étendus (WAN) : RTCP, RNIS, Internet, réseau mobile

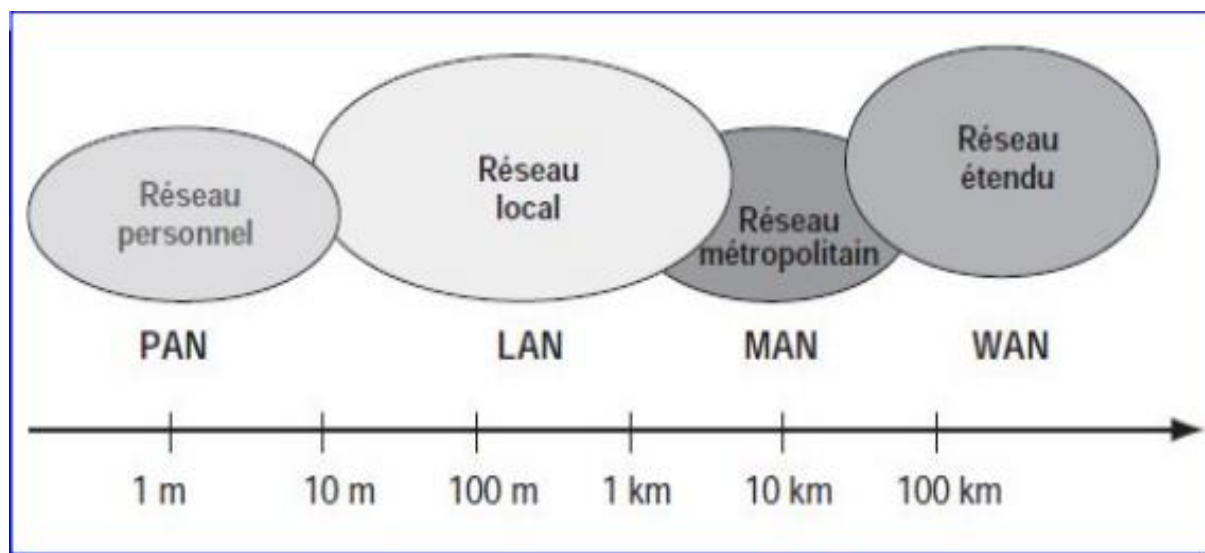


Figure I.3 : Classification des réseaux informatiques selon leur porté.

b) Classification des réseaux selon la topologie

Une topologie désigne la manière dont les équipements d'un réseau sont organisés. En effet, il convient de distinguer deux classes de topologies : la topologie logique et la topologie physique.

Un réseau de communication est composé de terminaux, de nœuds et de liens.

- La topologie logique : Dans la topologie logique on considère le parcours de l'information entre les différents éléments de réseau. Décrit comment l'information est transmise d'un nœud à l'autre.
- La topologie physique : Par contre, la topologie physique s'intéresse l'arrangement spatial des équipements. Décrit comment les différents nœuds sont reliés entre eux,

Il existe plusieurs topologies possibles. En plus, il est possible de combiner les différentes topologies pour former une topologie hybride. Les principales topologies sont [3] :

- **Bus** : Dans ce type des réseaux les différentes stations sont reliées à travers le même câble par le biais des connecteurs spécialisé.
- **Étoile** : Dans ce type plusieurs câbles sont axés autour d'un nœud central. Les réseaux en étoile sont simples à administrer parce que la gestion des ressources est centralisée.
- **Anneau** : Il s'agit de la topologie en bus que l'on a refermé sur elle-même. Le sens de parcours du réseau est déterminé- ce qui évite les conflits. Dans ce type, la collision est évitée par une gestion basée sur le droit d'accès au support.
- **Maillée** : Ce réseau est constitué d'un ensemble de stations reliées par des voies. Selon le nombre de relations établies on distingue des réseaux maillés complètement et des réseaux maillés irrégulièrement [3].

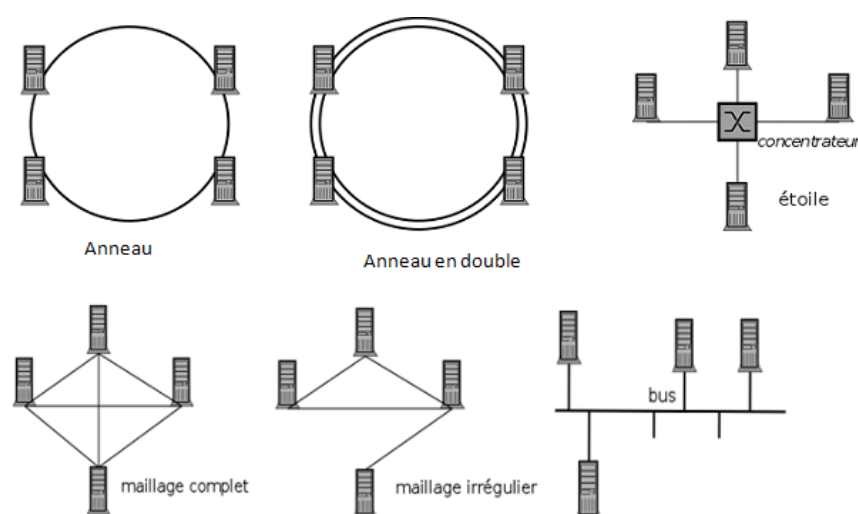


Figure I.4 : Les différentes topologies d'un réseau [3].

c) **Classification des réseaux selon la technique de transmission**

- **Le mode de diffusion** : Le premier mode de fonctionnement consiste à partager un seul support de transmission.
- **Le mode point à point** : Dans ce mode, le support physique (le câble) relie une paire d'équipements seulement [3].

VI. Normes et standards des télécommunications

Les termes norme ou standard désignent dans tous les secteurs de la technologie des prescriptions techniques et des spécifications relatives à la construction et au fonctionnement d'un équipement, ou d'un système dans son ensemble [2].

La normalisation est un ensemble de règles techniques résultant de l'accord des producteurs et des usagers, et visant à spécifier, unifier et simplifier quelque chose, en vue d'un meilleur rendement dans tous les domaines de l'activité humaine. On distingue deux types de norme : Les normes de fait et les normes de jure. La norme de fait s'effectue quand un ensemble de constructeurs se mettent d'accord sur des règles communes (ou l'un entre eux impose aux autres certaines règles). Par contre, les normes de jure possèdent plus de valeur juridique parce qu'elles sont imposées par des organisations internationales ou nationales.

VI.1 Les organismes de normalisation

Dans le domaine des télécommunications, la normalisation consiste certes en les prescriptions techniques pour appareils, mais souvent elle consiste aussi en des protocoles et des procédures de communication [1].

- **Au niveau international**
 - **L'ISO** (International Organization for Standardization).
 - **Le CEI** (Commission Électrotechnique Internationale).
 - **L'UIT** (Union Internationale des Télécommunications).
- **Au niveau européen**
 - **Le CEN** (Comité Européen de Normalisation) – 1961.
 - **Le CENELEC** (Comité Européen de Normalisation pour l'Électrotechnique).
 - **L'ETSI** (Européen Télécommunications Standard Institut).

- **Au niveau français**
 - L'AFNOR (Association Française de Normalisation).
 - L'UTE (Union Technique de l'Électricité).
- **Au niveau des autres pays**
 - Le SSC (Standards Council of Canada).
 - L'IBN (Institut Belge de Normalisation).
 - L'ASTM (American Society for the Testing of Materials).
 - LE SNV (Schweizerischen Normen Vereinigung).
 - Le DIN (Deutsche Industrie Normen).
 - Le BSI (British Standard Institute).
 - L'ANSI (American National Standard Institute).[3].

VI.2 Les modèles d'architecture réseaux

- **Le modèle OSI**

Le premier objectif de la norme OSI a été de définir un modèle de toute architecture de réseau basé sur un découpage en sept couches, chacune de ces couches correspondant à une fonctionnalité particulière d'un réseau.

- **Le modèle TCP/IP**

Utilisé dans le réseau ARPANET du ministère de la défense des états unis, un réseau de recherche devenu actuellement Internet. Le grand souci du DoD était de garantir la fiabilité du réseau en cas de panne d'un élément du sou réseau et fonctionner tant que les ordinateurs sources et destination fonctionnent. En outre, cette architecture permet de résoudre les problèmes d'interconnexion en milieu hétérogène. À cet effet, TCP/IP décrit un réseau logique (réseau IP) au-dessus du ou des réseaux physiques réels, auxquels sont effectivement connectés les ordinateurs.

Précédant le modèle **OSI**, **TCP** en diffère fortement. Le tableau I.1 présente les couches de deux modèles. Ainsi, le modèle **TCP/IP** est constitué de deux protocoles essentiels TCP et IP et de quatre couches :

Tableau I.1 : Les deux modèle OSI et TCP/IP [3].

Application	Application
Présentation	
Session	
Transport	Transport (HosttoHost)
Réseau	Réseau (Internet)
Liaison de données	Matérielle (HosttoInternet)
Physique	

VII. Evolution des réseaux mobiles

Les réseaux de communication mobile n'ont cessé d'évoluer et plusieurs générations ont vues le jour en commençant dans les années 70 par la première génération qui a été le début d'une grande révolution dans le monde de la téléphonie. Cette dernière offrait un service médiocre de communication avec transmission analogique non sécurisée et sans roaming vers l'international. Ensuite est apparu la deuxième génération (2G) qui a eu un changement de technologie en passant de la transmission analogique à la transmission numérique permettant ainsi une sécurisation des données.

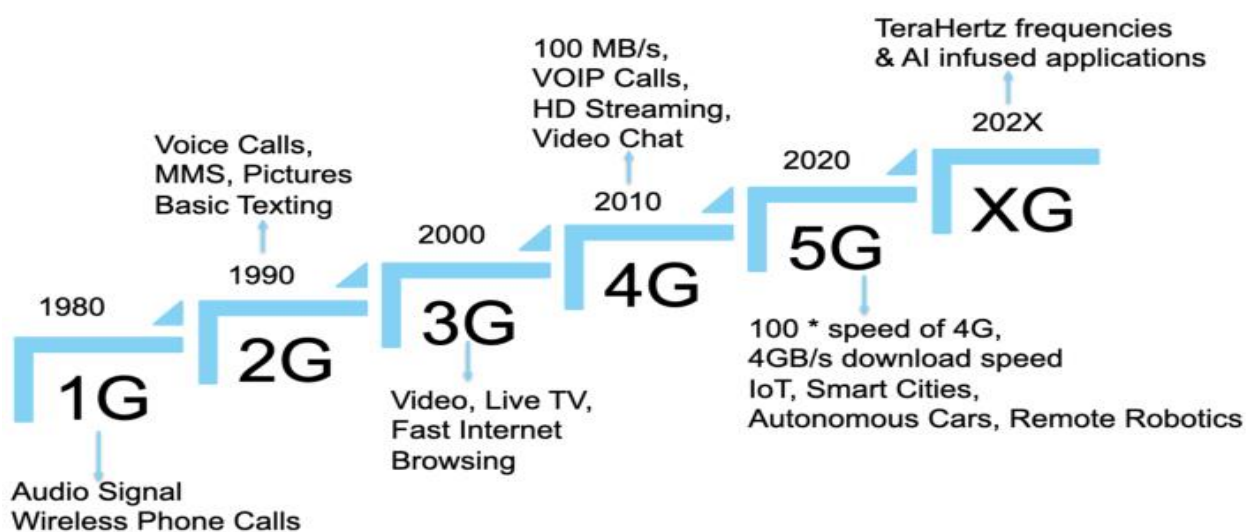


Figure I.5 : Evolution des réseaux mobiles.

VII.1 Première génération des réseaux mobile (1G)

La 1ère génération des téléphones mobiles est née dès le début des années 70 et avait pour vocation de rendre l'utilisateur plus mobile avec son terminal. Cependant, les technologies à l'époque n'étaient pas très évoluées. La 1G offrait donc un service mauvais mais très coûteux. La 1G avait beaucoup de défauts : Des normes incompatibles d'une région à une autre ou d'un opérateur à un autre, une transmission analogique non sécurisée dans la bande des 450MHz et celle des 900MHz, la mauvaise gestion du roaming et du handover. Même si des efforts ont été faits dans une tentative d'amélioration en introduisant le concept cellulaire des réseaux, cette génération n'a pas connu un grand succès et a laissé place aux systèmes de 2ème génération [5].

VII.2 Deuxième génération des réseaux mobile (2G)

Les systèmes 2G présentent toutefois plusieurs limites dont la plus grande est d'ordre capacitaire, impliquait des rejets d'appels aux heures les plus chargées de la journée. La seconde est d'ordre fonctionnel avec un débit de 9.6kbit/s. Le GSM utilisait un réseau cœur à commutation de circuit par lequel l'accès aux services de données était très lent. Afin d'augmenter les débits fournis, le réseau d'accès GSM fut connecté à un réseau cœur appelé GPRS (General Packet Radio

Service). Cette évolution améliora la prise en charge des services de données. En complément de ce développement, la technologie d'accès radio EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution) rendit possible des débits de l'ordre de 240 Kbit/s par cellule grâce à l'amélioration des techniques d'accès au canal radio. Mais à la fin des années 1990, les débits fournis par les réseaux 2G étaient encore trop limités pour que l'accès aux services de données puisse s'écouler facilement. Cette limitation fut à l'origine de la définition des technologies 3G.

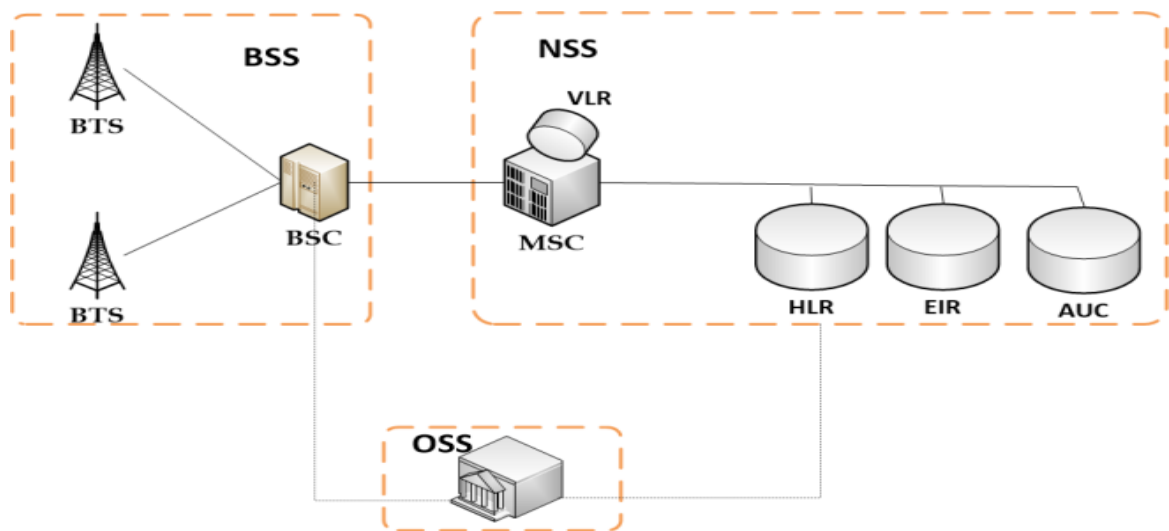


Figure I.6 : Architecture réseau GSM [5].

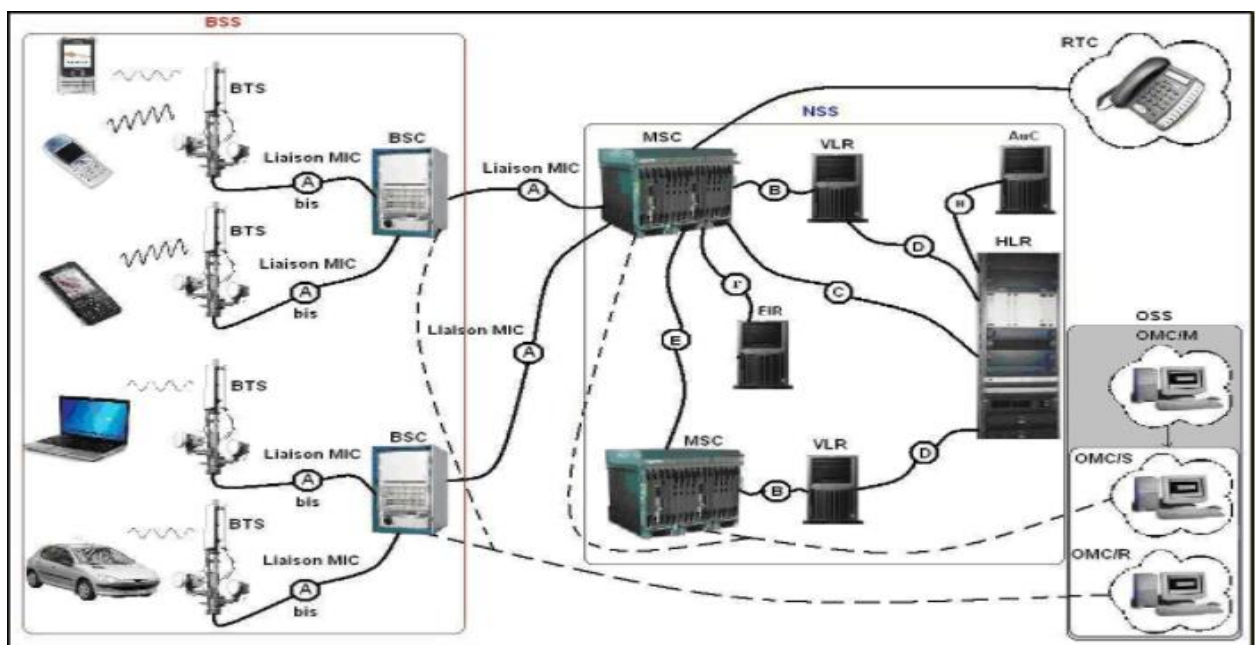


Figure I.7 : Architecture simplifiée réseau 2G [6].

VII.3 Troisième génération des réseaux mobile (3G)

La 3G a été impulsée par les exigences de l'IMT-20005 pour permettre des applications vidéo sur le mobile, celles-ci nécessitant un débit de 384 kbps au minimum. Outre l'augmentation de débit, un point complexe à résoudre était de passer d'un service de téléphonie (à connexion circuit) vers un service DATA (connexion paquets) [3]. Nous nous intéressons à l'UMTS (Universel Mobile Télécommunication System) qui est une évolution logique du GSM avec des bandes de fréquence plus larges (1885-2025 / 2110-2200 MHz). L'UMTS utilise comme technique de modulation le QPSK pour la voie descendante et le BPSK pour la voie montante.

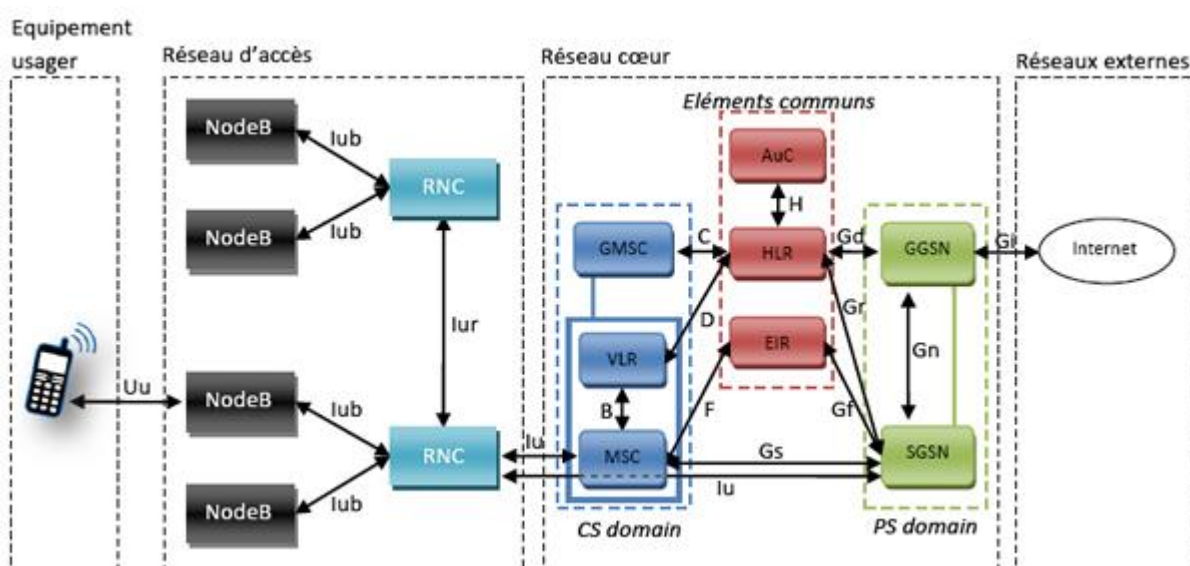


Figure I.8 : Architecture réseau 3G.

VII.4 La quatrième génération des réseaux mobile (4G)

Elle est caractérisée par une mobilité accrue, des services diversifiés et des débits plus élevés. Elle projette des débits théoriques de 100 Mbps pour une mobilité forte et jusqu'à 1 Gbps pour une faible mobilité. Les principales normes 4G sont le LTE (Long Term Evolution) et le WiMAX.

- **LTE**

Il a été développé par le groupe 3GPP (Third Generation Partnership Project) et constitue une extension du HSPA. La première version de LTE était conçue pour offrir un débit théorique maximum de 100 Mbps en ligne descendante et de 50 Mbps en ligne ascendante pour une bande passante maximale de 20 MHz [3]. Des améliorations sont en cours donnant ainsi la norme LTE-Advanced qui prévoit d'atteindre un débit maximum de 1 Gbps en ligne descendante et la moitié en ligne ascendante.

- **La norme Wimax**

Elle est généralement utilisée pour le déploiement des réseaux a grande échelle (WAN) en Utilisant un nombre réduit de stations de base (BS), en raison de sa longue portée.

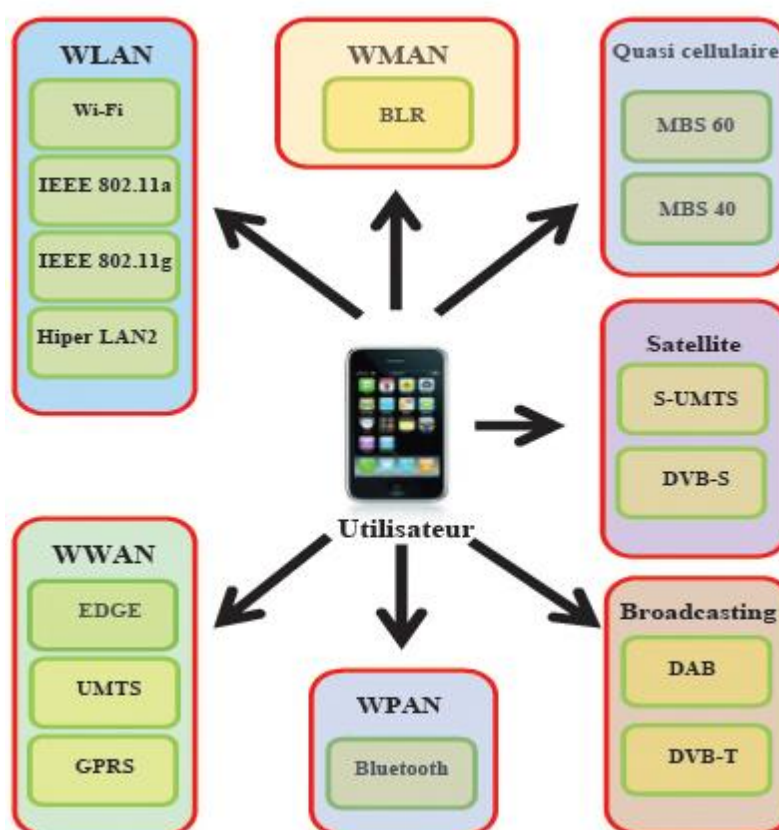


Figure I.9 : Les différentes technologies d'accès sans fil pour l'utilisateur 4G [7].

VII.5 Cinquième génération (5G) des réseaux mobiles

L'évolution des générations mobiles avaient pour ambition d'améliorer la vitesse afin de supporter l'usage croissant de l'Internet mobile. C'est en partie le cas pour la 3G et ça l'est encore plus pour la 4G, quand celle-ci est disponible, puisqu'elle permet des débits pouvant atteindre les 300 Mbit/s, selon les opérateurs et les fréquences utilisées.

Avec de telles performances, on peut légitimement se demander l'intérêt de développer, dès maintenant, un nouveau standard. C'est que l'enjeu de la 5G n'est pas de répondre aux problèmes d'aujourd'hui, ceux-là ne nécessitent que des efforts financiers et logistiques de la part des opérateurs pour améliorer leur couverture.

La 5G est à des années de devenir un standard, et pour l'instant, l'industrie elle-même peine à la définir. Et pour cause, la 5G, c'est d'abord beaucoup d'idées et une promesse : répondre aux besoins exponentiels en matière de télécommunication [6].



Figure I.10 : Cinquième génération (5G).

VIII. Conclusion

L'objectif de ce chapitre était de donner une vision globale des principes de base des systèmes de Télécommunications analogiques et numériques et de déduire les caractéristiques minimales.

On a pour cela, au début, présenté des généralités sur les télécommunications : historique et évolution des télécommunications, services offerts par les télécommunications et normes et standards de télécommunications, et à la fin nous avons parlé de différentes évolutions des réseaux de télécommunications mobiles.

Chapitre II

Techniques d'accès multiples dans un réseau

LTE

I. Introduction

LTE (Long Term Evolution), conçu à l'origine pour permettre d'atteindre des débits de données importants, permet la bonne exécution des services internet émergents ces dernières années. Il utilise la commutation de paquet tout comme les réseaux 3G, à la différence qu'il utilise le multiplexage temporel (TD) et le multiplexage fréquentiel (FD) en même temps, LTE utilise l'OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access), comme méthode d'accès dans le sens descendant (Downlink), elle combine TDMA et FDMA. Elle est dérivée du multiplexage OFDM, mais elle permet un accès multiple en partageant les ressources radio entre plusieurs utilisateurs. Son principe est de diviser la bande totale en multiples sous bandes orthogonales de taille étroite. Ce processus permet de lutter contre le problème des canaux sélectifs en fréquences, ISI (Inter Symbol Interference). En plus, elle permet pour une même largeur spectrale, un débit binaire plus élevé grâce à sa grande efficacité spectrale. Pour le sens ascendant (Uplink), la méthode utilisée est SC-FDMA, une variante de l'OFDMA. Elles ont pratiquement les mêmes performances, mais SC-FDMA transmet les sous bandes séquentiellement pour minimiser le PAPR (Peak-to-Average Power Ratio).

Dans ce chapitre on va définir et présenter les différents types de techniques d'accès multiples utilisés dans le réseau mobile LTE.

II. Duplexage

Le duplexage définit la manière dont sont séparées les transmissions sur la voie descendante et sur la voie montante. La voie descendante, aussi appelée Downlink (DL), correspond à la transmission de la station de base vers l'UE. La voie montante, aussi appelée Uplink (UL), correspond à la transmission de l'UE vers la station de base. Il existe deux principaux modes de duplexage, tous deux gérés par l'interface radio du LTE [8] :

- Le duplexage en fréquence ou Frequency Division Duplex (FDD).
- Le duplexage en temps ou Time Division Duplex (TDD).

- **Le mode FDD**

Le duplexage en fréquence ou Frequency Division Duplex (FDD) ; les voies montante et descendante opèrent sur deux fréquences porteuses séparées par une bande de garde.

- **Le mode TDD**

Le duplexage en temps ou Time Division Duplex (TDD) ou les voies montante et descendante utilisent la même fréquence porteuse, Le partage s'effectuant dans le domaine temporel. Certains intervalles de temps de transmission sont réservés à la voie montante, tandis que les autres sont réservés à la voie descendante. Un temps de garde est nécessaire aux changements de direction de transmission, notamment pour laisser aux équipements le temps de basculer d'émission à réception. En LTE, l'intervalle de temps élémentaire pouvant être dédié à l'un des sens de transmission est appelé la sous-trame [6].

III. Structure de la trame LTE

Dans le système LTE, le partage entre voie montante et voie descendante se fait soit dans le domaine fréquentiel en mode FDD, soit dans le domaine temporel en mode TDD (Time Division Duplex). Les transmissions en voie descendante (DL) sont organisées en trames radios à la fois pour les modes TDD et FDD. La durée d'une trame radio est de 10ms. La Figure II.1 présente la structure de la trame radio pour le mode FDD. Comme illustrée sur la Figure II.1, chaque trame radio est divisée, dans le domaine temporel, en dix sous-trames de 1 ms qui sont composées de deux slots de 0.5 ms. Chaque slot comprend un nombre de symboles OFDM qui dépend du type de préfixe cyclique utilisé. Le préfixe cyclique est inséré au début de chaque symbole OFDM et permet de lutter contre l'interférence entre symboles. Il existe deux types de préfixe cyclique dans le système LTE : le type normal et le type étendu. La durée de ces préfixes cycliques varie en fonction des applications et services ciblés. Dans le domaine fréquentiel, chaque slot est organisé en blocs de ressources élémentaires (Physical Resource Block PRB). Un bloc de ressources élémentaires PRB est composé de 12 sous-porteuses espacées de 15kHz occupant donc une bande de 180kHz et de 7symboles OFDM. Le nombre de PRBs dépend de la largeur de bande du canal de transmission [9].

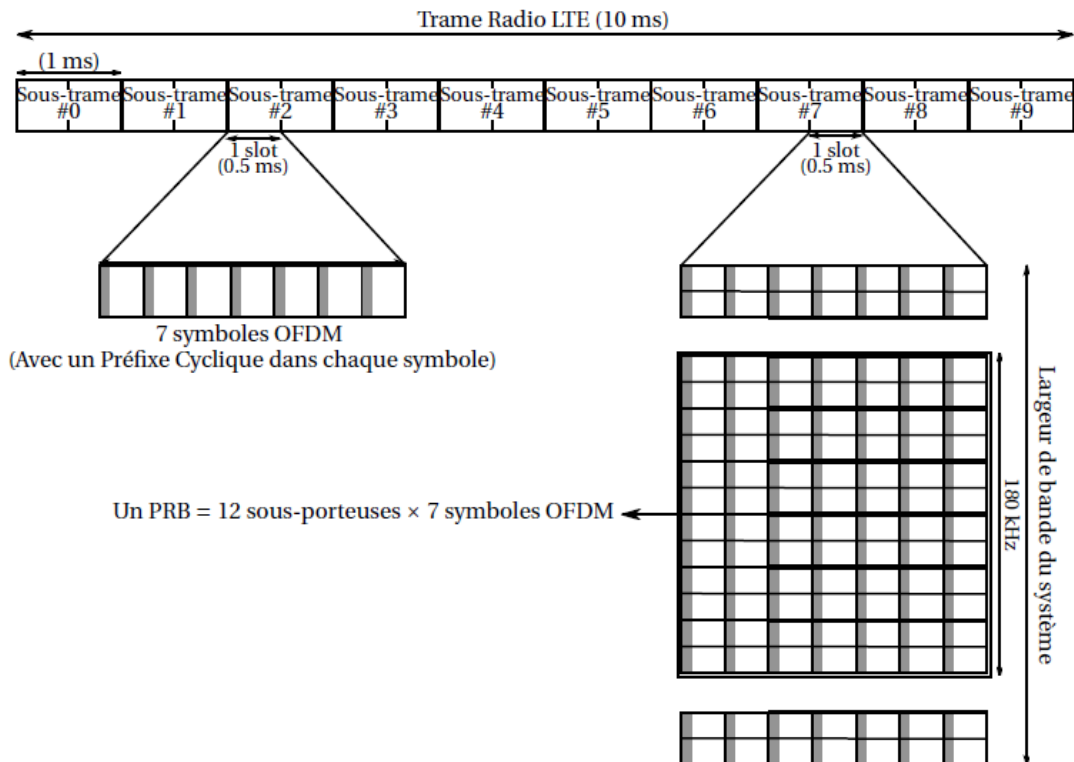


Figure II.1 : Structure de la trame LTE (mode FDD).

IV. Modulation

La modulation utilisée dans le LTE est une modulation adaptative qui varie en fonction de la distance qui sépare l'abonné de l'eNodeB. Chaque sous-porteuse est modulée à l'aide de différents niveaux de modulation : QPSK (4QAM), 16QAM, 64 QAM.

La modulation du LTE est essentiellement basée sur l'utilisation de la technologie OFDM et des technologies d'accès associées, OFDMA/SC-FDMA [10].

V. OFDM

Les systèmes de transmission multi-porteuses, tel que l'OFDM multiplexent les données sur des porteuses multiples et les transmettent en parallèle. Cette technique a été proposée comme une alternative aux systèmes mono porteuse afin de réduire les effets du canal sélectif en fréquence et fournir une transmission des données plus rapide.

L'OFDM utilise des sous-porteuses orthogonales, qui se chevauchent dans le domaine fréquentiel comme l'illustre la Figure II.3. Le fait que ces sous-porteuses sont orthogonales et qui se chevauchent, l'efficacité spectrale est très élevée par rapport au multiplexage conventionnel par

division de fréquence (FDM), qui requière des bandes de garde entre les sous-bandes adjacentes illustré par la Figure II.3.

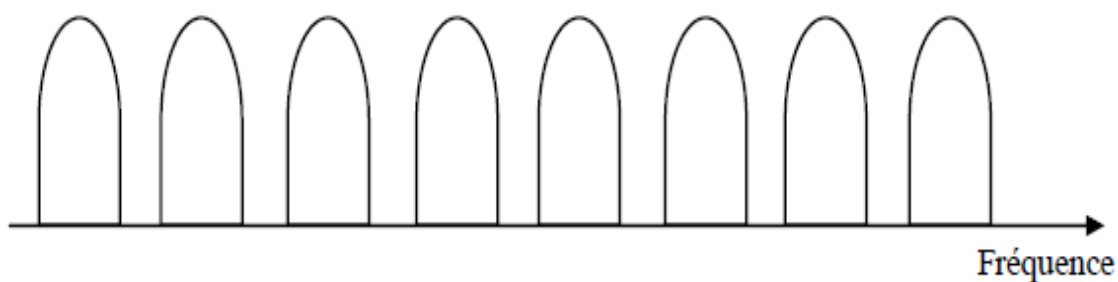


Figure II.2 : Exemple d'un spectre FDM.

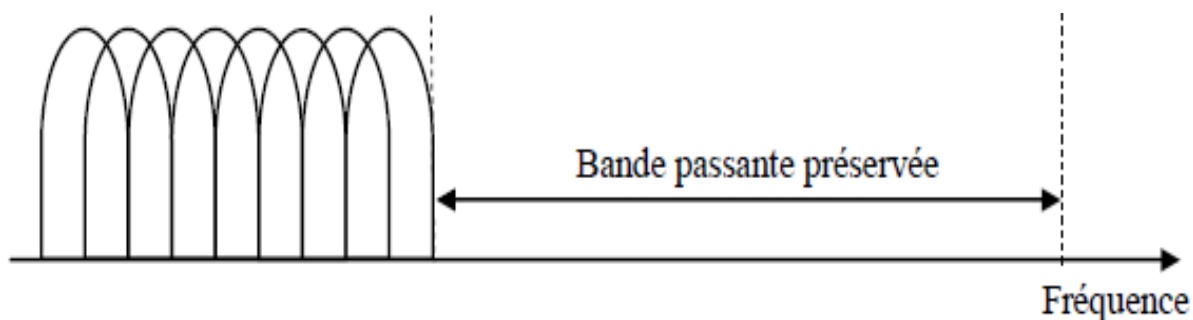


Figure II.3 : Exemple d'un spectre OFDM.

L'orthogonalité dans un système OFDM signifie qu'au maximum de chaque spectre d'une sous-porteuse, tous les spectres des autres sous-porteuses sont nuls, et les spectres des sous-porteuses se recouvrent mais demeurent orthogonaux entre eux. L'orthogonalité des sous porteuses est représentée par la Figure II.1. L'interférence entre porteuses (IEP) est causée par la perte de l'orthogonalité et donc par la présence des symboles de données d'une sous-porteuse sur les sous-porteuses adjacentes [11].

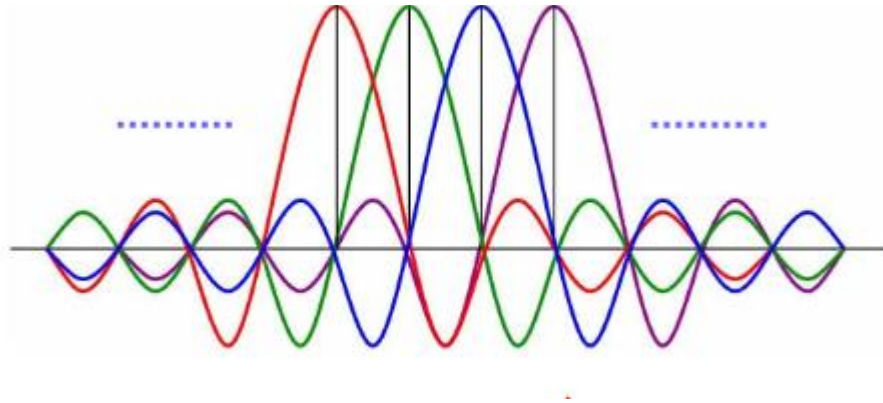


Figure II.4 : Spectre d'un signal OFDM.

V.1 Principes et fonctionnement de l'OFDM

V.1.1 Principe de modulation

Soit $\{ f_k \}$ l'ensemble des fréquences porteuses considérées avec [12] :

$$f_k = f_0 + \frac{k}{T_s} = f_0 + \Delta f \quad 0 \leq k \leq N - 1 \quad (\text{II.1})$$

Où :

f_0 : La fréquence porteuse origine.

T_s : représente la durée allouée à un symbole.

Δf : représente l'écart entre deux sous-porteuses consécutives.

N : le nombre de sous-porteuses.

Après un codage bit/symboles des données à transmettre, on groupe les symboles C_k par paquets de N (conversion série/parallèle), où $\{ C_k \}$ est un ensemble de nombres complexes prenant ses valeurs dans un alphabet fini, correspondant à une modulation donnée comme par exemple une modulation de phase ou QAM (Quadrature Amplitude Modulation) [12].

L'orthogonalité est vérifiée si : $\Delta f = \frac{1}{T_s}$

Le signal modulé du train k s'écrit sous forme complexe : $C_k e^{j2\pi f_k t}$

Le signal résultant $s(t)$ correspondant à l'ensemble des N sous porteuses réassemblés en un symbole OFDM :

$$s(t) = \sum_{k=0}^{N-1} C_k e^{j2\pi f_k t} \quad (II.2)$$

Donc :

$$s(t) = e^{j2\pi f_0 t} \sum_{k=0}^{N-1} C_k e^{j2\pi \frac{k}{T_s} t} \quad (II.3)$$

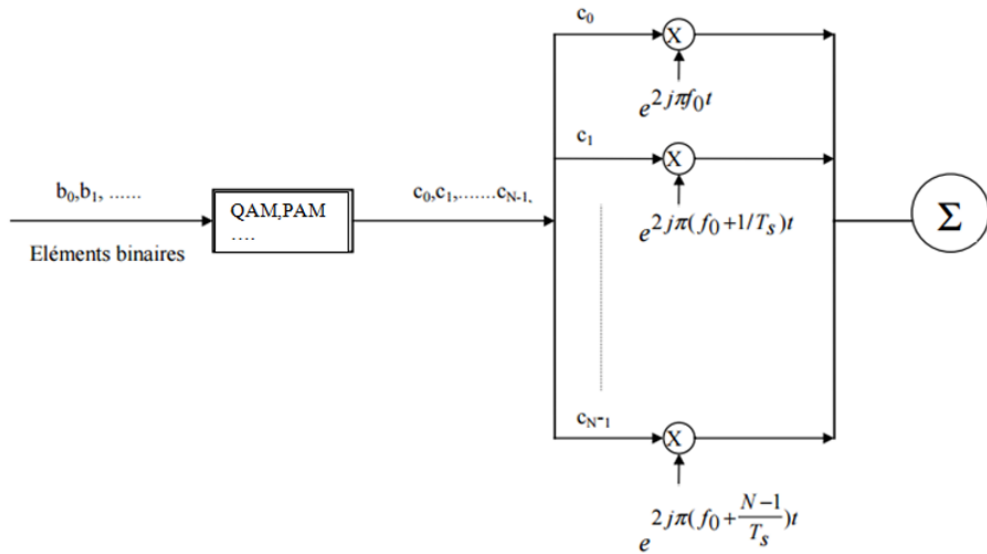


Figure II.5 : Schéma de la modulation OFDM.

V.1.2 Principe de la démodulation

Le signal parvenu au récepteur s'écrit sur une durée symbole T_s [13] :

$$y(t) = \sum_{k=0}^{N-1} C_k H_k(t) e^{j2\pi f_k t} \quad (II.4)$$

$H_k(t)$: représente la fonction de transfert du canal.

La Figure II.6 représente le principe de démodulateur :

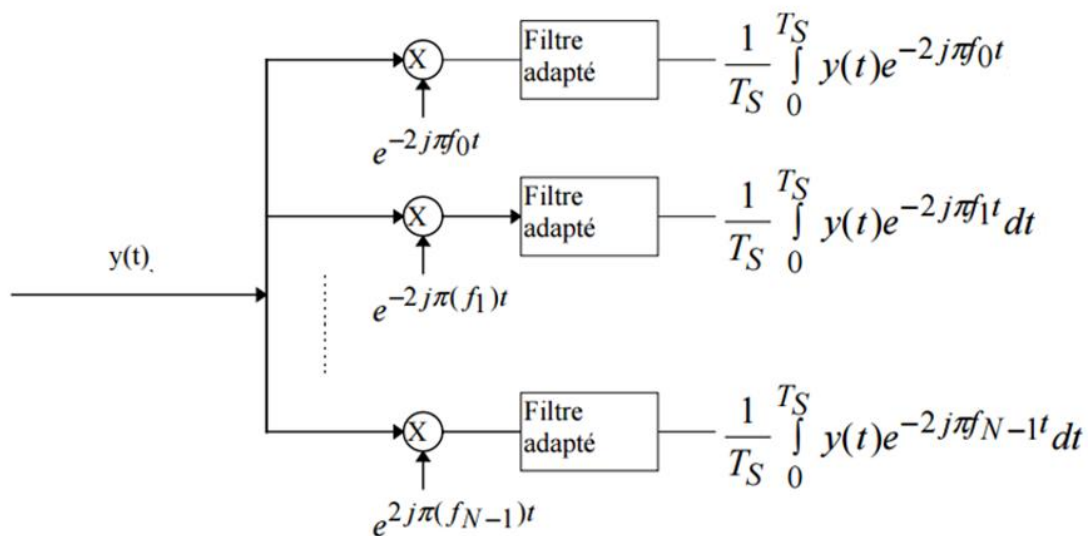


Figure II.6 : Schéma du démodulateur OFDM.

V.2 Implantation numérique du modulateur/démodulateur

En discrétisant le signal à la sortie du modulateur OFDM et en le ramenant en bande de base pour l'étude numérique on obtient s_n défini par [12] :

$$s_n = \sum_{k=0}^{N-1} C_k e^{j2\pi n \frac{k}{N}} \quad (II.5)$$

Les s_n sont donc obtenus par une transformée de Fourier inverse discrète des C_k . En choisissant le nombre de sous-porteuses N tel que $N = 2^n$, le calcul de la transformée de Fourier inverse se simplifie et peut se calculer par une simple IFFT, nous conduisant au schéma numérique suivant

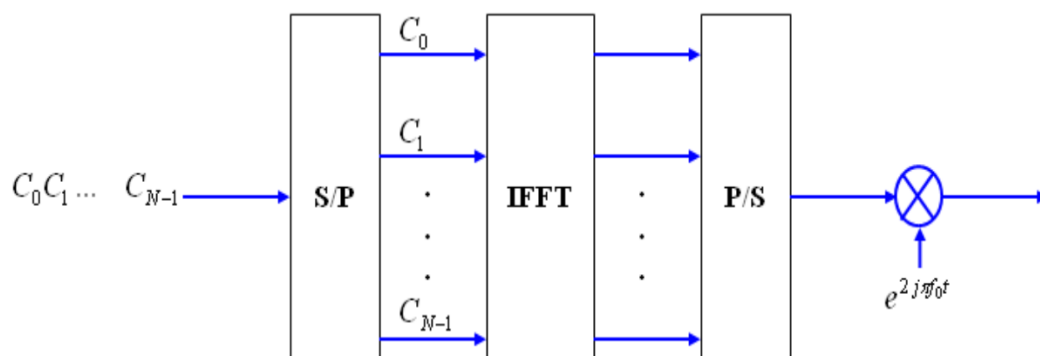


Figure II.7 : Modulateur OFDM numérique.

On définit le signal discrétisé y_n reçu en entrée du démodulateur sous la forme :

$$y_n = y\left(\frac{nT_s}{N}\right) = \sum_{K=0}^{N-1} C_k H_k e^{j2\pi n \frac{k}{N}} \quad (II.6)$$

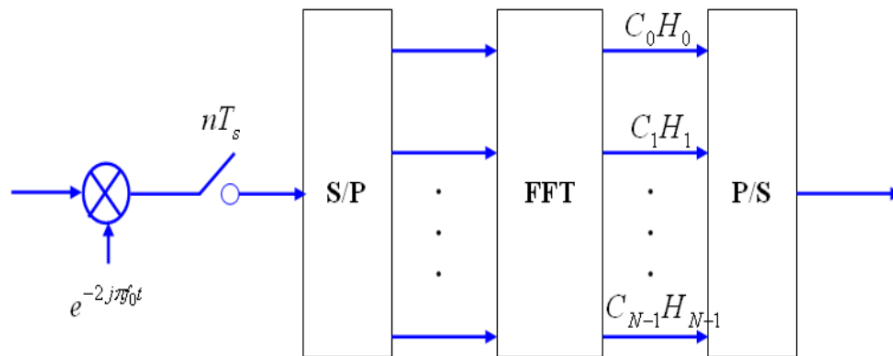


Figure II.8 : Démodulateur OFDM numérique.

LTE utilise la technique qui se base sur les systèmes d'accès multiples OFDM qui transmettent des données par blocs. Il existe deux types d'accès pour la LTE :

L'OFDMA : technique d'accès pour la voie descendante.

Le SC-FDMA : technique d'accès pour la voie montante [14].

V.3 Intervalle de garde

Une des raisons importantes pour lesquelles on utilise la modulation OFDM est sa robustesse face aux problèmes de transmission dans un environnement à trajets multiples.

Pour éliminer les interférences inter symboles (ISI), un intervalle de garde est rajouté pour chaque symbole OFDM. On choisit la durée de l'intervalle de garde de telle sorte qu'elle soit supérieure par rapport à une durée de retard maximal causé par les phénomènes de propagation à trajets multiples et qu'un symbole ne puisse pas interférer avec le prochain symbole [15].

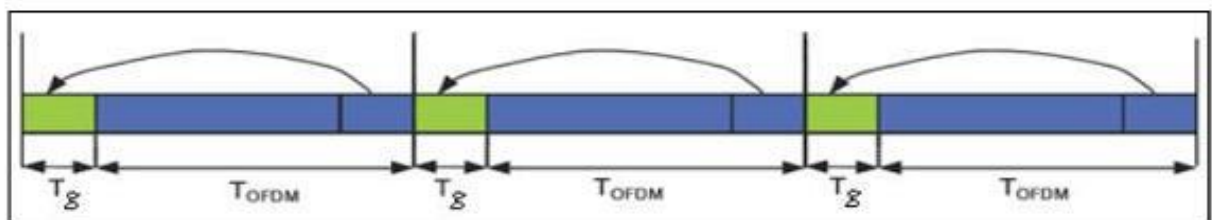


Figure II.9 : Insertion du préfixe cyclique.

La figure II.9 illustre l'insertion d'un intervalle de garde dans un symbole OFDM. Les échantillons ajoutés au début du symbole pour former un intervalle de garde est la copie exacte des derniers échantillons du symbole OFDM. L'avantage de cette recopie est que chaque signal, issu d'un trajet multiple, possédera toujours un nombre entier de sinusoides sur la durée d'une trame OFDM sans son préfixe. Si le préfixe inséré au début d'une trame OFDM est muet (sans aucun signal), des interférences entre sous canaux (ICI) vont se produire. Afin d'éviter ces interférences, le préfixe ne doit pas être muet, mais être la recopie des derniers symboles de la trame OFDM. Dans le domaine fréquentiel, la sommation des signaux de la sous-porteuse issus des divers trajets ne détruira pas l'orthogonalité des sous-porteuses, elle introduira seulement un léger déphasage. Les interférences ISI se produisent lorsque le retard relatif est plus long que l'intervalle de garde. La durée du symbole OFDM transmis peut-être représentée comme suit [15] :

$$T_s = T_g + T_u \quad (II.7)$$

T_g : Durée de l'intervalle de garde

T_u : Durée du symbole OFDM après l'IFFT

VI. OFDMA

L'OFDMA est une technique qui dérive de l'OFDM en utilisant le même principe de division de la bande passante en plusieurs sous-porteuses.

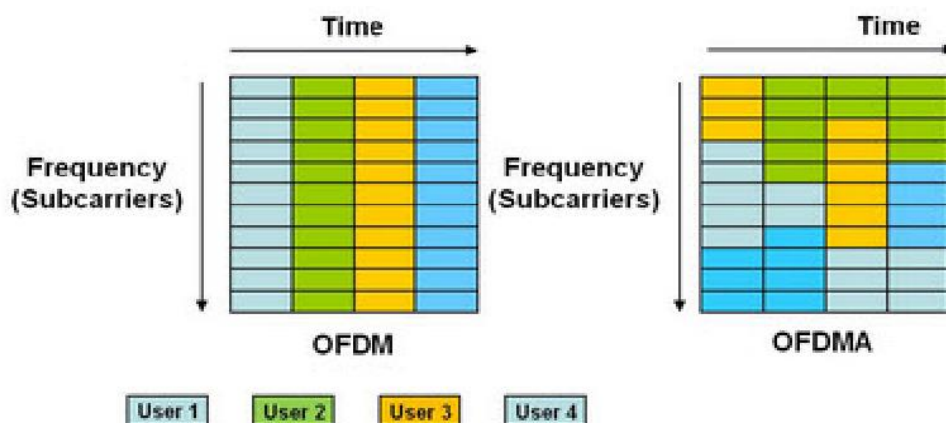


Figure II.10 : Différence entre OFDM et OFDMA.

L'OFDM peut servir un usager dans un intervalle de temps, par contre OFDMA elle peut être servir plusieurs usagers dans un même intervalle de temps, comme montrer dans la figure ci-dessus.

Le principe de l'OFDMA est de répartir sur un grand nombre de sous-porteuses le signal numérique que l'on veut transmettre ce qui permet, pour un même débit global, d'avoir sur chaque canal un débit plus faible et donc un temps d'émission de chaque symbole plus long (66.7 μ s pour le LTE) ; cela limite les problèmes d'interférences inter-symboles et de fading liés aux « chemins multiples de propagation » qui existent dans les liaisons radio de moyenne et longue portée.

Le symbole OFDMA est divisé en des sous-canaux (subchannels) logiques afin d'attribuer les ressources radio aux utilisateurs d'une manière dynamique, de supporter l'accès multiple, et pour une meilleure adaptation aux techniques avancées des antennes [8].

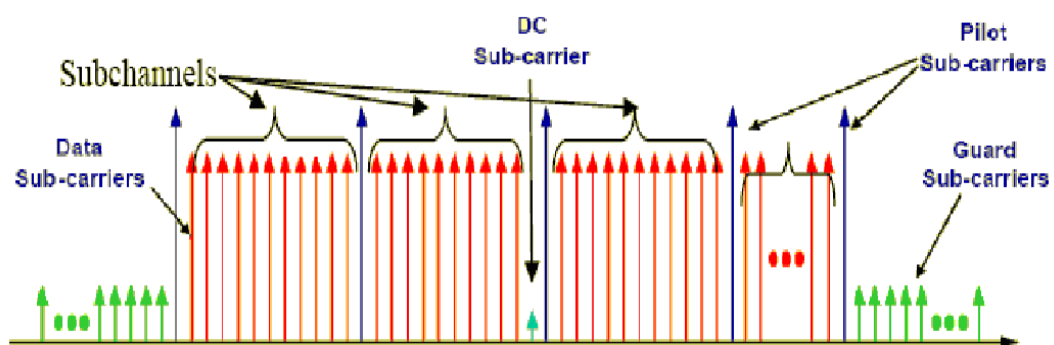


Figure II.11 : Description fréquentielle de l'OFDMA.

Pour le Downlink on dispose de deux modes d'utilisation des subchannels :

- FUSC (Full Usage of Subchannels) : tous les subchannels sont attribués à l'émetteur, dans ce mode on attribue d'abord les porteuses nulles de la bande de garde et les pilotes, ensuite on fait la partition des porteuses restantes en des subchannels, cela signifie qu'on a un seul ensemble des pilotes commun à toutes les porteuses du symbole.
- PUSC (Partial Usage of Subchannels) : quelques subchannels sont attribués à l'émetteur. Dans ce mode la partition se fait de la façon suivante : d'abord on fait attribuer les porteuses nulles de la bande de garde, ensuite on fait la partition des sous porteuses restantes en des subchannels (permutation), et dans chaque subchannel on fait l'attribution des pilotes et

des porteuses des données, cela signifie que chaque subchannel a son propre ensemble de porteuses pilotes [8].

VII. SC-FDMA

Le SC-FDMA (Single Carrier Frequency Division Multiple Accès), est une technique d'accès multiple qui combine la technique de transmission mono porteuse SC-FDE et une allocation de ressource radio par répartition de fréquences FDMA. Il a été proposé dans le cadre de la norme 3GPP LTE des réseaux cellulaires pour les communications à voix montante, c'est à dire des téléphones portables MS aux BS. Ce système d'accès multiple est très proche du système OFDMA et possède par conséquent des performances similaires à ce dernier. Son principal avantage est son faible PAPR (Peak to Average Power Ratio) très bénéfique pour la réduction de la consommation énergétique des mobiles. Par conséquent, il est adopté pour la voix montante de la norme 3GPP LTE de 2008 à la place de l'OFDMA [11].

On utilise la DFT-spread-OFDMA (transformé de Fourier) pour la génération de signal SC-FDMA. Pour la DFT-s-OFDMA, une DFT de taille Q (Q étant le nombre de sous-porteuses) est appliqué d'abord au bloc de modulation. Son rôle est la transformation des symboles en domaine fréquentiel.

Le traitement dans le bloc N -point IDFT reste le même comme dans l'OFDMA suivie par la conversion Parallèle- série et une addition de cyclic prefix. Le traitement DFT est donc la différence principale entre la génération des signaux SC-FDMA et OFDMA. Dans la technique SC-FDMA, chaque sous -porteuse est utilisée pour la transmission d'information relative aux symboles modulés transmis. En effet à la sortie de la DFT les informations sont toutes transmises directement aux sous-porteuses contrairement au cas OFDMA où ce sont les symboles modulés eux même qui seront transmis. La Transmission LTE Uplink sera expliquée de manière suivante [16].

VII.1 Émetteur SC-FDMA

D'après ce que nous venons de voir avec SC-FDMA un étage supplémentaire 'Q-point DFT' est donc ajouté à l'émetteur et un étage N -point IDFT au récepteur. A L'entrée de l'émetteur on aura des symboles modulés.

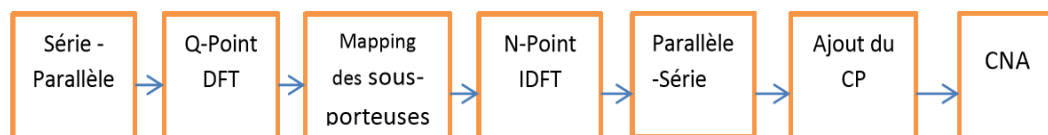


Figure II.12 : Schéma bloc d'émetteur SC-FDMA.

En SC-FDMA les données sont organisées en constellation de signal suivant les différentes modulations QPSK, 16-QAM et 64-QAM. Elles sont attribuées aux canaux avec des conditions similaires à l'OFDMA. Cependant au lieu d'envoyer les symboles préalablement modulés en (QPSK ou QAM) directement vers les sous-porteuses comme dans l'OFDMA, les symboles ici, passent après la conversion série- parallèle au bloc DFT qui les transforme en domaine fréquentiel. A sa sortie ces symboles seront modulés aux sous-porteuses par le bloc « Mapping des sous porteuses ». Après cette affectation les sous porteuses modulées, étant dans le domaine fréquentiel seront convertis en domaine temporel via le bloc IDFT. Les autres blocs suivront les opérations similaires à l'OFDMA. Dans le multiplexage SC-FDMA les signaux sont représentés par des sous-porteuses discrète d'où l'appellation SC pour Single Carrier. Contrairement à l'OFDMA les sous-porteuses SC-FDMA ne sont pas modulées indépendamment mais globalement. L'allocation de la sous-porteuse (ressources) joue un rôle important en SC-FDMA [16].

VII.2 Allocation des ressources radio dans le système SC-FDMA

Dans la modulation SC-FDMA, le multiplexage des utilisateurs du système est effectué dans le domaine fréquentiel. Pour supporter un grand nombre d'utilisateurs simultanés, le système utilise la technique de l'étalement spectral permettant d'augmenter la ressource spectrale à partager. Ainsi chaque utilisateur se voit alloué une portion de la largeur de bande totale du système, de manière à éviter toute interférence avec un autre utilisateur. Deux modes d'allocations de ressources existent pour cette modulation : Il s'agit du mode distribué et du mode localisé [11].

- **Allocation de ressource en mode distribué**

Dans le mode distribué les symboles fréquents, correspondant à la sortie du modulateur DFT de l'émetteur, viennent moduler un multiplex de sous-porteuses régulièrement réparties sur toute la largeur de la bande passante du système comme l'illustre la Figure II.13. Les

sous-porteuses non modulées sont affectées à des signaux nuls. La modulation SC-FDMA qui utilise ce mode d'allocation est appelée I-FDMA ou (Interleaved-FDMA). L'I-FDMA comporte plusieurs avantages. Il permet d'une part de garantir l'orthogonalité entre les différents utilisateurs du système, mais possède également une grande diversité fréquentielle du fait de la répartition des porteuses modulées sur toute la bande passante. Cette technique est aussi très intéressante du point de vu implémentation. Ce signal peut être généré dans le domaine temporel sans utilisation des modulateurs DFT et IDFT grâce à une simple compression et répétition du signal source à transmettre avec un déphasage propre à chaque utilisateur. Par contre le système I-FDMA est très sensible aux offsets des fréquences qui sont souvent introduits par une mauvaise synchronisation ou une forte mobilité causant ainsi une perte d'orthogonalité entre les utilisateurs [11].

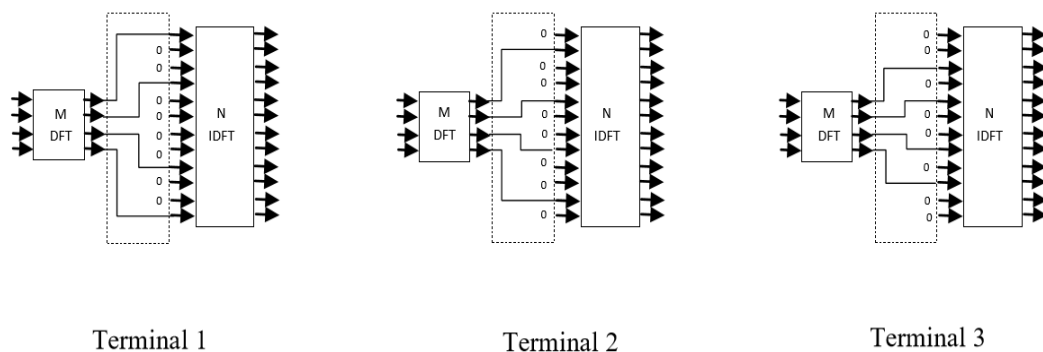


Figure II.13 : Le Mapping I-FDMA.

Le spectre du signal ISC-FDMA est donné par la Figure II.14.

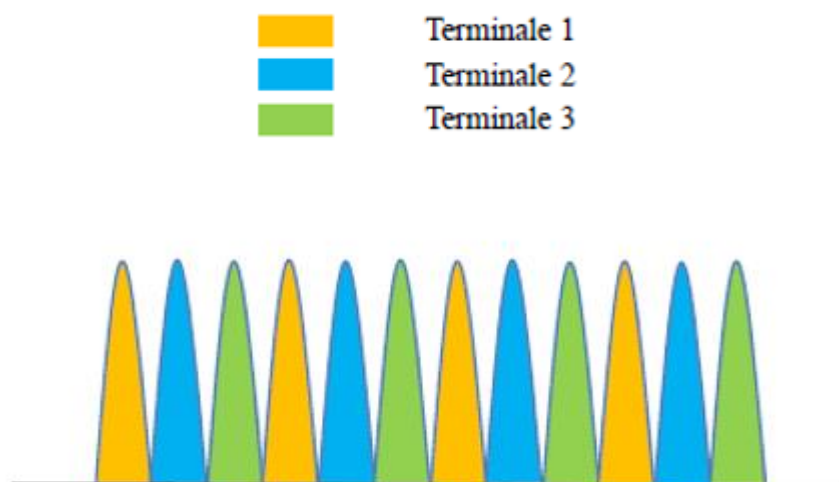


Figure II.14 : Spectre du signal ISC-FDMA au récepteur [16].

• Allocation de ressource en mode localisé

L'autre mode d'allocation de ressources utilisé dans la modulation SC-FDMA est beaucoup plus robuste et a été adopté pour la voix montante de la norme LTE. Il s'agit du mode localisé qui donne son nom au système L-FDMA ou (Localized FDMA). Cette fois-ci les symboles fréquentiels correspondant à la sortie du modulateur DFT, viennent moduler un multiplexe de sous porteuses contigües ; les autres sous porteuses non modulées étant affectées à des signaux nuls comme l'illustre la Figure II.15. Les sous porteuses n'étant plus réparties sur toute la bande du système, on perd en diversité fréquentielle. Par contre le système est plus robuste à l'offset de fréquence en garantissant dans ce cas l'orthogonalité des signaux des différents utilisateurs [11].

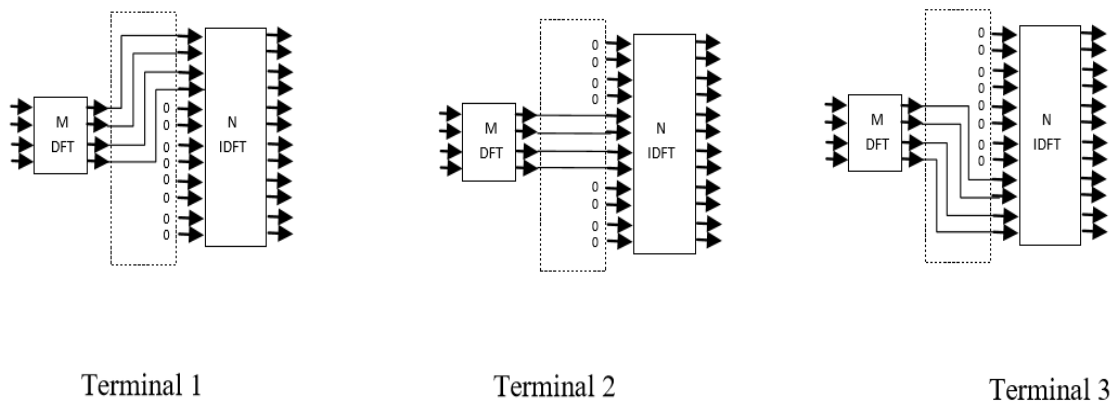


Figure II.15 : Le Mapping L-FDMA.

Le spectre du signal LSC-FDMA est donné par la Figure II.16.

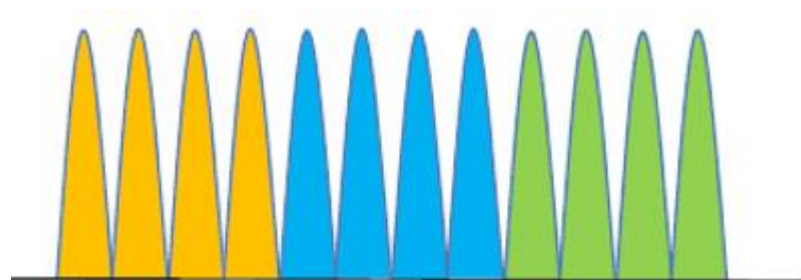


Figure II.16 : Spectre du signal LSC-FDMA au récepteur.

VII.3 Récepteur SC-FDMA

Encore ici tout est quasiment pareil à l'OFDMA mais avec les blocs supplémentaires de « demapping des sous-porteuses » et IDFT. La réallocation des Q sous-porteuses attribués permet d'obtenir N_{signaux} discrets. A la fin de l'IDFT on obtient les signaux SC-FDMA [16].

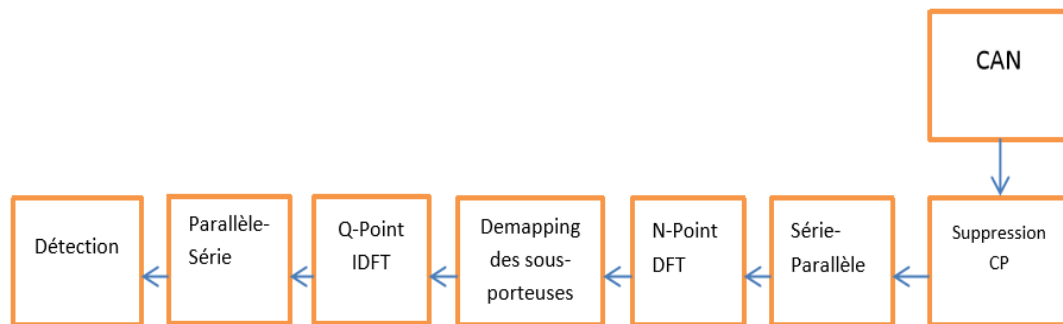


Figure II.17 : SC-FDMA au Récepteur.

VIII. Conclusion

Ce chapitre nous a permis d'exposer les différentes techniques d'accès multiple utilisées dans le réseau LTE. Nous avons présenté la technique OFDM, sa propriété d'orthogonalité et son principe de modulation/démodulation. Puis, nous avons décrit la technique OFDMA et la différence entre l'OFDM et l'OFDMA.

Enfin, nous avons terminé par la technique SC-FDMA, où on a s'intéressé à étudier son principe et ses propriétés « émetteur et récepteur SC-FDMA ».



Chapitre III

Dimensionnement d'un réseau LTE

I. Introduction

Le dimensionnement d'un réseau est la première étape du processus global de la planification, permettant une première évaluation rapide de la densité et de la configuration des sites requis, de la capacité offerte des éléments du réseau à planifier et de la couverture à estimer conjointement avec la capacité. Le but d'un opérateur de télécommunication est d'offrir des services de voix et de données au public, les communications pouvant se faire n'importe où dans la zone de couverture et n'importe quand. La planification des réseaux cellulaires ne fait pas partie du standard, mais ceci ne contredit pas son intérêt fondamental, comme étant une phase très importante dans le cycle de vie de tout réseau. Du fait, un opérateur doit se focaliser sur la planification, avant la mise en œuvre de son réseau, dans le but d'optimiser le coût de déploiement et devenir plus concurrent dans le marché [17].

L'objectif de ce chapitre est l'étude de concept de planification radio et le dimensionnement du réseau LTE en fonction de la couverture, capacité, et la qualité de service.

II. Processus de Dimensionnement

La première étape de la mise en place du réseau LTE est le dimensionnement qui est donc la phase initiale de planification du réseau. Il fournit une première estimation du nombre d'éléments nécessaires au réseau ainsi que leurs capacités. L'outil de dimensionnement doit pouvoir fournir des résultats avec un excellent niveau de précision, lorsqu'il est paramétré avec toutes les données nécessaires. Le processus de dimensionnement est directement lié à la qualité et l'efficacité du réseau qui en cas de mal conception peut affecter profondément son développement. Le dimensionnement des eNodeB est donc la partie la plus délicate.

La première partie tient compte des exigences de la couverture et la deuxième tient compte des exigences de la capacité pour aboutir au rayon de chaque cellule et le nombre de site nécessaires pour suffire aux exigences de qualités.

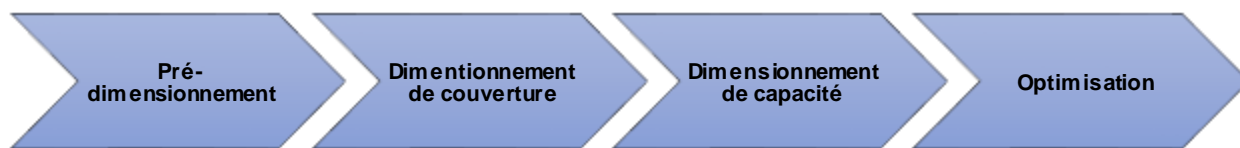


Figure III.1 : Processus de dimensionnement.

Comme montre la Figure ci-dessus, le processus de dimensionnement comporte 4 étapes [10] :

- **Pré-dimensionnement**

Nécessite la collecte des informations qui portent sur la zone de déploiement comme par exemple :

- Les informations (en détail) sur l'eNodeB et l'UE.
- Les informations sur la zone de déploiement (superficie, informations démographiques, données météorologiques etc.).
- Les données géographiques : cartographie, population, zone à couvrir et taux d'abonnés dans cette zone (trafic offert, services demandés etc.).
- Les services à offrir.
- La liste de sites : identifier clairement les lieux pour placer les eNodeB [18].

- **Dimensionnement de couverture**

Le dimensionnement de couverture est une phase très importante. 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.

- **Dimensionnement de capacité**

Le dimensionnement de capacité permet d'évaluer le nombre de sites nécessaires, pouvant supporter la charge demandée selon le résultat du dimensionnement par couverture, sinon de nouveaux sites doivent être ajoutés [10].

- **Optimisation**

C'est l'étape finale de la planification qui consiste à comparer les deux résultats obtenus et prendre le nombre de sites le plus grand. Toutefois, ces nombres de sites doivent être voisins, dans le cas contraire, il est nécessaire de reprendre les calculs au début car le but est d'avoir un résultat cohérent à moindre coût.

III. Dimensionnement de couverture

Le dimensionnement de la couverture d'un réseau consiste à déterminer le nombre des sites nécessaire pour couvrir une zone donnée. On va se baser sur le bilan de liaisons (RLB : Radio Link Budget), qui permet d'estimer le taux perte du trajet (Path Loss). Pour cela, il est nécessaire de choisir un modèle de propagation approprié [19].

III.1 Bilan de liaison Radio RLB

Le bilan de liaison permet de calculer les pertes de propagation maximale admissible notée MAPL (Maximum Allowable Power Losses) pour un mobile situé au bord de la cellule qui peut l'atteindre tout en gardant le niveau de sensibilité de la station de base. Il permet de prédire le rayon de couverture de la cellule en se basant sur la fréquence de fonctionnement, le modèle de propagation et les paramètres de l'émetteur (Tx) et du récepteur.

En effet, il s'agit d'additionner tous les éléments du gain (augmentation) ou de perte (diminution) dans la puissance du signal radio entre chaque extrémité. Ce bilan est nécessaire pour savoir si deux noeuds peuvent communiquer entre eux. Il dépend en particulier du type de l'eNodeB, de l'environnement radio et du modèle de propagation entre l'émetteur et le récepteur. Pour le LTE, l'équation RLB de base peut être écrite comme suit (en dB) [6] :

$$\mathbf{PathLoss = TxPower + TxGain - TxLosses - Req SINR + RxGains - RxLosses - RxNoise}$$

Avec :

-PathLoss : Perte de trajet totale rencontré par le signal envoyé de l'émetteur au récepteur (dB).

-Tx Power dB : La puissance transmise par l'antenne d'émission (43-49dBm).

-Tx Gains dB : Gain de l'antenne d'émission (dBi).

-TxLosses dB : Les pertes de l'émetteur (dB).

-Req **SINR** : Minimum de SINR requis (dB).

-**Rx Gains dB** : Gain de l'antenne de réception (dB).

-**RxLosses dB** : Les pertes de réception (dB).

-**Rx Noise dB** : Bruit de réception (dB) [20].

Dans le cas d'un affaiblissement de parcours maximal, la puissance reçue devient donc la sensibilité du récepteur. La différence entre la puissance de l'émetteur et la sensibilité de récepteur donne l'affaiblissement maximum qu'on peut tolérer, il est calculé de la manière suivante [6] :

$$\text{MAPL} = \text{Pire} - \text{IM} + \text{RXg} - \text{K} + \text{SHG} - \text{RX} \quad (\text{III.1})$$

Avec :

- **MAPL (Maximum Allowed Path Loss)** : L'affaiblissement maximal de parcours, exprimé en dB. C'est le paramètre qu'on veut déterminer à travers l'établissement d'un bilan de liaison.

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

$$\text{PIRE} = \text{PTx} + \text{GTx} - \text{LTx} \quad (\text{III.2})$$

- **IM** : Marge d'interférence.

- **RXg** : Gain d'antenne de réception.

- **K** : Perte de câble - SHG = Gain de soft handover.

- **RX** : Sensibilité de réception [19].

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

-**GTx** : Gain de l'antenne de l'eNodeB.

-**LTx** : Ensemble des pertes d'alimentation entre l'eNodeB et le connecteur d'antenne.

III.2 Modèle de propagation

Le modèle de propagation est une procédure essentielle au début du déploiement du réseau. L'interface radio qui est le support entre les terminaux et les 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 [4]. :

- 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.

Ces modèles ne prédisent pas avec exactitude le comportement de la liaison radio, mais le comportement le plus probable. Ils sont utilisés pour prédire le rayon de la cellule à partir de la perte de trajet maximale autorisée [21].

III.2.1 Le modèle Okumura-Hata

Le modèle empirique le plus connu est l'Okumura HATA MODEL. Il est basé sur les mesures d'Okumura prises dans la région de Tokyo au Japon. Ce modèle prend en considération plusieurs facteurs, essentiellement la nature de l'environnement en spécifiant son degré d'urbanisation (urbain dense, urbain, sous urbain, rural) [21].

Le modèle de Hata a été adopté pour les limites suivantes [4] :

- Fréquence (f) : 150 à 1000MHZ.
- Hauteur de la station de base (hb) : 10 à 200m.
- Hauteur du terminal mobile (hm) : 1 à 10m.
- Distance (d) : 1 à 20 km.
- L'affaiblissement L0.

Le calcul de l'affaiblissement en espace libre et ajouter un facteur d'atténuation selon le degré d'urbanisation. Les conditions de validité de ce modèle sont récapitulées ci-dessous [26] :

$$L_0 = 69.55 + 26.16 \times \log_{10}(f) - 13.82 \times \log_{10}(h_b) + [44.9 - 6.55 \times \log_{10}(h_b)] \times \log_{10}(d) \quad (\text{III.3})$$

- Pour un environnement urbain, l'affaiblissement de parcours (Path Loss) a pour expression :

$$L_{\text{Urbain}} = L_0 - a(h_m) \quad (\text{III.4})$$

Tel que [26] :

$$a(h_m) = (1.1 \times \log(f) - 0.7) \times h_m - [1.56 \times \log(f) - 0.8] \quad (\text{III.5})$$

$$L_U = 69.55 + 26.16 \times \log_{10}(f) - 13.82 \times \log_{10}(h_b) - a(h_m) + [44.9 - 6.55 \times \log_{10}(h_b)] * \log_{10}(d) \quad (\text{III.6})$$

- Pour un environnement urbain dense, l'expression de l'affaiblissement de parcours s'écrit [26] :

$$L_{Ud} = 69.55 + 26.16 \times \log_{10}(f) - 13.82 \times \log_{10}(h_b) - a(h_m) + [44.9 - 6.55 \times \log_{10}(h_b)] \times \log_{10}(d) \quad (\text{III.7})$$

Tel que [26] :

$$a(h_m) = 8.29 \times [\log_{10}(1.54 \times h_m)]^2 - 1.1 \quad \text{Pour } f \leq 200 \text{ MHz}$$

$$a(h_m) = 3.2 \times [\log_{10}(11.75 \times h_m)]^2 - 4.9 \quad \text{Pour } f \leq 400 \text{ MHz}$$

- Pour un environnement sous urbain, les pertes ont pour expression :

$$L_{SU} = -2[\log_{10}(\frac{f}{28})^2] - 5.4 \quad (\text{III.8})$$

- Pour un environnement rural, les pertes ont pour expression :

$$L_R = L_U - 4.78 [\log_{10}(f)]^2 + 18.33 \times \log_{10}(f) - \alpha \quad (\text{III.9})$$

Avec :

$\alpha=35.94$, pour un environnement quasi-ouvert.

$\alpha=40.94$, pour un environnement ouvert [22].

III.2.2 Le modèle COST 231-Hata

Le modèle Okumura-Hata opère uniquement pour une plage de fréquence inférieure à 1000 MHz, le groupe COST 231 a proposé de modifier ce modèle pour créer un autre opérant sur la bande 1500-2000 MHz dans les zones urbaines puis l'ajuster, en ajoutant des termes correctifs pour tous les autres environnements (sous urbain, urbain dense et rural) [21].

L'affaiblissement selon ce modèle est donné par les équations suivantes :

- Pour un environnement urbain [26] :

$$L_U = 46.3 + 33.9 \times \log_{10}(f) - 13.82 \times \log_{10}(h_b) - a(h_m) + [44.9 - 6.55 \times \log_{10}(h_b)] \times \log_{10}(d) \quad (\text{III.10})$$

Avec [26] :

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

- Pour un environnement urbain dense [26] :

$$L_{Ud} = 46.3 + 33.9 \times \log_{10}(f) - 13.82 \times \log_{10}(h_b) - a(h_m) + (44.9 - 6.55 \times \log_{10}(h_b)) \times \log_{10}(d) + 3 \quad (\text{III.12})$$

- Pour un environnement sous urbain :

$$L_{SU} = L_U - 2[\log_{10}(\frac{f}{28})^2] - 5.4 \quad (\text{III.13})$$

- Pour un environnement rural :

$$L_R = L_U - 4.78 [\log_{10}(f)]^2 + 18.33 \times \log_{10}(f) - \alpha \quad (\text{III.14})$$

Avec :

$\alpha=35.94$, pour un environnement quasi-ouvert

$\alpha=40.94$, pour un environnement ouvert

III.3 Calcul de la couverture pour les liaisons montantes (Uplink)

La plupart des systèmes de téléphonie mobile sont souvent limités par la liaison montante (Uplink), Il est donc utile de commencer les calculs de bilan de liaison avec les exigences de couverture de liaison montante.

Voici les étapes effectuées pour calculer la couverture en UL [18]. :

- Débit requis.
- SINR requis au récepteur.
- Sensibilité réceptrice eNodeB.
- Bruit Uplink (marge d'interférence).
- Bilan de liaison.

III.3.1 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.

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 [20] :

$$D_{req.Rb} = \frac{D_{req}}{N_{Rb}} \quad (III.15)$$

Le nombre **NRB** peut être choisi librement mais dans les limites de la bande passante.

- Avec un petit **NRB**, le débit binaire requis peut être satisfait avec un minimum de ressources. Ce qui de maximiser la capacité des autres utilisateurs.
- Avec un grand **NRB**, les blocs transmis sont repartis sur un intervalle de Fréquence, avec un moins d'énergie utilisée par le bloc.

III.3.2 SINR requis

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. Il s'exprime comme suit [4] :

$$\text{SINR} = \frac{\text{Puissance du signal}}{\text{Puissance d'interférence} + \text{Puissance du bruit}} \quad (\text{III.16})$$

$$\text{SINR}_{req} = 10 \log (\text{SINR}) \quad (\text{III.17})$$

III.3.3 Sensibilité eNodeB (récepteur)

La sensibilité des eNodeB, est la puissance du signal que le récepteur doit recevoir pour Réaliser une performance spécifique en absence des interférences intercellulaires. C'est le Niveau de signal minimum pour éviter les coupures radio [10].

$$S_{eNB} = N_t + N_f + 10 \log (W_{RB}) + \gamma = N_{RB,UL} + \gamma [\text{dBm}] \quad (\text{III.18})$$

Avec :

- N_t : Densité de puissance de bruit thermique -174 dB m / Hz
- N_f : Le facteur de bruit qui est le rapport du signal d'entrée sur bruit pour déterminer les performances d'amplificateur.
- W_{RB} : Bande passante par bloc de ressources : 180 kHz.
- SINR γ : rapport signal sur interférence et bruit de l'uplink
- $N_{RB,UL}$: Bruit thermique par bloc de ressource pour les uplink.

III.3.4 Les marges de bruit

On ne peut pas calculer l'affaiblissement de trajet maximum sans calculer les marges de bruit, qui correspondent à l'environnement radio, pour éviter le phénomène « SwissCheese » (surface avec trous de couverture).

- **Marges de pénétration** : Perte de pénétration est l'atténuation du signal due à la pénétration aux bâtiments. Elle dépend du type de zone, comme indique le Tableau.

Tableau III.1 : Pertes de la pénétration.

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

Cette marge dépend essentiellement de trois facteurs :

- La fréquence du signal : Les pertes varient selon la fréquence du signal.
 - Le type des bâtiments : Essentiellement le matériel de construction (Brique, Bois, Pierre, verre, ...)
 - La structure des bâtiments : densité et épaisseur des murs, nombre et dimensions des Fenêtres.
- **Perte de types de signal (Body) :** Le Tableau III.2 montre le taux de perte pour un signal vocal. C'est l'affaiblissement dû à l'absorption d'une partie de l'énergie transmise par le corps humain (seulement pour le Service vocal).

Tableau III.2 : Pertes selon type de signal

Type de signal	Perte (dB)
VOIP	3
Données	0

- **Marge de Shadowing :** C'est l'effet masque, les variations du signal due à l'obstacle qui existe dans le milieu de Propagation. Les mesures réelles du terrain ont montré que l'effet de masque est une valeur Aléatoire Log Normale (Logarithme est une variable aléatoire Gaussienne), qui dépend de :

- Probabilité de couverture zone : densité de l'environnement.
- Standard de déviation.

Tableau III.3 : Marge de shadowing

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

- **Evanouissement rapide**

Perte de Rayleigh : c'est l'effet de Multi-trajet apparaît lorsque le signal émis passe par des Chemins différents, et donc le récepteur reçoit le même signal à partir des chemins différents. Notant que le marge d'évanouissement Rapide = 1, 2 dB.

- **Marges des lignes d'alimentation (Feeder)**

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

La Figure ci-dessous montre les connexions typiques du système d'alimentation de l'antenne dans une station de base :

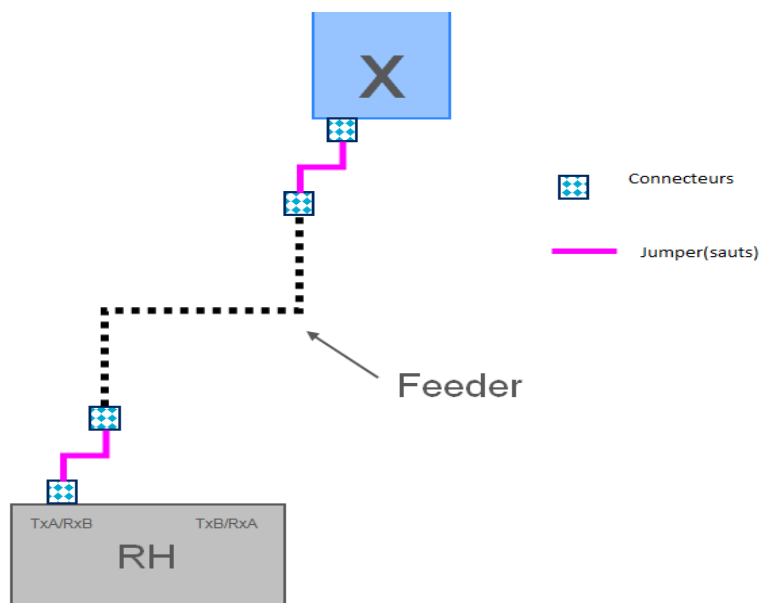


Figure III.2 : Connexions du système d'alimentation de l'antenne.

La formule de calcul de la perte de la ligne est la suivante :

- Length feeder = Base station height + 5m
- Perte Feeder (dB) = Feeder loss/100m × Feeder length/100m
- Perte de Jumper = 1/2 cm feeder × nbre de cavaliers (jumpers)
- Perte de connecteurs = nbre de cavaliers (jumpers) × 2 × 0.1 dB

Le Tableau III.4 illustre les pertes de feeder (ligne d'alimentation)

Tableau III. 4 : Pertes de ligne d'alimentation.

Type 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

- **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. Une marge d'interférence sera introduite dans le bilan de liaison pour Compenser l'augmentation du bruit et maintenir l'équilibre [23].

Avec :

- **Qul** : facteur de charge du système de liaison montante.
- **F** : facteur d'interférence cellulaire avec la cellule en service.

III.4 Bilan de liaison en Uplink

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

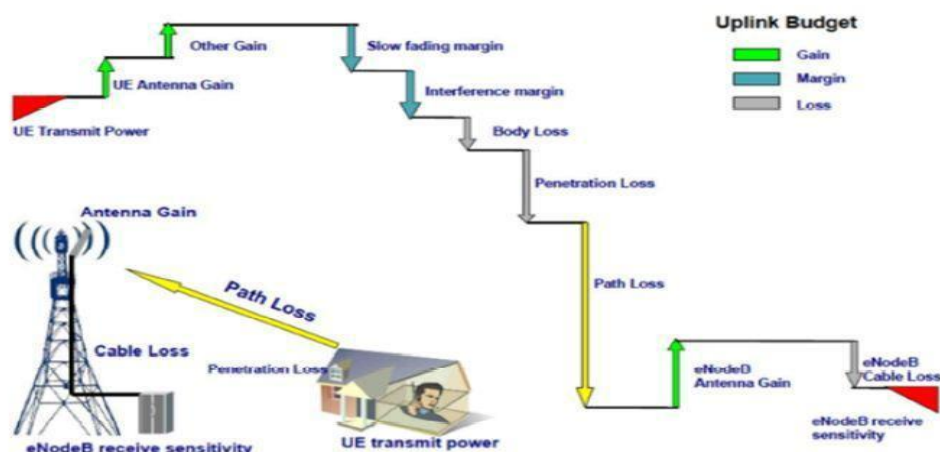


Figure III.3 : Modèle bilan de liaison en uplink.

Son équation est la suivante :

$$L_{pmax} = P_{UE, RB} - S_{eNB} - \text{perte}_{marges} + G_a - L_j + TMA_{gain} \quad (III.19)$$

Avec :

- L_{pmax} : perte maximum de trajet autorisée pour la propagation dans l'air [dB].
- Perte : perte pénétration voiture + perte de pénétration du bâtiment (L_{bp}) + perte de corps (L_b) + BLNF+BIUL.
- $TMA_{gain} = 2$ dB gains ou 5 dB pour MIMO.

- Perte pénétration voiture= 6dB.
- BLNF : log-normale marge d'évanouissement [dB].
- G_a : Somme des gains de l'eNodeB, et gain d'antenne de l'équipement utilisateur [dBi].
- L_j : perte des Jumpers et connecteurs d'antenne [dB] [20].

III.5 Calcul de la couverture pour les Downlink

Le bilan de liaison pour les Downlink est calculée pour :

- Déterminer les limites du lien.
- Déterminer le débit binaire supporté par les liens descendants.

Les calculs sont effectués selon les étapes suivantes :

- Perte de trajets (Downlink)
- Débit requis
- Puissance par bloc de ressources
- Marge d'interférence
- Bilan de liaison (Downlink)
- La sensibilité du récepteur UE
- Le débit binaire sur la bordure de la cellule

a. Pertes de trajet

L'affaiblissement du parcours maximum est calculé à partir du L_{pmax} de la liaison montante.

b. Débit binaire requis

On doit diviser R_{req} par n_{RB} pour obtenir le débit binaire requis. Comme montre l'équation précédente.

c. Puissance par bloc de ressource

La puissance est partagée par tous les blocs de ressources, sa formule est la suivante :

$$P_{tx,RB} = \frac{P}{n_{RB}} \quad (III.20)$$

Avec :

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

d. Augmentation du bruit à la bordure de la cellule

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

$$B_{IDL} = \frac{P_{tx, RB} \times Q_{DL} \times F_c}{N_{RB, DL} \times L_{sa\ max}} \quad (III.21)$$

Avec :

- Q_{DL} : Facteur de charge de la liaison descendante.
- F_c : Le ratio moyen entre les puissances reçues d'autres cellules.
- $N_{RB, DL}$: bruit thermique par bloc de ressources dans la liaison descendante, défini par :

$$(N_t + N_f + 101 \log(W_{RB}))$$

- N_f : UE bruit = 7 Db
- $L_{sa\ max}$: atténuation du signal en liaison descendante.

$L_{sa\ max}$ est calculée dans l'échelle logarithmique de la perte de trajet maximale **MAPul**.

L'expression est la suivante :

$$L_{sa\ max} = L_{p\ max} + B_{LNF} + L_{CL} - L_{BP} - G_a + L_j [db] \quad (III.22)$$

e. Equation de bilan de liaison DownLink :

Le bilan de liaison descendante LPmax, DL est calculé par l'équation suivante :

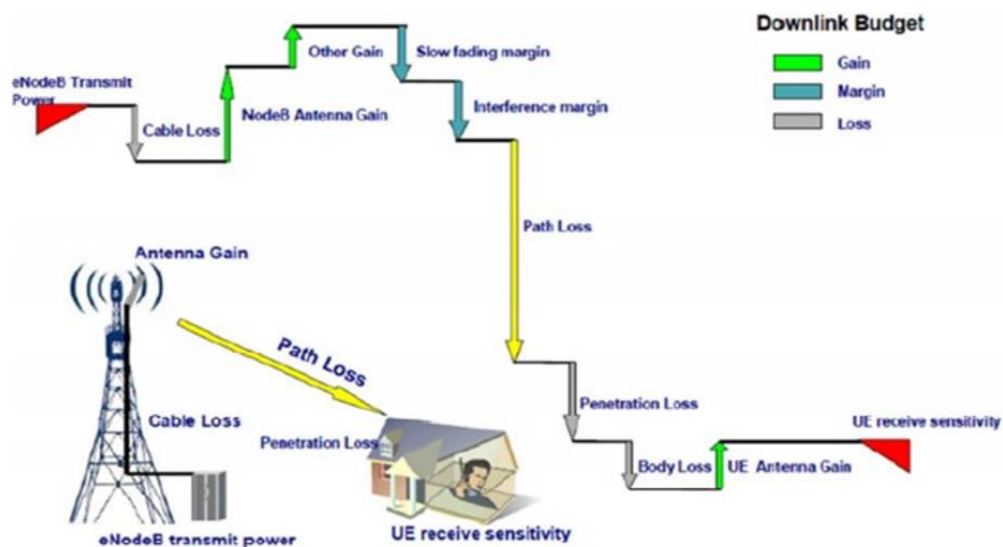


Figure III.4 : modèle bilan de liaison descendante.

L_{pmax} calcule de cette manière :

$$L_{pmax} = p_{tx, RB} - S_{UE} - B_{IDL} - B_{LNF} + L_B - L_{CL} - L_{BP} + G_a + L_j \text{ [dB]} \quad (III.23)$$

- $p_{tx, RB}$: Puissance de l'émetteur par bloc de ressources [dBm].
- S_{UE} : Sensibilité de l'équipement utilisateur en [dBm].

f. Sensibilité du récepteur de l'équipement utilisateur :

La seule variable inconnue dans l'équation (3.23) est la sensibilité du l'équipement utilisateur, elle est écrite comme suit :

$$S_{UE} = N_t + N_f + 10 \log(W_{RB}) + \gamma = N_{RB, DL} + \gamma \text{ [dB]} \quad (III.24)$$

g. SINR à la bordure de la cellule

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

$$\gamma = P_{tx, RB} - L_{pmax} - N_{RB, DL} - B_{IDL} - B_{LNF} - L_{BL} - L_{CL} - L_{BPL} + G_a + L_j \quad (III.25)$$

h. Limite du Bilan de liaison

Voici l'équation de l'atténuation du système :

$$S_{SAmax} = L_{Pmax} + B_{LNF} + L_{BL} + L_{CL} - L_{BPL} - G_a + L_j \text{ [dB]} \quad (III.26)$$

Nous utiliserons LSA, max pour déterminer $BIDL$. Lorsque la qualité d'uplink dépasse l'exigence on parle alors d'un système down Link limité. Le Bidl est calculé selon l'expression suivante :

$$B_{IDL} = 1 + \frac{P_{UE} \times Q_{DL} \times F}{n_{RB} \times N_{RB,UL} \times H \times L_{sa\max}} \quad (III.27)$$

Avec :

H : Facteur d'affaiblissement de propagation utilisée dans le dimensionnement de Couverture et de capacité, dépend de la géométrie du site, diagramme d'antenne, exposant de Propagation, et la hauteur de l'antenne de station de base. Une valeur de **H = 0,36** est recommandée pour le dimensionnement [8].

III.6 Rayon de la cellule

La perte de trajet maximum autorisé est utilisée pour déterminer le rayon de la cellule suivant le modèle de propagation choisi. La formule pour calculer le rayon en kilomètres R est la suivante :

$$R = 10^\alpha$$

Avec :

$$\alpha = \frac{L_{pmax} - A + 10.8 \times 21 \log(H_b) + ah_m}{44.9 - 6.55 \log(H_b)} \quad (III.28)$$

A : est la fréquence qui dépendant de la valeur d'atténuation. Cette relation est l'inverse de l'équation donné par le modèle de propagation de Hata-Okumura :

$$L_{Pmax} = A - 13.82 \times \log(H_b) - (ah_m) + 44.9 - 6.55 \log(H_b) \log R \quad (III.29)$$

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

Tableau III. 5 : Atténuation fixe dans le modèle de propagation de Hata-Okumura [10].

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

III.7 Nombre des sites

Le nombre de sites est facilement calculé à partir de la superficie du site et la valeur input de la zone de déploiement **Zd** [8].

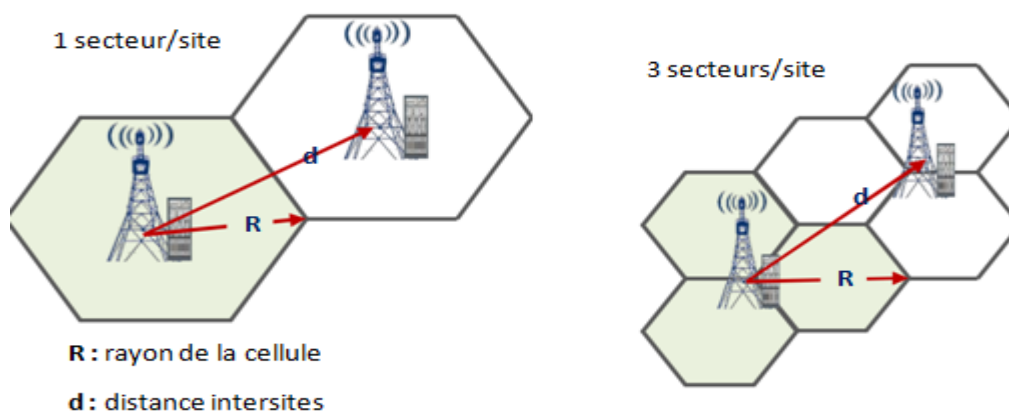


Figure III.5 : Modèle hexagonales de cellule.

La Figure ci-dessus illustre la méthode de calcul de la zone des sites à partir de 2 modèles hexagonales de cellule. Pour un site omnidirectionnel, le calcul est comme suit :

$$d = \sqrt{3}R(\text{km})$$

$$S_{s1} = \frac{3\sqrt{3} \times R^2}{2} = 2.6 \times R^2 \tag{III.30}$$

Et pour un site a 3 secteurs :

$$d = \frac{3}{2} R$$

$$S_{s3} = \frac{9\sqrt{3} \times R^2}{8} = 1.95 \times 2.6 \times R^2 \quad (III.31)$$

Et par suite le calcul de nombre des sites devient très simple c'est le quotient entre la surface de la zone et la surface du site :

$$N_s = \frac{S_z}{S_s} \quad (III.32)$$

S_z : C'est la surface totale de la zone, elle dépend du type de zone comme le montre le Tableau suivant :

Tableau III.6 : Valeurs références de la surface de la zone.

Type de zone	Surface de la zone (km ²)
Urbaine dense	50
Urbaine	400
Suburbaine	200
Rurale	300

IV. 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 [24].

IV.1 Dimensionnement de la capacité en lien montant

Pour évaluer les besoins en capacités on doit suivre les tâches suivantes :

- Estimer le débit de cellule.

- Analyser les entrées de trafic fournies par l'opérateur pour estimer la demande de trafic (Nombre d'abonnés, trafic et des données, répartition géographique des abonnés dans la zone).

Le principal indicateur de la capacité est la distribution SINR dans la cellule : l'augmentation de nombre d'utilisateurs augmente l'interférence et le bruit, et diminue la couverture cellulaire par suite force le rayon de la cellule à devenir plus petite.

IV.1.1 Débit de la cellule

Dans la voie montante, un ou plusieurs blocs de ressource sont toujours attribués à chaque limite de bande pour signaler les utilisateurs en mode veille sur le canal de liaison montante physique de contrôle Channel. Pour cette raison, le nombre de blocs de ressources en liaison montante disponibles pour le calcul de la capacité sont toujours réduits par un numéro n_{pucch} (4 est la valeur recommandée). De la même manière, des blocs de ressources alloués à accès aléatoire physique Channel n_{prach} réduire le nombre disponible de blocs de ressources en liaison montante. La valeur de n_{prach} est de 0,6. Notre objectif est d'obtenir une estimation du nombre des sites en fonction des besoins en capacité. Et ces derniers sont définis par les opérateurs de réseau en fonction du trafic. Le débit de la cellule est présenté par l'équation suivante [24] :

$$T_{cell,UL} = Q_{UL} \times R_{avg,UL} = Q_{UL} \times R_{RB} \times (n_{RB} - n_{pucch} - n_{prach}) \quad (III.33)$$

n_{RB} : Nombre total de blocs de ressources de la bande passante

n_{pucch} : C'est le nombre de blocs de ressources attribués aux canaux de contrôle PUCCH

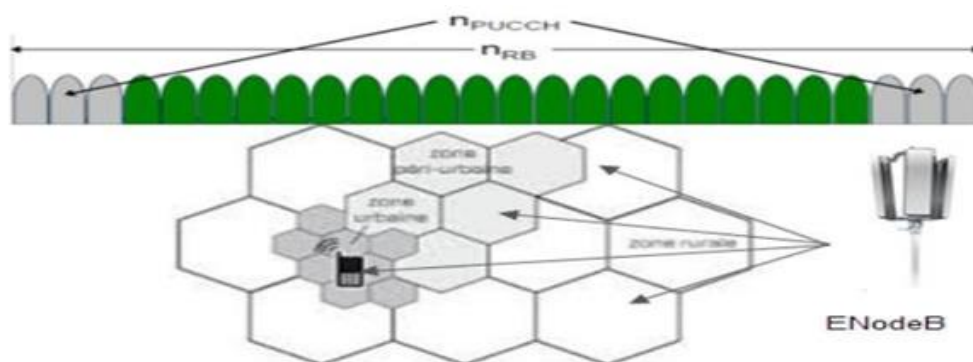


Figure III.6 : Illustration du calcul de dimensionnement de capacité.

IV.2 Dimensionnement de la capacité en lien descendant

IV.2.1 SINR

La capacité de liaison descendante est basée sur le SINR à l'emplacement moyen à l'intérieur d'une cellule gamma, désignée comme un rapport linéaire :

$$B_{DL-noiserise} = 1 + \frac{P_{tx,RB} \times Q_{DL} \times F}{N_{RB,DL} \times L_{sa,cellrange}} \quad (III.34)$$

Le SINR moyenne qui en résulte représenté par l'équation suivante :

$$\gamma_{DL,ave} = \frac{P_{Tx,RB}}{B_{DL,noise} \times N_{RB,DL} \times H \times L_{sa\ max}} \quad (III.35)$$

Dans l'équation, H est le facteur d'atténuation moyenne et il dépend de la géométrie du site. Une valeur de 0,36 est recommandée pour le dimensionnement.

IV.2.2 Débit de la cellule

Le débit moyen de l'utilisateur par cellule est réduit proportionnellement avec le nombre des blocs de ressource nRB. Le SINR moyenne (convertie en une valeur logarithmique), on obtient un débit binaire moyen :

$$R_{avg,DL} = n_{RB} \times R_{RB,DL} \quad (III.36)$$

Le débit de la cellule est représenté par l'équation suivante :

$$T_{cell,DL} = Q_{DL} \times R_{avg,DL} = Q_{DL} \times n_{RB} \times R_{RB,DL} \quad (III.37)$$

IV.2.3 Nombre des sites décidé

Nous devons ici calculer T_{site} à partir de T_{cell} avec le cas par exemple de 3 cellules par site [18] :

$$T_{site} = T_{cell} \times 3 \quad (III.38)$$

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

$$N_{site} = \frac{T_{user}}{T_{site}} \times N_{abonnés} \quad (III.39)$$

Le nombre des abonnées est calculé à partir de l'équation suivante et ce suivant certaines données qui ne peuvent être fournies que par l'opérateur [18] :

$$N_{abonnés} = G_{i=1}^N (1 + \alpha_i) \times (1 + \beta_i) \times d \times \text{surface} \quad (III.40)$$

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

V. Conclusion

L'étape de dimensionnement d'un réseau est l'étape cruciale pour la mise en place du réseau dans le but de l'optimisation du déploiement. En effet, dans ce chapitre, nous avons défini le principe de planification radio, particulièrement la phase de dimensionnement d'un réseau LTE qui fait intervenir deux composantes : couverture et capacité. Nous avons détaillé les paramètres de dimensionnement.



Chapitre IV

Planification et Optimisation d'un réseau

LTE

I. Introduction

L'optimisation est l'une des principales étapes pour améliorer les performances des réseaux de télécommunications. Elle comprend plusieurs types d'analyses et d'actions menées pour apporter des améliorations au niveau du réseau, que ce soit au niveau de couverture, qualité de la liaison radio ou au niveau d'autres paramètres.

Afin d'obtenir la satisfaction des clients, les opérateurs s'efforcent d'assurer la continuité des services fournis avec la meilleure qualité. Par conséquent, l'optimisation avec cet objectif est un élément de service nécessaire et important pour maintenir et améliorer la qualité et la capacité du réseau. Lorsque les opérateurs envisagent de mettre en œuvre de nouvelles fonctionnalités au niveau du réseau, il est également important de maintenir la bonne qualité de service attendue par les clients. La phase d'optimisation permet également de minimiser les coûts et d'optimiser les ressources rares. C'est l'une des phases les plus critiques du cycle de vie d'un réseau cellulaire. Après le fonctionnement du réseau, l'opérateur doit assurer son fonctionnement normal. Cela est nécessaire pour surveiller la qualité de service et adapter le réseau aux diverses fluctuations pour améliorer et étendre le réseau [25].

Dans ce chapitre, Nous allons faire la simulation du réseau LTE sur le logiciel de planification Atoll. Après avoir terminé le dimensionnement du réseau, nous allons voir aussi les étapes de la planification et l'optimisation sur ce logiciel.

II. Présentation du logiciel

Le logiciel Atoll, commercialisé par la société Forsk, est un logiciel professionnel à destination des opérateurs de téléphonies. C'est un logiciel de dimensionnement et de planification des réseaux cellulaires qui peut être utilisé sur tout le cycle de vie des réseaux : du design à l'expansion et l'optimisation. Il nous permet de sélectionner le type de réseau (GSM 900, UMTS, LTE ...) que nous souhaitons régler. En fonction des paramètres techniques sélectionnés, nous pouvons définir le modèle de propagation, le type d'antenne et les caractéristiques du site. Enfin, une fois la planification du réseau terminée, l'outil ATOLL peut faire, en plus, une variété de prédictions, telles que : couverture par niveau de champ, couverture par émetteur et trafic, prédiction de capacité [17]. Il est aussi caractérisé par :

- Des options avancées de conception de réseau : performance de calcul, planification automatique de codes/fréquences, support de différentes technologies d'accès et support de réseau multi-technologies (GSM/UMTS/LTE par exemple.)
- Adaptation à un nombre varié d'environnements (indoor, outdoor, zone rurale, urbaine, etc.).
- Intégration d'un grand nombre de modèles de propagation adaptés à de nombreux environnements et prenant en compte les phénomènes de réflexion, diffraction par le sol et les obstacles, de réfraction, de diffusion, d'atténuation par l'atmosphère, etc [18].

III. Planification du réseau LTE

La planification du réseau est une étape primordiale, du coup elle doit être bien développée. Les étapes à suivre lors de planification :



Figure IV. 1 : Processus de planification.

- **Pré-planification** : C'est la première phase qui consiste à préparer la planification réelle du réseau, on doit collecter des informations sur la région (mode de vie, les heures d'occupation, la population ...). Dans l'outil Atoll, la pré-planification consiste à la définition des éléments suivants : Cartes topographique, la zone géographique à planifier, les informations de l'abonné, le nombre d'utilisateurs.
- **Planification** : c'est la deuxième phase, qui sert à trouver les meilleurs emplacements pour les eNodeB dont le but d'avoir une bonne couverture. Dans Atoll, à la fin de la phase planification on aura la couverture finale détaillée et le plan de capacité.
- **Vérification** : C'est la phase qui suit l'installation du site, qui a pour but d'assurer un fonctionnement optimal du réseau, Elle consiste à faire des réglages de paramètres pour corriger les erreurs qui auraient pu survenir lors de l'installation et aussi faire des Test Drive qui est une méthode d'essai pour vérifier la fonctionnalité du réseau soit en couverture capacité et exigences de qualité.
- **Optimisation** : C'est la phase finale qui permet de vérifier la satisfaction des clients et résoudre leurs problèmes.

IV. Démarrage d'un projet Atoll

Nous avons choisi pour la planification et l'implémentation des sites le simulateur Atoll qui permet de planifier plusieurs types de systèmes de radio mobile tel que : GSM, GPRS, UMTS, WCDMA, WIMAX et LTE. Dans ce travail, nous avons choisi LTE.

IV.1 Création d'un projet LTE

Pour créer un projet LTE, les étapes seront :

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

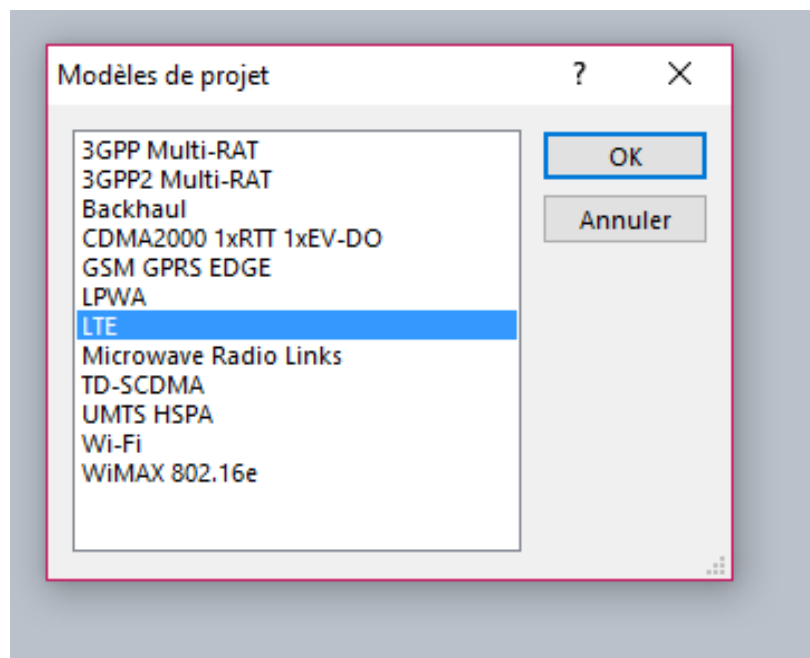


Figure IV. 2 : Création d'un projet LTE.

IV.2 Configuration du système de projection

Après avoir créé un nouveau projet, le système de coordonnées doit être configuré. Dans ce cas, nous avons choisi le système géographique standard international WGS 84. Il s'agit de localiser un point sur la terre par la longitude et la latitude.

Pour le réglage des paramètres on procède comme suite :

Sélectionnez — Document — Propriétés

IV.3 Réglage des paramètres de la zone

Les paramètres saisis sont :

- Projection : WGS 84 / UTM zone 31N.
- Display : WGS 84 (projection UTM sur le système géodésique WGS84).
- Degré format : xx xxxxxS (indique le format de latitude et de longitude des sites)

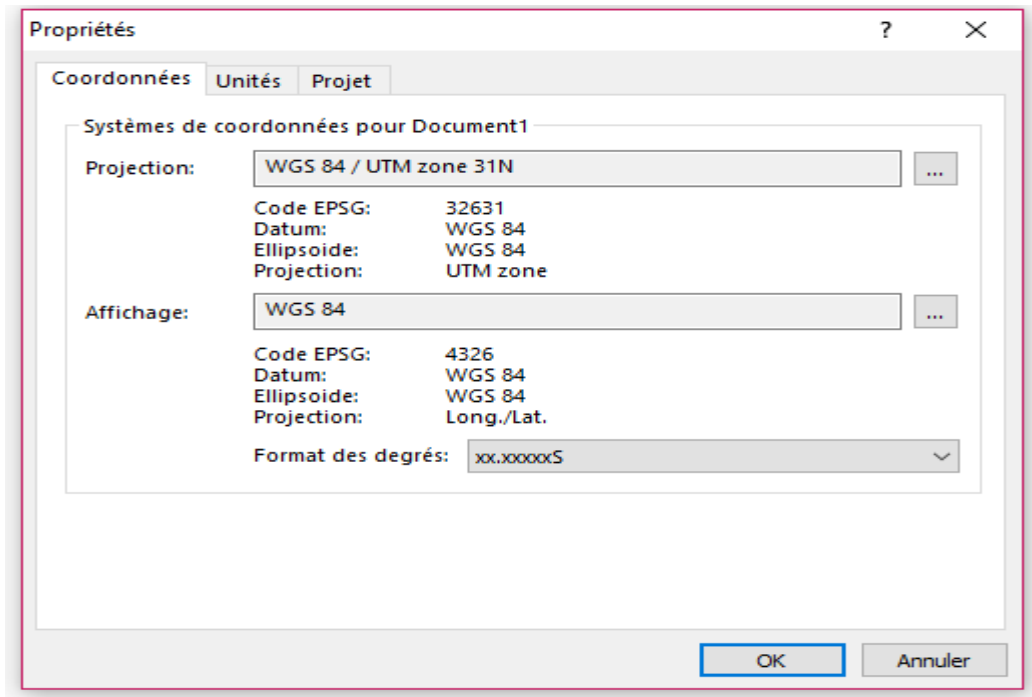


Figure IV.3 : Choix du Systèmes de projection de Jijel.

IV.4 Importation de la carte géographique

Pour importer la carte il faut cliquer sur :

Carte en ligne -nouvelle carte – nom – URL du serveur

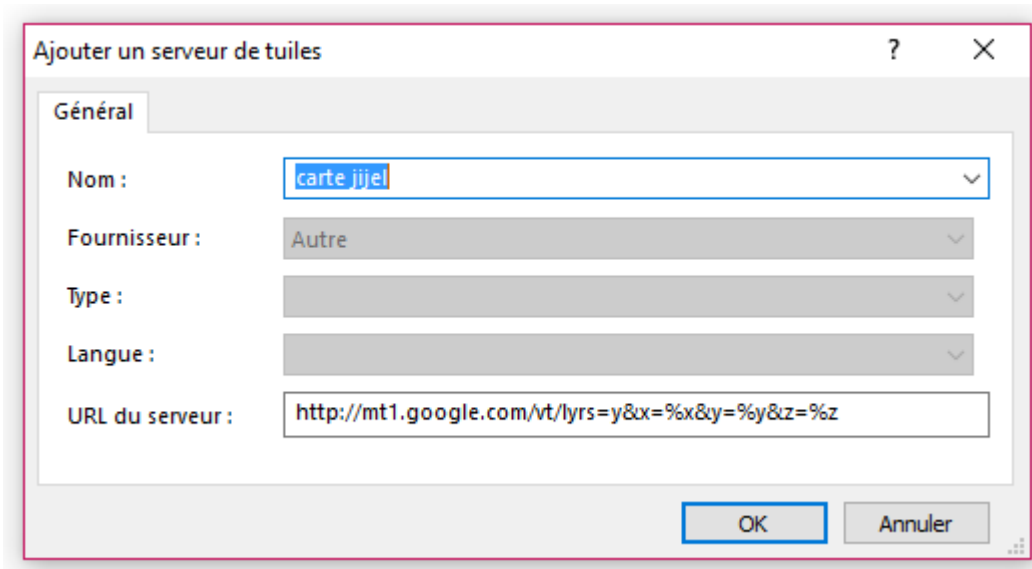


Figure IV.4 : Importation de la carte géographique.

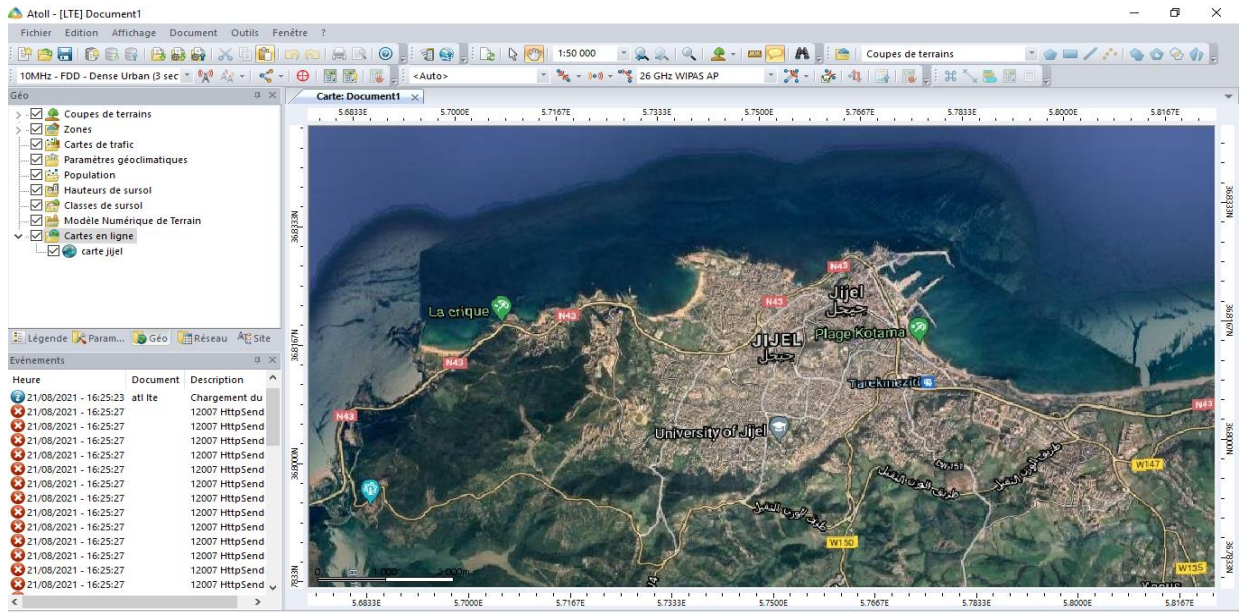


Figure IV.5 : Importation de la carte numérique de Jijel.

IV.5 Zone géographique à planifier :

Cette étude concerne une zone géographique couvrant la ville de Jijel et El-Aouana. La ville de Jijel couvre une superficie de plus de 62 km², présente beaucoup de zones d'habitation. On trouve de nombreux immeubles, plusieurs quartiers résidentiels, quelques espaces verts, des axes routiers, ainsi que des zones industrielles. au contraire, la ville d'El-Aouana qui présente peu des quartiers résidentiels et des immeubles, beaucoup espaces verts.

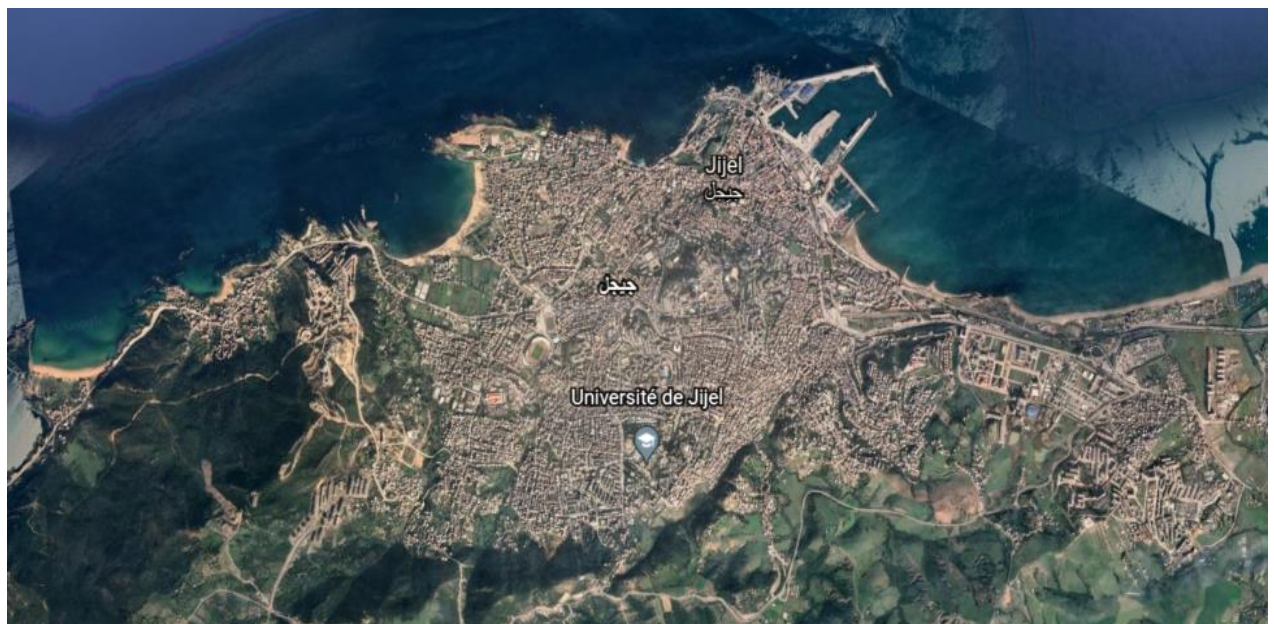


Figure IV. 6 : La zone de Jijel.



Figure IV. 7 : La zone d'El-Aouana.

IV.6 Création d'un site

Dans Atoll le site est défini comme le point géographique, Lors de l'ajout d'un nouveau site, plusieurs paramètres sont à définir : sa position géographique (longitude et latitude), sa hauteur et le type d'équipement utilisé. Les propriétés radio sont introduites dans la définition des émetteurs puisque les secteurs d'un site n'ont pas nécessairement la même configuration.

On prendra la distribution réelle des sites de l'opérateur MOBILIS sur la ville de Jijel et El-Aouana. Pour les deux régions, nous avons atteint le nombre total de 39 sites (4 pour la ville de d'El-Aouana et 35 pour la ville de Jijel).

Dans la fenêtre d'Atoll on clique sur l'icône "Nouvel émetteur ou station" après on clique sur la droite de la souris sur l'endroit où on veut implémenter les sites comme on peut le voir sur la Figure IV.8.

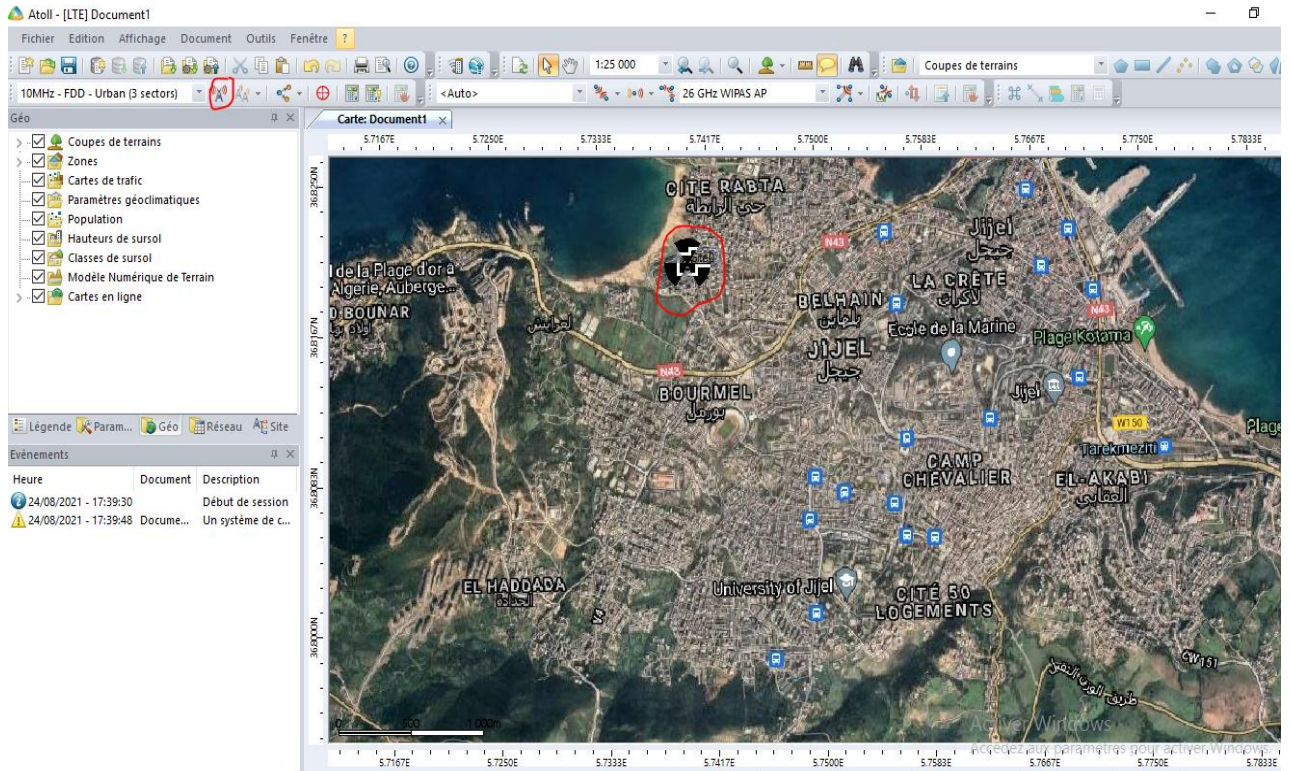


Figure IV. 8 : L'emplacement des sites.

Chaque site est caractérisé par ses propriétés (longitude, latitude, altitude...).

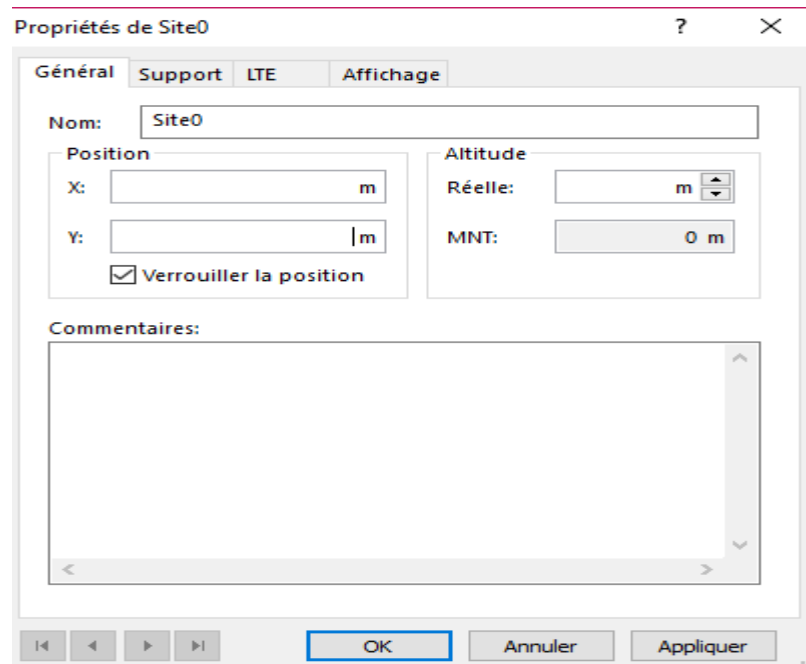


Figure IV. 9 : Propriétés de site.

IV.7 Création d'un émetteur

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 [4]:

- **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 horizontal 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 [4].

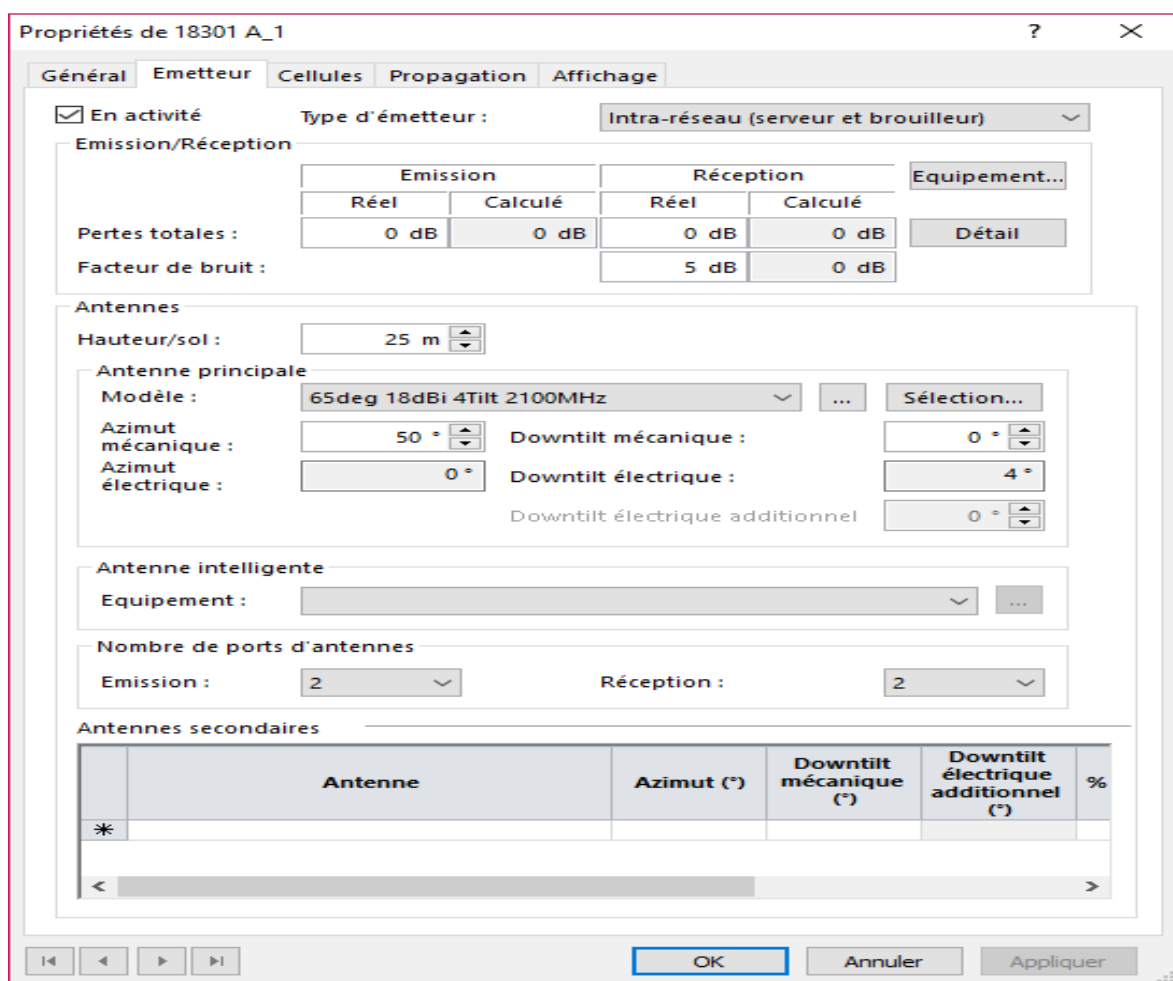


Figure IV. 10 : Création d'un émetteur et ses caractéristiques.

IV.8 Création d'une cellule

Dans Atoll, chaque cellule est considérée comme un canal radio fréquence (RF) avec toutes ses caractéristiques sur un émetteur comme nous pouvons le voir sur la Figure IV.11.

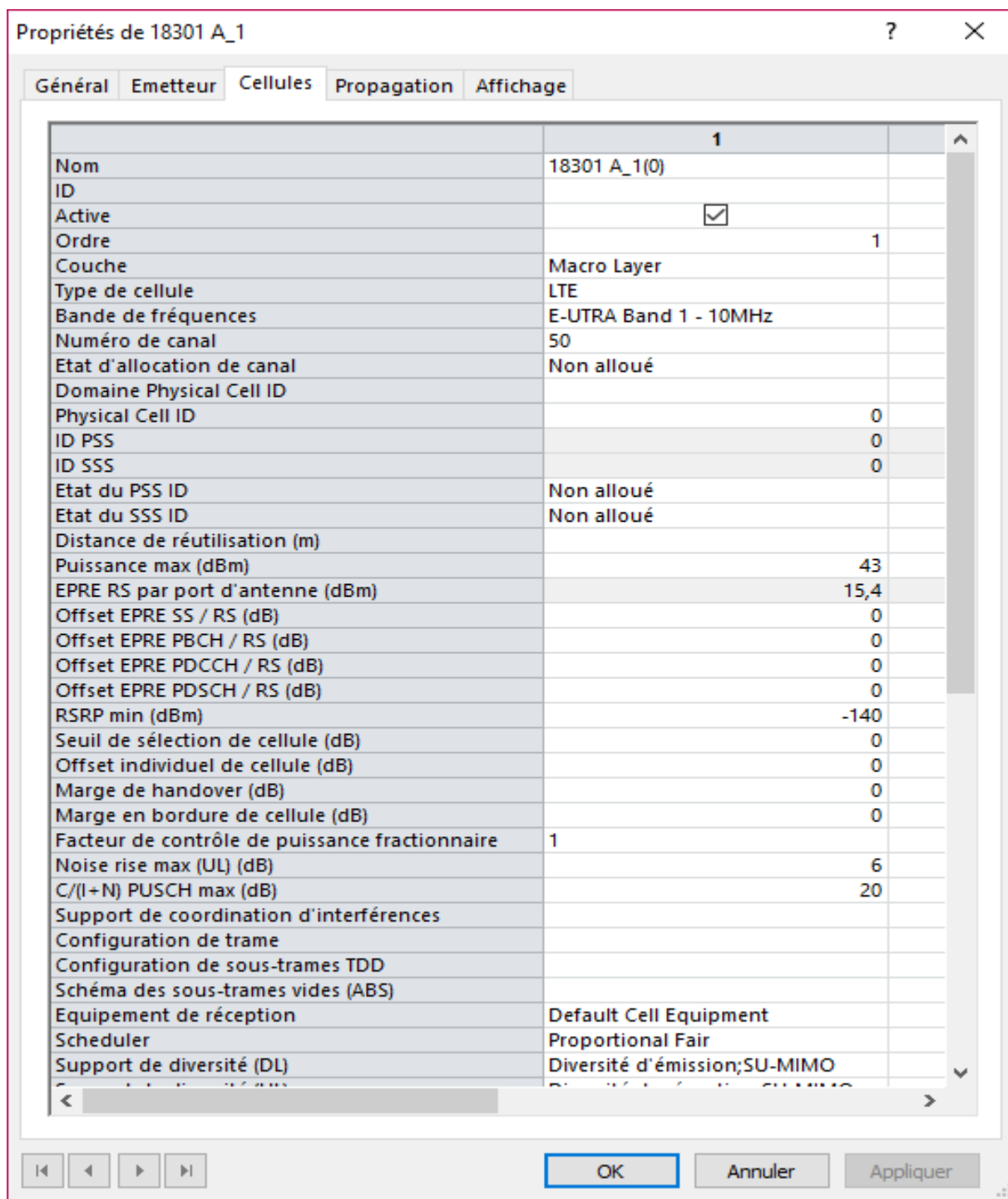


Figure IV. 11 : Configuration de la cellule.

Remarque : pour la création d'une cellule nous avons [4]:

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

IV.9 Paramètres de l'antenne

On peut définir pour une antenne son gain, son diagramme de rayonnement (vertical et horizontal) et sa bande de fréquence de travail.

Les paramètres de l'antenne 65deg 18dBi 4Tilt 2100MHz :

Propriétés de 65deg 18dBi 4Tilt 2100MHz

Général Diagramme horizontal Diagramme vertical

Nom: 65deg 18dBi 4Tilt 2100MHz

Antenne physique: 65deg 17-18dBi

Constructeur: Kathrein

Ouverture (3dB): 65 ° Gain: 18 dBi

Diagramme

Tilt électrique: 4 °

Azimut électrique: 0 °

Fréquences

Min: 1 920 MHz

Max: 2 170 MHz

Commentaires:

2100 MHz

OK Annuler Appliquer

Figure IV. 12 : Paramètres d'antenne.

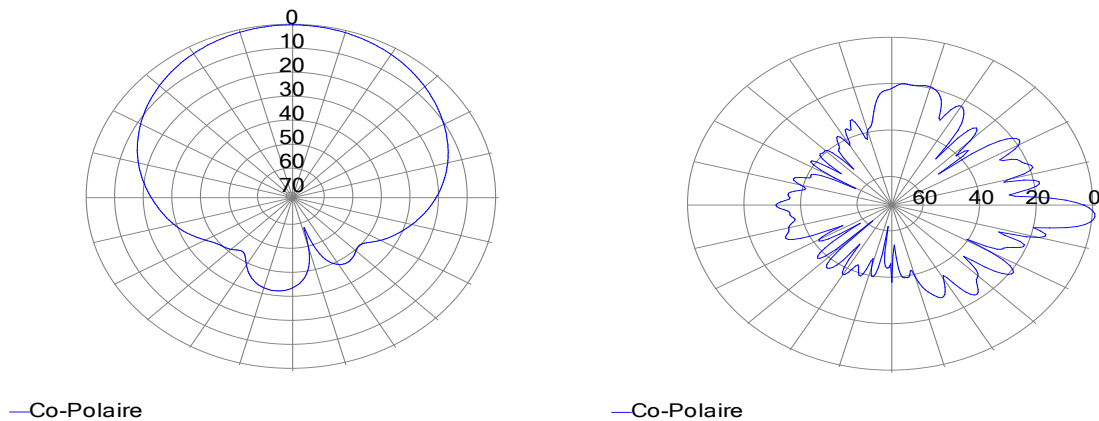


Figure IV. 13 : Polarisation d'antenne.

V. Etude du cas de la ville de Jijel

V.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 [17] :

- 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 simuler la couverture radio des villes de Jijel et El-Aouana. Le but de cette simulation est d'obtenir une bonne couverture pour assurer une bonne qualité de service. Pour cette raison, l'objectif principal de la simulation est de sélectionner un emplacement approprié pour chaque site afin de mieux couvrir le réseau Mobilis à Jijel et Aouana. Pour positionner, les sites il nous faut obtenir la carte géographique de la ville de Jijel et El-Aouana.

La zone qui doit être couverte est définie sur la Figure IV.14, Comme on peut le voir sur la figure, les sites et les émetteurs qui ont positionnés de la manière suivante dans la ville de Jijel sur la carte :

D'après la figure ci-dessus, Chaque couleur définit un niveau de signal, la majorité de la zone est couverte par le vert ce qui montre une valeur réduite de (-90 dBm), le reste de la zone est de couleur rouge, orange et jaune qui indique de bonnes valeurs de (-70 à -85 dBm), selon la légende qui montre la couleur avec sa propre valeur de niveau de champ.



Figure IV. 17 : Légende de la couverture par niveau de champ (DL).

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

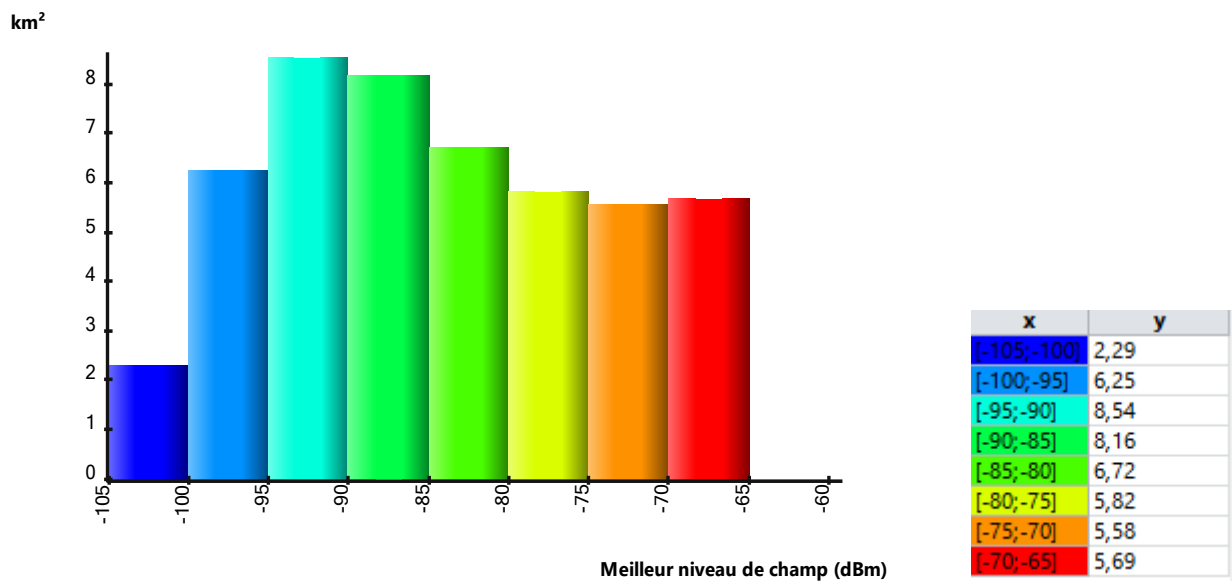


Figure IV.18 : Histogramme de la couverture par niveau de signal.

L'histogramme de la figure IV.18, Nous montre que la zone couverte par la couleur vert et bleu est plus que la zone couverte par la couleur rouge et jaune ce qui montre qu'il y a beaucoup de zones couvertes par une mauvaise qualité de signal.

V.4 Prédiction de couverture par émetteur :

Cette prédiction nous donne des informations directes sur les champs de chaque antenne. On peut alors voir les zones de chevauchement des antennes, puis les réduire afin de minimiser l'interférence [22].

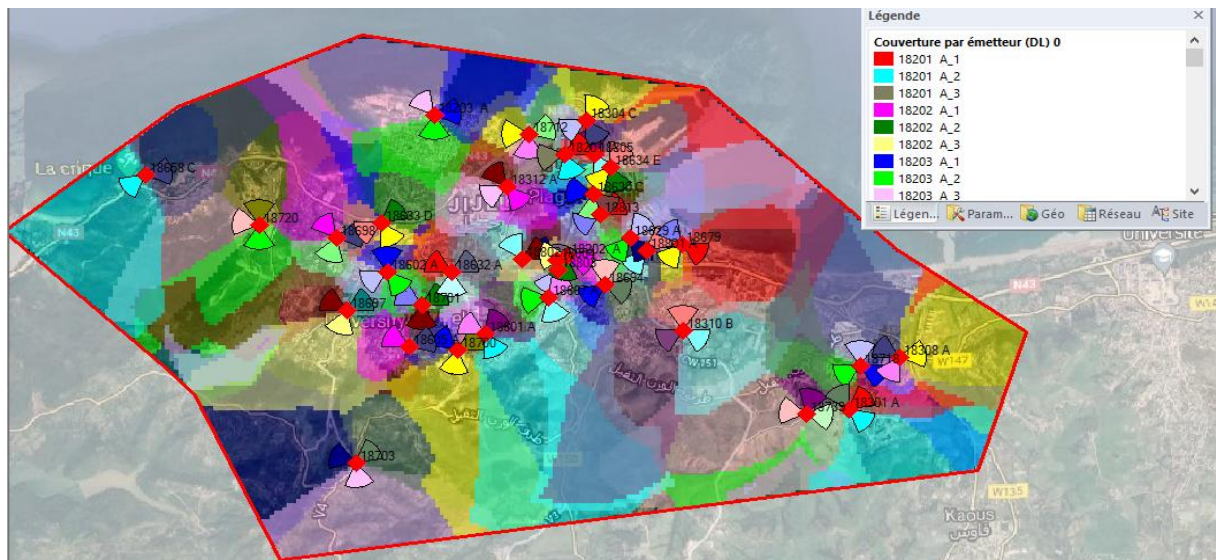


Figure IV. 19 : La Prédiction de la couverture par émetteur

La figure précédente nous montre les différentes zones couvertes. Chaque émetteur est occupé d'une couleur différente pour nous permettre de visualiser sa couverture du signal et sa trajectoire.

- **Calcul de la zone de chevauchement**

Les zones de chevauchement sont des zones couvertes par le signal d'au moins deux émetteurs ainsi le résultat de la simulation nous donne une carte de recouvrement qui nous permet de distinguer les zones où le mobile sera couvert par un ou plusieurs émetteurs. Autrement dit ces zones correspondent à l'endroit où s'effectue les handovers [4].

V.5 Prédiction de zone de recouvrement

Cette prédiction nous aide à connaître le nombre d'émetteurs qui recouvrent la même région.

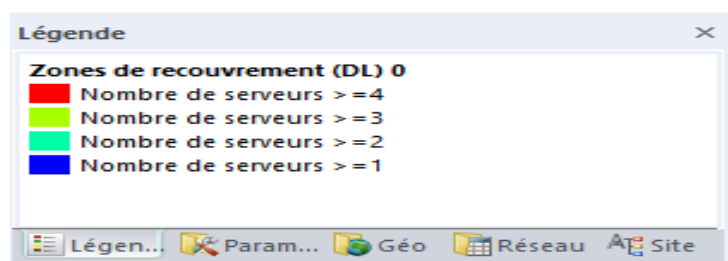


Figure IV. 20 : Légende de la prédiction de la zone de recouvrement.

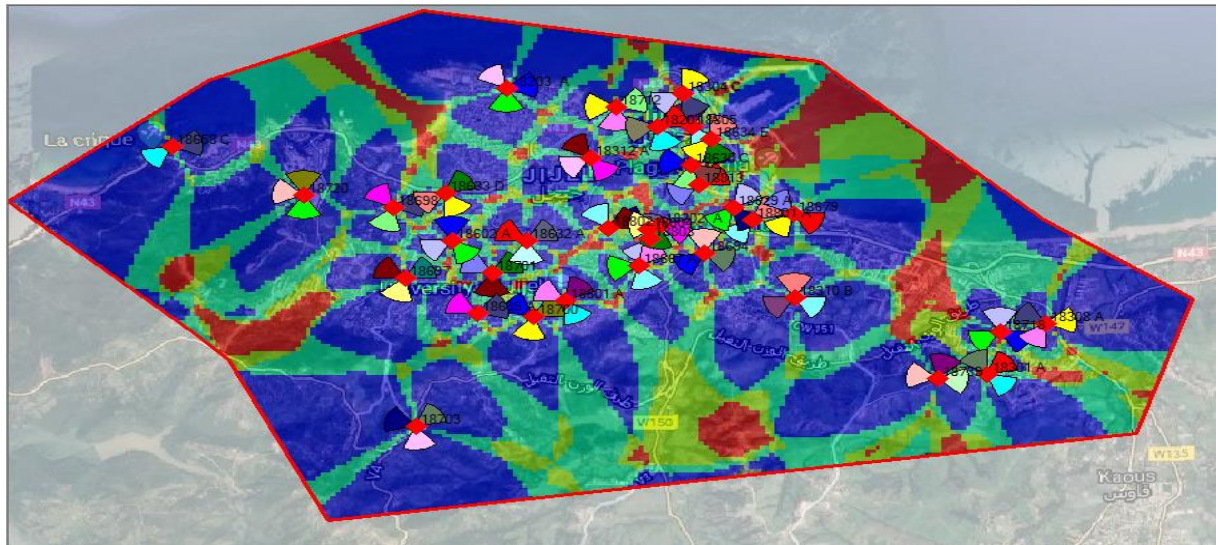


Figure IV. 21 : Prédiction par zones de recouvrement.

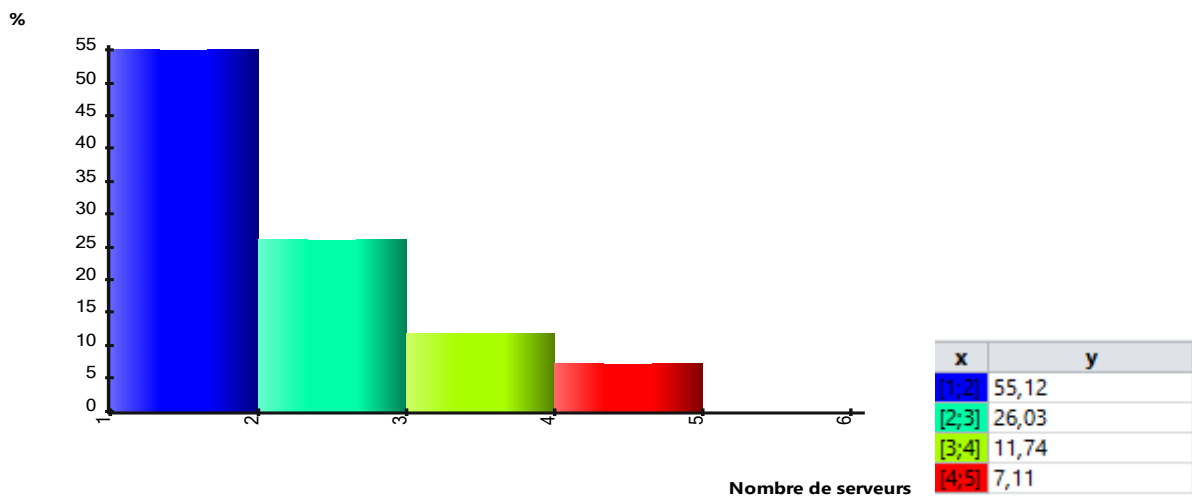


Figure IV. 22 : Histogramme de la zone de recouvrement.

On constate d'après la figure IV.21 et l'historgramme de la figure IV.22 que la plus grande partie de la surface de recouvrement est couverte par un seul émetteur (55.12% de la surface). En bordure des cellules on a deux, ou trois émetteurs ce qui correspond aux zones d'intersection des cellules [18].

VI. Etude du cas La ville d'El-Aouana

La zone qui doit être couverte est défini sur la figure IV.23, Comme on peut le voir sur la figure, les sites et les émetteurs sont positionnés de la manière suivante dans la ville d'El-Aouana sur la carte :

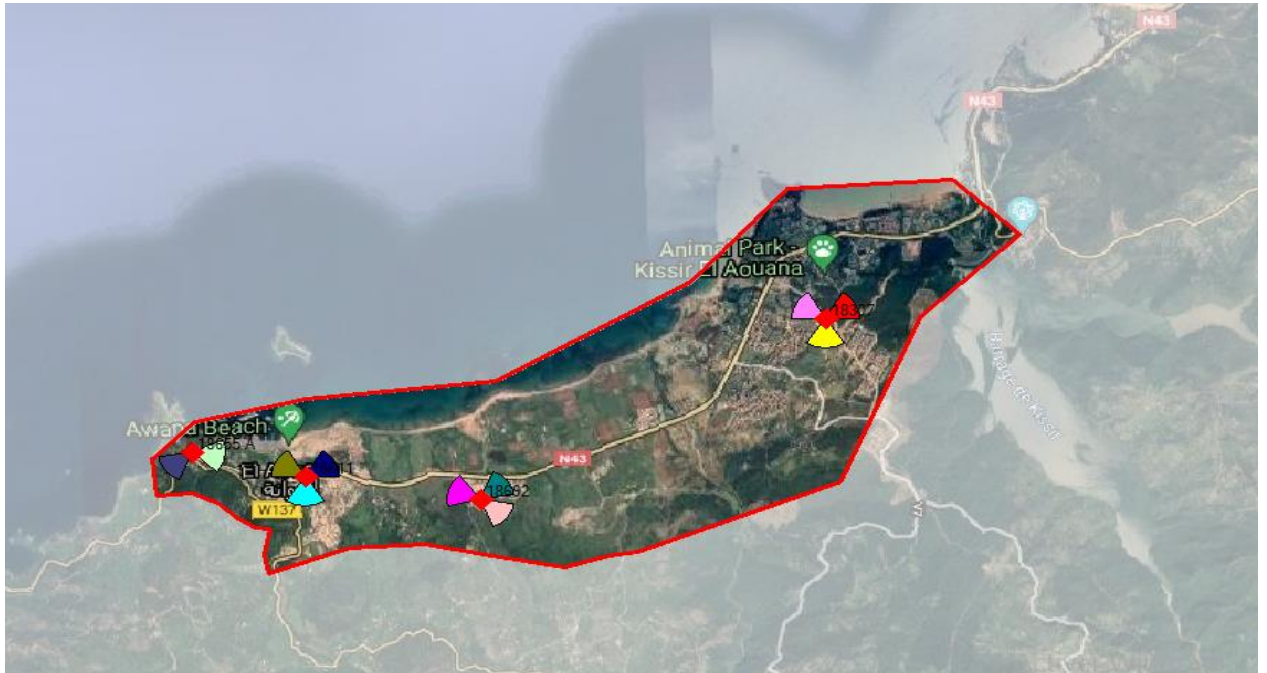


Figure IV. 23 : La zone précise à couvrir et dispositions des sites et des émetteurs (ville d'El-Aouana).

VI.1 Prédiction de la couverture par niveau de champ (DL)

La figure IV.24 montre la couverture des sites dans la ville d'El-Aouana (couverture par niveau de champ (DL)).

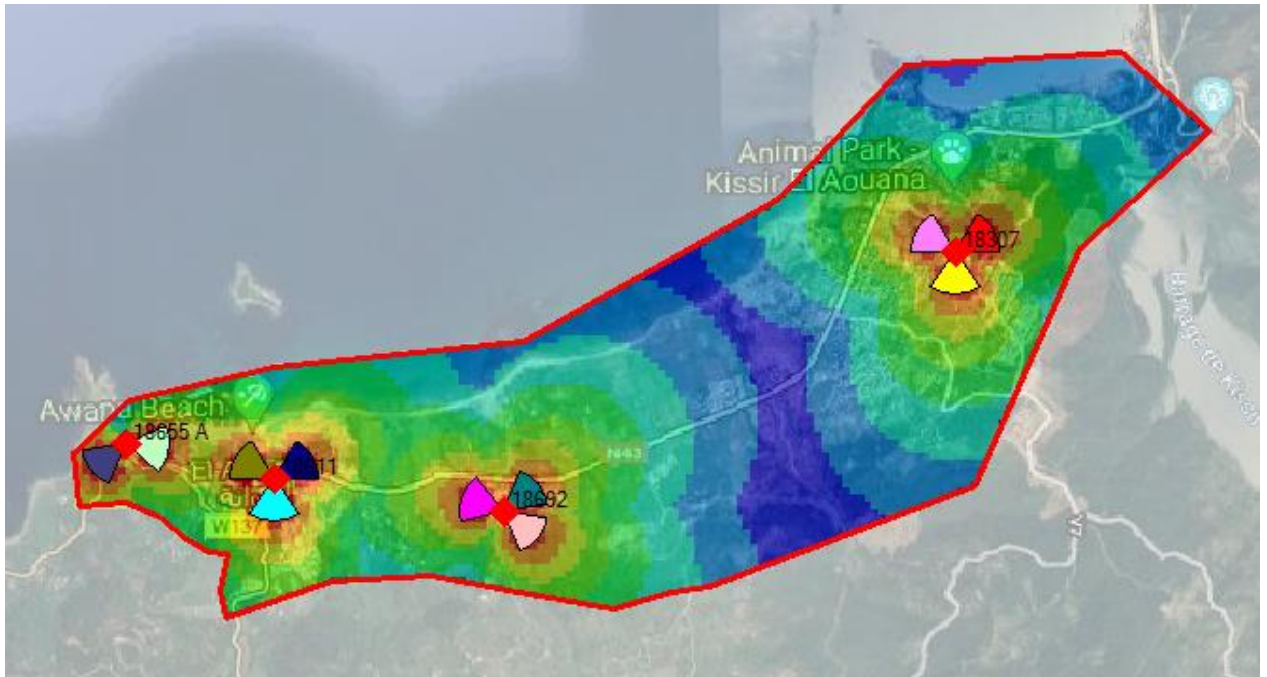
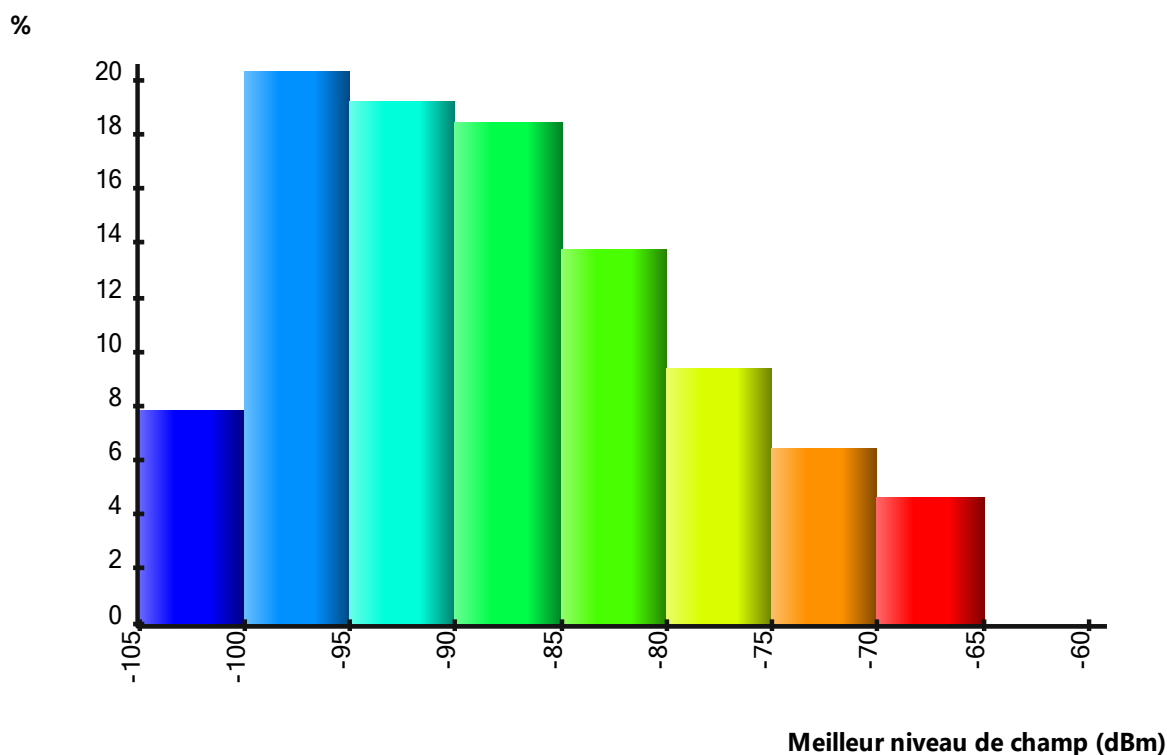


Figure IV. 24 : Prédiction de couverture par niveau de champ.

D'après la figure ci-dessus, la majorité de la zone est couverte par le vert et le bleu ce qui montre une valeur réduite entre (-90 dBm à -100 dBm), le reste de la zone est de couleur rouge, orange et jaune qui indique de bonnes valeurs de (-70 à -85 dBm).

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



x	y
[-105;-100]	7,825
[-100;-95]	20,347
[-95;-90]	19,239
[-90;-85]	18,445
[-85;-80]	13,73
[-80;-75]	9,363
[-75;-70]	6,402
[-70;-65]	4,648

Figure IV. 25 : Histogramme de la couverture par niveau de signal.

L'histogramme de la figure IV.25, Nous montre que la majorité de la zone couverte par la couleur vert et bleu (60%) ce qui montre que la plupart de la zone couvertes par une mauvaise qualité de signal.

VI.2 Prédiction de couverture par émetteur

La figure IV.26 représente la Prédiction de couverture par émetteur de la ville d'El-Aouana qui nous donne des informations sur les champs de chaque antenne.

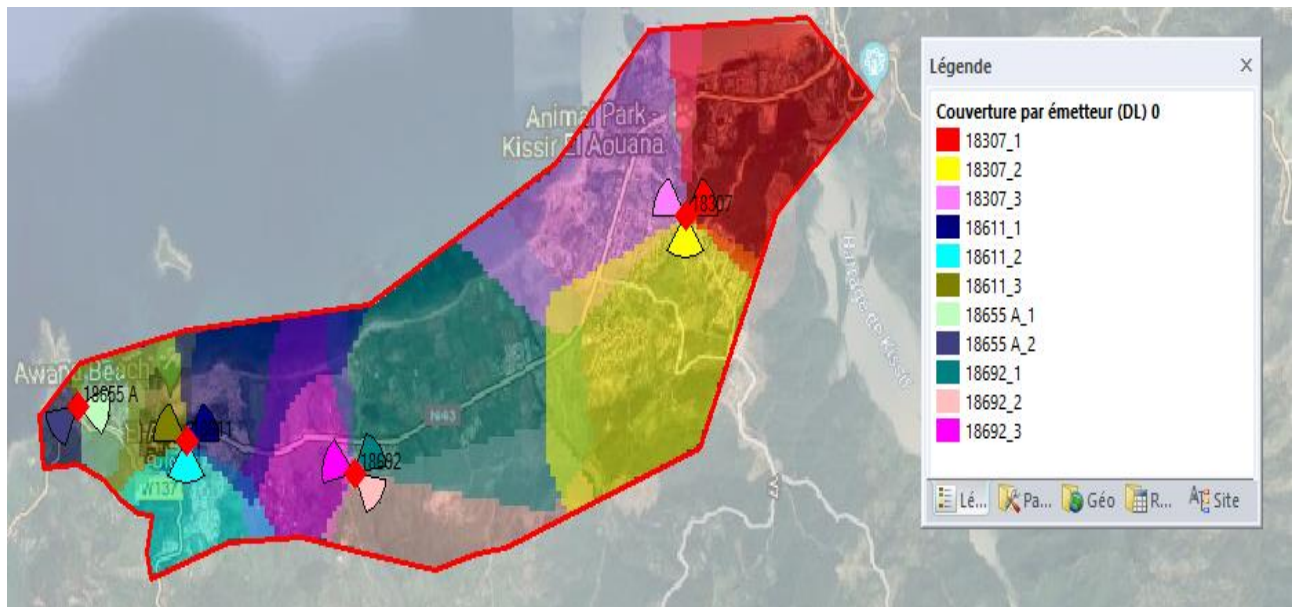


Figure IV. 26 : La prédiction de la couverture par émetteur.

VI.3 Prédiction de zone de recouvrement

La figure IV.27 représente la Prédiction de zone de recouvrement de la ville d'El-Aouana

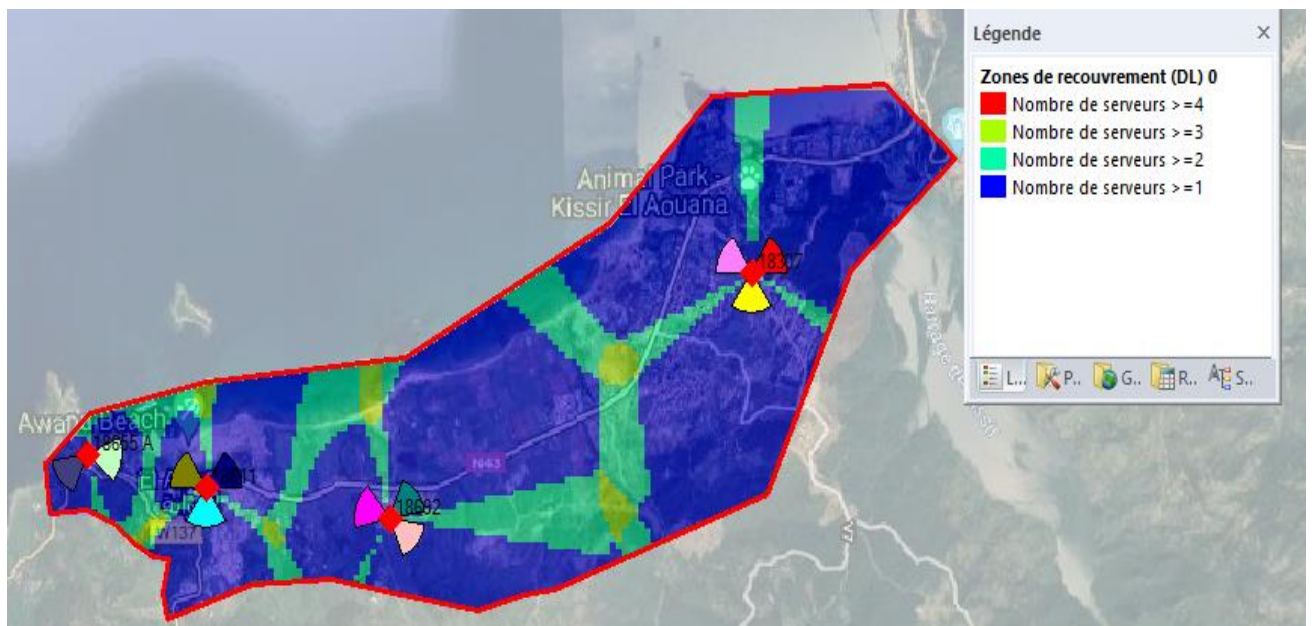


Figure IV. 27 : Prédiction par zones de recouvrement.

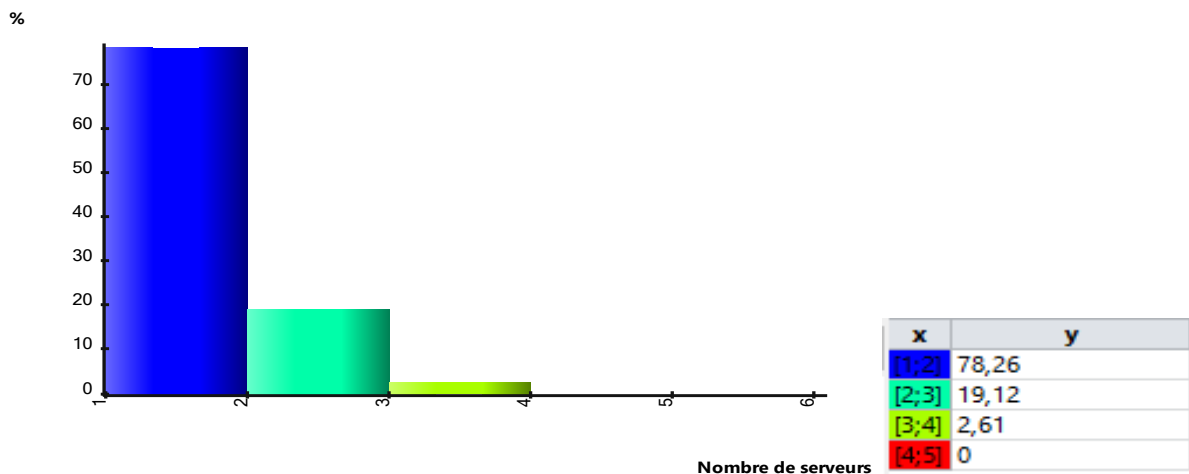


Figure IV. 28 : Histogramme de la zone de recouvrement.

D'après la figure IV.27 et l'historgramme de la figure IV.28. Que la plus grande partie de la surface de recouvrement et couverte par un seul émetteur (78.26% de la surface).

VII. Les problèmes de couverture

L'ensemble des problèmes de couverture sont les suivantes :

- Dégradation du niveau de signal dans une zone, suite à la complexité de la topologie, manque de visibilité directe avec l'antenne ou l'absence de cellule servante.
- NLOS (No Line Of Sight) : causé par les obstacles sur terrain.
- Manque de cellule dominante : Quand le MS est situé sur le bord d'une cellule sans avoir une meilleure cellule servante, ce qui provoque beaucoup de Handovers inutiles.
- Chevauchement de couverture, lorsque le niveau de signal de 3-4 cellules est très proches l'une de l'autre (le signal doit être bon), ce qui cause des interférences.
- Une cellule sert loin de sa localisation géographique (ayant un tilt faible ou un emplacement plus haut que les autres).

VIII. Optimisation du réseau LTE

L'optimisation du réseau LTE est une stratégie pour améliorer la qualité de l'infrastructure réseau, faciliter la gestion et réduire les coûts et aussi assurer une bonne couverture. L'optimisation se fait par :

- **Ajouter un nouveau site** : l'installation des nouveaux sites est nécessaire afin d'obtenir une bonne couverture et la qualité requise.
- **Ajouter un nouveau secteur** : pour les antennes omnidirectionnelles
- **Les antennes** : la modification des configurations des antennes (azimut, tilt, hauteur).

Dans notre cas on a choisi l'optimisation par l'ajout des sites.

VIII.1 Cas de la ville de Jijel

La figure IV.29 montre les zones qui ne sont pas couvertes encerclé par la couleur rouge.

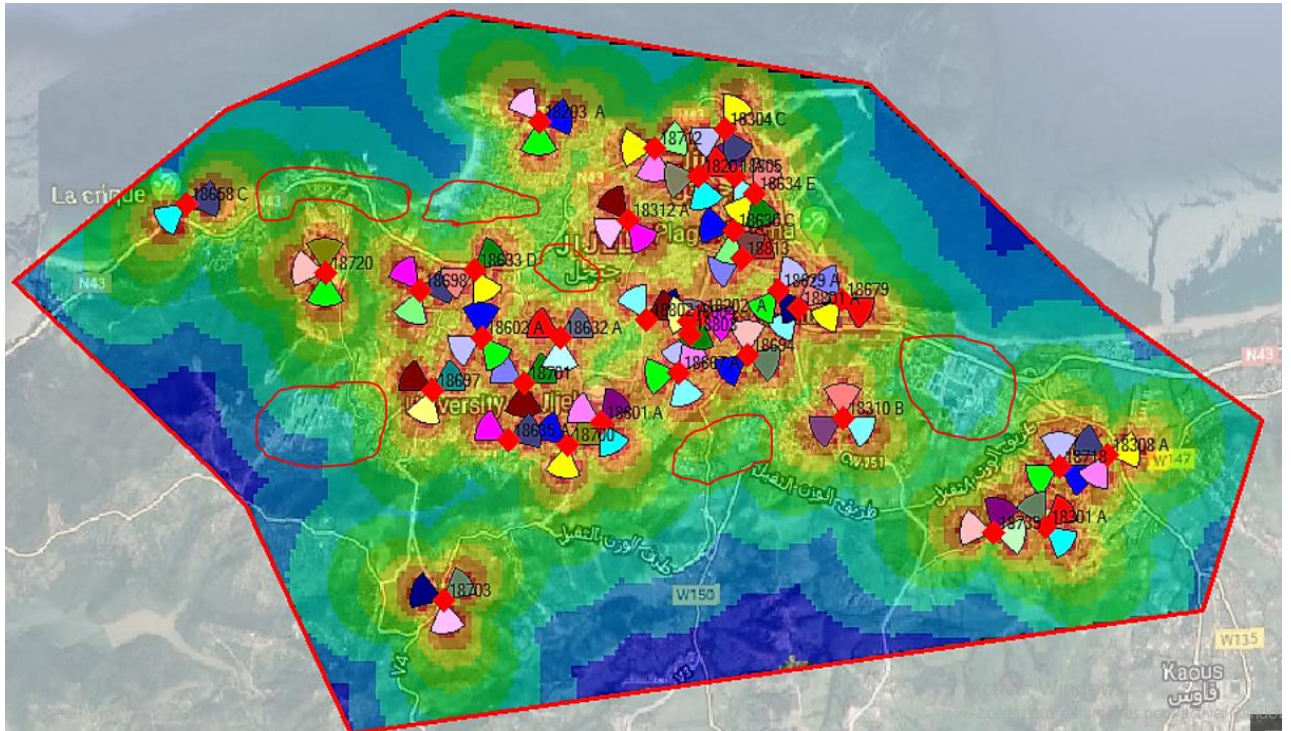


Figure IV. 29 : Zones à recouvrir.

Pour avoir une bonne couverture nous allons déployer des nouveaux sites dans la zone, comme nous montre la figure ci-dessous (les sites :39,40,41,42,43) :

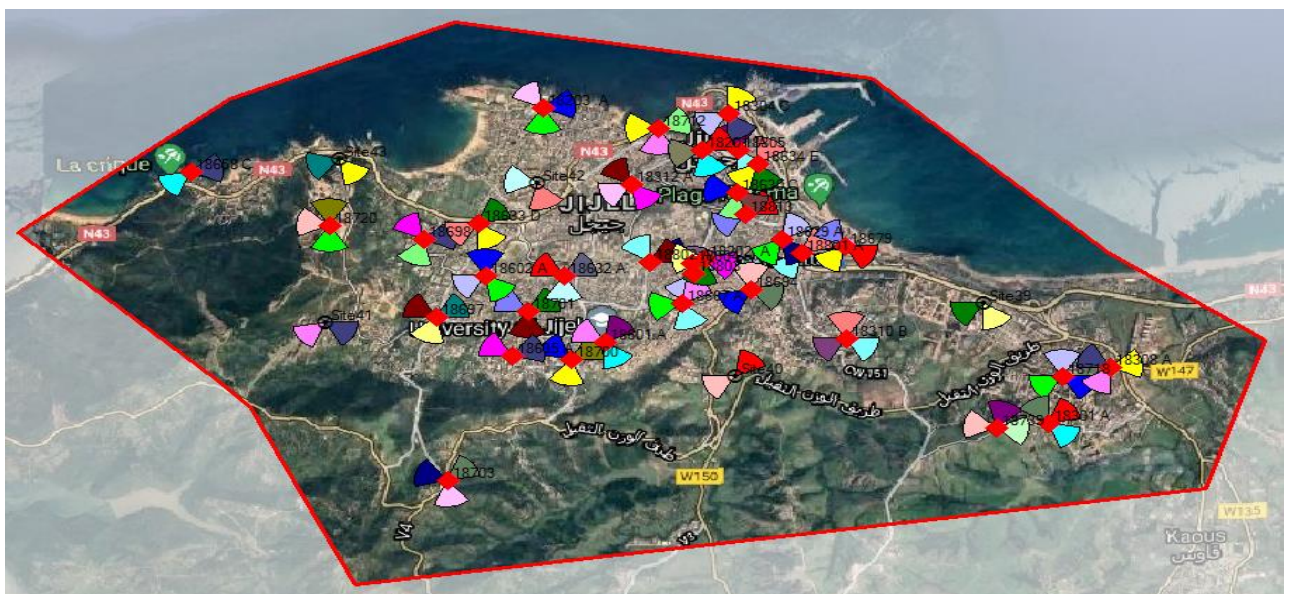


Figure IV. 30 : Disposition de nouveau site dans la ville de Jijel.

- **Nouvelle prédiction de la couverture par niveau de signal**

La figure IV.31 représente le résultat de la nouvelle prédiction de la couverture par niveau de signal, c'est-à-dire le résultat après le déploiement des nouveaux sites dans la zone.

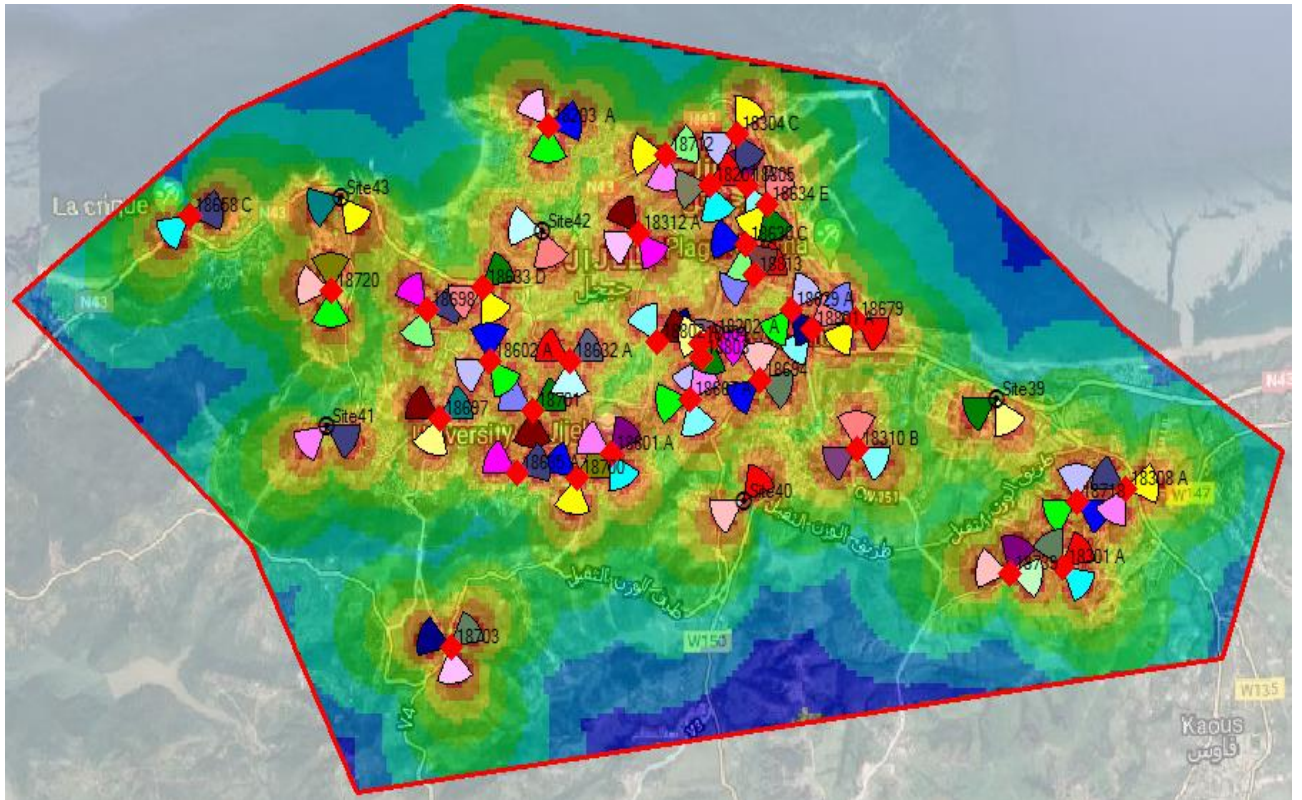
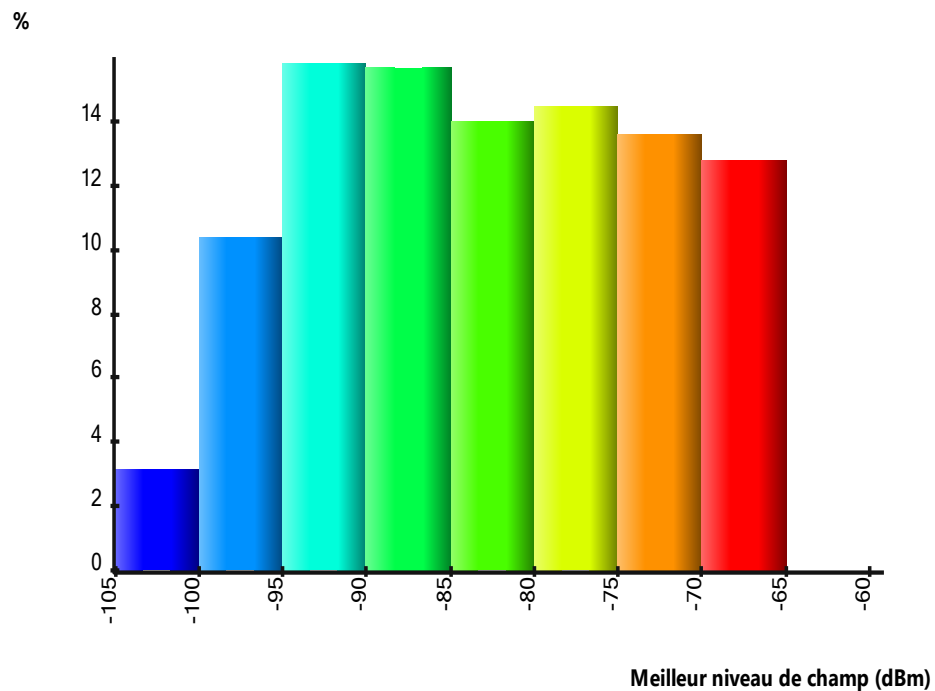


Figure IV.31 : Résultat de la nouvelle prédiction de la couverture par niveau de signal.

Après le déploiement d'un nouveau site dans la ville, nous avons vu que la ville de Jijel était bien couverte par rapport à la première simulation, donc la répartition des sites Très bon plan comme le montre l'histogramme.



Figure IV. 32 : Légende de la nouvelle prédiction de la couverture par niveau de signal.



x	y
[-105;-100]	3,1
[-100;-95]	10,42
[-95;-90]	15,85
[-90;-85]	15,7
[-85;-80]	14
[-80;-75]	14,52
[-75;-70]	13,61
[-70;-65]	12,78

Figure IV. 33 : Histogramme de la nouvelle couverture par niveau de signal.

L'histogramme de la figure IV.33, Nous montre que la zone couverte par la couleur rouge et orange a augmenté ce qui montre une bonne qualité de signal (-65dBm à -70dBm) et pour les zones où nous voulons améliorer cette qualité.

En comparant ces résultats avec les résultats de la figure IV.18, Nous trouvons que le niveau de champ de la meilleure qualité de signal a augmenté par rapport aux résultats précédents, qui nous montre que l'ajout des nouveaux sites a permis d'améliorer la couverture par une bonne qualité de signal.

VIII.2 Cas de la ville d'El-Aouana

Les zones qui ne sont pas couvertes dans la ville de l'Aouana est encerclé par la couleur rouge comme nous montre la figure IV.34:

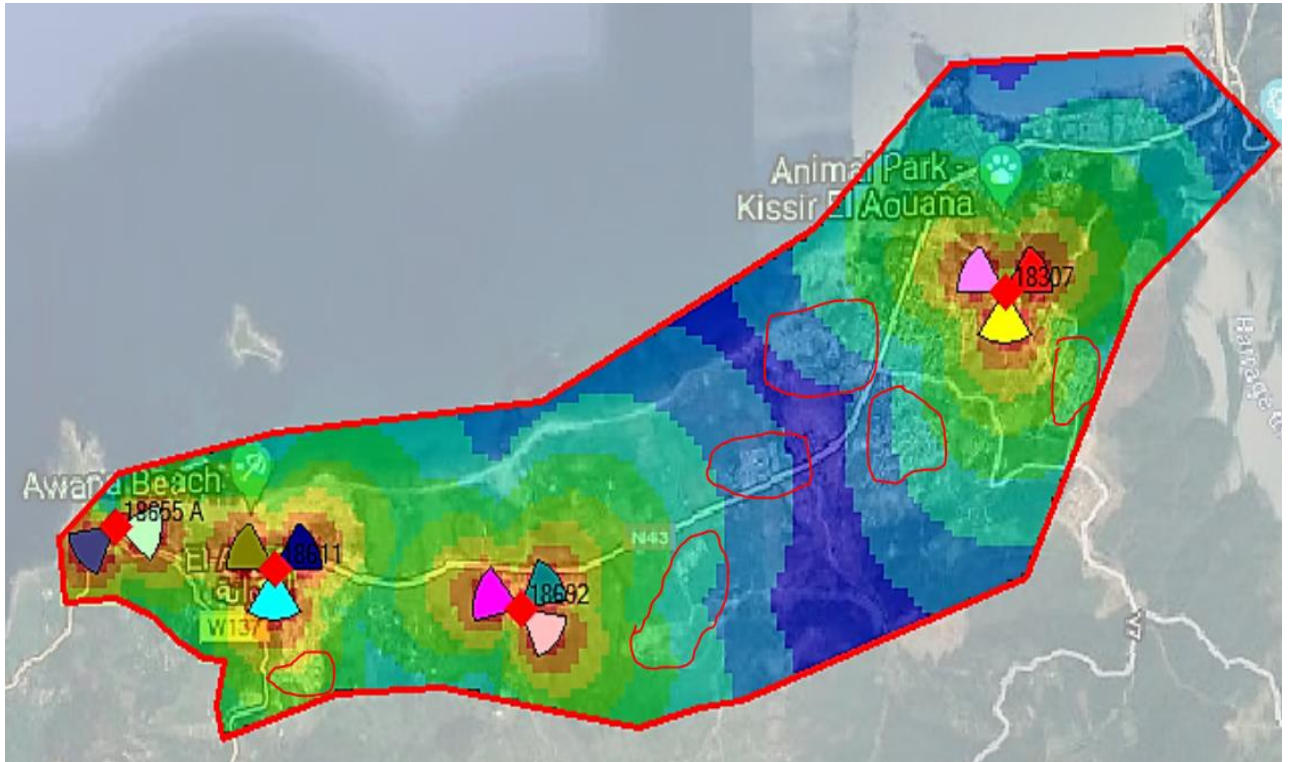


Figure IV. 34 : Zones à recouvrir.

Sur la Figure IV.35 .nous pouvons voir la disposition des nouveaux sites (44,45,46,47).

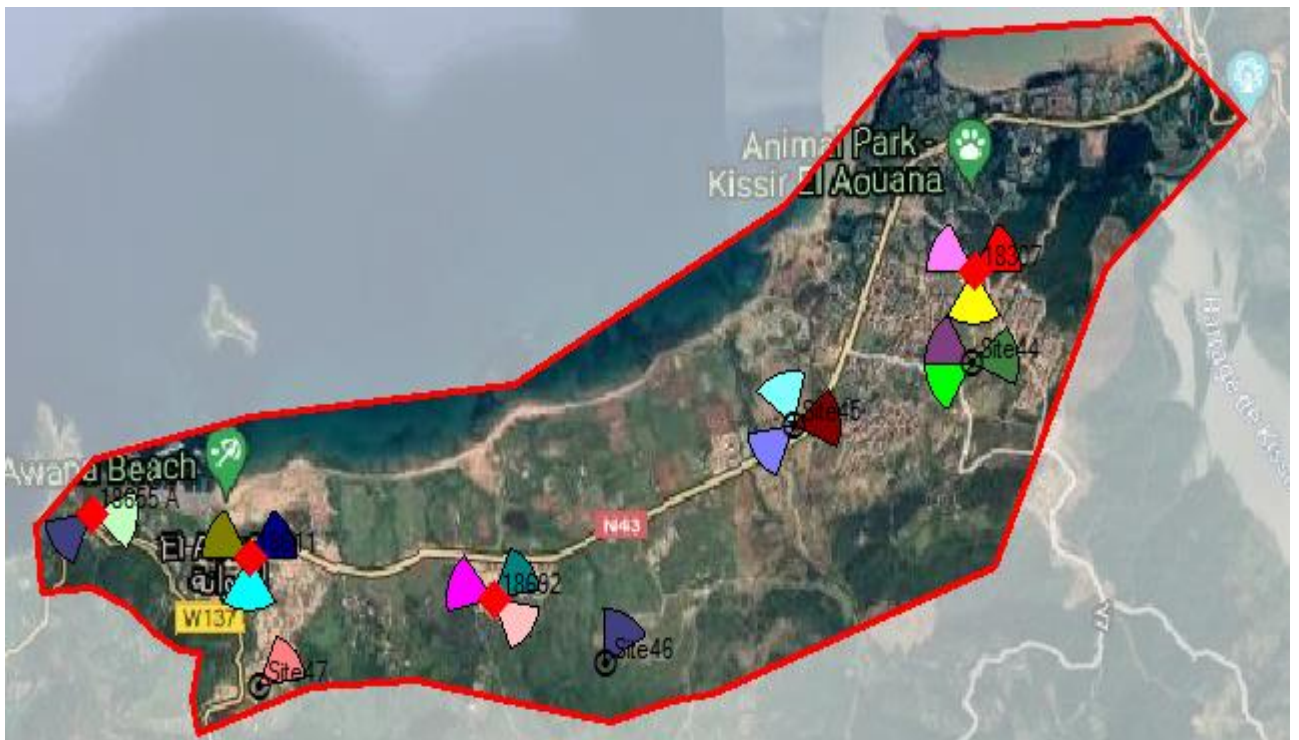


Figure IV. 35 : Disposition de nouveau site dans la ville d'El-Aouana.

- **Nouvelle prédiction de la couverture par niveau de signal**

La figure IV.36 représente le résultat de la nouvelle prédiction de la couverture par niveau de signal, c'est-à-dire le résultat après le déploiement des nouveaux sites dans la zone d'El-Aouana.

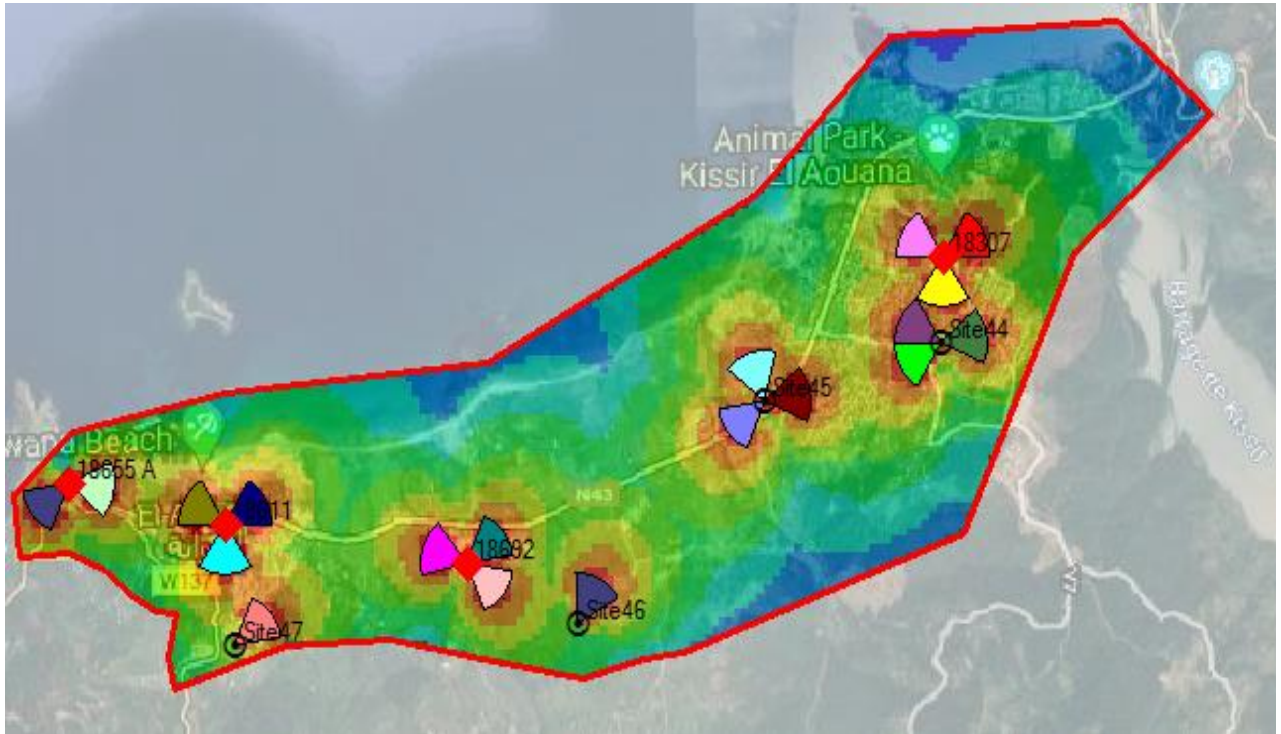


Figure IV. 36 : Résultat de la nouvelle prédiction de la couverture par niveau de signal.

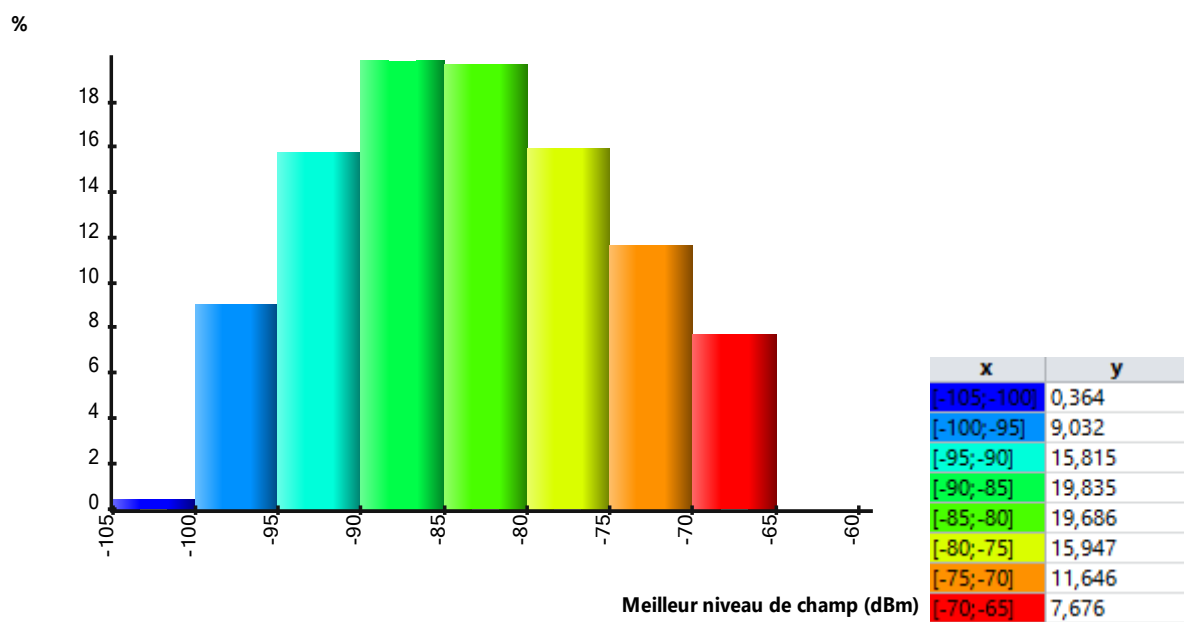


Figure IV.37 : Histogramme de la nouvelle couverture par niveau de signal.

Après le déploiement des nouveaux sites dans la ville, On remarque que le niveau de champ a augmenté qu'induit une bonne couverture sur la zone que nous voulons couvrir.

En comparant ces résultats avec les résultats de la figure IV.25, Nous trouvons que le niveau de champ de la meilleure qualité de signal a augmenté par rapport aux résultats précédents, qui nous montre que l'ajout des nouveaux sites a permis d'améliorer la couverture par une bonne qualité de signal.

IX. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons effectué la planification et l'optimisation d'un réseau LTE sur deux zones situées à Jijel avec des caractéristiques différents (la ville de Jijel et El-Aouana). Nous avons utilisé le logiciel de planification 'Atoll' et pour cela nous allons choisir le modèle numérique du terrain de la ville de Jijel et El-Aouana, positionner les différents sites et configurer tous ces paramètres.

Après, nous avons simulé les différentes prédictions de couverture et nous l'avons interprété les résultats.

Enfin, pour réduire le problème de couverture nous avons fait l'optimisation du réseau ; Donc nous avons choisi l'optimisation par l'ajout des sites Il existe de nombreuses zones résidentielles, plusieurs immeubles, plusieurs obstacles dans la ville de Jijel et Il compte 35 sites, Donc nous avons ajouté 5 sites afin de couvrir les zones moins couvertes. Au contraire la ville de l'Aouana, Il compte 4 sites, moins dense et peu des quartiers mais il y a de nouvelles zones résidentielles qui ne sont pas bien couvertes, Donc nous avons ajouté 4 nouveaux sites.

Conclusion générale

Les progrès dans le domaine des télécommunications sont en augmentation. De nos jours, un abonné est susceptible non seulement d'établir une connexion à tout moment pour récupérer ce dont il a besoin, mais en plus, il est capable d'accéder à une multitude de services à travers le même réseau. C'est le principe de la convergence des réseaux auxquels répondent les réseaux de nouvelle génération et en particulier le LTE.

L'objectif principal de ce projet est de planifier, dimensionner et optimiser un réseau LTE. Pour cela nous avons choisi deux zones avec des caractéristiques différentes, la ville de Jijel et El-Aouana pour l'opérateur Mobilis. Cette étude nous a permis de nous familiariser avec le travail d'ingénieur radio au sein de l'équipe, d'avoir un contact avec les équipements du réseau 4G, de profiter des outils logiciels disponible.

La planification est d'importance majeure dans le cycle de vie d'un réseau radio puisqu'elle est la base sur laquelle les étapes citées s'appuient. Nous avons simulé les différentes prédictions de couverture. Ces simulations montrent l'utilité de l'optimisation par l'ajout de site pour réduire le problème de couverture. Dans lequel cette optimisation qui nous permet d'installer plusieurs sites dans la ville de Jijel qui une ville bien agglomérée par rapport à la ville de El-Aouana qui moins dense et il est situé dans une zone avec de nombreux obstacles. Cependant, les tâches réalisées dans le cadre de ce projet de fin d'études ne sont qu'une première étape de la planification : les résultats obtenus doivent être vérifiés sur place, car des imprévus peuvent interférer (nouveaux bâtiments, obstacles saisonniers, etc.).

Notre projet servira de base de recherche pour d'autres projets à l'avenir, visant à vérifier les résultats de la planification dans l'environnement réel et l'optimisation du réseau sur la base de tests appropriés.

Le présent mémoire en servira d'aide efficace décrivant la procédure à suivre et les arrangements à entreprendre.

Bibliographie

- [1] L. Mostari, « Télécommunications fondamentales », cours trouvé à la page web :< <https://www.univ-chlef.dz/ft/wp-content/uploads/2020/04/telecom-fondamentales.pdf>>, (consulté en avril 2021).
- [2] M.T. Benhabiles, « Télécommunications fondamentales », Cours trouvé à la page web :< <https://www.umc.edu.dz/images/UEF2.2.1.pdf>>, (consulté en juin 2021).
- [3] S.Labardji, « Introduction aux Télécommunications », Cours trouvé à la page web : < <https://www.samylab.com/telecommunications-fondamentales-cours/>> (consulté en juillet 2021).
- [4] M. Diarra, « Planification et dimensionnement d'un réseau LTE, » Mémoire de Master en Télécommunications, Université Abdelhamid Ibn Badis, Mostaganem, 2020.
- [5] D.Alexvalery, « Etude de l'évolution du Cœur Paquet vers L'EPC : Cas d'Orange coté d'ivoire,» Ecole Supérieure d'industrie, Cote D'ivoire, 2014.
- [6] H.Tounsi, « Optimisation de la Couverture Radio du Réseau 4G de Tunisie télécom, » Mémoire de Master, Université Virtuelle, Tunisie, 2016.
- [7] K.Abderrahime, « Planification d'un réseau 4G en zone urbaine, » Mémoire de Master, Université Abderrahmane Mira, Bejaia, 2016.
- [8] D.Betaouaf, W. Boumechera, « Développement d'un Outil de Dimensionnement et de Planification d'un Réseau 4G-LTE, » Mémoire de Master, Université Abou Beker Belkaid, Tlemcen, 2015.
- [9] A. F. Pape, « Modélisation, analyse et optimisation de réseaux hybrides unicast-broadcast Pour la diffusion de services multimédias linéaires et non linéaires, » Thèse de Doctorat, Université Bretagne Loire, Rennes, 2017.
- [10] A. Ahmed Sidi, « Dimensionnement et Planification d'un réseau 4G LTE : Optimisation Du réseau d'accès, » Mémoire de fin d'étude, Ecole Supérieure Polytechnique, Antananarivo, 2015.
- [11] M. A. Khelil, « Etude et Performance d'un Système de Communication Sans Fil à Base D'OFDM MIMO, » Thèse de Doctorat, Université Ferhat Abbas, Sétif, 2017.
- [12] N.Larbi, « Détection multi-utilisateurs dans le contexte de communication mobile :Exploitation de la combinaison OFDM/CDMA, » Thèse de Doctorat, Université Mohamed Boudiaf, Oran, 2015.
- [13] K. Daoud, « Simulation Comparative des Techniques FBMC et OFDM Pour les Réseaux 5G, » Mémoire de Master, Université Abou Beker Belkaid, 2015.
- [14] A. Ramasondrano, « Etude de Performance de Système OFDM, » Mémoire de Master, École Supérieure Polytechnique, Antananarivo, 2016.

- [15] N. Farhi et S. Helaimia, « Etude et Simulation d'une Transmission de Type OFDM Pour Les Communications Sans Fil, » Mémoire de Master, Université Larbi Tebessi, Tébessa, 2016.
- [16] S. H. YEO et S. Alwi, « Evaluation Des Performances Des Techniques D'accès OFDMA et SC-FDMA Dans La Technologie LTE, » Mémoire de Master, Université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen, 2012.
- [17] D. Chihaoui, S. Moudir, « Dimensionnement d'un Réseau 4G LTE », Mémoire de Master, Université Moloud Mammeri, Tizi Ouzou, 2018.
- [18] O. Boushaki, A. Mosbah, « Planification et dimensionnement d'un réseau 4G, » Mémoire de Master, Université Saad Dahlab, Blida, 2020.
- [19] M.T.Milazavata, « Algorithme d'Optimisation des Performances de la Technologie LTE (4G), » Mémoire de Master, Ecole Supérieure Polytechnique, Antananarivo, 2018.
- [20] I.Zenati, O. Boufersakha, « Dimensionnement et Planification d'un Réseau LTE, » Mémoire de Master, Université Abou Bakr Belkaid, Tlemcen, 2017.
- [21] A.Khelifi, A. Haddad, « Planification et Dimensionnement d'un Réseau Mobile LTE /4G, » Mémoire de Master, Université Akli Mohand Oulhadj, Buir, 2018.
- [22] R.L.A. Samhon, « Dimensionnement et optimisation de la couverture radio de réseau 4G LTE, » Mémoire de Master, Ecole Supérieure Polytechnique, Antananarivo, 2016.
- [23] E.Jammazi, « Optimisation d'un réseau 4G pilote pour Tunisie télécom, » Mémoire de Fin d'études, Ecole Nationale d'ingénierie de Gabés, Tunisie, 2013.
- [24] Y. Bouslah, M. Jouini, « Dimensionnement et planification d'un réseau 3G/4G, » Mémoire de fin d'études, Institut Supérieur des Etudes Technologiques et Communications De Tunis, Tunisie, 2015.
- [25] H. Moussaoui, M. Ramdani, « Etude de la Planification Radio d'un Réseau Umts, » Mémoire de Master, Université Abderrahmane Mira, Bejaia, 2015.
- [26] « Okumura-Hata Propagation Model Tuning Through Composite Function of Prediction Residual », trouvé à la page web : < <https://core.ac.uk/reader/230624670> >, (consulté en Aout 2021).

Résumé

L'objectif principal de ce projet est de faire une étude du concept de planification radio et le dimensionnement du réseau LTE afin d'avoir une meilleure couverture de la ville de Jijel et la commune El-Aouana avec la 4G. Nous avons tout d'abord entamé ce projet par une présentation des différentes techniques d'accès multiple. Ensuite, on a introduit le processus de dimensionnement du réseau LTE en fonction de la couverture, la capacité et la qualité de service. Enfin, on a terminé par le processus de planification ; on a effectué des simulations avec un outil de planification 'ATOLL'. Des prédictions ont été faites pour connaître et optimiser les performances du réseau en termes de couverture.

Mots clés : LTE, OFDM, SC-FDMA, Dimensionnement, Planification, Atoll.

Abstract

The main objective of this project is to study the concept of radio planning and the dimensioning of the LTE network in order to have better coverage of Jijel city and EL-Aouana village with 4G. We first started this project with a presentation of the different multiple access techniques. Then, we introduced the process of dimensioning the LTE network according to the coverage, capacity and quality of service. Finally, we finished with the planning process; we carried out simulations with a planning tool 'ATOLL'. Predictions were made to know and optimize the performance of the network in terms of coverage.

Keywords: LTE, OFDM, SC-FDMA, Sizing, Planning, Atoll.

ملخص

الهدف الرئيسي من هذا المشروع هو دراسة مفهوم التخطيط الراديوي وأبعاد شبكة LTE من أجل تغطية أفضل لمدينة جيجل وبلديه العوانة بالجيل الرابع G4. بدأنا هذا العمل أولاً بعرض تقديمي لتقنيات الوصول المتعددة المختلفة. بعد ذلك، قمنا بإجراء عمليات تحجيم شبكة LTE وفقاً للتغطية، السعة وجودة الخدمة. أخيراً أنهينا هذا العمل بمحاكاة شبكة الاتصالات باستخدام برنامج التخطيط "ATOLL". وبعدها تم عمل تنبؤات لمعرفة وتحسين أداء الشبكة من حيث التغطية.

الكلمات المفتاحية: LTE, OFDM, SC-FDMA, Atoll, التخطيط، التحجيم.