

الجمهورية الجزائرية

الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique Et Populaire

وزارة التعليم العالي

والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة العربي

التبسي - تبسة

Université Larbi Tébessi – Tébessa –

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de Génie électrique

MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de Master Académique

Spécialité : Réseaux et Télécommunication

Par : RAMDANE Khouloud

Principe et méthodologie de planification d'un réseau de nouvelle génération

Présenté et soutenu publiquement, le 12 juin 2022 devant le jury composé de :

Mme. Djellab Hanane

MCA

Encadreur

Mr. Bentahar Tarek

MCA

Examineur

Mme. Ouacifi Malika

MAA

Examineur

Promotion : 2021/2022

Dédicaces

Je dédie ce travail à :

Ma Chère Mère

Tu m'as comblé de ta tendresse et de ton amour tout au long de mon parcours. Tu n'as jamais cessé de me soutenir et de m'encourager durant les années de mes études, tu es toujours à mes côtés, me réconfortant quand j'en ai besoin. Que dieu tout puissant vous accorde santé, bonheur et longévité.

À l'âme de mon père

Tant de phrases et d'expressions, ne peuvent exprimer ma gratitude. Vous m'avez donné la confiance. Vos conseils m'ont mené au succès. Votre patience sans fin, votre compréhension et vos encouragements ont été le soutien important que vous avez su m'apporter. Et je ferai toujours de mon mieux pour garder ta fierté et ne jamais te laisser tomber. Que Dieu ait pitié de toi, mon cher, et t'accorde son paradis et plus.

A mon Frères et mes sœurs pour leur amour et leur appui inconditionnels. Sans vous, mes projets ne se seraient jamais réalisés.

A mes nièces les sources du bonheur.

A Mme Djellab Hanane l'encadrante que dieu la garde et la protège.

A tous les gens qui m'aiment.

Remerciement

D'abord, nous remercions dieu le tout puissant. Grâce à lui que nous avons la force et le courage pour accomplir ce travail.

Je tiens à exprimer ma reconnaissance à madame Djellab Hanane pour avoir accepté de m'encadrer dans cette mémoire de fin d'étude. Je la remercie pour son implication, son soutien et ses encouragements tout au long de ce travail.

Je tiens à remercier monsieur Mena Saber qui m'a aidé pour terminer ce travail.

Merci aux membres de jury d'avoir accepté d'évaluer mon travail.

Merci à tous mes professeurs de parcours de Télécommunications.

J'adresse mes remerciements à mes parents, Pour leurs aides précieuses et leurs soutiens tout au long de l'élaboration de ce travail.

Je prie Dieu d'avoir pitié de mon père, décédé cette année.

Table des Matières

Dédicaces	ii
Remerciement.....	iii
Table des Matières	iv
Liste des tableaux	viii
Liste des figures.....	ix
Liste d'abréviations.....	i
Introduction Générale.....	1
Chapitre 1 Etude de réseau LTE	3
1.1 Introduction	3
1.2 Historique	3
1.3 Définition de réseau LTE (Long Term Evolution).....	4
1.4 Architecture de LTE	5
1.4.1 EU (Equipement usager)	5
1.4.2 E-UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network)	5
1.4.3 EPC (Evolved Packet Core)	5
1.5 Bandes de fréquences.....	7
1.5.1 Bandes de fréquences FDD et TDD	7
1.6 Les modes de duplexages.....	9
1.6.1 FDD (Frequency Division Duplex).....	9
1.6.2 TDD (Time Division Duplex).....	9
1.7 Structure de la trame	10
1.7.1 FDD.....	10
1.7.2 TDD.....	11

1.8	Bloc de ressources LTE	13
1.9	La modulation de LTE	14
1.10	Les types d'accès	15
1.10.1	L'OFDM	15
1.10.1.1	OFDMA.....	16
1.10.1.2	SC-FDMA	18
1.11	Contrôle de puissance.....	18
1.11.1	RSSI (Received Signal Strength Indicator)	19
1.11.1.1	RSRP (La puissance reçue du signal de référence)	20
1.11.1.2	RSRQ (Qualité du signal de référence reçu)	20
1.11.2	Rapport signal sur bruit (RSB)	21
1.11.3	Rapport Porteuse sur Interférences (CIR)	21
1.11.4	Puissance d'interférence reçue (RIP).....	21
1.11.5	Interférences de Signal plus Bruit (SINR).....	22
1.12	MIMO LTE.....	22
1.13	Le réseau LTE-Advanced	23
1.14	Les avantages et les limites de réseaux 4G.....	23
1.15	Conclusion	24
Chapitre 2	Dimensionnement d'un réseau LTE.....	25
2.1	Introduction	25
2.2	Processus de dimensionnement	25
2.3	Dimensionnement orienté couverture	26
2.3.1	Bilan de liaison (BL)	27
2.3.1.1	Les paramètres pour évaluer le bilan de liaison	29
2.3.1.2	Calcul du bilan de liaison	32

2.3.1.2.1 Bilan de liaison Uplink.....	32
2.3.1.2.2 Bilan de liaison Downlink.....	33
2.3.2 Modèle de Propagation.....	34
2.3.2.1 Propagation en espace libre (Free Space).....	35
2.3.2.2 Les modèles empiriques.....	36
a. Modèle d'Okumura-Hata.....	36
b. Modèle de COST231-Hata.....	37
c. Modèle de propagation standard SPM.....	38
2.3.2.3 Modèle déterministe.....	38
2.3.3 Détermination du nombre de sites.....	39
2.4 Dimensionnement orienté capacité.....	41
2.4.1 Estimation du trafic.....	41
2.4.2 Le nombre de sites nécessaires.....	42
2.5 Indicateur de performance LTE.....	42
2.6 Conclusion.....	45
Chapitre 3 Simulation LTE avec Atoll.....	46
3.1 Introduction.....	46
3.2 Présentation de l'Atoll.....	46
3.3 Création d'un projet.....	47
3.3.1 Présentation de la région à planifier.....	47
3.3.2 Démarrage d'un projet Atoll.....	49
3.3.2.1 Ouverture d'un nouveau projet.....	49
3.3.2.2 Réglage des paramètres de la zone.....	50
3.3.2.3 L'ajout de la carte.....	51
3.3.2.4 Création d'un site.....	53

3.3.2.5 Création d'une cellule.....	54
3.3.3 Prédiction de couverture.....	55
3.3.3.1 La couverture par niveau de signal.....	56
3.3.3.2 Prédiction de couverture par émetteur.....	60
3.3.3.3 Calculs de la zone de recouvrement.....	61
3.3.3.4 Prédiction de la couverture par débit (UL+DL) :.....	63
3.3.3.5 Impacte de l'augmentation du nombre d'utilisateurs sur la capacité.....	66
3.4 Conclusion.....	69
Conclusion Générale et Perspective	70
Références Bibliographiques	71
Annexe A Disposition des sites	73
Résumé.....	75

Liste des tableaux

Tableau 1-1 : Bandes de fréquences pour la technologie LTE [5]	8
Tableau 1-2 : Nombre de sous-porteuses et de RB dans chaque BP pour UL et DL	12
Tableau 2-1 : Bilan de liaison Montante [16].....	32
Tableau 2-2 : Bilan de liaison descendante [16].....	34
Tableau 2-3 : Empreinte du site en fonction du nombre de secteurs [22].....	39
Tableau 2-4 : Surface de la zone [22]	40

Liste des figures

Figure 1-1 : Architecture du système LTE [23].....	5
Figure 1-2 : Répartition des voies montante et descendante en temps et fréquence pour duplexage TDD et FDD [21]	10
Figure 1-3 : Structure de la trame en LTE FDD [8].....	11
Figure 1-4 : structure de trame en TDD [6].....	11
Figure 1-5 : trame LTE [25]	13
Figure 1-6 : Architecture de block ressource LTE [26]	14
Figure 1-7 : Elimination d'IIS par CP [9].....	16
Figure 1-8 : Principe de L'OFDM [17]	16
Figure 1-9 : Schéma bloc montré le principe de OFDMA/ SC-FDMA [11].....	17
Figure 1-10 : La différence entre ces techniques OFDMA / SC-FDMA [19].....	18
Figure 1-11 : La technique MIMO [9]	23
Figure 2-1 : Schéma représentatif d'une liaison radio mobile 4G [15]	27
Figure 2-2 : Principe de bilan de liaison [15]	29
Figure 2-3 : Bilan de liaison Uplink [24]	32
Figure 2-4 : Bilan de liaison Downlink [24]	33
Figure 2-5 : Les paramètres des équations [10].....	36
Figure 2-6 : Différents types de site [21]	39
Figure 2-7 : Modèle hexagonale de la cellule [22]	40
Figure 2-8 : Les trois phases du Handover [6]	44
Figure 3-1 : La carte de la commune de Boulhaf Dir (Google Earth)	48
Figure 3-2 : Zone de l'université de Boulhaf Dir	48
Figure 3-3 : Lancement de l'outil Atoll	49
Figure 3-4 : Nouveau document Atoll basé sur le modèle LTE.	50

Figure 3-5 : Réglage des paramètres de projection et de formats.....	51
Figure 3-6 : La carte de Tébéssa sur Atoll	52
Figure 3-7 : La zone qu'on va planifier	52
Figure 3-8 : Création d'un émetteur et ses caractéristiques	53
Figure 3-9 : Configuration de la cellule ou antenne.....	55
Figure 3-10 : Différents types de prédictions	56
Figure 3-11 : Prédiction de la couverture par niveau du signal C/ (I+N)	57
Figure 3-12 : Histogramme de la couverture par niveau de signal	58
Figure 3-13 : Légende pour couverture par niveau de signal	58
Figure 3-14 : Ajout de nouveau site dans la ville	59
Figure 3-15 : Résultat de la nouvelle prédiction de la couverture par niveau de signal	59
Figure 3-16 : Histogramme de nouvelle couverture par niveau de signal	60
Figure 3-17 : Prédiction de couverture par émetteur	61
Figure 3-18 : Carte de recouvrement	62
Figure 3-19 : Histogramme de couverture par les zones de recouvrement	62
Figure 3-20 : Légende de la carte de recouvrement.....	63
Figure 3-21 : Prédiction de la couverture par débit DL	63
Figure 3-22 : Prédiction de la couverture par débit UL	64
Figure 3-23 : Legende de simulation	64
Figure 3-24 : Résultat de calcul du débit pour DL.....	65
Figure 3-25 : Résultat de calcul du débit pour UL.....	66
Figure 3-26 : La DCFI de la capacité effective de la cellule : cas 5 utilisateurs/cellule	67
Figure 3-27 : La DCFI de la capacité effective de la cellule : cas 15 utilisateurs/cellule	68
Figure 3-28 : La DCFI de la capacité effective de la cellule : cas 50 utilisateurs/cellule	68

Liste d'abréviations

Abréviations	Libellé complet
1G	Première Génération
2G	Deuxième Génération
3G	Troisième Génération
4G	Quatrième Génération
5G	Cinquième Génération
3GPP	3rd Génération Partnership Project
16-QAM	16 Quadrature Amplitude Modulation
64-QAM	64 Quadrature Amplitude Modulation
C	
CC	Component Carrier
CP	Cyclic Prefix
D	
DCFI	Distribution Cumulative Fonction Inverse
DFT	Discrete Fourier Transform
DL	Downlink
DwPTS	Downlink Pilot Time Slot
E	
EDGE	Enhanced Data Rates for GSM Evolution
EIRP	Equivalent Isotrope Radiated Power
ENodeB	Evolved Node Base
EPC	Evolved Packet Core
E-UTRAN	Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network
F	
FDD	Frequency Division Duplexing
FDMA	Frequency Division Multiple Access.
G	
GPRS	General Packet Radio Service

GSM	Global System for Mobile
H	
HSS	Home Subscriber Server
HSPA	High Speed Packet Access
HLR	Home Location Register
I	
IDFT	Inverse Discrete Fourier Transform
IFFT	Inverse Fast Fourier Transform
IP	Internet Protocol
LTE	Long Term Evolution
M	
MAPL	Maximum Allowable PathLoss
MIMO	Multiple Input Multiple Output
MME	Mobility Management Entity
N	
NF	Noise Figure
O	
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
P	
PCRF	Policy Control and Charging Rules Function
PDN	Packet Data Network
PGW	Packet Data Network Gateway
PIRE	Puissance Isotrope Rayonnée Equivalente
PRB	Physical Resource Block
Q	
QOS	Quality of Service
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
R	
RE	Resource Element
RF	Radio Frequency
RS	Reference Symbol

RLB	Radio Bilan de liaison
S	
SC	Single Carrier
SC- FDMA	Single Carrier FDMA
SGW	Serving Gateway
T	
TDD	Time Division Duplexing
TTI	Transmission Time Interval
U	
UL	Uplink
UE	User Equipment
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System
V	
VoIP	Voice over IP

Introduction Générale

À l'heure actuelle, le développement rapide de la technologie des télécommunications a entraîné des développements remarquables qui non seulement facilitent notre vie quotidienne, mais apportent également des contributions importantes au développement des systèmes informatisés.

Cette motivation, permet aux générations mobiles de se succéder et se développer de technologie GSM vers un système de paquets tout IP optimisé ce qu'on appelle LTE (Long Term Evolution). Une problématique se pose, pourquoi la technologie LTE ?

Le groupe de travail 3GPP a introduit LTE, d'abord en Europe, aux États-Unis, puis dans le monde entier. Alors en Algérie, les opérateurs ont commencé à fournir aux utilisateurs la technologie LTE pour avoir un débit élevé, une bonne qualité de service et pour assurer la rentabilité. Cela est dû aux équipements utilisés par LTE : utilisation de l'accès multiple à fréquence orthogonale (OFDM), duplexage temporel et fréquentiel (TDD et FDD), des technologies d'antenne avancées telles que la technologie MIMO (Multiple Input Multiple Output) et les méthodes de la QOS.

Cette évolution a incité les opérateurs à adapter leurs méthodes de dimensionnement et de planification pour s'adapter à la nouvelle technologie. Cela ajoute de la complexité et de l'importance au niveau du réseau, qui combine plusieurs technologies d'accès pour former un réseau hétérogène. La planification doit répondre à de nouveaux enjeux : croissance de nouveaux services, compatibilité avec les réseaux actuels, gestion des usagers entre cellules, qualité de service.

Le logiciel utilisé dans notre projet pour faire la planification et l'optimisation du réseau c'est l'Atoll.

La mémoire est constituée de trois chapitres comme suite :

Dans le premier chapitre nous allons faire une présentation approfondie de réseau LTE, son architecture, ses caractéristiques, les méthodes d'accès...

Error! Use the Home tab to apply Titre 1 to the text that you want to appear here.

Le deuxième chapitre est consacré à la recherche théorique sur le dimensionnement de la capacité et de la couverture. Nous couvrirons les concepts de bases pour dimensionner sur les deux plans.

Dans le troisième chapitre nous présenterons notre outil de dimensionnement ainsi que son principe de planification et les résultats de simulation par le logiciel Atoll.

A la fin, on terminera notre travail par une conclusion générale.

Chapitre 1

Etude de réseau LTE

1.1 Introduction

Ce premier chapitre est consacré au réseau radio mobile LTE (Long Term Evolution). Nous allons décrire c'est quoi le réseau LTE, les différentes composantes de la technologie LTE et leurs caractéristiques, les différentes techniques OFDMA, SC-FDMA, MIMO, le réseau LTE-Advanced...etc

1.2 Historique

Un réseau mobile est un système de réseau téléphonique qui fonctionne en utilisant des fréquences qui forment le spectre radio. Le réseau permet à des millions d'utilisateurs de communiquer en même temps pendant leurs déplacements, sans aucune restriction d'immobilité.

Il existe plusieurs générations de réseaux mobiles, 2G, 3G, 4G, 5G : ces abréviations ont marqué l'évolution des réseaux de communication au cours des 30 dernières années. Ces acronymes marqués sur les téléphones portables correspondent en fait à des générations de standards téléphoniques qui ont progressivement émergé avec le développement des réseaux de télécommunication.

Les réseaux mobiles sont basés sur le concept de cellules, c'est pourquoi ils sont également appelés réseaux cellulaires.

Les réseaux radio mobiles sont généralement classés en générations, Le 1G est un système de radio mobile analogique dans les années 1980 (premiers téléphones portables). Puis est apparu en 1987 2G, communément appelé GSM, marquant le passage de l'analogique au numérique. Le réseau mobile de deuxième génération permet d'envoyer le premier MMS (photo, son) tout comme la génération 1G permet d'envoyer le premier SMS. La 2G est une sorte de réseau internet. La 3G est le premier système à large bande. Les données transmises

par le réseau 3G sont plus importantes que la génération précédente, ce qui correspond principalement à la transmission de données à haut débit (photos, vidéo, son) et à la connexion Internet. La 4G est un réseau mobile à très haut débit, c'est la première version de la norme LTE (Long Term Evolution) apparu en 2009 et développé par le 3GPP. Le débit fourni par cette norme est 10 fois plus rapide que la 3G. La 4G peut également fournir des vitesses plus rapides que l'ADSL via une connexion Wi-Fi.

3GPP (Third Generation Partnership Project) ; Il s'agit de la coopération entre plusieurs associations de télécommunications au niveau mondial, telles que : ITU (International Telecommunication Union), ETSI (European Telecommunications Standards Institute). Son rôle est de maintenir et de développer les spécifications du système :

- GSM (2G) / GPRS (2,5G) / EDGE (2,75) ;
- Normes UMTS, 3G, HSPA et HSPA+ ;
- Réseau LTE ;
- 5G.

1.3 Définition de réseau LTE (Long Term Evolution)

LTE est ce qu'on appelle réseau mobile de 4^{ème} génération. C'est l'évolution des normes de téléphonie mobile GSM, EDGE et UMTS. Ce type de réseau est destiné à remplacer le réseau de 3^{ème} génération qui commence à atteindre ses limites. La norme LTE est définie par le consortium 3GPP, et les réseaux 4G sont désormais la norme pour la grande majorité des utilisateurs de smartphones et autres appareils mobiles connectés au réseau téléphonique, en attendant la 5G [1].

Le principal avantage de la 4G réside dans la vitesse d'échange de données offerte par ce réseau mobile, qui peut même parfois dépasser la vitesse d'une internet ADSL fixe. Ce très haut débit mobile permet de surfer sur internet, d'écouter de la musique ou de regarder des films ou de streaming avec la qualité de connexion inégalée d'aujourd'hui à condition évidemment d'être situé dans une zone de couverture du réseau et de bénéficier d'un forfait 4G incluant l'échange de données numériques (data).

1.4 Architecture de LTE

L'architecture générale du système LTE est composée :

- Equipement usager - UE -
- Réseau d'accès - E-UTRAN –
- Réseau cœur - EPC –

1.4.1 UE (Equipement usager)

Représente le vecteur qui permet à l'abonné d'accéder au réseau (équipement mobile).

1.4.2 E-UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network)

Permet l'utilisateur connecter le réseau et acheminer les informations vers le cœur du réseau.

1.4.3 EPC (Evolved Packet Core)

Assure la gestion d'utilisation, la mobilité, la qualité de service et gestion de sécurité.

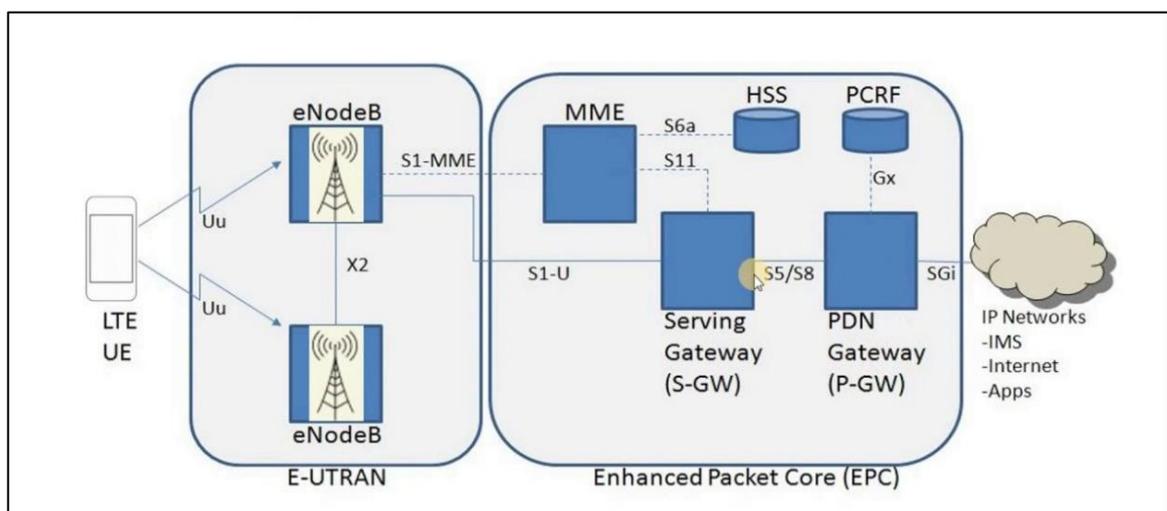


Figure 1-1 : Architecture du système LTE [23]

UE Communique avec l'E-UTRAN et l'EPC en utilisant les protocoles appropriés la communication du plan utilisateur, se termine au niveau de l'eNodeB et supporte tous les protocoles afférents au plan utilisateur.

ENodeB

- L'eNodeB est responsable de la transmission et de la réception radio avec l'UE ;
- Minimiser les pertes de paquets lors de la mobilité de l'utilisateur ;
- Cryptage des données d'utilisateur ;
- Routage des données utilisateur entre EnodeB et SGW.

MME (Mobility Management Entity)

- MME est responsable de la gestion de la mobilité et l'authentification des utilisateurs ;
- responsable aussi du Paging lorsque l'utilisateur est en état inactif (Indiquer au SGW la position d'UE lorsqu'il est dans un état repos) ;
- sélectionne les composants dédiés aux types de la communication de l'utilisateur ;
- comporte les fonctionnalités de base de la signalisation dans la connexion de l'UE.

S-GW (Serving Gateway) ou UPE (User Plane Entity)

- S-GW agit comme une passerelle lors du Handover inter-domaines et inter-réseaux, il est donc responsable du routage des paquets de données entre E-UTRAN et réseaux cœur.
- Il peut être lié à plusieurs PGW pour permettre aux UE d'être connecté simultanément à différents PDN.
- La passerelle PDN (Packet Data Network) est l'élément important du réseau mobile 4G qui interconnecte l'EPC avec les réseaux IP externes.

P-GW (Packet Data Network Gateway)

- construire le nœud qui relie l'utilisateur mobile aux autres réseaux PDN ;
- Allocation d'adresse IP pour UE ;
- Filtrage de paquets qui peut se faire à un niveau basé sur l'utilisateur ;
- Il agit comme routeur transitant les requêtes d'utilisateur.

HSS (Home Subscriber Server)

HSS base de données, évolution du HLR (Home Subscriber Server) de la 3G. Elle contient les informations de l'abonnement pour les réseaux GSM, GPRS, 3G et LTE..., qui peuvent être utilisées pour le contrôle d'appels et la gestion des utilisateurs par MME [2].

PCRF (Policy & Charging Rules Function)

- PCRF prend en charge le déploiement de solutions flexibles et dynamiques pour le contrôle des réseaux haut débit ;
- Il coordonne la qualité de service (QoS) entre le réseau de données public externe et Evolved Packet Core (EPC) ;
- Détermine comment les paquets doivent être pris en compte en gérant les règles, les services et les ressources du support ;
- PCRF gère les politiques de facturation qui doivent être prises en compte par le PDN-GW et applicables en fonction des actions de l'utilisateur [3].

1.5 Bandes de fréquences

Un nouveau réseau d'accès donc une nouvelles bandes de fréquences à exploiter. Les bandes de fréquences pour la 4G sont variés :

- Haute fréquence à large bande : permettant un débit maximal pour les zones denses. Cette bande se situe autour de 2600 MHz et porte numéro 7 de canal.
- Une bande de fréquence inférieure au précédent est plus limitée pour couvrir de très grandes zones. Cette bande se situe autour de 800 MHz et prend numéro 20 de canal (UL : 832-862 MHz / DL : 791-821 MHz).
- Deux autres bandes plus récentes : une à basse fréquence environ 700 avec le numéro 28 (UL : 703-748 MHz / DL : 758-803 MHz) et une à partir d'environ 1800 MHz et numéro 3 [4].

Les modes de duplexage FDD et TDD doivent être pris en charge pour toutes ces largeurs de bande.

1.5.1 Bandes de fréquences FDD et TDD

Le spectre FDD nécessite une bande pour la liaison montante et une pour la liaison descendante, et TDD nécessite une seule bande car les liaisons montante et descendante sont sur la même fréquence mais séparées dans le temps. Souvent, un seul UE devra détecter si une transmission TDD ou FDD doit être effectuée sur une bande donnée. Les UE itinérants peuvent rencontrer les deux types sur la même bande.

Error! Use the Home tab to apply Titre 1 to the text that you want to appear here.

Les différentes attributions de fréquences LTE ou de bandes de fréquences LTE sont numérotées. Actuellement, les bandes 1 à 22 sont pour FDD et les bandes 33 à 41 sont pour TDD [5].

Tableau 1-1 : Bandes de fréquences pour la technologie LTE [5]

Bande	Release	Liaison montante (MHz)	Liaison descendante (MHz)	Mode Duplex
1	R99	1920–1980	2110–2170	FDD
2	R99	1850–1910	1930–1990	FDD
3	R5	1710–1785	1805–1880	FDD
4	R6	1710–1755	2110–2155	FDD
5	R6	824–849	869–894	FDD
6	Non utilisée			
7	R7	2500–2570	2620–2690	FDD
8	R7	880–915	925–960	FDD
9	R7	1749.9–1784.9	1844.9–1879.9	FDD
10	R7	1710–1770	2110–2170	FDD
11	R8	1427.9–1447.9	1475.9–1495.9	FDD
12	R8	699–716	729–746	FDD
13	R8	777–787	746–756	FDD
14	R8	788–798	758–768	FDD
15	Non utilisée			
16	Non utilisée			
17	R8	704–716	734–746	FDD
18	R9	815–830	860–875	FDD
...

33	R99	1900–1920	1900–1920	TDD
34	R99	2010–2025	2010–2025	TDD
35	R99	1850–1910	1850–1910	TDD
36	R99	1930–1990	1930–1990	TDD
37	R99	1910–1930	1910–1930	TDD
38	R7	2570–2620	2570–2620	TDD
39	R8	1880–1920	1880–1920	TDD
40	R8	2300–2400	2300–2400	TDD
41	R10	2496–2690	2496–2690	TDD

1.6 Les modes de duplexages

Le duplexage définit la manière dont sont séparées les transmissions sur la voie descendante (DL) et sur la voie montante (UL). Il existe deux principaux modes de duplexage :

1.6.1 FDD (Frequency Division Duplex)

En mode FDD, les voies montante et descendante opèrent sur deux fréquences porteuses séparées par une bande de garde.

1.6.2 TDD (Time Division Duplex)

En mode TDD, 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, et les autres pour la voie descendante. Un temps de garde est nécessaire aux changements de direction de transmission.

L'interface radio du LTE supporte les deux modes de duplexage FDD et TDD.

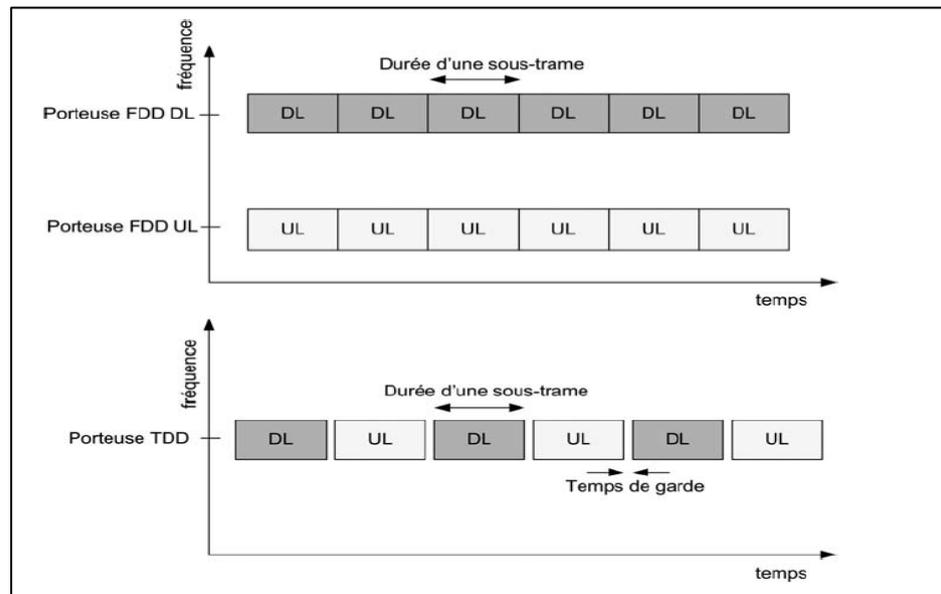


Figure 1-2 : Répartition des voies montante et descendante en temps et fréquence pour duplexage TDD et FDD [21]

1.7 Structure de la trame

Les données sont transmises dans une trame de durée 10 ms divisée en 10 sous-trames d'une durée de 1 ms, numérotées de 0 à 9 (nommée aussi TTI : Transmission Time Interval). Chaque sous-trame est constituée d'une paire de slots. Il existe deux types de structures de trame :

- Le type 1 est adapté au FDD ;
- Le type 2 est adapté au TDD.

1.7.1 FDD

La trame du LTE a une durée de 10 ms, divisée en 10 sous trames de 1ms chacune, qui à son tour est divisée en deux slots de 0.5ms chacun, donc décomposée en 20 slots numérotés de 0 à 19, Chaque slot comprend sept ou six symboles OFDM.

La figure suivante représente la structure d'une trame FDD :

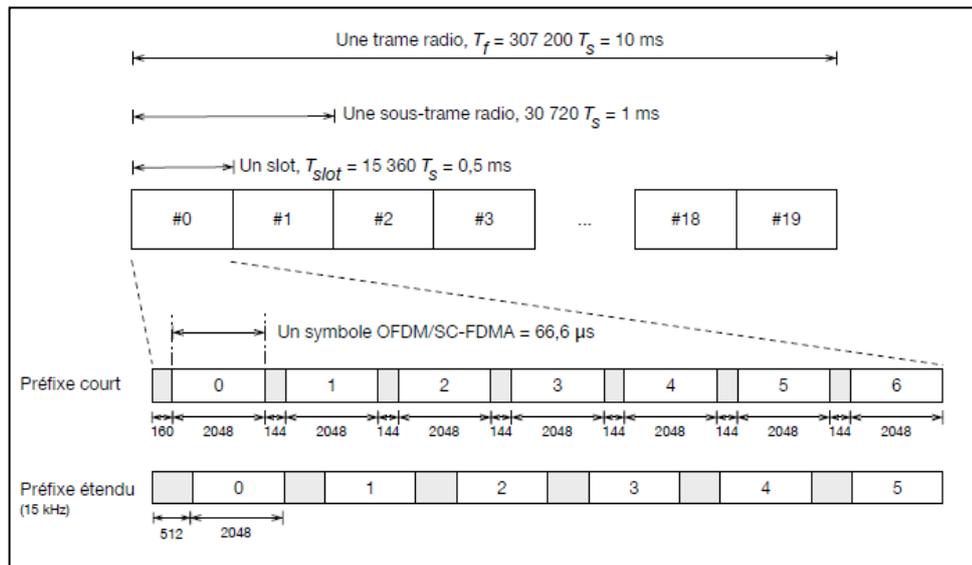


Figure 1-3 : Structure de la trame en LTE FDD [8]

1.7.2 TDD

Les voies montante et descendante utilisent la même fréquence porteuse, le partage entre les deux directions s'effectuant dans le domaine temporel, une sous-trames pour la voie montante et d'autres pour la voie descendante. L'alternance entre voie descendante et voie montante implique d'établir un temps de garde noter GP entre les deux directions. D'une part, les équipements ont besoin d'un certain temps afin de basculer entre émission et réception, Les DwPTS (Downlink Pilot Time Slot) et UpPTS (Uplink Pilot Time Slot), sont réservés pour les transmissions respectivement en voie descendante et en voie montante [7].

La figure suivante représente la structure d'une trame en TDD :

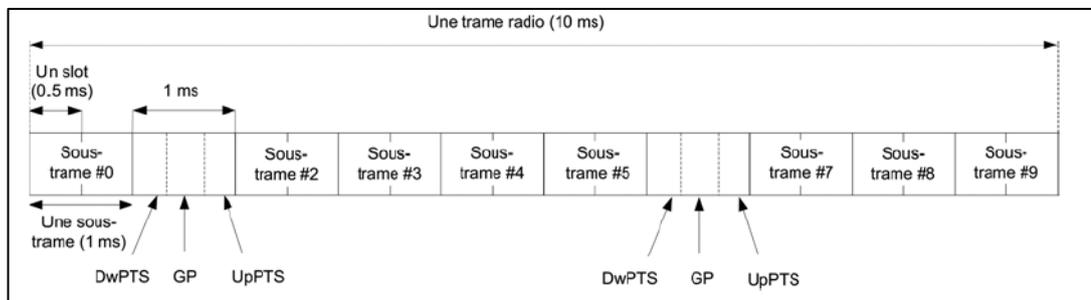


Figure 1-4 : structure de trame en TDD [6]

Au niveau fréquentiel, la trame s'étend sur toute la bande de l'eNodeB. Selon les possibilités de l'opérateur, la bande passante prend l'une des valeurs suivantes : [1.4 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz, 20 MHz]. Le tableau suivant indique le nombre de sous-porteuses et de blocs de ressources dans chaque bande passante pour la liaison montante et la liaison descendante.

Tableau 1-2 : Nombre de sous-porteuses et de RB dans chaque BP pour UL et DL

bande passante	Block de ressource	Sous-porteuses (liaison DL)	Sous-porteuses (liaison UL)
1,4 MHz	6	73	72
3 MHz	15	181	180
5 MHz	25	301	300
10 MHz	50	601	600
15 MHz	75	901	900
20 MHz	100	1201	1200

Pour les signaux de liaison descendante, les sous-porteuses DC ne sont pas envoyées, mais comptées dans le nombre de sous-porteuses. Pour la liaison montante, il n'y a pas de sous-porteuses CC car le spectre entier est décalé en fréquence de la moitié de l'espacement des sous-porteuses et est symétrique par rapport au CC.

La bande de fréquence est divisée en sous-bandes de 180 kHz, elles-mêmes divisées en 12 porteuses espacées de 15 kHz. L'opérateur doit libérer 10% de la bande de garde (5% bande supérieure et 5% bande inférieure).

La méthode de transmission utilisée est OFDM : une séquence binaire est transmise en parallèle sur différentes porteuses. Chaque porteuse est espacée de 15 kHz et la durée du symbole OFDM est de $1/15$ kHz ou $66,667 \mu\text{s}$ pour garantir l'orthogonalité. On ajoute un préfixe cyclique à chaque symbole OFDM pour réduire les interférences entre les symboles, ainsi jusqu'à 14 symboles par sous-trame ($14 * 66,667 \mu\text{s}$) ou 7 symboles par slot peuvent être transmis [3].

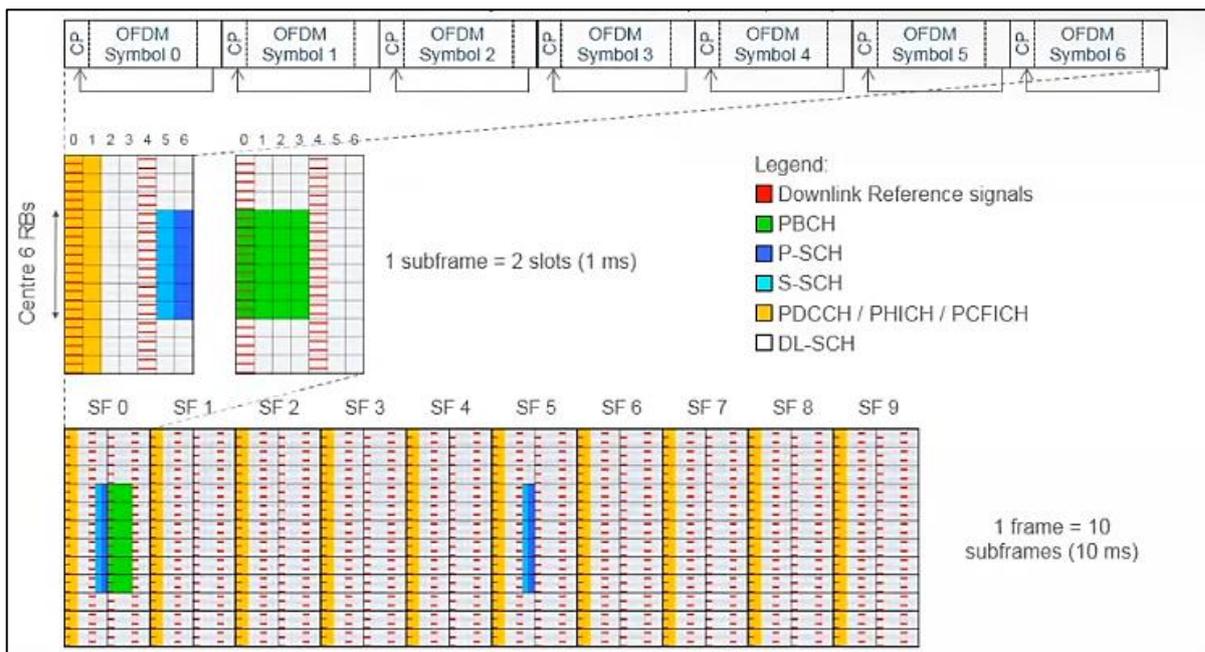


Figure 1-5 : trame LTE [25]

Le signal ressource RS pour faire la couverture, EU connue leur état de réseau à quel station de base il appartient, quel sont les paramètres utilisé à station de base.

1.8 Bloc de ressources LTE

Le bloc de construction de LTE est un bloc de ressources physiques (PRB) et toutes les allocations de blocs de ressources physiques LTE sont gérées par une fonction de planification au niveau de la station de base 3GPP (eNodeB).

- Une trame dure 10 ms et se compose de 10 sous-trames ;
- Une sous-trame LTE est de 1 ms et contient 2 emplacements ;
- Un intervalle est de 0,5 ms dans le domaine temporel et chaque attribution de 0,5 ms peut contenir N blocs de ressources [$6 < N < 100$] en fonction de l'allocation de bande passante et de la disponibilité des ressources ;
- Un bloc de ressources dure 0,5 ms est contient 12 sous-porteuses utilisant un espacement de 15 kHz correspondent à 180 kHz pour chaque symbole OFDM dans le domaine fréquentiel et au total $12 \times 7 = 84$ RE.
- Il y a 7 symboles (préfixe cyclique normal) par tranche de temps dans le domaine temporel ou 6 symboles dans le préfixe cyclique long pour LTE.

L'élément de ressource (RE) LTE est la plus petite unité d'affectation de ressource, chacun identifiable de manière unique par son indice de sous-porteuse k et son indice de symbole l dans le PRB. Sa relation avec le bloc de ressource est illustrée ci-dessous du en fonction de la synchronisation et de la fréquence.

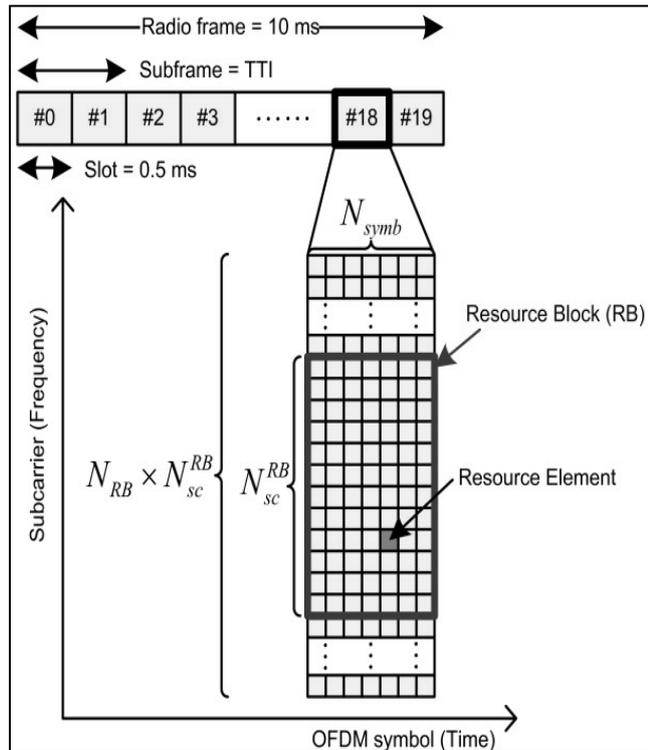


Figure 1-6 : Architecture de block ressource LTE [26]

1.9 La modulation de LTE

La modulation a pour objectif d'adapter le signal d'émetteur au canal de transmission. Cette opération consiste à une modification des paramètres d'une onde porteuse centrée sur la bande de fréquence du canal :

$$\mathbf{S(t)} = \mathbf{A \cos(\omega t + \varphi)} \dots\dots\dots (1.1)$$

Les paramètres modifiables sont :

- Amplitude A
- La fréquence $f = \omega/2\pi$
- La phase φ

LTE utilise trois types de modulation suivant le sens montant et descendant :

- Modulations Downlink : QPSK, 16-QAM et 64-QAM ;
- Modulations Uplink : QPSK et 16-QAM.

1.10 Les types d'accès

Les techniques d'accès permettent une gestion des ressources radio disponibles. La principale technique d'accès est :

1.10.1 L'OFDM

Orthogonal Frequency Division Multiplexing module les signaux numériques par division orthogonale de la fréquence. L'OFDM est particulièrement adapté aux canaux de transmission radio longue distance. Il réduit considérablement les interférences entre symboles IES et double le débit binaire et l'efficacité spectrale sans affecter la bande passante.

Il transmet les données en utilisant un grand nombre de porteuse pour une bande étroite. Pour implémenté OFDM on utilise FFT /IFFT.

L'OFDM est utilisé dans :

- Les liaisons filaires : ADSL, VDSL, modem câble .
- Les réseaux sans-fils basé sur les normes 802.11a, 802.11g (Wifi), 802.16 (Wimax)
- Les réseaux mobiles de nouvelle génération (4G).

Principe

Le principe de l'OFDM est de diviser le signal numérique transmis sur un grand nombre de porteuses. Afin de rapprocher au maximum les fréquences porteuses pour transmettre le maximum d'informations sur une partie de fréquence donnée, l'OFDM utilise des porteuses orthogonales entre elles pour éviter les chevauchements. Le signal à transmettre est généralement répété sur différentes fréquences porteuses. Chaque porteuse est modulée indépendamment par modulation numérique : QPSK, 16-QAM, 64-QAM, l'espacement des sous-porteuses en LTE est fixé à $f = 15$ kHz, et l'IFFT est de 2048.

- L'OFDM consiste un flux de données à haut débit sur plusieurs flux à faible débit, sont transmis simultanément sur des sous porteuse.

- Le signal émis se propage dans un canal à trajet multiple et subit de distorsion.

- À la réception des versions décalé du même signal sont reçus avec des interférences entre symboles OFDM.
- Un préfixe CP (préfixe cyclique) de duré supérieur à l'étalement max des retard de canal est ajouté au début de chaque symbole OFDM pour éliminer les interférences IIS.

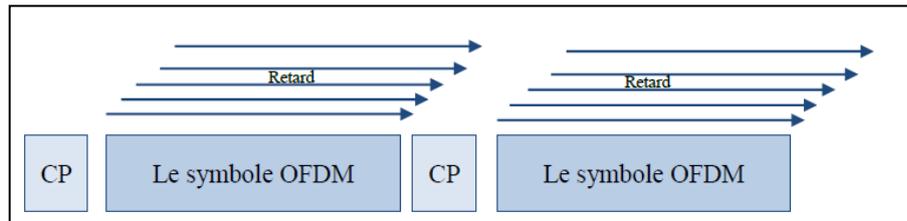


Figure 1-7 : Elimination d'IIS par CP [9]

L'OFDM est basée sur l'émission de N porteuse au même temps entre (2-30 MHz) de N porteuse sur chaque bande.

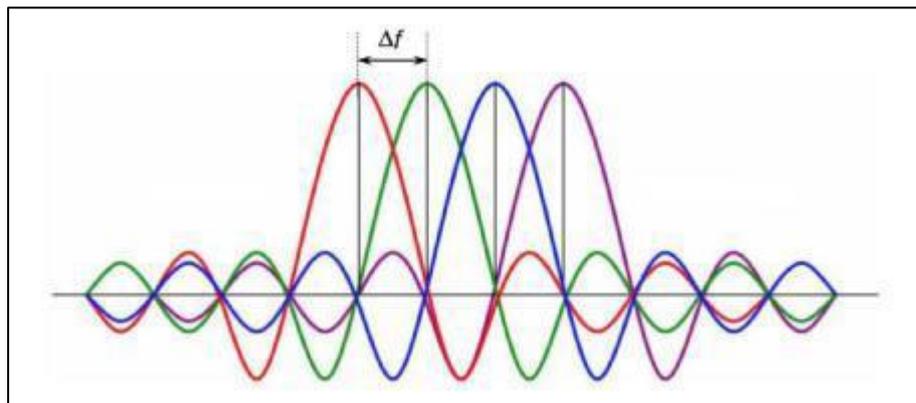


Figure 1-8 : Principe de L'OFDM [17]

La norme 3GPP LTE a choisi deux techniques d'accès multiples qui appartiennent à la même famille que l'OFDM ;

L'OFDMA a été choisi pour la liaison descendante et le SC-FDMA pour la liaison montante.

1.10.1.1 OFDMA

L'OFDMA est principalement utilisé dans le sens descendant de transmission du réseau mobile car elle nécessite une alimentation importante de l'amplificateur, permet un même spectre, un débit binaire plus élevé en raison de son efficacité spectrale et de sa

capacité à rester élevé même dans des environnements défavorables avec des échos et des multiples d'ondes radio.

Principes de l'OFDMA

Le codage OFDMA est constitué d'un codeur et d'un ou plusieurs signaux binaires pour les convertir en échantillons numériques destinés à être transmis sur une antenne après conversion numérique/analogique. Contrairement, en réception, le signal radio reçoit le traitement inverse [12].

La figure suivante montrée le principe de OFDMA/ SC-OFDM. Les blocs " jaune " sont spécifiques au SC-FDMA :

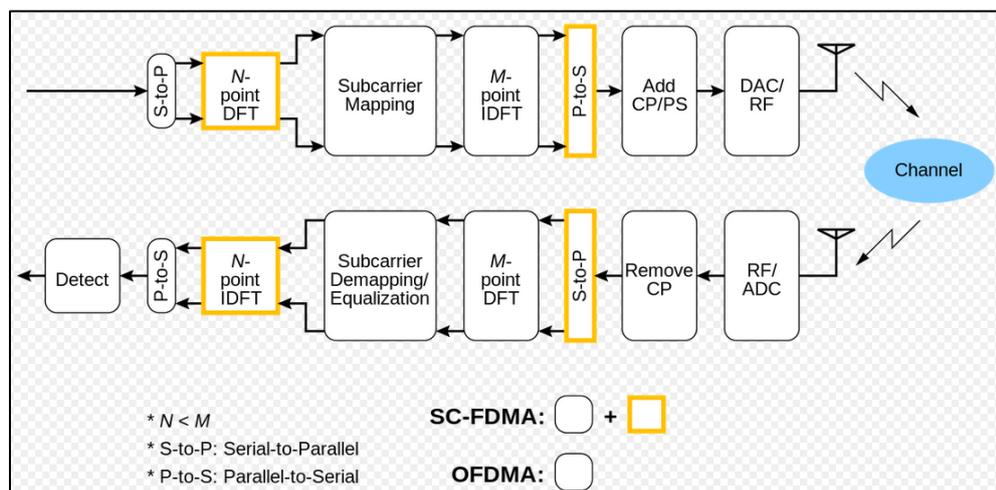


Figure 1-9 : Schéma bloc montrée le principe de OFDMA/ SC-FDMA [11]

- DFT : Transformée de Fourier discrète ;
- Subcarrier Equalization : Égalisation des sous-porteuses ;
- IDFT : Transformée de Fourier discrète inverse,
- CP : Préfixe cyclique ;
- PS : mise en forme des impulsions ;
- DAC : Convertisseur numérique-analogique ;
- RF : Fréquence radio.

1.10.1.2 SC-FDMA

SC-FDMA est une technique d'accès pour la liaison montante qui permet une meilleure couverture pour les amplificateurs de puissance utilisés par les UE, est un système qui utilise la modulation avec une seule porteuse.

La différence entre ces deux techniques est montrée sur la figure ci-dessous : [19]

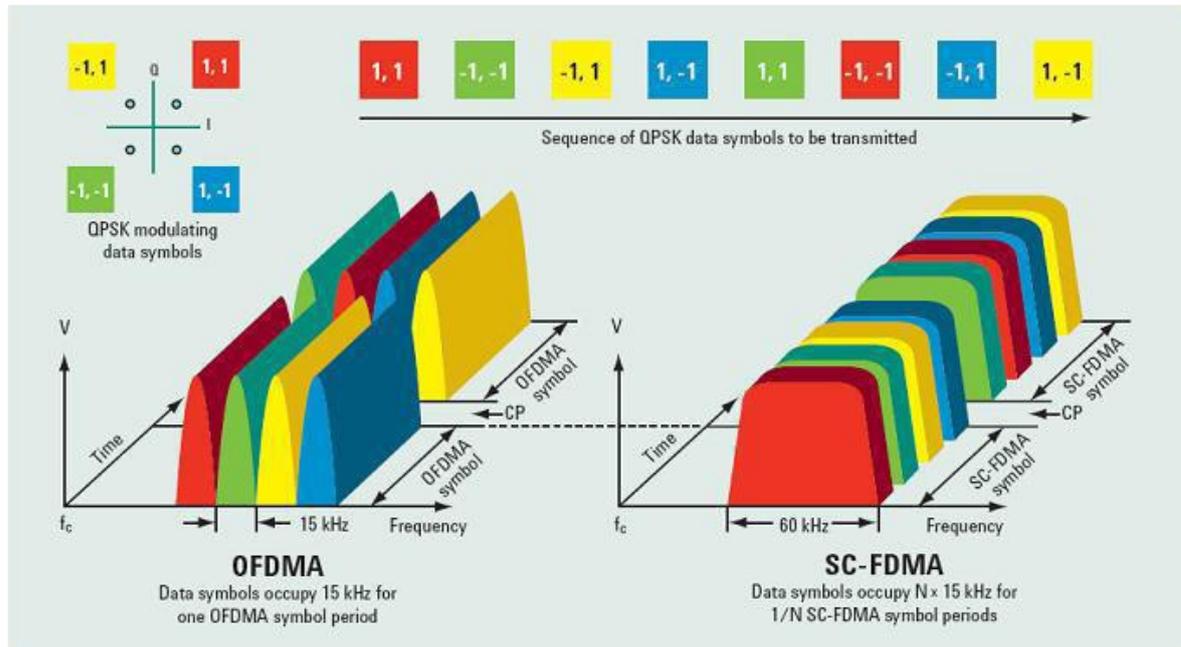


Figure 1-10 : La différence entre ces techniques OFDMA / SC-FDMA [19]

1.11 Contrôle de puissance

L'UE transmette une puissance exprimée en dBm, est fixé par la norme 3GPP comme suit (en voie montante) :

$$P = \min(P_{\max}, P_0 + 10 \log M + A \cdot L + \Delta_{mcs} + f(\Delta i)) \dots \dots \dots (1.2)$$

Avec :

- P_{\max} : est la puissance d'émission maximale UE ;
- P_0 : est un paramètre spécifique UE (éventuellement spécifique des cellules) ;
- M : est le nombre des ressources blocs affectées (BPR) à un certain utilisateur ;
- A : est le facteur de compensation des pertes ;
- L : désigne la perte de propagation (PathLoss) estimée sur la voie descendante par l'UE ;

- Δmcs : est un paramètre spécifique d'UE signalée par couches supérieures, ce dernier détermine le niveau de protection apporté à l'information transmise ;
- $f(\Delta i)$: est une valeur spécifique de correction de puissance.

Le contrôle de puissance cherche généralement à maximiser la puissance reçue de signaux souhaités tout en limiter les perturbations.

Dans un réseau cellulaire, lorsqu'un mobile se déplace d'une cellule à l'autre et effectue une sélection et un transfert de cellule, il doit mesurer l'intensité et la qualité du signal des cellules voisines.

Dans le réseau LTE, un UE mesure deux paramètres sur le signal de référence RSSI (Received Signal Strength Indicator) : RSRP (Reference Signal Received Power) et RSRQ (Reference Signal Received Quality).

1.11.1 RSSI (Received Signal Strength Indicator)

RSSI est un paramètre qui fournit des informations sur la puissance large bande reçue totale (mesurée dans tous les symboles), y compris toutes les interférences et le bruit thermique. RSSI n'est pas signalé à l'eNodeB par UE. Il peut simplement être calculé à partir de RSRQ et RSRP, qui sont à la place rapportés par UE.

RSRP et RSRQ sont des mesures important du niveau et de la qualité du signal pour les réseaux LTE modernes.

$$\text{RSSI} = \text{puissance large bande} = \text{bruit} + \text{puissance de la cellule de desserte} + \text{puissance d'interférence} \dots \dots \dots (1.3)$$

$$\text{Ainsi, sans bruit, ni interférence : } \text{RSSI} = 12 \times N \times \text{RSRP} \dots \dots \dots (1.4)$$

Avec :

- RSSI : est mesuré sur toute la bande passante ;
- RSRP : est la puissance reçue de 1 RE ;
- N : le nombre de RB à travers le RSSI.

1.11.1.1 RSRP (La puissance reçue du signal de référence)

RSRP est la puissance moyenne des éléments de ressource (RE) qui transportent des signaux de référence spécifiques à la cellule (RS) sur toute la bande passante et sur la bande étroite. Le point de référence pour le RSRP doit être le connecteur d'antenne de l'UE.

RSRP est donnée par :

$$\text{RSRP (dBm)} = \text{RSSI (dBm)} - 10 \log(12 \times N) \dots\dots\dots (1.5)$$

Les niveaux RSRP pour le signal utilisable vont généralement d'environ -75 dBm à proximité d'un site de cellule LTE a -120 dBm à la limite de la couverture LTE.

1.11.1.2 RSRQ (Qualité du signal de référence reçu)

Qualité prenant également en compte le RSSI et le nombre de blocs de ressources utilisés (N) mesuré sur la même bande passante. RSRQ est un type de mesure indique la qualité du signal de référence reçu. La mesure RSRQ fournit des informations supplémentaires lorsque RSRP n'est pas suffisant pour prendre une décision fiable de transfert ou de resélection de cellule.

Dans la procédure de transfert, la spécification LTE offre la possibilité d'utiliser RSRP, RSRQ ou les deux.

On distingue deux types d'exigences sur la précision de la mesure, la précision absolue du RSRP et la précision relative RSRP.

- La précision absolue du RSRP consiste à comparer le RSRP mesurée dans une cellule par rapport au RSRP mesuré par la cellule principale (serving cell).
- La précision relative du RSRP consiste à comparer le RSRP mesurée dans une cellule par rapport au RSRP mesuré dans une autre cellule autrement dit entre deux cellules qui ne sont pas définie comme la cellule de référence (serving cell).

La connaissance du RSRP absolu permet à l'UE de connaître la fiabilité de la cellule à partir de laquelle on estime l'atténuation apporté par le canal, ce qui conditionne la puissance optimale de fonctionnement du mobile pour interagir avec la station de base.

Elle doit être mesurée sur la même bande passante :

- Bande étroite N = 62 sous-porteuses (6 blocs de ressources) ;
- Large bande N = bande passante complète (jusqu'à 100 blocs de ressources / 20 MHz).

En formule :

$$\mathbf{RSRQ} = (\mathbf{N} \times \mathbf{RSRP}) / \mathbf{RSSI} \dots \dots \dots (1.6)$$

- N est le nombre de blocs de ressources physiques (PRB) sur lesquels le RSSI est mesuré, généralement égal à la bande passante du système ;
- RSSI est une mesure de puissance à large bande pure, y compris la puissance intracellulaire, les interférences et le bruit ;
- La plage de rapport de RSRQ est définie de -3 à -19,5 dB [5] [3].

1.11.2 Rapport signal sur bruit (RSB)

Signal to Noise Ratio (SNR) est un indicateur de la qualité de la transmission de l'information, qui compare le niveau du signal souhaité au niveau du bruit de fond (signaux indésirables). Il est défini comme le rapport entre la puissance du signal et la puissance du bruit, généralement exprimé en décibels (dB). Il est donnée par :

$$\mathbf{SNR} = \frac{\mathbf{P}_{\text{signal}}}{\mathbf{P}_{\text{bruit}}} \dots \dots \dots (1.7)$$

Avec : P est la puissance moyenne.

1.11.3 Rapport Porteuse sur Interférences (CIR)

Le CIR (carrier-to-interference ratio) exprimé en décibels (dB) est une mesure de l'efficacité du signal, il est défini comme le rapport entre la puissance de la porteuse et la puissance du signal brouilleur. Il sert de bon indicateur de qualité du signal.

1.11.4 Puissance d'interférence reçue (RIP)

La puissance d'interférence reçue en liaison montante est une mesure de la puissance d'interférence et du bruit thermique dans un bloc de ressources (RB) ; dont la transmission n'est pas programmée dans la cellule. La précision absolue doit être de +/-4dB pour les interférences mesurées entre -117 et -96dBm. Cette mesure est utilisée pour identifier l'interférence co-canal à bande étroite des cellules voisines utilisant la même fréquence.

1.11.5 Interférences de Signal plus Bruit (SINR)

Cette mesure est utilisée pour optimiser le niveau de puissance d'émission pour la qualité de service cible afin d'aider aux décisions de transfert. Des estimations précises de l'interférence du signal plus le bruit radio (SINR) fournissent des systèmes plus efficaces et une meilleure qualité de service perçue par l'utilisateur.

Le SINR est défini comme le rapport de la puissance du signal au bruit et à la puissance d'interférence donnée par :

$$\text{SINR} = \frac{P_{\text{signal}}}{P_{\text{bruit}} + P_{\text{interférence}}} \dots\dots\dots (1.8)$$

1.12 MIMO LTE

MIMO est essentiellement une technologie d'antenne intelligente à cause de son utilisation des certain nombre d'antennes pour améliorer les performances.

Il utilise la propagation du signal par trajets multiples qui existe dans toutes les communications terrestres. Ces chemins peuvent être pleinement utilisés au lieu de fournir des interférences. L'utilisation de MIMO, qui utilise plusieurs antennes d'émission et de réception en même temps, améliore la vitesse et la qualité de la transmission. Dans un système MIMO, chaque trajet supplémentaire entre l'émetteur et le récepteur augmente le rapport signal sur bruit. Ce sont surtout des applications mobiles, qui profitent beaucoup de la réception multivoies, car le niveau de réception minimum requis peut être réduit.

Cette technologie LTE offre la possibilité d'augmenter encore son débit de données et son efficacité spectrale, ce qui est supérieur au débit de données et à l'efficacité spectrale obtenus à l'aide d'OFDM [13].

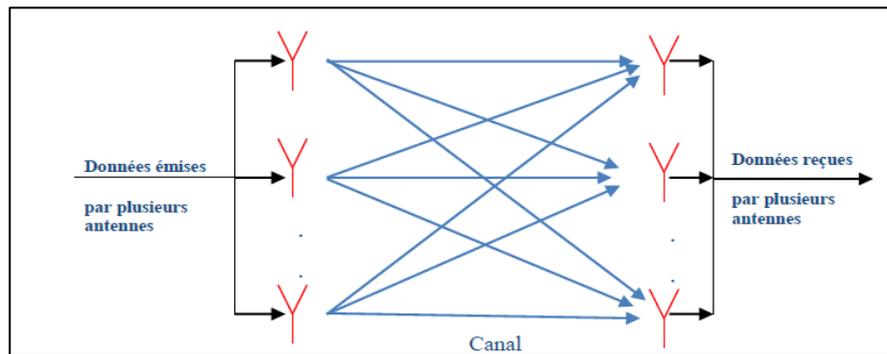


Figure 1-11 : La technique MIMO [9]

1.13 Le réseau LTE-Advanced

Le réseau LTE-Advanced ou 4G+ est une évolution de la norme LTE, Elle a été normalisée en 2011. Il utilise des fréquences identiques et des codages radio (OFDMA et SC-FDMA) déjà utilisés dans le réseau LTE, Elle intègre aussi la technique de multiplexage MIMO.

Avec un débit maximum 150 Mbit/s en théorique, le réseau LTE était déjà une petite révolution car il avait multiplié par 10 la vitesse de téléchargement des données par rapport à la 3G. Le déploiement de LTE-Advanced, fait une différence encore plus grande. La LTE-A avec un débit théorique maximal de 1 Gbit/s et au moins 500 Mbits/s en pratique est presque 10 fois mieux que le réseau 4G. Ce réseau permet des téléchargements à grande vitesse de fichiers très volumineux.

LTE-Advanced permet d'atteindre une largeur de bande de 100 Mhz maximum contre 20 Mhz pour la norme LTE, une latence inférieure à 5 ms et une mobilité avec différentes vitesses pouvant atteindre 350 Km/h.

1.14 Les avantages et les limites de réseaux 4G

Comme toutes les technologies, la 4G comporte des points positifs et points négatifs. Ses avantages sont :

- Une facilité d'installation et d'utilisation ;
- La 4G apporte un confort de connexion ;
- un débit élevé et aussi des échanges de données rapides ;

- La navigation internet est beaucoup plus fluide, il en est de même pour les vidéos, la visio et la télé-présence HD ;
- les applications à faible consommation d'énergie et les dispositifs plus simples et peu coûteux.

Quant aux inconvénients, ce sont :

- Des coûts d'abonnement généralement plus élevés ;
- Un volume de data limité chez certains opérateurs ;
- L'accès à ce réseau est accessible que dans les villes ou les zones largement communiquées.

1.15 Conclusion

Dans ce chapitre on a présenté des généralités sur le réseau LTE, on a vu les principales techniques utilisées sur le réseau (OFDM, MIMO...). On a précisé son architecture d'une façon détaillée, on a pris une idée sur le réseau LTE-Advanced, ainsi que les avantages et les inconvénients du réseau 4G.

Le chapitre qui suit portera sur le dimensionnement de ce réseau.

Chapitre 2

Dimensionnement d'un réseau LTE

2.1 Introduction

Pour un opérateur, l'étape de dimensionnement est critique avant la mise en œuvre de son réseau. Dans ce chapitre, nous présenterons les concepts de base et les calculs nécessaires au dimensionnement sur ses deux plans : la couverture et la capacité.

2.2 Processus de dimensionnement

La planification du réseau est basée sur la phase de dimensionnement, qui est une étape primordiale dans la conception d'un réseau dans le but d'estimer le nombre requis de station de base nécessaire pour soutenir un trafic spécifique dans une zone bien définie.

Pour dimensionner les ENodeBs on a besoin de suivre deux méthodes :

Un dimensionnement orienté couverture et un dimensionnement orienté capacité.

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

- **Qualité de couverture** : elle garantit la liaison radio en tout point de la zone à couvrir.
- **Mobilité** : faciliter le handover lors du changement de cellule. Chaque station de base doit connaître ses voisins pour permettre aux utilisateurs de se déplacer sans perdre la connectivité.
- **Absorption de la charge** : Le réseau doit pouvoir fournir de nombreux canaux de communication adaptés à la densité de trafic associée à chaque cellule.

En outre, le nombre des eNodeB sera le plus du nombre résultant de deux approches.

$$NbreNodeB = \text{Max} \{ NbreNodeB (\text{couverture}), NbreNodeB (\text{capacité}) \} \dots \dots \dots (2.1)$$

Lorsqu'il est configuré avec toutes les données nécessaires, l'outil de dimensionnement doit pouvoir fournir des résultats d'une excellente précision. Le dimensionnement cellulaire nécessite quelques éléments fondamentaux de données. Ces paramètres incluent la population de l'abonné, la répartition du trafic, la bande de fréquence, la zone géographique à couvrir, la bande passante allouée, et les exigences de couverture et de capacité. Les modèles de propagation doivent être sélectionnés et modifiés en fonction de la zone et la bande de fréquences. Ceci est nécessaire pour estimer la couverture.

Avant de commencer le dimensionnement d'un réseau sans fil, il est important de connaître les paramètres spécifiques au système tels que la puissance d'émission de l'antenne, les pertes estimées du système, le gain de l'antenne, le type de système d'antenne utilisé, etc. Chaque réseau sans fil possède son propre ensemble de paramètres.

Les processus de dimensionnement de réseau cellulaire sont directement liés à la qualité et l'efficacité du réseau et suit ces étapes de base :

- Analyse du Trafic/donnés ;
- Estimation de la couverture ;
- Evaluation de la capacité.

L'analyse du trafic donne une estimation du trafic à transmettre par le système. Les différents types de trafic transportés par le réseau seront modélisés. Les types de trafic peuvent inclure les appels vocaux, VoIP... Les frais généraux occasionnés par chaque type de trafic sont calculés et inclus dans le modèle. Les temps et le trafic sont également prévus pour évaluer les performances du réseau et déterminer si le réseau peut répondre aux exigences spécifiées [19].

2.3 Dimensionnement orienté couverture

Le dimensionnement de couverture est une étape très importante, car elle conditionne à la fois des critères radio en prédisant des perturbations causées par certains phénomènes. Le problème de la couverture apparaît lorsque les ondes émises par la station mobile n'arrivent pas à la station de base la plus proche, ou bien celles émises par l'antenne des eNodeB n'arrivent pas avec une puissance suffisante pour être détectée par la station mobile.

Une mauvaise couverture provoque une augmentation du taux d'échec d'accès, du taux d'interruption de communication et du taux de handover. On va se baser sur le bilan de liaison, pour lequel on doit choisir un modèle de propagation approprié.

2.3.1 Bilan de liaison (BL)

Lors de la planification d'une liaison radio pour toute application sans fil, un facteur qui doit être pris en compte est la distance maximale entre l'émetteur et le récepteur.

Dans une liaison sans fil, malgré l'augmentation du gain de l'antenne et de l'amplificateur, le signal envoyé par l'émetteur est atténué et atteint moins le récepteur, le signal est ainsi dégradé. De plus, divers éléments introduisent une puissance de bruit, ce qui dégrade également les performances.

Le calcul du bilan de liaison consiste à additionner tous les éléments du gain (augmentation) ou de la perte (diminution) de la puissance du signal radio entre les deux extrémités, puis à évaluer si ce qui reste entre le départ et l'arrivée est suffisant.

L'importance de l'évaluation de la liaison se situe au niveau du récepteur, car la qualité du signal reçu détermine la qualité de la liaison établie. Plus la qualité du signal est bonne, plus la liaison sera fiable et efficace.

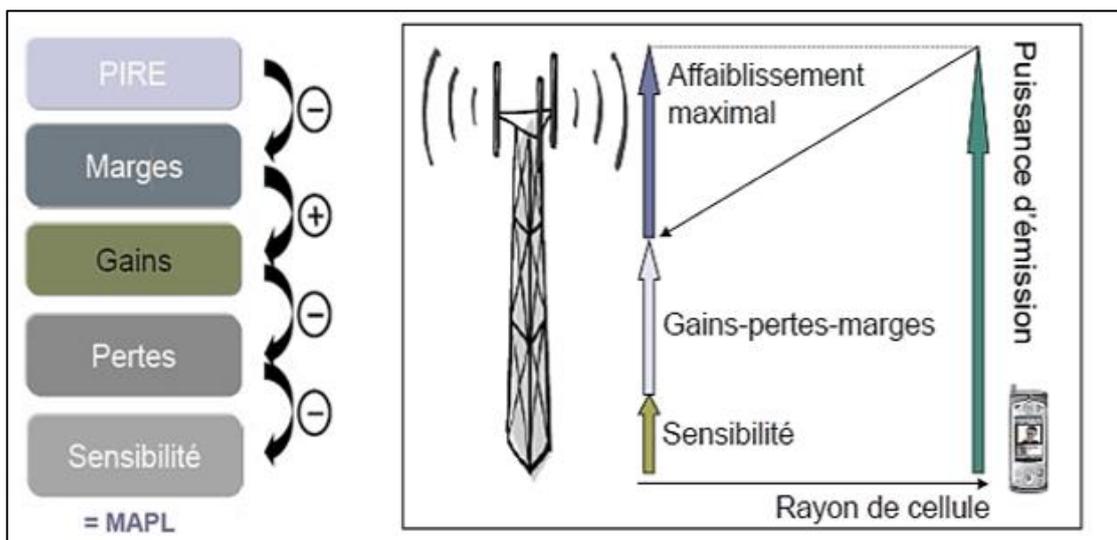


Figure 2-1 : Schéma représentatif d'une liaison radio mobile 4G [15]

Affaiblissement maximal = Maximum Allowable PathLoss (MAPL)

Commençons par L'expression de la puissance reçue en fonction de la puissance émise :

$$P_{Rx} = P_{Tx} + G_{Tx} - L_{Tx} + G_{Rx} - L_{Rx} - P_L - MI \geq S \dots\dots\dots (2.2)$$

Avec :

P_{Tx} : Puissance émise (dBm).

G_{Tx} : gains introduits au niveau de l'émetteur (dBi).

L_{Tx} : pertes au niveau de l'émetteur (dB).

G_{Rx} : gains introduits au niveau du récepteur (dBi).

L_{Rx} : pertes introduites au niveau du récepteur (dB).

P_L : Affaiblissement de parcours (dB).

MI : Marges de planification (dB).

S : Sensibilité

Pour qu'une liaison hertzienne fonctionne correctement, la puissance reçue doit être supérieure à la sensibilité du récepteur.

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 :

$$MAPL = Pire - MI + G_{Rx} - L + G_{SH} - S_R \dots\dots\dots (2.3)$$

Avec :

- MAPL (Maximum Allowable PathLoss) : 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) : puissance de rayonnement isotrope équivalente.
- MI = Marge d'interférence
- G_{RX} = Gain d'antenne de réception

- L = Perte de câble
- G_{SH} = Gain de soft handover
- S_R = Sensibilité de réception

L'affaiblissement maximal (MAPL) est le minimum de l'affaiblissement sur la voie montante et sur la voie descendante [15].

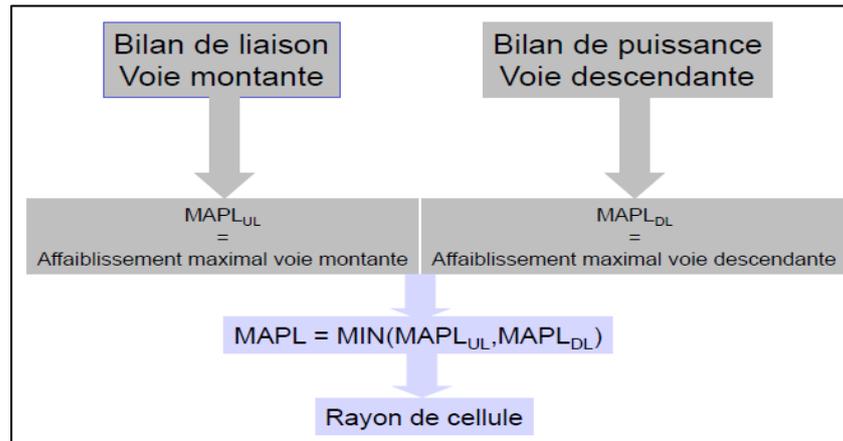


Figure 2-2 : Principe de bilan de liaison [15]

2.3.1.1 Les paramètres pour évaluer le bilan de liaison

Les différents paramètres dont il faut tenir compte dans l'évaluation d'un bilan de liaison sont les suivants :

1. La PIRE (Puissance Isotrope Rayonnée Equivalente)

Puissance rayonnée de manière isotrope Permet d'évaluer la capacité de transmission d'un émetteur. Lorsque l'antenne d'émission est la même que l'antenne de réception, ce gain a la même valeur moyennant la condition que la fréquence d'émission soit la même que la fréquence de réception.

PIRE est donnée en dBm par la formule suivante :

$$PIRE = P + G + L_r \dots \dots \dots (2.4)$$

Avec :

- P : la puissance fournit à l'entrée de l'antenne
- G : le gain de l'antenne étudiée

- L_r : une perte supplémentaire dans la direction considérée

2. La sensibilité du récepteur

La sensibilité du récepteur indique la qualité de l'émetteur en termes de niveau de bruit. Elle est le niveau de puissance minimal de réception pour éviter la coupure du lien radio. Elle est donnée :

$$S = 10 \log(K \cdot T \cdot B_{Rx}) + SINR_{Required} + NF + MI - G_{Rx} \dots \dots \dots (2.5)$$

Avec :

- K : Constante de Boltzmann (1.388062×10^{-23}).
- T : Température ambiante en (K)
- B_{Rx} : La largeur de bande de réception : elle dépend du nombre de blocs de ressources requis, et la largeur d'un bloc de ressources.
- $SINR_{Required}$ (Signal to Interference and Noise Ratio) : Valeur du SINR requise au récepteur, c'est un indicateur de la performance du système plus il est faible plus le système est performant, dépend du nombre de blocks de ressources, débit d'information requis ...
- NF (Noise Figure (dB)) : dépend du mode de duplexage et l'écart duplex.
- MI (Marge d'interférence (dB)) : La valeur de la marge d'interférence est fortement liée à la charge de la cellule (taux d'occupation des ressources), la distance entre deux sites etc...
- G_{Rx} : Gain de diversité de réception (dBi) : dépend du type de récepteur et du nombre d'antennes.

3. Puissance d'émission

La puissance maximale de la station de base est :

- Au niveau d'antenne : la macro cellule 43-46 dBm ;
- Pour le UE : de 23 dBm.

4. Les pertes sur la liaison

Les pertes enregistrées sur le trajet de l'onde radio font référence au niveau d'atténuation entre le signal émis par l'antenne de la station d'émission, Comprend la perte du câble et la perte du corps humain à la fois à l'eNodeB et UE.

5. Gain d'antenne

Le gain dépend de la longueur de la bande de fréquence et de la capacité de l'antenne à focaliser l'énergie dans une direction, le gain est la surface effective d'une antenne. Il est exprimé en dB, La relation entre gain et la surface effective de l'antenne est donnée par :

$$G = \frac{4\pi A}{\lambda^2} \dots\dots\dots (2.6)$$

Avec :

- A : Aire équivalente de l'antenne
- λ : Longueur de l'onde rayonnée

6. Marge d'interférence

La marge d'interférence est le niveau d'augmentation du bruit dû à l'augmentation de la charge dans la cellule. Il s'agit de deux types d'interférence : l'interférence intracellulaire et Interférence intercellulaire. La marge d'interférence est donnée par la formule suivante :

$$MI_{dB} = 10 \log(SNR / SINR) \dots\dots\dots (2.7)$$

7. La bande passante

La sélection de la largeur de bande est relié directement à la capacité de la station de base, plus la bande est large plus le trafic qui peut prendre en charge est grand. LTE fonctionne dans différentes largeurs de bande passante, y compris 1,4 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz et 20 MHz à la fois pour la liaison montante et descendante.

2.3.1.2 Calcul du bilan de liaison

2.3.1.2.1 Bilan de liaison Uplink

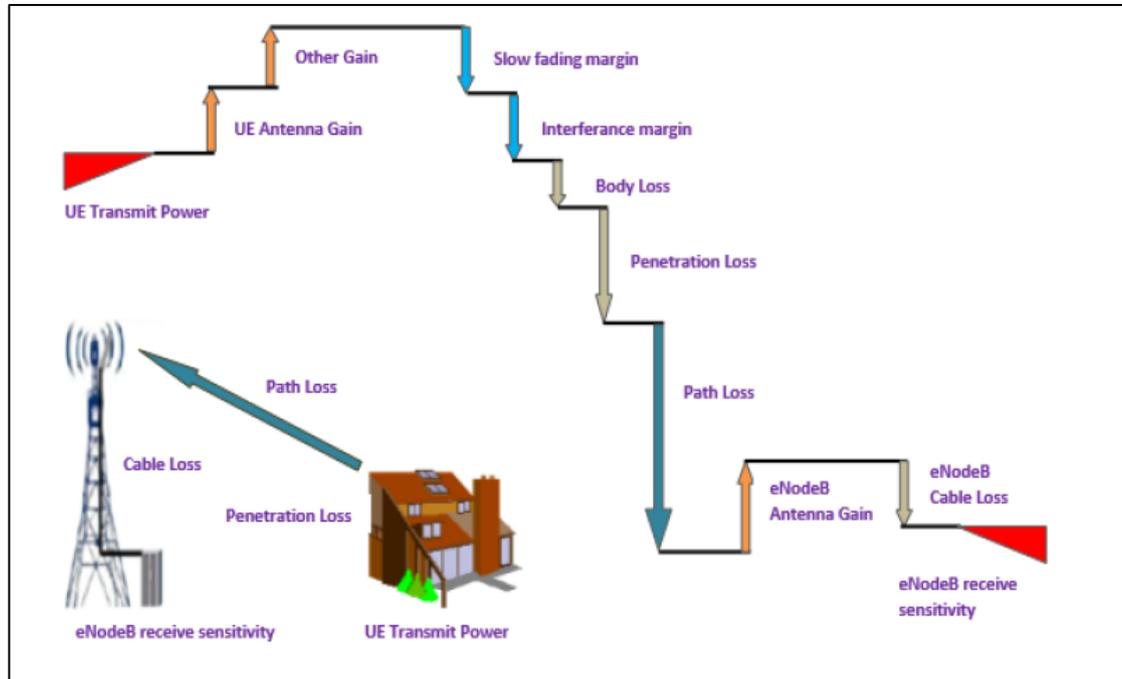


Figure 2-3 : Bilan de liaison Uplink [24]

Les tableaux suivants indiquent les paramètres, les formules nécessaires au calcul d'un bilan de liaison pour UL et DL, ainsi que les différents seuils et large prise en compte et qui sont proposés par la norme.

Tableau 2-1 : Bilan de liaison Montante [16]

Paramètre	Unité	Formule	Valeur
Emetteur –UE			
Puissance d'émission	dBm	P_{RX}	18-23 dB
Gain d'antenne émetteur	dBi	G_{RX}	-5-10 dBi
Perte corps humain	dB	L_r	0-5db
PIRE (Puissance isotrope rayonnée équivalente)	dBm	$P_{ire} = P_{RX} + G_{RX} - L_r$	
Récepteur – eNodeB			

Error! Use the Home tab to apply Titre 1 to the text that you want to appear here.

eNodeB noise figure	dB	NF	2dB
Bruit thermique	dB	$B_{\text{thermique}}$	-118.4 dBm
Bruit récepteur	dBm	$B_{\text{RX}} = \text{NF} + B_{\text{thermique}}$	
SINR	dB	SINR	-7dB
Sensibilité du récepteur	dBm	$S = B_{\text{RX}} + \text{SINR}$	
Marge d'interférence	dB	MI	1-10 dB
Pertes de câble	dB	K	1-6 dB
Gain d'antenne récepteur	dBi	G_{RX}	15-21 dB
Marge de fading rapide	dB	M	0dB
Gain du soft handover	dB	G_{SH}	0dB
Path Loss Maximal	dB	$\text{Pathloss} = P_{\text{ire}} - \text{MI}$ $+ G_{\text{RX}} - K + G_{\text{SH}} - S$	

2.3.1.2.2 Bilan de liaison Downlink

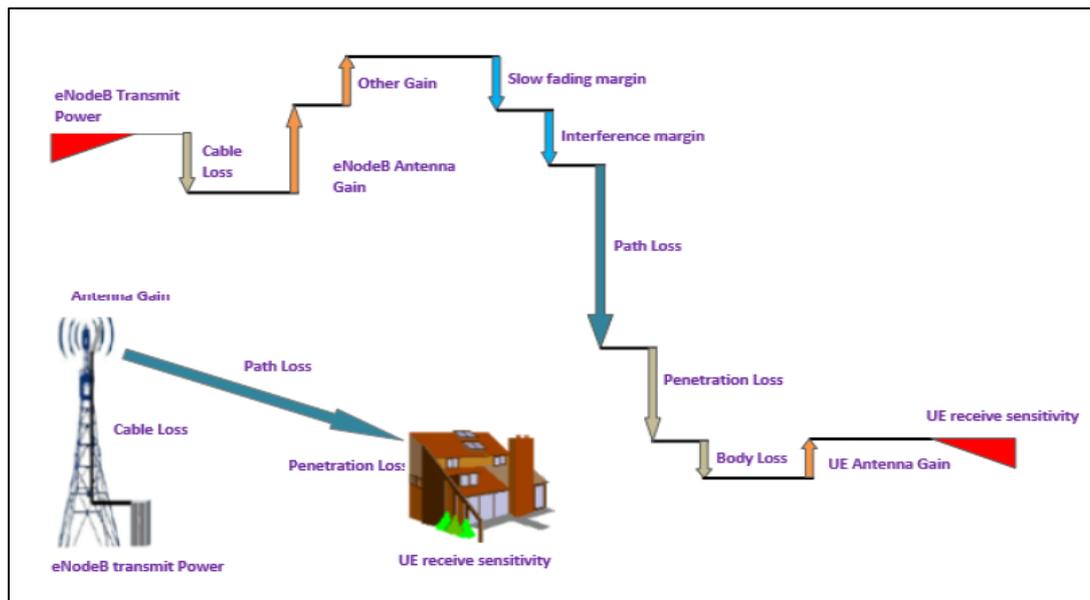


Figure 2-4 : Bilan de liaison Downlink [24]

Tableau 2-2 : Bilan de liaison descendante [16]

Paramètres	Unité	Formule	Valeur
Émetteur –UE			
Puissance d'émission	dBm	P_{RX}	43-46 dBm
Gain d'antenne émetteur	dB	G_{RX}	15-18 dB
Perte de câble	dB	L	1-6dB
PIRE (Puissance isotrope rayonnée équivalente)	dBm	$P_{ire} = P_{RX} + G_{RX} - L$	
Récepteur – eNodeB			
UE noise figure	dB	NF	6-11dB
Bruit thermique	dB	$B_{thermique}$	-104.5 dBm
Bruit récepteur	dBm	$B_{RX} = NF + B_{thermique}$	
SINR	dB	SINR	-9dB
Sensibilité du récepteur	Dbm	$S = B_{RX} + SINR$	
Marge d'interférence	dB	MI	3-8 dB
Control channel overhead	dB	K	0.4-1 dB
Gain d'antenne récepteur	dB	G_{RX}	-5-10 dB
Perte corps humain	dB	Lr	3-5Db
Path Loss Maximal	dB	$Pathloss = P_{ire} - MI + G_{RX} - K - Lr - S$	

2.3.2 Modèle de Propagation

Le modèle de propagation peut estimer la valeur de l'affaiblissement du trajet. Le choix du modèle de propagation est un compromis entre la précision de la prédiction et

l'efficacité des calculs. Il est important de noter que le mode de transmission dépend du type de zone telle qu'urbaine, suburbaine et rurale.

- **Zone urbaine** : forte densité d'utilisateurs, beaucoup d'obstacles (villes) ;
- **Zone sub-urbaine** : moyen densité d'utilisateurs, quelques obstacles (village, autoroutes...);
- **Zone rurale (ouverte)** : faible densité d'utilisateurs, pas de grands obstacles.

Le modèle de propagation est une formule mathématique utilisée pour caractériser la propagation de l'onde radio entre émetteur et récepteur, qui dépend des facteurs suivant :

- Type de terrain ;
- Les hauteurs des antennes d'émission et de réception ;
- Fréquence de l'onde ;
- Distance parcourue par l'onde ;
- Caractéristique et densité des bâtiments ;
- Saison (hiver, printemps...).

2.3.2.1 Propagation en espace libre (Free Space)

Il est utilisé dans le cas que le chemin entre l'émetteur et le récepteur est complètement net. La puissance reçue après une distance **d** de l'émetteur est égale à :

$$P_r = P_e G_e G_r \lambda^2 / (4\pi d)^2 L \dots\dots\dots (2.8)$$

Avec :

- P_e : Puissance émise.
- λ : Longueur d'onde.
- G_e : Gain de l'antenne d'émission.
- G_r : Gain de l'antenne de réception.
- L : Facteur de perte du système, il est indépendant de la propagation et toujours supérieur Ou égal à 1.

L'atténuation de parcours est donnée par :

$$P_L(dB) = 10 \log \left(\frac{P_e}{P_r} \right) = -10 \log(G_e G_r \lambda^2 / (4\pi d)^2) \dots\dots\dots (2.9)$$

On distingue deux types de modèles de propagation des ondes radioélectriques :

- Les modèles empiriques ;
- Les modèles déterministes.

Les paramètres des équations :

h_m : hauteur locale de l'antenne mobile (Environ 1,5m) ;

h_b : hauteur locale de l'antenne de la BS ;

d : distance mobile / BS ;

d_m : distance entre le mobile et l'obstacle le plus proche ;

h_0 : hauteur locale du bâtiment le plus proche ;

f : fréquence porteuse du signal.

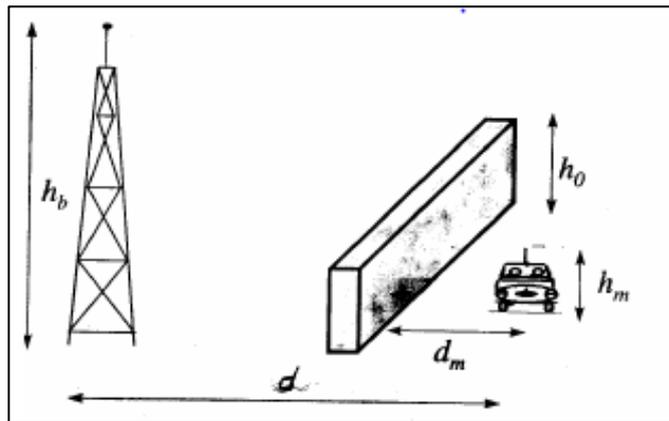


Figure 2-5 : Les paramètres des équations [10]

2.3.2.2 Les modèles empiriques

Séries de mesures effectuées dans un environnement donné, détermination d'une fonction approchant au mieux les données en fonction de certains paramètres :

a. Modèle d'Okumura-Hata

Est un modèle plus utilisé au niveau des outils de planification cellulaire. Ce modèle est appliqué pour des cellules de taille relativement grandes (de rayon supérieur à 1 Km). Il

prend en compte la fréquence, le rayonnement, la hauteur de la station de base et du mobile et la distance entre l'émetteur et le récepteur.

Le modèle Okumura-Hata a été adapté pour les limites suivantes :

Fréquence (f) : 150 à 1000 MHz

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

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

Distance (d) : 1 à 20 km

L'affaiblissement selon ce modèle est donné par les équations suivantes : [10]

$$\text{Zone ouverte : } P_L \text{ dB} = A + B \log R - E \dots\dots\dots (2.10)$$

$$\text{Zone sub-urbaine : } P_L \text{ dB} = A + B \log R - C \dots\dots\dots (2.11)$$

$$\text{Zone urbaine : } P_L \text{ dB} = A + B \log R - D \dots\dots\dots (2.12)$$

$$A = 69.55 + 26.16 \log f_c - 13.82 \log h_b \dots\dots\dots (2.13)$$

$$B = 44.9 - 6.551 \log h_b \dots\dots\dots (2.14)$$

$$C = 2 (\log f_c / 28)^2 + 5.4 \dots\dots\dots (2.15)$$

$$D = 4.78 (\log f_c)^2 + 18.33 \log f_c + 40.94 \dots\dots\dots (2.16)$$

$$E = 3.2 (\log(11.75 h_m))^2 - 4.97 \text{ Pour grandes villes, } f_c \geq 300 \text{ Mhz} \dots\dots\dots (2.17)$$

$$E = 8.29 (\log(1.54 h_m))^2 - 1.1 \text{ pour grandes villes, } f_c < 300 \text{ Mhz} \dots\dots\dots (2.18)$$

$$E = (1.1 \log f_c - 0.7) h_m - (1.56 \log f_c - 0.8) \text{ Pour petites et moyennes villes} \dots\dots (2.19)$$

$$R = d \cdot 10^{-3}, f_c = f \cdot 10^{-3} \dots\dots\dots (2.20)$$

b. Modèle de COST231-Hata

Le modèle Okumura-Hata ne fonctionne que dans la gamme de fréquences supérieure à 1000 MHz. Le groupe COST 231 propose de modifier ce modèle pour créer un autre modèle fonctionnant sur la bande de fréquences 1.5GHz et 2GHz en milieu urbain, puis de l'ajuster pour tous les autres environnements (sous-urbain, urbain dense et rural) distances de 1km à 100km

L'équation d'affaiblissement de trajectoire pour le modèle Hata-COST 231 est formulée comme suit :

$$P_L dB = 46.3 + 33.9 \log f - 13.82 \log h_b - a(h_m) + (44.9 - 6.55 \log h_b) \log d + C \dots (2.21)$$

- Pour les villes sous urbain et rurale :

C=0 dB ;

$$a(h_m)dB = (1.1 \log f - 0.7)h_m - (1.56 \log f - 0.8) \dots (2.22)$$

- Pour les villes Urbain :

C=3 dB ;

$$a(h_m)dB = 3.2 \log(11.75h_m)^2 - 4.97[18] \dots (2.23)$$

c. Modèle de propagation standard SPM

Le modèle de propagation standard est un modèle déduit de la formule Hata particulièrement adapté à la prédication dans la bande 150MHz-3500MHz sur longue distance (1Km<d<20Km), Ce modèle utilise le profil du terrain, les mécanismes de diffraction et prend en compte les classes de fouillis et les hauteurs d'antenne effectives afin de calculer la perte de chemin.

Le modèle peut être utilisé pour n'importe quelle technologie ; il est basé sur la formule :

$$P_L dB = A1 + A2 \log f + A3 \log(H_{Tx}) + (B1 + B2 \log(H_{Tx}))(\log d) \dots (2.24)$$

Avec :

- H_{Tx} Hauteur effective de l'antenne émettrice (m)
- A1 = 46.30
- A2 = 33.90
- A3=5.83
- B1 = 44.90
- B2 = -6.55 [14]

2.3.2.3 Modèle déterministe

Les modèles déterministes donnent des résultats beaucoup plus précis mais requièrent une quantité importante d'information sur la zone où ils vont être appliqués. De

plus ils demandent beaucoup de temps de calcul. Parmi ces modèles : Modèle de lancer de rayon ...

2.3.3 Détermination du nombre de sites

Après déduction l'affaiblissement du parcours maximum (MAPL) à partir de l'institution d'un bilan de liaison, nous essayons d'utiliser un modèle de propagation adapté pour déterminer le rayon de la cellule noté Rcell, En effet, lorsque l'affaiblissement de parcours est la même que Au maximum, la distance parcourue est similaire au rayon de la cellule. Le rayon de la cellule s'exprime par la formule suivante :

$$R_{cell} = 10^a \dots\dots\dots (2.25)$$

La valeur de **a** est reliée avec le modèle de propagation et type de zone :

Pour le modèle Okumura-Hata dans un environnement urbain, on aura :

$$\dots\dots\dots (2.26) R_{cell} = 10^a = 10^{\left(\frac{MAPL - 69.55 - 26.16 \log_{10}(f) + 13.96 \log_{10}(Hb) + a(Hm)}{[44.9 - 6.55 \log_{10}(Hb)]}\right)}$$

Pour le modèle Cost 231-Hata, on aura :

$$\dots\dots\dots (2.27) R_{cell} = 10^a = 10^{\left(\frac{MALP - 46.3 - 33.9 \log_{10}(F) + 13.82 \log_{10}(Hb) + a(Hm)}{[44.9 - 6.55 \log_{10}(Hb)]}\right)}$$

Une fois le rayon du Rcell de la cellule (en Km) calculé, nous pouvons calculer la superficie de couverture de la cellule (appelée empreinte du site), qu'on note Scell Cette dernière, dépend bien du nombre de secteurs par site, qu'on va noter Nsecteur.

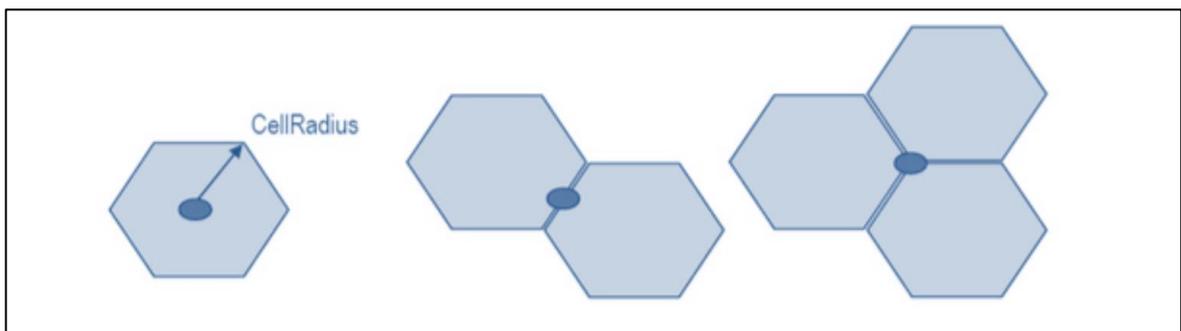


Figure 2-6 : Différents types de site [21]

Tableau 2-3 : Empreinte du site en fonction du nombre de secteurs [22]

Nombre de site par secteur	Empreinte
Mono-sectorisé	Scell = 2.6*(Rcell) ²

Bi-sectorisé	$Scell = 1.3*2.6*(R_{cell})^2$
Tri-sectorisé	$Scell = 1.95*2.6*(R_{cell})^2$

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

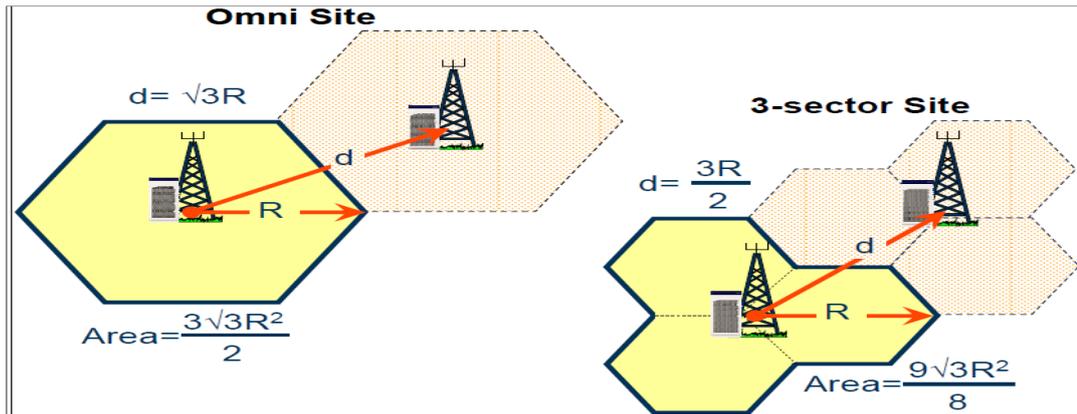


Figure 2-7 : Modèle hexagonale de la cellule [22]

Après la résolution de l'empreinte du site, nous pouvons déterminer le nombre de sites adéquat pour la couverture pour une zone à l'aide de cette formule :

$$N_{\text{enodB}} = E \left(\frac{\text{Area}}{\text{Scell}} \right) + 1 \dots \dots \dots (2.28)$$

Area : est la surface de la zone de déploiement.

Tableau 2-4 : Surface de la zone [22]

Type de zone	Surface de la zone (Km)
Urbain	400
Suburbain	200
Rurale	300

2.4 Dimensionnement orienté capacité

Cette étape comprend la validation des résultats obtenus par le dimensionnement de la couverture. Il est basé sur une évaluation des taux de trafic et d'activité des utilisateurs, en tenant compte de la capacité des équipements à mettre en œuvre.

Pour déterminer la taille du trafic, nous avons besoin des informations sur l'abonné et la région de déploiement. Les données nécessaires pour prédire le nombre d'utilisateurs dans la zone concernée comprennent principalement les éléments suivants :

- ρ : Densité d'abonnées dans la zone ;
- Sup_{zone_dep} : Surface de déploiement ;
- $P_{marché}$: Part de marché de l'opérateur ;
- $TP_{consommateur}$: Taux de pénétration des consommateurs ;
- TC : Taux de croissance (%) ;
- I : Durée d'investissement ;
- OBF Facteur d'Overbooking : marge de surcharge dû aux encapsulations des protocoles.

Le nombre d'abonnés chez l'opérateur à la i-ème année d'exploitation est estimé à :

$$N_{abonnés} = \rho \times Sup_{zone_dep} \times P_{marché} \times (1 + I \cdot TC) \times TP_{consommateur} \dots\dots\dots (2.29)$$

2.4.1 Estimation du trafic

Le trafic par abonné à l'heure chargée s'exprime respectivement pour DL et UL comme suit :

$$trafic_{abonné}^{XL} = \sum \text{Ensemble des Services } R_{service}^{XL} (1 + POH_{service}) \times TP_{service} \dots\dots\dots (2.30)$$

Avec :

- XL : indice qui mentionne UL /DL.
- $R_{Service}^{DL}$: indique le débit demandé par un abonné pour un service donné en UL et en DL (exp : VoIP) ;
- $R_{Service}^{UL}$: indique le besoin spécifique des abonnés envers ce service, le type de la zone

(Industrielle, résidentielle, rurale) et la taille d'un paquet de ce service ;

- $POH_{service}$: c'est l'ensemble des coûts supplémentaires, en termes de débit, que puisse Introduire le service lui-même ;
- $TP_{service}$: représente le taux de pénétration du service.

Le volume total de trafic pour DL et UL peut s'exprimer :

$$\text{trafic}^{XL} = \text{trafic}_{\text{abonné}}^{XL} \times N_{\text{abonné}} \dots\dots\dots (2.31)$$

2.4.2 Le nombre de sites nécessaires

Le nombre de site nécessaire est donc définie par :

$$N_{\text{capacité}}^{XL} = E \left(\frac{\text{trafic}^{XL}}{C_{\text{capacité}}^{XL} (1-OBF)} \right) + 1 \dots\dots\dots (2.32)$$

$$N_{\text{capacité}} = \text{Max} (N_{\text{capacité}}^{DL}, N_{\text{capacité}}^{UL}) \dots\dots\dots (2.33)$$

La capacité de la cellule en DL et en UL, en nombre d'abonnés supportés est estimé à :

$$C_{\text{abonné}}^{XL} = E \left(\frac{C_{\text{capacité}}^{XL} (1-OBF)}{\text{trafic}_{\text{abonné}}^{XL}} \right) \dots\dots\dots (2.34)$$

2.5 Indicateur de performance LTE

L'intérêt de LTE est le transfert des données à très haut débit, avec une portée plus importante, un nombre d'appels par cellule plus élevé que les générations précédents, une latence plus faible, et bien sûr avec une réduction des coûts :

1. Débit

L'un des objectifs du LTE est de fournir le débit qui répond aux besoins croissants des utilisateurs mobiles, partout et à tout moment. Pour cela la norme LTE propose un haut débit en théorique 150 Mbps : 100Mbps pour liaison descendant et 50 Mbps pour liaison montante. Et le débit pratique au tour de 40 Mbps.

2. Capacité

La capacité est obtenue par le nombre d'utilisateurs pouvant être connectés simultanément. Le système doit prendre en charge simultanément un grand nombre d'utilisateurs par cellule. Pour une bande passante de 5 MHz, chaque cellule devrait prendre

en charge au moins 200 utilisateurs simultanés lorsqu'elle est active, et au moins 400 utilisateurs pour des bandes passantes plus élevées, il devrait être possible d'avoir plus d'utilisateurs en veille. Elle dépend de plusieurs paramètres, comme le type d'environnement à prévoir (urbain, suburbain, rural...), le nombre d'utilisateurs connectés dans une même cellule, le type de service (VoIP, téléchargement de fichiers, streaming vidéo).

3. Latence

La latence est le délai de transmission dans les communications, peut être définis aussi comme la capacité du système à traiter rapidement des demandes d'utilisateur ou de service. Ainsi on a deux types de latence :

- ✓ La latence du plan de contrôle : c'est le temps nécessaire pour établir une connexion et accéder au service, ayant un temps de transition inférieur à 100 ms ;
- ✓ La latence du plan usager : correspond au délai de transmission d'un paquet au sein du réseau une fois la connexion établie, ayant un temps de latence inférieur à 5 ms [21].

Une cellule LTE peut couvrir 5km de diamètre dans les zones fortement peuplé et s'étendre jusqu'à 100km dans les zones les plus reculés.

4. Mobilité

Facilite la relève lors des changements de cellules. Chaque station de base doit connaître ses voisins pour permettre aux utilisateurs de se déplacer sans perdre les communications. Les informations nécessaires au handover sont échangées entre les eNodeB via une interface X2. Une fois la nouvelle connexion allouée entre l'UE et le nouvel eNodeB, la MME et la S-GW seront notifiées par un message de fin de transfert. Une fois que Gateway a reçu le message, elle effectue une commutation de chemin. Au cours de cette période le transfert a un court délai pendant lequel l'UE n'est pas connecté au système. Le LTE est conçu pour rester fonctionnel pour les UE se déplaçant à grande vitesse (jusqu'à 350 km/h, voire 500 km/h, selon la bande de fréquence) [17].

On peut distinguer trois phases dans la réalisation d'un handover :

1. La phase de mesure de la cellule serveur et des cellules voisines ;

2. Phase de préparation de la cellule cible, comprenant les échanges entre le contrôleur de station de base source et le contrôleur de station de base destination et entre ces contrôleurs et le cœur de réseau ;

3. La phase d'exécution, c'est-à-dire le handover entre l'UE et le flux de données, puis les ressources de la cellule d'origine sont libérées.

Le schéma ci-dessous montre l'enchaînement des phases, les nœuds impliqués et les principales opérations effectuées : [6]

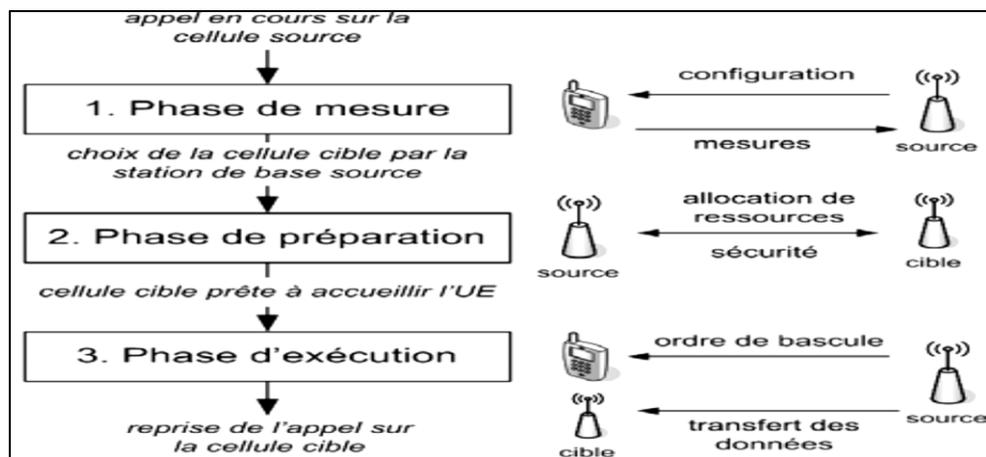


Figure 2-8 : Les trois phases du Handover [6]

5. La qualité de service QoS

La qualité de service ou Quality of service (QoS) définit généralement la capacité à transmettre plusieurs paquets dans de bonnes conditions dans une connexion entre émetteur et récepteur en termes de temps de réponse et de bande passante. Il doit valider la capacité du réseau à fournir des niveaux de service bien définis et à fournir aux utilisateurs des services prévisibles, mesurables et parfois garantis.

Le QoS LTE est devenue un élément important de la planification et de la conception du réseau pour les services de données et de voix 4G/LTE. Certains utilisateurs utilisent les services LTE pour des opérations critiques (par exemple, les appels vocaux, les opérations bancaires, les opérations hospitalières), tandis que d'autres veulent simplement une excellente expérience Internet et applicative. LTE est conçu pour répondre à ces demandes croissantes de données et d'applications avec une connectivité fiable et un déploiement à faible coût [2].

Selon les types du service à fournir, on peut lister les paramètres suivants pour définir la QoS :

- Le débit ;
- Le délai de transmission ou latence ;
- La disponibilité ;
- Le taux de pertes de paquets.

2.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons introduit les concepts de base et les calculs mathématiques nécessaires au dimensionnement de couverture et de capacité. Tous ces concepts sont nécessaires par la suite pour la conception et le développement de notre outil dans le chapitre suivant.

Chapitre 3

Simulation LTE avec Atoll

3.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous allons simuler un réseau LTE sous le logiciel Atoll.

Après avoir fait le dimensionnement du réseau, nous allons simuler le réseau LTE dans la ville de Tébessa commune Boulhaf Dir (pôle Universitaire) sur le logiciel Atoll, pour cela nous allons choisir un modèle numérique du terrain de cette zone, en localisant les différents sites (en tenant compte de la longitude, latitude, hauteur de l'émetteur par rapport au sol, altitude, azimuth), définir le rayon couvert par chaque émetteur, et enfin atteindre différentes zones de couverture.

3.2 Présentation de l'Atoll

Atoll est une plate-forme de conception et d'optimisation de réseaux sans fil multi-technologies qui accompagne les opérateurs sans fil tout au long du cycle de vie du réseau, de la conception initiale à la densification et à l'optimisation.

Atoll peut modéliser les aspects liés au trafic des réseaux multi-technologies et répartir dynamiquement le trafic sur les couches de réseau 2G, 3G, 4G et 5G comprenant des macro, micro, petites cellules et points d'accès Wi-Fi. Il prend en charge les dernières avancées technologiques telles que le MIMO massif, la propagation mmWave pour la conception et le déploiement de réseaux 5G.

Atoll fournit aux opérateurs et aux fournisseurs un cadre puissant et unique pour concevoir et optimiser les réseaux d'accès radio intérieurs et extérieurs. Les fonctionnalités d'intégration et de personnalisation d'Atoll aident les opérateurs à rationaliser en douceur les processus de planification et d'optimisation.

Atoll est devenu la norme de l'industrie pour la planification et l'optimisation des réseaux radio [20].

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

1. 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 comprend à la définition des éléments suivants : Cartes Topographique, la zone géographique à planifier, les informations de l'abonné, le nombre d'utilisateurs...

2. Planification : c'est la deuxième étape, qui sert à trouver les meilleurs emplacements pour les eNodeBs dont le but d'avoir une bonne couverture. Dans Atoll, à la fin de la phase planification on aura la couverture finale détaillée.

3. Vérification : C'est la phase qui suit l'installation du site, qui a pour but d'assurer un fonctionnement optimal du réseau, qui comprend le paramétrage pour corriger les erreurs pouvant survenir lors de l'installation et aussi faire des tests qui est une méthode utilisée pour vérifier la couverture de capacité et les exigences de qualité des fonctions du réseau.

4. Optimisation : c'est la phase finale qui permet de vérifier la satisfaction des clients et résoudre leurs plaintes.

3.3 Création d'un projet

Le but du projet est de dimensionner et de planifier des sites EnodeB dans la zone «Tébessa 'Boulhaf Dir' ». On va assurer une qualité de signal (rapport signal/bruit) optimisé et une bonne couverture.

3.3.1 Présentation de la région à planifier

La figure suivante présente la carte de la zone géographique, importée avec google earth, il s'agit de la commune Boulhaf Dir précisément le pôle Universitaire situé dans la ville de Tébessa.

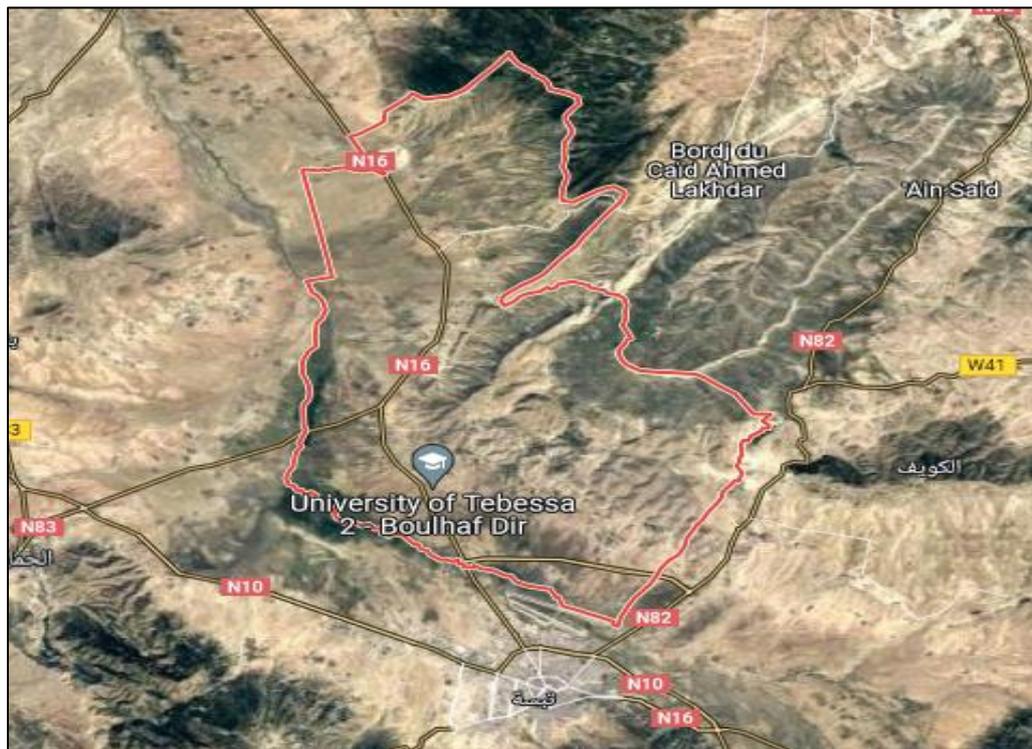


Figure 3-1 : La carte de la commune de Boulhaf Dir (Google Earth)

La zone qui doit être couverte est définie sur la figure (université de Tebessa 2) ou pôle Universitaire :



Figure 3-2 : Zone de l'université de Boulhaf Dir

3.3.2 Démarrage d'un projet Atoll

3.3.2.1 Ouverture d'un nouveau projet

Après le lancement de l'outil d'Atoll, une fenêtre s'affiche pour charger les différents modules de l'Atoll :

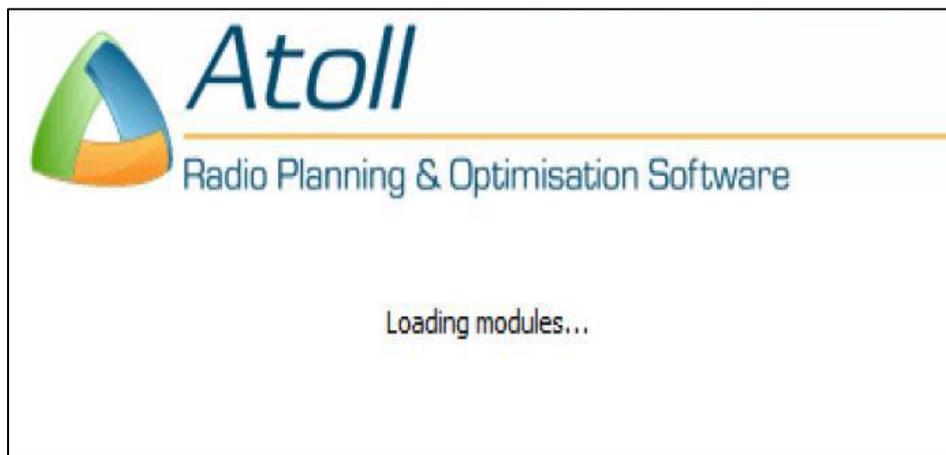


Figure 3-3 : Lancement de l'outil Atoll

Lorsqu'on utilise la commande "Fichier" pour ouvrir un nouveau projet sur Atoll, on doit construire un modèle qui contient les données et la structure de fichiers nécessaires à la technologie que on souhaite utiliser, car une fois qu'on ouvre un nouveau projet Atoll, nous avons plusieurs modèles proposés, tels que : CDMA200 1xRTT, UMTS, HSPA, GSM GPRS EDGE, Microwave Radio Link, Wi-Fi, Wimax, LTE....

Chaque modèle fournit des données pour la technologie appropriée, car les paramètres radio varient selon le type de projet. Pour notre projet, nous choisirons le modèle LTE.

Le logiciel Atoll a un modèle pour chaque technologie, nous pouvons donc créer un document Atoll pour chaque modèle.

Pour créer un nouveau document à partir d'un modèle on procède comme suit :

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

Error! Use the Home tab to apply Titre 1 to the text that you want to appear here.

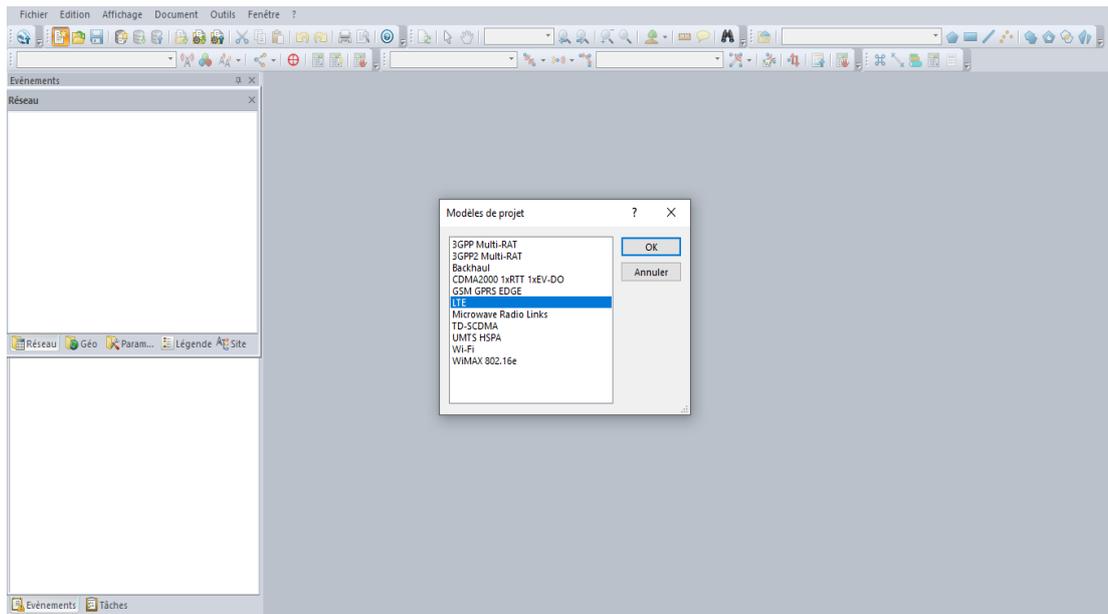


Figure 3-4 : Nouveau document Atoll basé sur le modèle LTE.

3.3.2.2 Réglage des paramètres de la zone

Pour le réglage des paramètres on procède comme suite :

Sélectionnez — Document — Propriétés

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

- Projection -> WGS 84 / UTM zone 32N.
- Affichage -> WGS 84 (Le système de coordonnées WGS 84 est le système géodésique standard mondial, est un système de référence permettant d'exprimer les positions au voisinage de la Terre. Projection UTM sur le système géodésique WGS 84 est un type de projection conforme de la surface de la terre).
- Format des degrés -> -xx xxxxx (indique le format de latitude et de longitude des sites)

Error! Use the Home tab to apply Titre 1 to the text that you want to appear here.

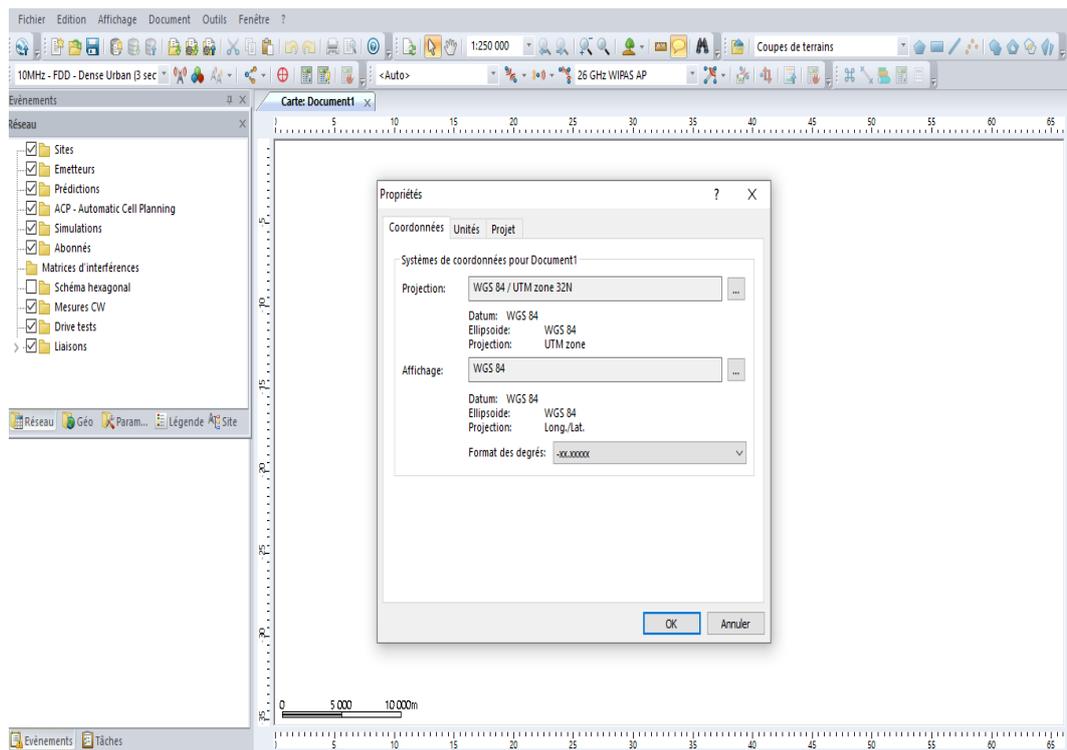


Figure 3-5 : Réglage des paramètres de projection et de formats.

3.3.2.3 L'ajout de la carte

Dans notre projet, nous importons les éléments suivants :

- Sursol ;
- données vectorielles ;
- données images ;
- données de trafic ;
- Vecteurs.

Toutes les coordonnées et les données des sites 4G qu'on a ajouté à Atoll, sont importé depuis un classeur Excel qu'il contient les coordonnées d'altitudes et longitude ainsi que l'azimut...de la ville.

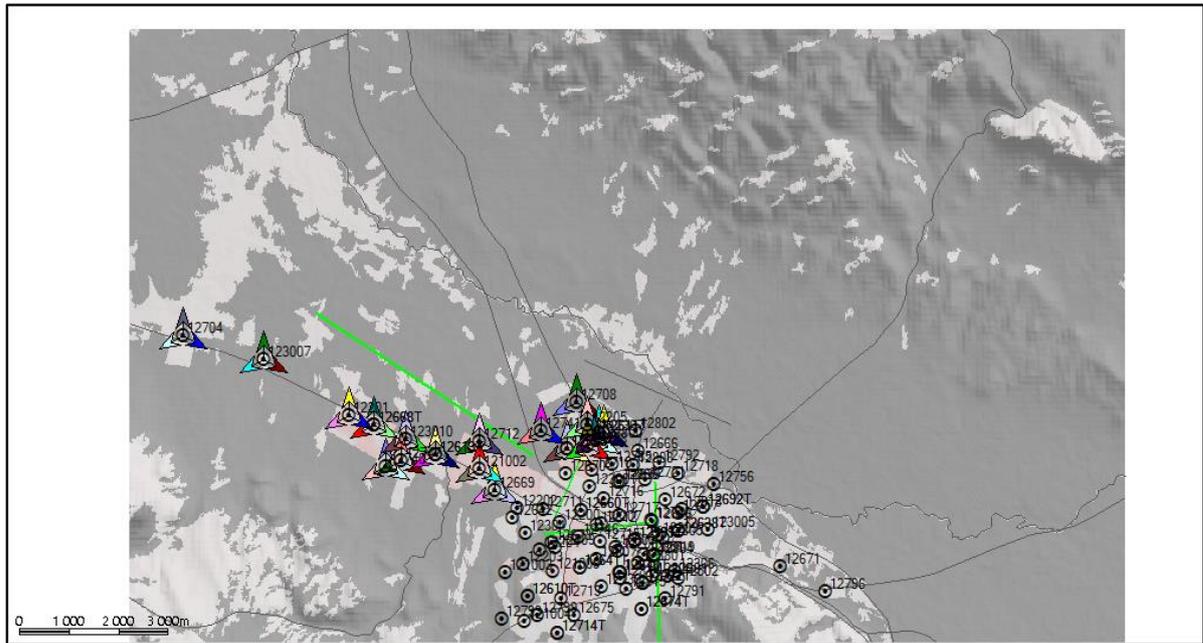


Figure 3-6 : La carte de Tébessa sur Atoll

En traçant notre zone sur Atoll, et nous essayons d'assurer une couverture totale de cette région et de maintenir une bonne qualité de service. On peut le voir sur la Figure ce dessous :

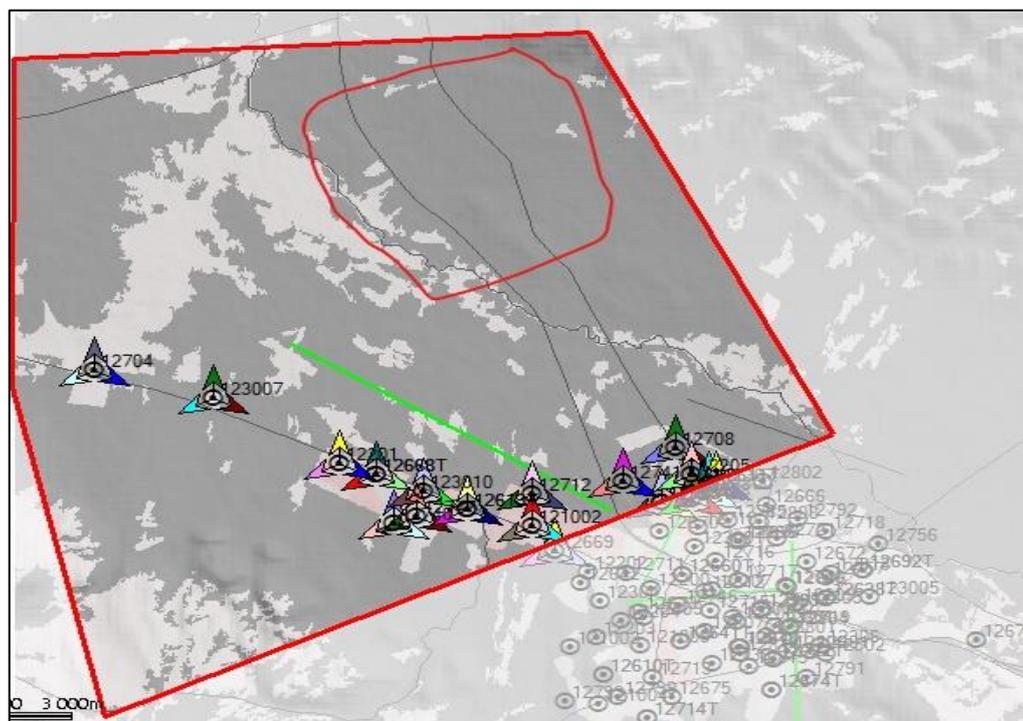


Figure 3-7 : La zone qu'on va planifier

3.3.2.4 Création d'un site

Le site est considéré comme un eNodeB et dans Atoll il est défini comme l'emplacement géographique où nous ajouterons des émetteurs, chaque émetteur à plusieurs paramètres, chaque site est caractérisé par trois émetteurs.

Propriétés de Site111_1

Général Emetteur Cellules Propagation Affichage

En activité Type d'émetteur : Intra-réseau (serveur et brouilleur)

Emission/Réception

	Emission		Réception		Equipement...
	Réel	Calculé	Réel	Calculé	
Pertes totales :	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	Détail
Facteur de bruit :			5 dB	0 dB	

Antennes

Hauteur/sol : 30 m

Antenne principale

Modèle : 65deg 18dBi 4Tilt 2100MHz

Azimut mécanique : 30° Downtilt mécanique : 0°

Azimut électrique : 0° Downtilt électrique : 4°

Downtilt électrique additionnel : 0°

Antenne intelligente

Equipement :

Nombre de ports d'antennes

Emission : 2 Réception : 2

Antennes secondaires

	Antenne	Azimut (°)	Downtilt mécanique (°)	Downtilt électrique additionnel (°)
*				

OK Annuler Appliquer

Figure 3-8 : Création d'un émetteur et ses caractéristiques

Le principal défi pour les opérateurs est d'assurer une bonne couverture dans les zones densément peuplées. Pour cela, plusieurs paramètres liés à l'émetteur permettront d'atteindre notre objectif, tels que :

- Le tilt : Peut-être électrique ou mécanique. Sa fonction est de régler l'inclinaison du lobe principal de l'émetteur par rapport à la direction verticale ;
- Azimut : Il permet de changer la direction de l'antenne sur le plan horizontal pour mieux viser la zone à couvrir ;
- La hauteur de l'émetteur : en modifiant celle-ci, on permet à l'onde de se propager au-delà du bâtiment, évitant ainsi l'effet « écran », c'est-à-dire les réflexions dues aux ondes.

3.3.2.5 Création d'une cellule

Dans Atoll, chaque cellule est traitée comme un canal radiofréquence (RF) avec toutes ses caractéristiques sur l'émetteur (sur chaque secteur nous configurons des paramètres tels que la puissance de l'antenne...etc).

Error! Use the Home tab to apply Titre 1 to the text that you want to appear here.

Propriétés de Site111_1 ? X

Général Emetteur Cellules Propagation Affichage

	1	
Nom	Site111_1(0)	
ID		
Active	<input checked="" type="checkbox"/>	
Ordre		1
Couche	Macro Layer	
Type de cellule	LTE	
Bande de fréquences	E-UTRA Band 1 - 10MHz	
Numéro de canal	50	
Etat d'allocation de canal	Non alloué	
Domaine Physical Cell ID		
Physical Cell ID		0
ID PSS		0
ID SSS		0
Etat du PSS ID	Non alloué	
Etat du SSS ID	Non alloué	
Distance de réutilisation (m)		
Puissance max (dBm)		43
EPRE RS par port d'antenne (dBm)		15,4
Offset EPRE SS / RS (dB)		0
Offset EPRE PBCH / RS (dB)		0
Offset EPRE PDCCH / RS (dB)		0
Offset EPRE PDSCH / RS (dB)		0
RSRP min (dBm)		-140
Seuil de sélection de cellule (dB)		0
Offset individuel de cellule (dB)		0
Marge de handover (dB)		0
Seuil ICIC de delta path loss (dB)		0
Facteur de contrôle de puissance fractionnaire	1	
Noise rise max (UL) (dB)		6
C/(I+N) PUSCH max (dB)		20
Support de coordination d'interférences		
Configuration de trame		
Configuration de sous-trames TDD	0 - DSUUU-DSUUU	
Schéma des sous-trames vides (ABS)		
Equipement de réception	Default Cell Equipment	
Scheduler	Proportional Fair	
Support de diversité (DL)	Diversité d'émission;SU-MIMO	
Support de diversité (UL)	Diversité de réception;SU-MIMO	

< >

OK Annuler Appliquer

Figure 3-9 : Configuration de la cellule ou antenne

3.3.3 Prédiction de couverture

Cette phase a pour but d'assurer un fonctionnement optimal sur le réseau. Une méthode de test utilisée pour vérifier la fonctionnalité du réseau de chaque émetteur pour les exigences de couverture ou de qualité.

Une fois le réseau déployé, on utilise l'outil Atoll pour effectuer plusieurs prédictions afin de mieux comprendre la propagation du signal depuis l'émetteur et de détecter où le niveau et la qualité du signal.

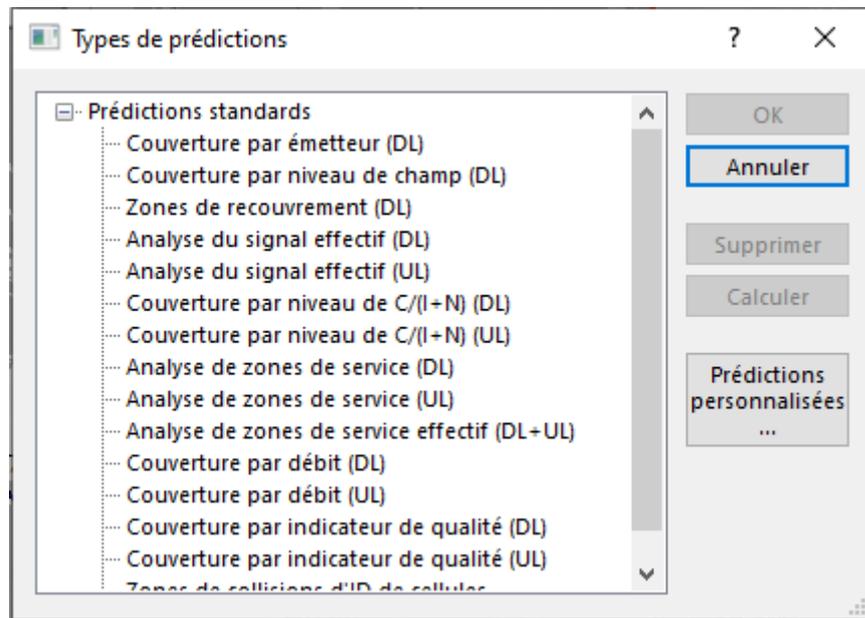


Figure 3-10 : Différents types de prédictions

Dans notre cas nous allons étudier quelque type de prédictions :

3.3.3.1 La couverture par niveau de signal

Cette prédiction permet d'estimer la puissance reçue par l'appareil mobile en chaque point de la zone de calcul. Le but de cette étude est de détecter d'éventuelles zones mortes et d'essayer de les éliminer en modifiant la configuration des sites et des émetteurs (ex. déplacement de sites, changement d'azimut d'émetteur ou ajout de nouveaux sites). Après avoir calculé cette prédiction, nous obtenons le résultat présenté dans la figure ci-dessous :

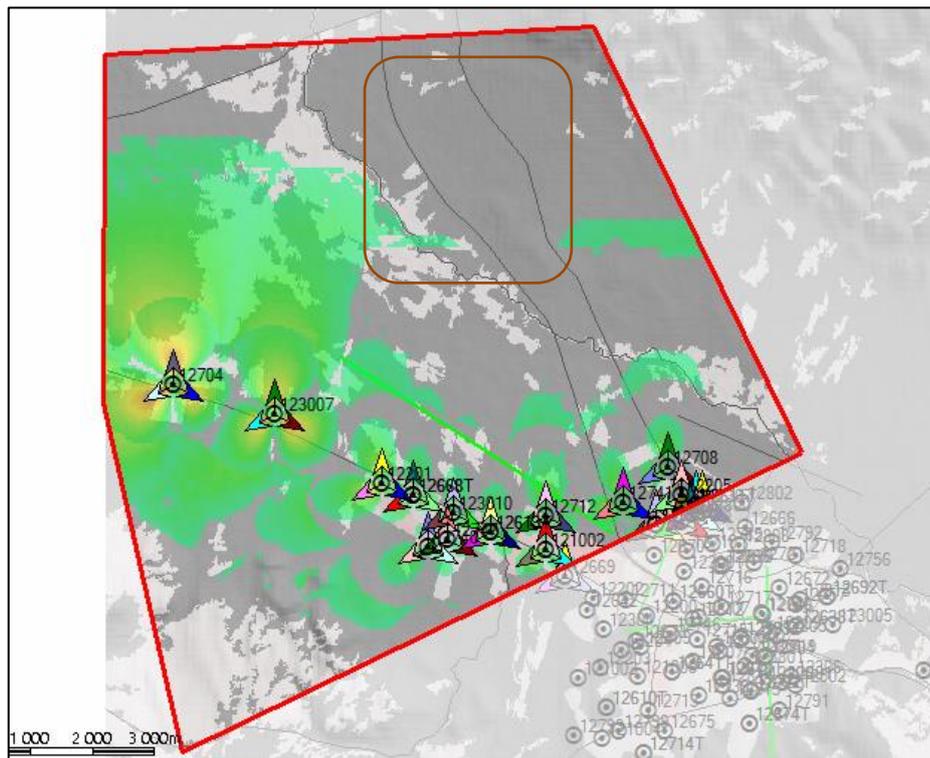


Figure 3-11 : Prédiction de la couverture par niveau du signal C/ (I+N)

Nous remarquons dans la figure ci-dessus que les niveaux de signal autour des sites sont élevés (valeurs élevées) et que ces valeurs diminuent en s'éloignant des sites en raison de l'atténuation, qui peut être vue par la couleur (blue, vert,).

Nous avons également remarqué que la zone d'université Boulhaf Dir désigné n'a aucun signal. Cette zone n'est pas couverte par le réseau. D'où la nécessité d'ajouter de nouveaux sites.

L'histogramme ci-dessous nous montre la surface de la zone couverte en fonction du niveau de signal optimal.

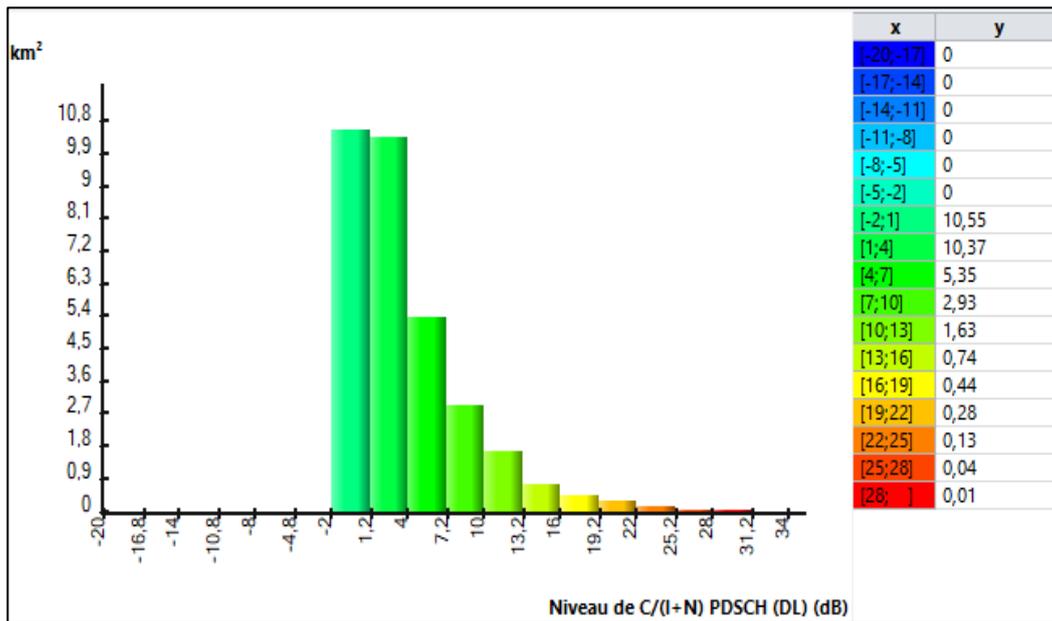


Figure 3-12 : Histogramme de la couverture par niveau de signal

La légende de la figure:

	Min	Max	Légende
1	28		Niveau de C/(I+N) PDSCH (DL) (dB) >=28
2	25		Niveau de C/(I+N) PDSCH (DL) (dB) >=25
3	22		Niveau de C/(I+N) PDSCH (DL) (dB) >=22
4	19		Niveau de C/(I+N) PDSCH (DL) (dB) >=19
5	16		Niveau de C/(I+N) PDSCH (DL) (dB) >=16
6	13		Niveau de C/(I+N) PDSCH (DL) (dB) >=13
7	10		Niveau de C/(I+N) PDSCH (DL) (dB) >=10
8	7		Niveau de C/(I+N) PDSCH (DL) (dB) >=7
9	4		Niveau de C/(I+N) PDSCH (DL) (dB) >=4
10	1		Niveau de C/(I+N) PDSCH (DL) (dB) >=1
11	-2		Niveau de C/(I+N) PDSCH (DL) (dB) >=-2
12	-5		Niveau de C/(I+N) PDSCH (DL) (dB) >=-5
13	-8		Niveau de C/(I+N) PDSCH (DL) (dB) >=-8
14	-11		Niveau de C/(I+N) PDSCH (DL) (dB) >=-11
15	-14		Niveau de C/(I+N) PDSCH (DL) (dB) >=-14
16	-17		Niveau de C/(I+N) PDSCH (DL) (dB) >=-17
17	-20		Niveau de C/(I+N) PDSCH (DL) (dB) >=-20

Figure 3-13 : Légende pour couverture par niveau de signal

Pour avoir une bonne couverture de la commune Boulhaf Dir nous allons ajouter deux nouveaux sites (site 110, site 111) :

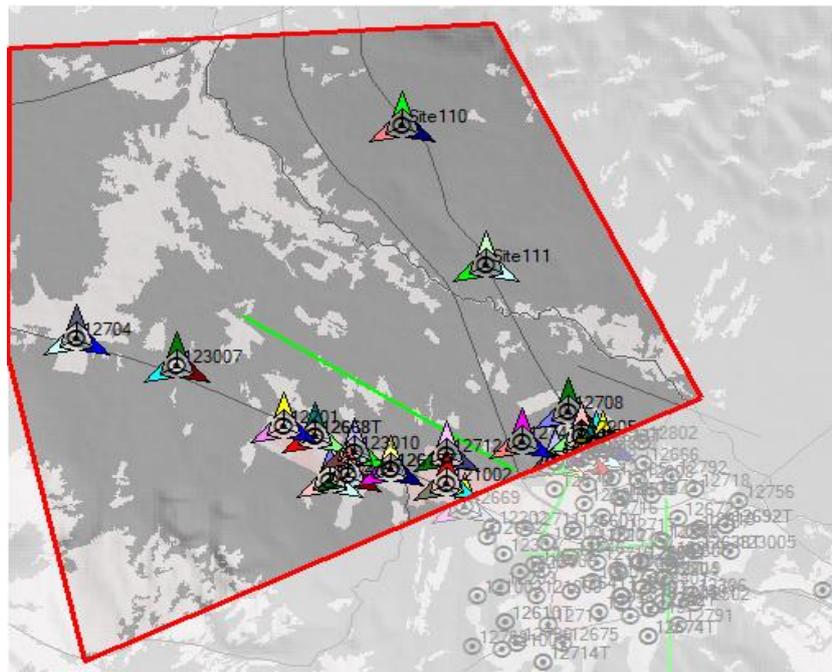


Figure 3-14 : Ajout de nouveau site dans la ville

Après modifier les paramètres des nouveaux sites on faire la nouvelle prédiction, nous pouvons voir la disposition des nouveaux sites :

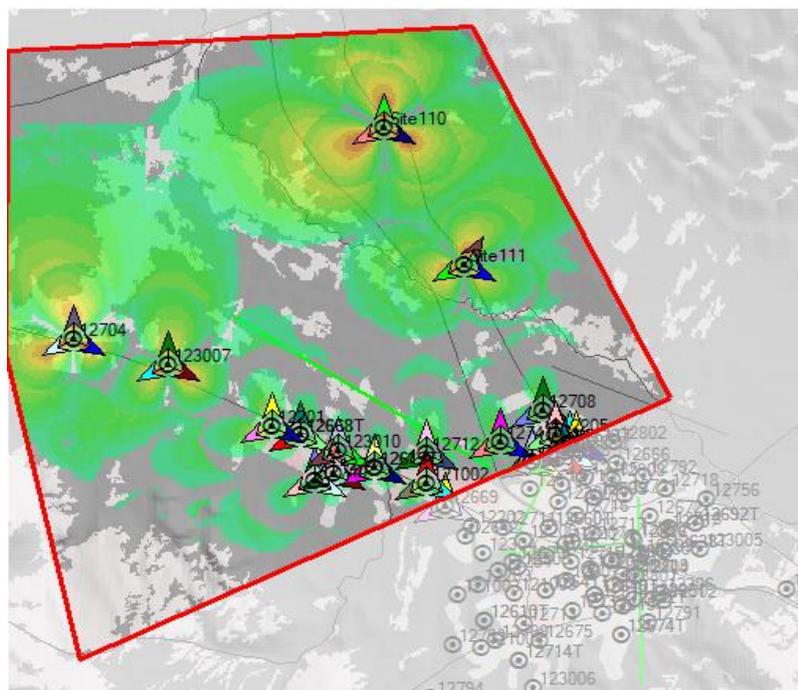


Figure 3-15 : Résultat de la nouvelle prédiction de la couverture par niveau de signal

Après que la commune a déployé les nouveau sites, nous constatons que la commune est bien couverte par rapport à la première simulation, car les zones qui n'étaient pas couvertes sont maintenant bien couvertes avec les précédentes, donc la répartition des sites est très bonne, comme le montre notre histogramme :

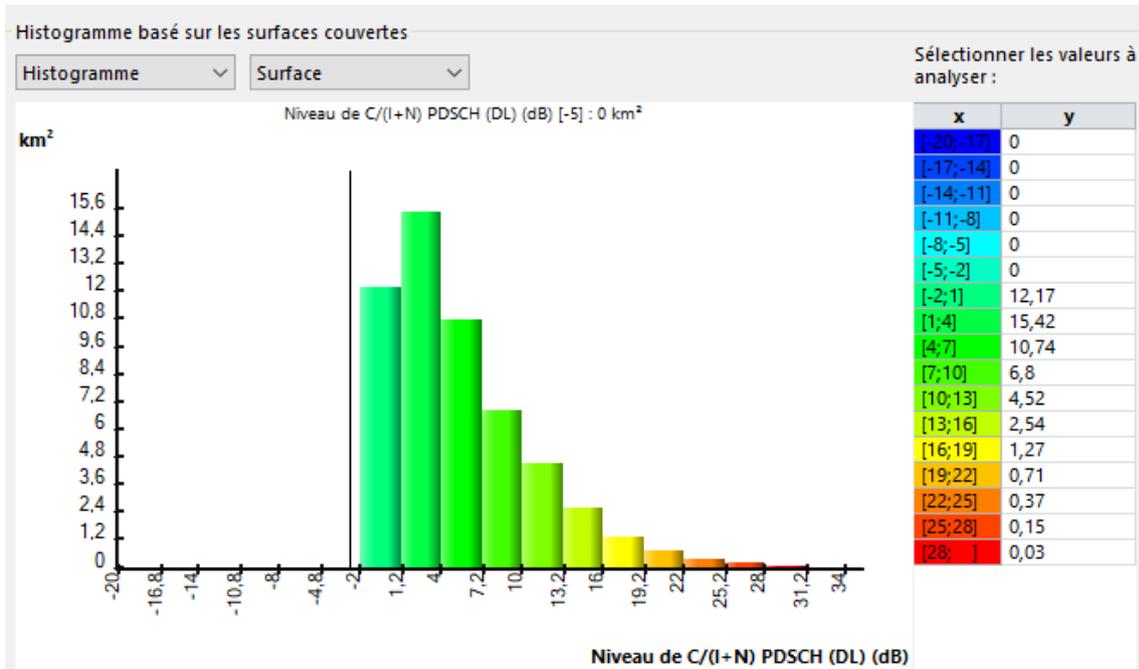


Figure 3-16 : Histogramme de nouvelle couverture par niveau de signal

3.3.3.2 Prédiction de couverture par émetteur

Cette prédiction permet de déterminer les limites des différentes cellules du réseau LTE afin de préciser la zone de couverture du site sur laquelle on veut appliquer le principe d'optimisation. La figure ci-dessous montre que la transmission de chaque site comporte 3 secteurs :

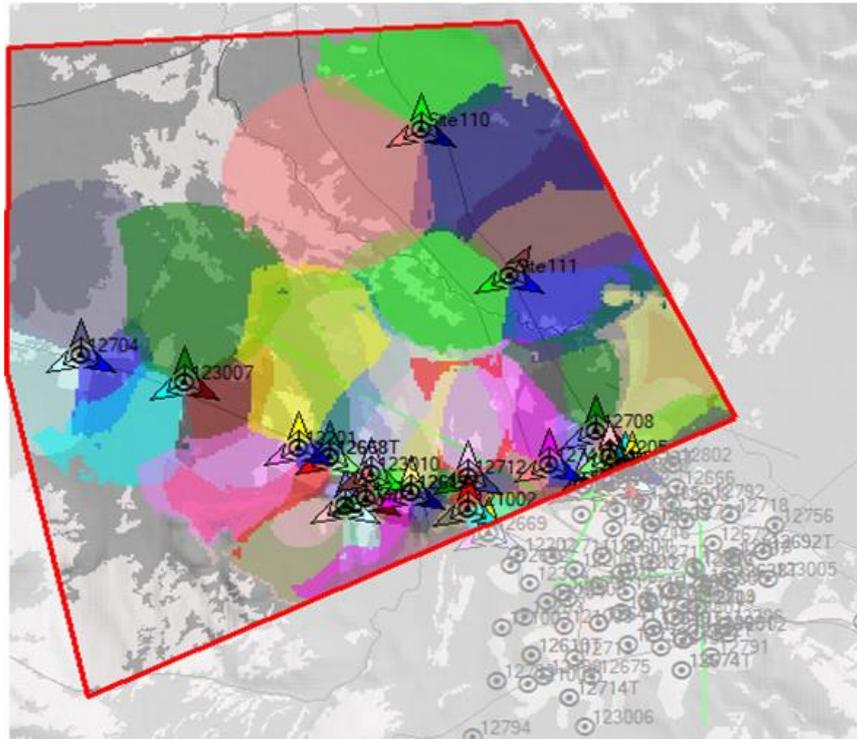


Figure 3-17 : Prédiction de couverture par émetteur

3.3.3.3 Calculs de la zone de recouvrement

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

La légende de la figure:

		Min	Max	Légende
1		4		Nombre de serveurs >=4
2		3		Nombre de serveurs >=3
3		2		Nombre de serveurs >=2
4		1		Nombre de serveurs >=1

Figure 3-20 : Légende de la carte de recouvrement

A travers la légende nous pouvons conclure que la totalité de la zone est couverte par un seul serveur (44.15 % de la surface). En bordure de cellule on a deux ou trois serveurs ce qui correspond aux zones d'intersections des cellules.

3.3.3.4 Prédiction de la couverture par débit (UL+DL) :

Cette prédiction permet de calculer le débit maximal offert par un réseau LTE en fonction de la dégradation des couleurs.

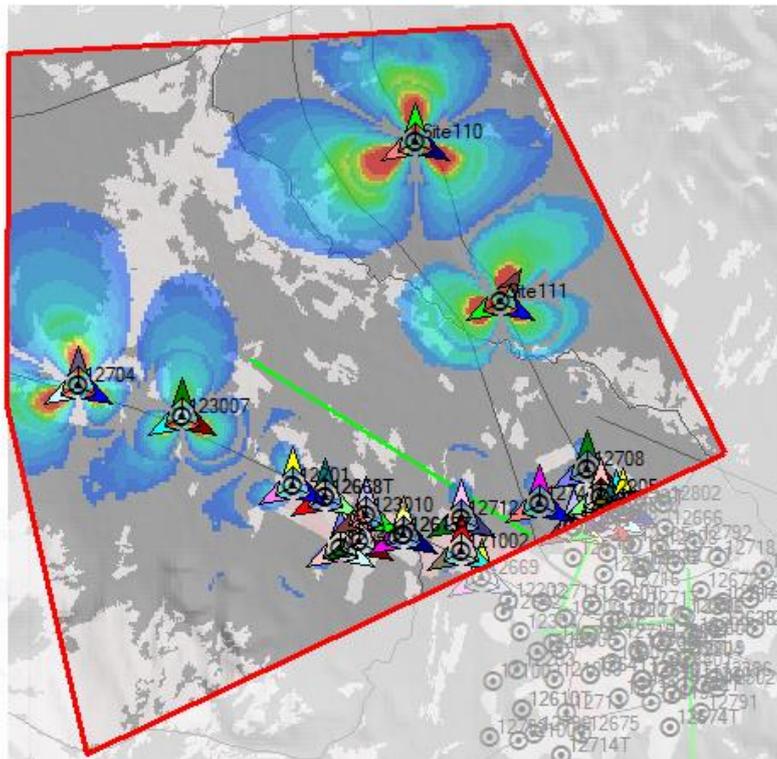


Figure 3-21 : Prédiction de la couverture par débit DL

Error! Use the Home tab to apply Titre 1 to the text that you want to appear here.

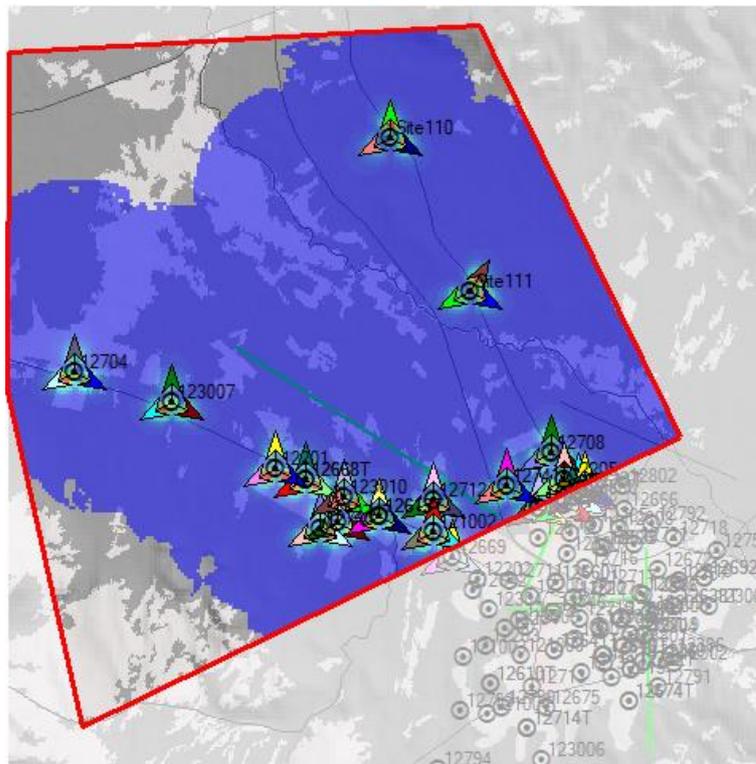


Figure 3-22 : Prédiction de la couverture par débit UL

La légende de prédiction :

	Min	Max	Légende
1	50 000		Débit canal RLC max (DL) (kbps) >= 50 000
2	49 000		Débit canal RLC max (DL) (kbps) >= 49 000
3	48 000		Débit canal RLC max (DL) (kbps) >= 48 000
4	47 000		Débit canal RLC max (DL) (kbps) >= 47 000
5	46 000		Débit canal RLC max (DL) (kbps) >= 46 000
6	45 000		Débit canal RLC max (DL) (kbps) >= 45 000
7	44 000		Débit canal RLC max (DL) (kbps) >= 44 000
8	43 000		Débit canal RLC max (DL) (kbps) >= 43 000
9	42 000		Débit canal RLC max (DL) (kbps) >= 42 000
10	41 000		Débit canal RLC max (DL) (kbps) >= 41 000
11	40 000		Débit canal RLC max (DL) (kbps) >= 40 000
12	39 000		Débit canal RLC max (DL) (kbps) >= 39 000
13	38 000		Débit canal RLC max (DL) (kbps) >= 38 000
14	37 000		Débit canal RLC max (DL) (kbps) >= 37 000
15	36 000		Débit canal RLC max (DL) (kbps) >= 36 000
16	35 000		Débit canal RLC max (DL) (kbps) >= 35 000
17	34 000		Débit canal RLC max (DL) (kbps) >= 34 000
18	33 000		Débit canal RLC max (DL) (kbps) >= 33 000

Figure 3-23 : Legende de simulation

Cette carte de trafic indique la quantité de trafic maximale que l'émetteur peut servir dans une zone.

La prédiction de la couverture par débit est faite pour la liaison montante (UL) et pour la liaison descendante (DL). Où chaque couleur désigne un intervalle de débit selon la légende précédente, le débit de chaque site pour les 2 voies montante et descendante est 50 Mbits/s pour chaque secteur.

Après avoir effectué la simulation, nous calculons la prédiction du débit offert par les sites comme montre les figures suivantes :

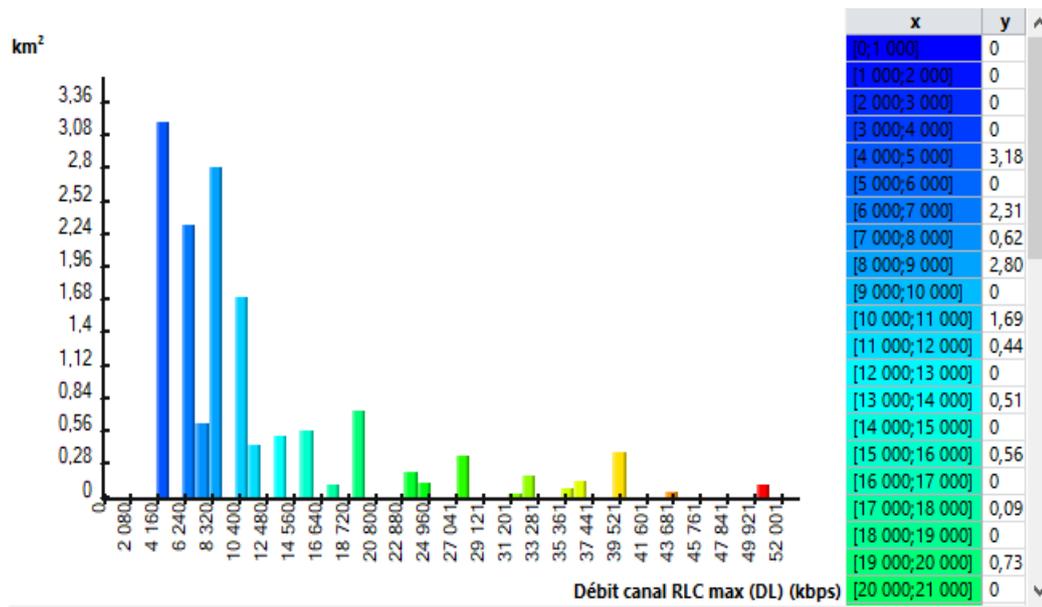


Figure 3-24 : Résultat de calcul du débit pour DL

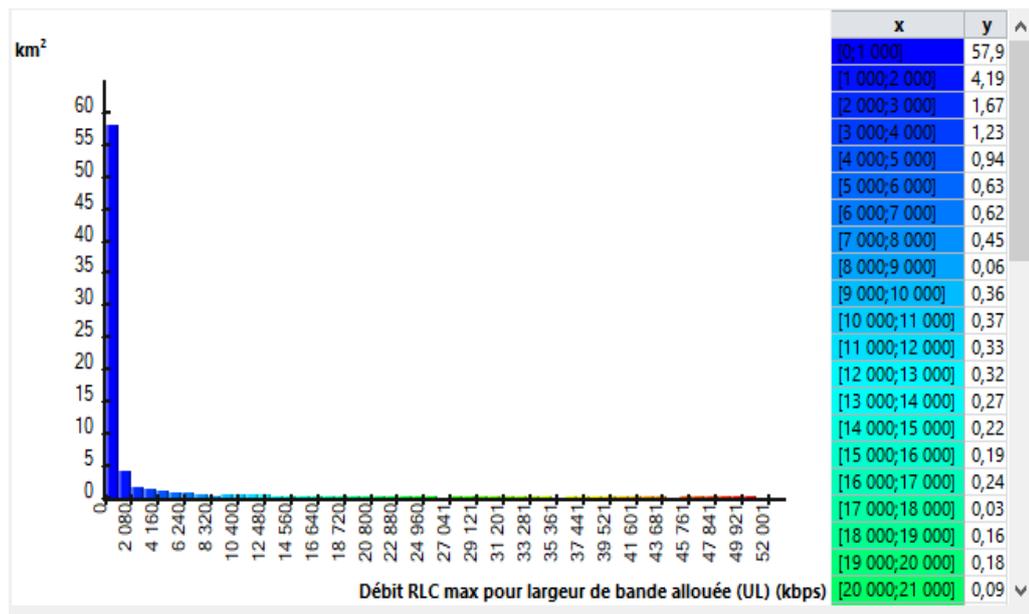


Figure 3-25 : Résultat de calcul du débit pour UL

Les résultats de la simulation montrent que la plupart de sites 4G-LTE offrent un bon pourcentage de satisfaction des abonnés servis pour la voie UL, mais un mauvais pourcentage de la voie DL.

Dans le cas de la liaison descendante (figure 3-24), on constate que le débit est variable, pour des intervalles différents on a des superficies différentes.

Pour la liaison montante (figure 3-25), on remarque que la zone est couverte. Le débit diminue en fonction de kilométrage, c.-à-d., que l'augmentation de débit implique la diminution de rayon de cellule.

D'après les résultats de simulation de la prédiction de la couverture par débit, une partie de la zone de couverture garantit un débit maximal.

3.3.3.5 Impacte de l'augmentation du nombre d'utilisateurs sur la capacité

Ces simulations consistent notamment à observer l'effet de l'augmentation du nombre d'utilisateur sur la capacité effective de la cellule, uniquement dans le sens descendant (DL).

Premièrement en cas d'un nombre 5 utilisateurs par cellules, ensuite 15 utilisateurs par cellules, et enfin 50 utilisateurs par cellule. En comparant les résultats pour différents cas de densité des utilisateurs.

Les graphes générés par l'outil Atoll montrent la DCFI (Fonction de distribution cumulative inverse) de la capacité, qui représente la probabilité en pourcentage des utilisateurs en fonction de la capacité cellulaire de l'eNodeB du réseau LTE.

1- Cas de 5 utilisateurs

La première simulation teste la capacité de la cellule avec 5 utilisateurs, La figure suivante présente la DCFI obtenue dans ce cas dans chaque cellule :

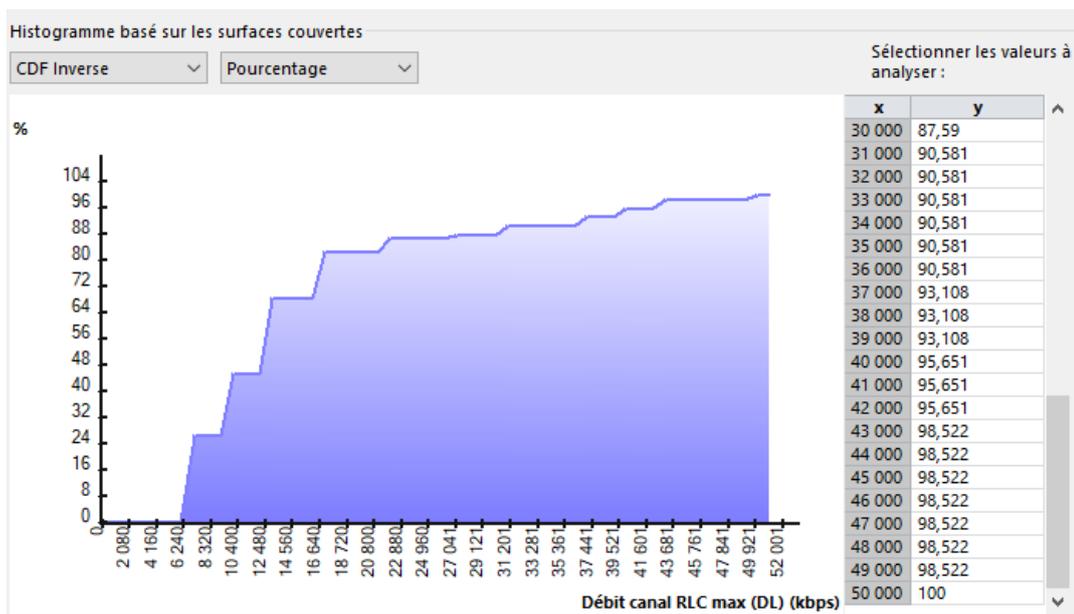


Figure 3-26 : La DCFI de la capacité effective de la cellule : cas 5 utilisateurs/cellule

La DCFI résultant indique que la probabilité d'avoir une capacité maximale de 50Mbit/s est de 100 %, autrement dit 100% d'utilisateurs de notre réseau LTE ont une capacité maximale de 50 Mbit/s.

2- Cas de 15 utilisateurs

Dans la deuxième simulation, on va augmenter le nombre d'utilisateurs à 15 utilisateurs par cellule, Le résultat obtenu est représenté dans la figure :

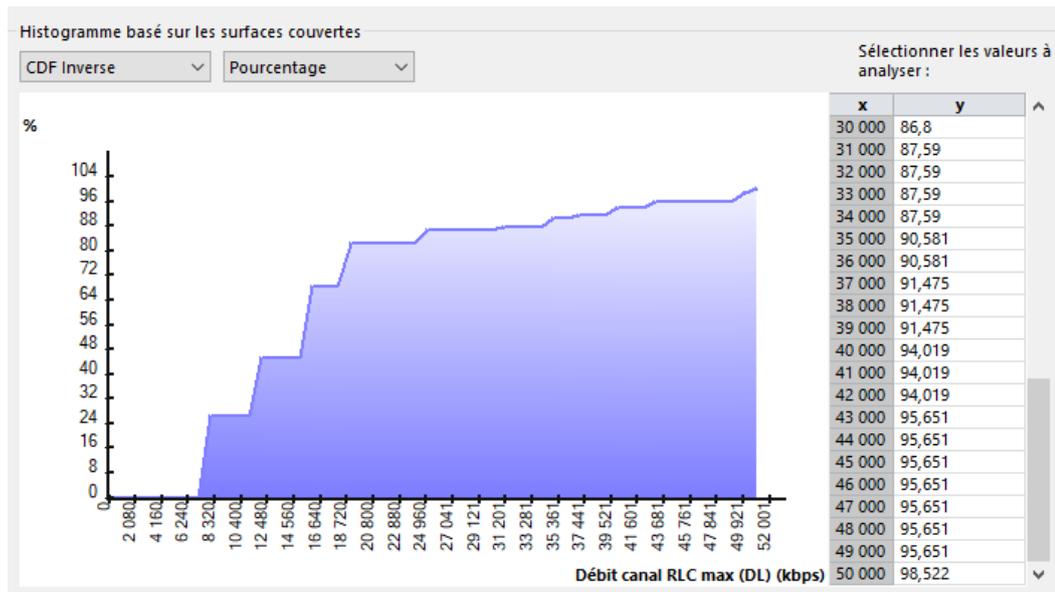


Figure 3-27 : La DCFI de la capacité effective de la cellule : cas 15 utilisateurs/cellule

Avec l'augmentation du nombre d'utilisateurs à 15 utilisateurs, la probabilité d'avoir une capacité maximale de 50Mbit/s a régressé au pourcentage de 98.522% et cela dû a l'augmentation de la densité d'utilisateurs et leurs distances avec l'eNodeB.

3- Cas de 50 utilisateurs

Dans la simulation finale, on va augmenter le nombre d'utilisateurs à 50 utilisateurs par cellule, Le résultat trouvé est présentée sur la figure :

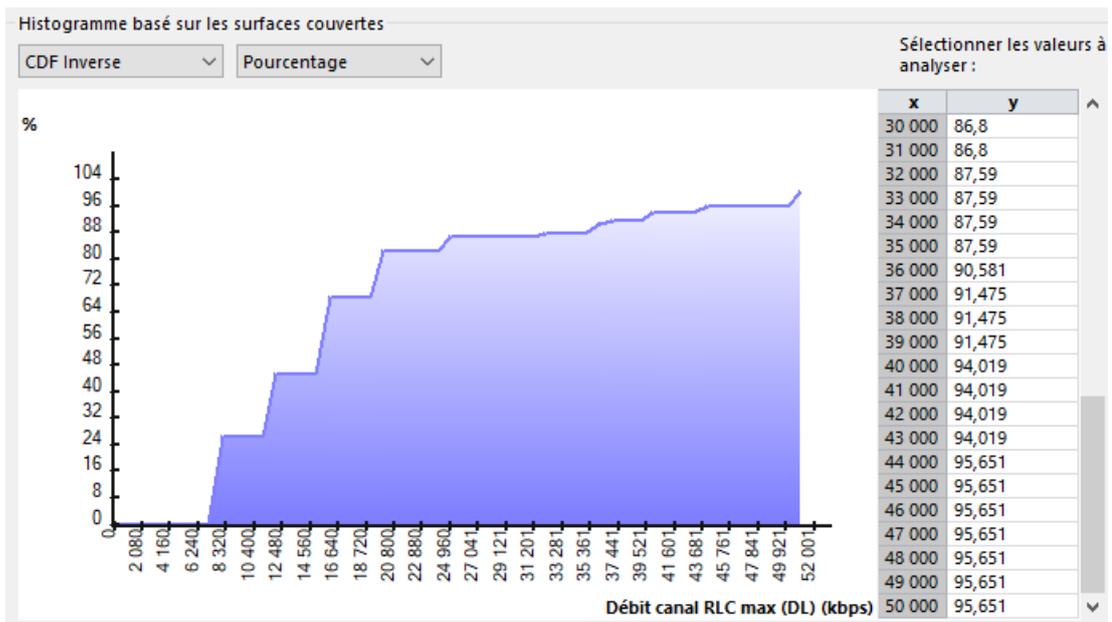


Figure 3-28 : La DCFI de la capacité effective de la cellule : cas 50 utilisateurs/cellule

Dans une cellule de 50 utilisateurs, la capacité maximale (Figure 3-28) atteinte est de 50Mbps avec une probabilité de 95,651%.

On peut voir le nombre d'utilisateurs dans une cellule augmente, et que les probabilités d'avoir une capacité maximale diminue plus en plus. (Avec l'augmentation du nombre d'utilisateurs, la capacité de la cellule a diminué).

3.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons planifié et déployer un réseau cellulaire LTE dans la zone géographique de la ville de Tébessa - Boulhaf Dir – « pôle Universitaire » le travail est réaliser avec le logiciel de planification Atoll, pour que ses étapes soient représentées en détails avec des captures d'écran posé, nous avons aussi présenté l'amélioration des performances des sites ainsi que leurs couvertures, les différents résultats des simulations réalisées.

Conclusion Générale et Perspective

L'objectif de notre travail de fin d'étude est de faire une étude détaillée du réseau LTE, ainsi dimensionner et planifier le réseau dans une zone géographique précise Boulhaf Dir « pôle Universitaire » ville de Tébessa.

Nous avons présenté les performances approfondie de réseau LTE (architecture, fréquence, la trame) comme une première phase.

En outre, nous avons basée sur la planification et dimensionnement détaillée du réseau LTE, nous avons étudié l'établissement du bilan de liaison, la sélection du modèle de propagation adéquat pour le dimensionnement de la couverture, le calcul de la capacité de la cellule pour le dimensionnement de la capacité.

Après, nous passons à l'étape de simulation par présenté l'outil Atoll et faire la simulation de réseau sur le logiciel à travers mettre capture d'écran des différentes prédictions et résultats.

Ce projet a été l'occasion d'approfondir ma compréhension des réseaux mobiles, en particulier le LTE -4G et apprendre un nouveau logiciel de Télécommunications, pour la prochaine génération 5G et 6G.

Notre perspective est de planifier la Wilaya de Tébessa pour la prochaine génération 5G avec le logiciel Atoll.

Références Bibliographiques

- [1] Le site de 3GPP : <http://www.3gpp.org/LTE>
- [2] MERAH Hocine, " Conception d'un MODEM de la quatrième génération (4G) des réseaux de mobiles à base de la technologie MC-CDMA", Mémoire de Magister En électronique, UNIVERSITE FERHAT ABBAS – SETIF, 2012.
- [3] Frédéric Launay, Les réseaux de mobiles 4G et 5G, université de poitiers.2013
- [4] Généralités et architecture de la 4G, orange developer
- [5] Cablefree.net, "4G LTE Technology"
- [6] LTE et les réseaux 4G / Yannick Bouguen, Eric Hardouin, François-Xavier Wolff ; sous la direction de Guy Pujolle préface d'Alain Maloberti.
- [7] Mehassouel. M, " Application de la technologie MIMO à la 4G du mobile, mémoire de magistère. Université Ferhat ABBAS de Sétif, Algérie. 2014
- [8] Marceau Coupechoux, "Long Term Evolution : PHY, MAC et RLC", Telecom Paris Tech, Département INFRES/RMS, Décembre 2014
- [9] <https://shms.sa> : CHAPITRE I LE CANAL RADIO, L'OFDMA ET LE SC-FDMA
- [10] Martial COULON, Canal de Propagation, University of Toulouse 2007-2008
- [11] https://www.memoireonline.com/10/17/10061/m_Etudes-des-performances-des-reseaux-4G19.html
- [12] <https://www.techno-science.net/>
- [13] BENDIMERAD FETHI TARIK, " MIMO ET ACCÈS MULTIPLES AVANCÉS POUR RÉSEAUX SANS FIL" rapport final de, Organisme pilote : CERIST2013
- [14] Calibrating the Standard Propagation Model (SPM) for Suburban Environments Using 4G LTE Field Measurement Study Case in Indonesia, 2020
- [15] Marceau Coupechoux- de la 2G à la 4G Bilans de liaison
- [16] Houda Tounsi, " Optimisation de la couverture radio du réseau 4G de tunisie Telecom", Master professionnel, 2015-2016

- [17] Seghiri, N, et Sidhoum, L," analyse et optimisation de la capacité et la qualité de service de réseau 4G-LTE, Mémoire de master .Université Aboubakr BELKAID de Tlemcen, Algérie, 2018
- [18] Noman Shabbir, Muhammad Sadiq, Hasnain Kashif and Rizwan Ullah, "COMPARISON OF RADIO PROPAGATION MODELS FOR LONG TERM EVOLUTION (LTE) NETWORK" International Journal of Next-Generation Networks (IJNGN), September 2011
- [19] Tarek TOUHAMI, " La mise en place d'un outil d'optimisation d'un réseau Advanced LTE Pour Tunisie Telecom", Mémoire de master professionnel, tunisie 2015
- [20] <https://www.forsk.com/atoll-overview>
- [21] Diarra Maïmouna " Planification et Dimensionnement d'un réseau LTE", mémoire de master académique, Mostaganem2020.
- [22] CHICHAOUI Dihia, MOUDIR Sonia " Dimensionnement d'un réseau 4G LTE "Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2018
- [23] www.researchgate.net/figure/General-architecture-of-LTE-A_fig1_269691350
- [24] OUARI YANIS," Modèle de propagation et de couverture de la 4G ", mémoire de master Université A/Mira de Bejaïa, 2019
- [25] Projet : Simulation d'un réseau 4G en vue d'optimiser les ressources spectrales de l'opérateur, 2013.
- [26] LTE Frame structure (continued) : <https://3gpptutorial.wordpress.com/2014/08/18/lte-frame-structure-continued/>

Annexe A Disposition des sites

Site	Height (m)	Azimuth (°)	Mechanical Downtilt (°)
121002	20	90	0
121002	20	270	0
121002	20	350	0
12201	28	30	2
12201	28	130	2
12201	28	300	2
12205	22	60	2
12205	22	160	2
12205	22	260	2
12208	28	80	2
12208	28	220	2
12208	28	310	2
12301	23	70	0
12301	23	170	0
12301	23	280	0
12307	20	30	2
12307	20	200	2
12307	20	280	2
12613T	30	138	0
12613T	30	229	4
12613T	30	340	4
12668T	14	108	0
12668T	14	190	0
12668T	14	348	0
12704	30	100	0
12704	30	190	1
12704	30	360	0
12708	17,5	120	0
12708	17,5	210	0
12708	17,5	330	0

12709T	17	90	0
12709T	17	190	0
12709T	17	310	0
12740	6	53	0
12740	6	180	0
12740	6	210	0
12741	12	10	0
12741	12	170	0
12741	12	250	0
12747	22	110	0
12747	22	230	0
12747	22	330	0
110	30	0	0
110	30	120	0
110	30	240	0
111	30	30	0
111	30	120	0
111	30	240	0

Résumé

Ces dernières années, le monde a connu une explosion d'innovation dans le monde connecté, plus précisément le monde des mobiles. Ce monde connecté devient de plus en plus rapide. Cela nécessite un réseau mobile performant, d'où interviens les chercheurs pour améliorer ce dernier.

Les systèmes de communication mobile de troisième génération (3G) d'aujourd'hui sont incapables de répondre à certaines exigences particulières, notamment une densité de trafic élevée, un grand nombre de connexions et de mobilité, cette demande sans cesse croissante de débits de données et le besoin d'une capacité illimitée pour réduire le temps. Ont conduit à une nouvelle expansion de technologie et développe des réseaux de communication sans fil, Cela mène à une naissance de nouvelle génération de communication mobile appelée la quatrième génération (4G).

Notre projet révèle les objectifs et les phases de cette nouvelle technologie ainsi que la normalisation ITU et 3GPP, la planification et le dimensionnement des réseaux mobiles 4G dans la zone Bolhaf Dir (pôle Universitaire) à l'aide du logiciel Atoll.

Mots-Clés : 3GPP, réseau mobile, capacité, couverture, 4G, planification, atoll

Abstract:

In recent years, the world has experienced an explosion of innovation in the connected world, specifically the mobile world. This connected world is getting faster. This requires an efficient mobile network, from which researchers intervene to improve it.

Today's third generation (3G) mobile communication systems are unable to meet specific requirements, high traffic density, high number of connections and mobility, and this ever-increasing demand for data rates and the need for unlimited capacity to reduce time. Have led to a new expansion of technology and develops wireless communication networks, This leads to a new generation of mobile communication called the fourth generation (4G).

Our project reveals the objectives and phases of this new technology as well as ITU and 3GPP standardization, planning and sizing of 4G mobile networks in the Bolhaf Dir area (University Pole) using Atoll software.

Key-words: 3GPP, mobile network, capacity, cover, 4G, planning, atoll

المخلص

في السنوات الأخيرة، شهد العالم انفجاراً في الابتكار في العالم المتصل، وتحديدًا عالم الهاتف المحمول. هذا العالم المتصل يزداد سرعة. يتطلب ذلك شبكة هاتف محمول فعالة مما أدى الباحثون للتدخل لتحسينها.

أنظمة الاتصالات المتنقلة من الجيل الثالث اليوم غير قادرة على تلبية بعض المتطلبات الخاصة، بما في ذلك كثافة حركة المشتركين العالية، والعدد الكبير من الاتصالات والتنقل، وهذا الطلب المتزايد باستمرار على معدلات البيانات والحاجة إلى سعة غير محدودة لتقليل الوقت. أدى إلى توسع جديد في التكنولوجيا وتطوير شبكات الاتصالات اللاسلكية، مما أدى إلى ولادة جيل جديد من الاتصالات المتنقلة يسمى الجيل الرابع.

يكشف مشروعنا عن أهداف ومراحل هذه التكنولوجيا الجديدة بالإضافة إلى توحيد وتخطيط حجم شبكات الهاتف المحمول للجيل الرابع، في منطقة بولحاف دير (القطب الجامعي) باستخدام برنامج Atoll.

الكلمات المفتاحية: 3GPP, 4G, Atoll, شبكة الهاتف، السعة، التغطية، التصميم.