

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

UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU



FACULTE DUGENIE ELECTRIQUE ET D'INFORMATIQUE
DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE

**Mémoire de Fin d'Etudes
De MASTER ACADEMIQUE**

Domaine : Sciences et Technologies Filière : Génie électrique
Spécialité : **Télécommunication et réseaux**

Présenté par :

M^{elle} : DJEDDI FATMA

M^{elle} : OUTALEB FAIZA

Co-encadré par: Amrane.M

Thème

**Planification et optimisation d'un réseau 4G
LTE**

Mémoire soutenu publiquement le **25/09/2017**.devant le jury composé de:

Mr. Attaf Yousef

Maitre de conférences

B UMMTO Président

Mme. Lahdir Leila

Maitre de conférences

A UMMTO Promotrice

Mr. Lahdir Mourad

Maitre de conférences

UMMTO Examineur

Année 2016/2017



Remerciements

Au terme de ce projet, nous tenons à remercier notre Dieu qui nous a donné La volonté, l'aide, la patience et le courage pour accomplir ce modeste travail.

Nous voudrions remercier notre encadreur, Mr Amrane Makhlouf pour son soutien et ses recommandations judicieuses.

Aussi, Nous tenons à remercier tout le personnel d'Algérie Telecom ayant contribué de près ou de loin au bon déroulement de notre stage.

Nous remercions chaleureusement tous les enseignants de L'UMMTO qui ont contribué à notre formation. Le travail présenté ici est en quelques sortes le point d'orgue de longues années d'études pendant lesquelles ils nous ont toujours soutenus, encouragés et conseillés.

Non loin de tout projet ambitieux, il existe des gens qui partagent sans jamais se lasser ses meilleurs et ses pires moments. Ce sont des personnes qui nous ont soutenus dans chacun de nos instants de faiblesse, et qui, sans leurs extrême attention et gentillesse, nous ne serions pas ce que nous sommes devenu aujourd'hui. En tête de liste de ces gens nous placerons nos familles bien aimées qui n'ont jamais hésité à nous offrir le meilleur qu'elles pouvaient. Viennent alors tous nos camarades de promotion ainsi que tous nos amis qui nous ont aidés de façon directe ou tout simplement par leur soutien moral.



Dédicace

Ce mémoire est dédié à

Nos parents,

Nos familles,

Nos ami(e)s

*Tous ceux qui nous
Aiment et qu'on aime.*



Résumé :

Le domaine des technologies mobiles dans l'industrie des télécommunications offre des innovations permanentes, LTE est le nom d'un projet au sein de 3GPP qui a pour objectif, d'améliorer le support des services de données via une capacité accrue, d'augmenter les débits dans les deux liaisons et de réduire le temps de latence. En complément à ces performances, le 3GPP a aussi défini des prérequis fonctionnels tels que la mobilité et l'interconnexion avec les autres technologies 3GPP.

Pour arriver à de telles exigences, une radio planification est primordiale avant le déploiement du réseau LTE, elle offre des moyens virtuels optimaux visant à simuler un réseau dans une zone géographique donnée. En prenant compte des pertes de transmission et de type de zone à couvrir, cela économisera du temps et de l'argent, en ayant une idée du nombre d'eNodeB's à mettre en œuvre pour couvrir cette zone.

ملخص

مجال التقنيات النقلة في صناعة الاتصالات السلكية واللاسلكية يوفر الابتكار المستمر، LTE هو اسم المشروع وعياد 3GPP الذي يهدف إلى تحسين خدمات الترانزيت من خلال زيادة سعة البيانات، وزيادة التدفق في كمان الابطينو الخدمات الكمون.

بالإضافة إلى هذا العروض، حددت 3GPP أيضا متطلبات وظيفة مثل التنقل الربط مع تقنيات 3GPP الأخرى.

لتحقيق هذه المتطلبات، القيام بتخطيط الراديو أمر ضروري قبل نشر شبكة

LTE

، فإنها توفر وسيلة ظاهرة مثل محاكاة الشبكة في منطقة جغرافية معينة. مع الأخذ بعين الاعتبار

الوانيسيتو وضعها لتنفيذ هذه التغطية EnodB خسائر الانتقال ونوع المنطقة التغطية، فإنها سيتم توفير الوقت والمال من خلال وجود فكرة عن عدد

Abstract

The field of mobile technologies in the industry of telecommunications offers permanent innovations. LTE is the name of a project within 3GPP which aims to improve the support of the services of data via an increased capacity, to increase the rates in the two links, and to reduce the latency time. In addition to these performances, the 3GPP also defined functional prerequisite such as mobility and the interconnection with other 3GPP technologies.

To arrive at such requirements, a radio planning is primary before the deployment of network LTE, it provides virtual and optimal means aiming at simulating a network in a given geographical area. By taking account of the losses of transmission and type of area to be covered, that will save time and money, by having an idea of the number of EnodB to implement to cover this area.

Les mots clés:

3GPP - 4G- LTE – EnodB.

Résumé

Introduction générale	1
Chapitre I : Etude détaillée sur le réseau 4G LTE :	
I : Introduction	3
I.1 : Présentation LTE.....	3
I.1.1 : Le réseau LTE.....	3
I.1.2 : Architecture LTE.....	4
I.2 : Les interfaces du réseau EPS.....	9
I.3 : La structure topologique de la trame LTE.....	10
I.3.1 : Le concept cellulaire	10
I.4 : Interface Air.....	11
I.4.1 : Principe de L'OFDMA et SC-FDMA	11
I.4.1.1 : OFDMA.....	11
I.4.1.2 : SC-FDMA	11
I.4.1.3 : Comparaison entre l'OFDMA et le SC-FDMA	12
I.4.2 : Structure de la trame LTE	13
I.4.2.1 : Les types de la trame LTE	13
I.4.3 : LTE Resource bloc	14
I.4.4 : Modulation et codage adaptifs	15
I.4.5 : La technologie MIMO	17
I.4.6 : Calcul du débit en DOWNLINK et UPLINK	18
I.4.7 : HARQ : ARQ	19
I.4.7.1 : ARQ	19
I.4.7.2 : HARQ	19
I.4.8 : Les canaux LTE	20
I.4.9 : Les couches LTE	21
I.5 : Fréquences utilisés pour la technologie LTE	22
I.6 : Conclusion	23

Chapitre II : Dimensionnement et bilan de liaison :

II : Introduction	24
II.1 : Configuration des paramètres radio	24
II.1.1 : Planification de PCI	24
II.1.2 : Configuration de PRACH	25
II.1.2.1 : Paramètres et formats du PRACH	26
II.1.2.2 : Conception du préambule	26
II.1.3 : Configuration des Canaux physiques	28
II.1.3.1 : PDSCH	28
II.1.3.2 : PBCH	28
II.1.3.3 : PDCCH	29
II.1.3.4 : PCFICH	29
II.1.3.5 : PHICH	30
II.1.3.6 : PUCCH	30
II.1.3.6.1 : Format 1.1a.1b	30
II.1.3.6.2 : Format 2.2a.2b	31
II.1.3.7 : PUSCH	32
II.2 : Processus de dimensionnement	32
II.2.1 : Pré-dimensionnement	32
II.2.2 : Dimensionnement de couverture	33
II.2.2.1 : Bilan de liaisons	33
II.2.2.2 : Rayon de cellule	36
II.2.2.3 : Surface des sites	36
II.2.3 : Dimensionnement de capacité	37
II.2.3.1 : Débit de la cellule en lien montant	37
II.2.3.2 : Débit de la cellule descendant	38
II.2.3.3 : Nombre des sites	38
II.3 : Les modèles de propagations	39
II.3.1 : Les modèles déterministes	40
II.3.2 : Les modèles empiriques	41
II.3.2.1 : Modèle d'Okumura –Hata	41
II.3.2.2 : Modèle COST 231-Hata	42
II.3.2.3 : Modèle de Walfish-Ikegami	43

Sommaire

II.3.3 : Les modèles hybrides et semi-déterministes	43
II.4 : Présentation de l'application	43
II.4.1 : Interface	43
II.4.2 : Configuration des paramètres radio LTE	46
II.5 : Conclusion	49
Chapitre III : Planification et optimisation :	
III : Introduction	50
III.1 : Planification d'un réseau 4G LTE	50
III.1.1 : Présentation de l'outil de planification Atoll	50
III.1.2 : Les données en entrée pour l'outil Atoll	51
III.1.2.a : Fichier de type de zone [Clutter]	51
III.1.2.b : Fichier d'élévation [Height] ou DTM	51
III.1.2.c : Fichier de données physiques [Physical data]	52
III.1.2.d : Fichier Vecteur	53
III.1.3 : Les données et les mesures en sortie d'Atoll	53
III.1.3.1: RSRP (Reference Symbol Received Power)	53
III.1.3.2: RSSI (Received Signal Strength Indication)	54
III.1.3.3: RSRQ (Reference Signal Received Quality)	54
III.1.3.4 : SINR (Signal Interference Noise Ratio)	55
III.2 : Optimisation de réseau 4G LTE	56
III.2.1 : Présentation de l'outil d'Optimisation OSS NetAct	57
III.2.2 : Les KPI (Key Performance Indicateur)	58
III.2.2.1 : Les KPI Retainabilité	59
III.2.2.2 : Les KPI accessibilité	59
III.2.2.3 : Les KPI Mobilité	60
III.2.2.4 : Les KPI intégrité	60
III.2.2.5: Les KPI usage	61
III.2.3 : Déroulement de l'optimisation	61
III.2.3.1 : Optimisation de throughput	62
III.2.3.1.1 : Les modes de transmissions MIMO	63
III.2.3.1.2.a : Indicateur de rang RI	63

Sommaire

III.2.3.1.2.b : Canal Qualité Indicateur (CQI)	63
III.2.3.2 : Optimisation de l'accessibilité (nombre d'utilisateurs)	63
III.3 : Conclusion	64
 Chapitre IV : Résultats et interprétations :	
IV : Introduction	65
IV.1 : Planification et dimensionnement de réseau 4G-LTE	65
IV.1.1 : Dimensionnement de réseau 4G-LTE	65
IV.1.1.1 : Dimensionnement de clutter class	65
IV.1.1.2 : Dimensionnement et configuration de site	66
IV.1.1.3 : Dimensionnement et configuration des paramètres PUCCH	67
IV.1.1.4 : Calcul de rayon de la cellule	70
IV.1.1.5 : Calcul de la capacité de site	71
IV.1.2 : Planification de réseau 4G-LTE	71
IV.1.2.1 : Importation et configuration des sites	71
IV.1.2.2 : Prédiction de la couverture radio	72
IV.1.2.3 : Vérification de la planification	74
IV.2 : Optimisation	75
IV.2.1 : Optimisation de Throughput (débit) a l'aide de la Technique MIMO	75
IV.2.2 : Optimisation de l'accessibilité au réseau	76
IV.3 : Conclusion	79
Conclusion général	80

Chapitre I :

Figure I.1: Présentation générale de système LTE	4
Figure I.2: Les différentes releases de 3GPP	4
Figure I.3: Architecture de réseau LTE	5
Figure I.4: Architecture d'EPS (Evolved Packet System)	5
Figure I.5: Réseau d'accès radio (E-UTRAN)	6
Figure I.6: eNodeB	6
Figure I.7: Architecture de réseau cœur EPC	7
Figure I.8: Les interfaces du réseau LTE	9
Figure I.9: Structure cellulaire d'un réseau GSM	10
Figure I.10: La différence entre l'OFDMA et SC-FDMA.....	12
Figure I.11: Structure de la trame LTE.....	13
Figure I.12: Mode de duplexage TDD et FDD.....	14
Figure I.13: Bloc de ressources LTE	15
Figure I.14 : Modulations QPSK et QAM	16
Figure I.15 : Schéma représentatif des systèmes SISO, SIMO, MISO et MIMO.....	18
Figure I.16: ARQ(A) et HARQ (B).....	20

Chapitre II :

Figure II.1: Identificateurs de cellules PCI	24
Figure II.2: Trame radio avec PCI	25
Figure II.3 : Structure de canal PRACH	26
Figure II.4 : Génération logique des séquences de préambule	27
Figure II.5: Les étapes de la transmission d'un PDSCH	28

Liste des figures

Figure II.6: Le PBCH	29
Figure II.7: Les étapes de processus de dimensionnement.....	32
Figure II.8: Etapes du dimensionnement de couverture.....	33
Figure II.9: Bilan de liaison Downlink.....	34
Figure II.10: Bilan de liaison Uplink	34
Figure II.11: Modèle hexagonale de la cellule et types de secteur /site	36
Figure II.12: Identification de l'utilisateur	44
Figure II.13: Choix des fonctions.....	44
Figure II.14: Choix de la technologie.....	45
Figure II.15: Choix de l'environnement et de quelques paramètres	45
Figure II.16: Introduction du fichier de mesures.....	46
Figure II.17 : Injection des paramètres de la capacité	47
 Chapitre III :	
Figure III.1 : Visualisation d'un Fichier Clutter sur Atoll	51
Figure III.2 : Visualisation d'un Fichier DTM sur Atoll.	52
Figure III.3 : Fichier Excel d'entrée données site pour Atoll	52
Figure III.4 : Fichier Excel d'entrée données celle pour Atoll.....	52
Figure III.5 : Fichier Excel d'entrée données Transmitter pour Atoll	53
Figure III.6 : Visualisation d'un Fichier Vecteur sur Atoll.....	53
Figure III.7 : Visualisation de la mesure RSRP sur Atoll	54
Figure III.8 : Visualisation de la mesure RSRQ sur Atoll	55
Figure III.9 : Visualisation de la mesure SINR sur Atoll	55
Figure III.10 : Schéma général du processus de l'optimisation	56
Figure III.11 : Image d'accueil d'OSS NetAct	57

Liste des figures

Figure III.12 : Les différents types de KPI...	58
Figure III.13 : Architecture Bearer E-Utran / EPC	59
Figure III.14 : Les Modes MIMO	62
Figure III.15 : Les seuils de switch dynamique	63
Chapitre IV :	
Figure IV.1: configuration de la station	66
Figure IV.2: calcul des paramètres radio de canal physique PUUCH	67
Figure IV.3: calcul de nombre des sites	71
Figure IV.4: Importation des sites	72
Figure IV.5: Activation des sites	72
Figure IV.6: Résultat de prédiction	73
Figure IV.7: Résultat de prédiction après l'ajout de 2eme site	73
Figure IV.8: Problème des interférences avant l'ajout de 2eme site	74
Figure IV.9: Problème des interférences apres l'ajout de 2eme site	74
Figure VI.10 : Variation de Throughput en fonction des 2 modes diversité et spatial multiplixé.....	75
Figure VI.11 : Qualité signal Radio(CQI) et consommation des PRB de 24/07(00h) au26/07/17(00h).....	76
Figure IV.12 : Changement des paramètres.....	77
Figure IV.13 : Nombre d'utilisateurs RRC et le nombre d'utilisateurs actives avant et après optimisation.....	78

Liste des tableaux

Chapitre I :

Tableau I.1 : Les différentes interfaces en LTE	9
Tableau I.2 : Le nombre de PRB valables en fonction de la largeur de la bande	15
Tableau I.3 : Nombre de bits/symbole en fonction de la modulation	17
Tableau I.4 : Bandes de fréquences utilisées dans la LTE (Uplink et Downlink)	23

Chapitre II :

Tableau II.1 : Format de préambule et indice de configuration PRACH	26
Tableau II.2 : Configuration du PrachCS et la taille de la cellule	28
Tableau II.3 : Différents formats du PDCCH	29
Tableau II.4 : Les différents formats du PUCCH.....	30
Tableau II.5 : Surface de la zone	39
Tableau II.6 : Condition de validité du modèle d'Okumura-Hata	41

Chapitre IV :

Tableau IV.1 : Tableau illustratif des morphologies	61
Tableau IV.2 : Tableau illustratif des paramètres radio	62
Tableau IV.3 : Résultats de Configuration de PUCCH formats 2,2a, 2b avec DRX True ...	64
Tableau IV.4 : Résultats de Configuration de PUCCH formats 2,2a, 2b avec DRX False ...	64
Tableau IV.5 : Configuration de PUCCH formats 1a, 1b	64
Tableau IV.6 : Configuration du PUCCH format 1	65
Tableau IV.7 : Tableau illustratif des résultats de dimensionnement du PUCCH.....	66
Tableau IV.8 : La qualité de la couverture de la zone	67
Tableau IV.9 : Changement des paramètres avec l'optimisation.....	71

Liste des tableaux

Tableau IV.10 : Nombre d'utilisateurs et les max User enregistrés par l'EnodeB.....	73
--	-----------

Liste des abréviations

1G : première génération.

2G : deuxième génération.

3G : troisième génération.

4G : quatrième génération.

5G : cinquième génération.

3GPP : 3rd Génération Partnership Project.

A :

AUC : Authentification Center.

AMPS : Advanced Mobile Phone System.

AM : Acknowledged Mode.

ARQ : Automatic Request retransmission.

B :

BG : Border Gateway.

BSC : Base Station Controller.

BTS : Base Transceiver Station.

BSS : Base Station Subsystem.

C :

CRC : Cycle de contrôle de redondance.

CQI : Control Qualité Indicateur.

CP : Cyclic Prefix.

D :

DL: Downlink.

DL-SCH : Downlink Shared Channel.

DCCH: Dedicated Control Channel.

Liste des abréviations

E :

EIR : Equipement Identification Register.

ETACS : Extended Total Access Communication System.

EDGE : Enhanced Data Rates for GSM Evolution.

E-UTRAN: Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network.

ENodeB: Evolved NodeB.

EIRP : Effective Isotropic Radiated Power

EPC : Evolved Packet Core Network

EPS : Evolved Packet System

EPDG: Evolved Packet Data Gateway.

F :

FDD : Frequency Division-Duplexing.

DFT: *Discrete Fourier transform*.

DL: Downlink.

G :

GGSN : Gateway GPRS Support Node.

GSM : Global System for Mobile communications.

GMSC : Gateway MSC.

GPRS : General Packet Radio Service.

H :

HS : High Speed.

HSDPA: High Speed Downlink Packet Access.

HLR : Home Location Register.

HARQ : Hybrid ARQ.

HSS : Home Subscriber Server.

Liste des abréviations

I:

IP : Internet Protocol.

ITU: International Télécommunications Union.

K:

KPI : Key Performance Indicator.

L:

LTE: Long Term Evolution.

M:

MAC: Medium Access Control.

MME : Mobility Management Entity.

MSC : Mobile services Switching Center.

ME : Mobile Equipement.

MIMO: Multi-Input Multiple-Output.

MISO : Multi-Input.

MAPL : Maximum Allowable Path Loss.

N:

NSS : Network Switching SubSystem.

NMC : Network and Management Centre.

NRB : nombre de blocs de ressources.

O:

OSS : Operation SubSystem.

OMC : Operations and Maintenance Center.

OFDMA : Orthogonal Frequency Division Multiple Access.

OFDM : Orthogonal Frequency Division Multiplexing.

Liste des abréviations

P :

PLMN : Public Land Mobile Network.

PDP : Packet Data Protocol.

PCRF : Policy and Charging Rules Function.

PDN-GW : Packet Data Network Gateway.

PDSCH: Physical Downlink Shared Channel.

PCCH : Paging Control Channel.

PBCH: Physical Broadcast Channel.

PCFICH: Physical Control Format Indicator Channel.

PUSCH: Physical Uplink Shared Channel.

PUCCH: Physical Uplink Control Channel.

PRACH: Physical Random Access Channel.

PDCCH : Physical Downlink Control Channel.

PDCP : Packet Data Convergence Protocol.

PRB : Physical Ressource Blocks.

Q :

QoS: Quality of Service.

QAM : Quadrature Amplitude Modulation.

QPSK : Quadrature Phase Shift Keying.

R :

RA: Rural Area.

RB : Resource Blocks.

RRC : Radio Resource Control.

RNC : Radio Network Controller.

RNIS : Réseau Numérique à Intégration de Services.

RTCP : Real-time Transport Control Protocol.

RTC : Réseau Téléphonique Commuté.

RRC : Radio Resource Control.

RLC : Radio Link Control.

RI : Right Indicator.

Liste des abréviations

S :

SIMO : Single Input Multiple Output.

SISO : Single Input Single output.

SINR : Signal Interference-plus-noise Ratio.

SAE : System Architecture Evolution.

SGSN : Serving GPRS Support Node.

SIM : Subscriber Identity Module.

SC-FDMA: Single Carrier – Frequency Division Multiple Access.

S-GW : Serving Gateway.

T :

TDMA : Time Division Multiple Access.

TACS : Total Access Communication System.

TDD : Time Division Demultiplexed.

TS : Time slot.

TM : Transport Mode.

TTI : Transmission Time Interval.

U :

UMTS : Universal Mobile Télécommunications System.

UE : User Equipment.

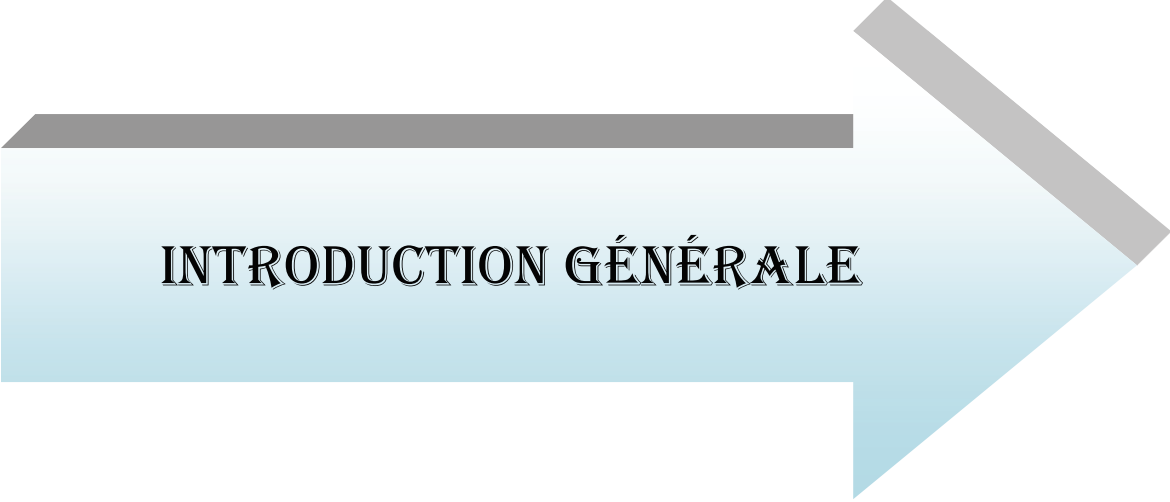
UL : UpLink.

UL-SCH : UpLink Shared Channel.

V :

VLIR : Visitor Location Register.

VoIP : Voice over IP.



INTRODUCTION GÉNÉRALE

Introduction générale

Ces dernières années, la technologie 4G-LTE a été sans doute le secteur le plus dynamique, rentable et innovant de toute l'industrie des télécommunications en Algérie. Avec l'essor rapide qu'elle connaît, elle s'impose de plus en plus comme le moyen le plus privilégié de communication et conquiert d'avantage des parts de marché en ciblant tous les profils consommateurs. Cet avancement a été possible grâce au développement technologique de la téléphonie intelligente (Smartphones puis tablettes informatiques) et aux évolutions de la norme UMTS, dite 3G+. [1]

Cette quatrième technologie conçue et optimisée pour la transmission de données, fournit des débits plus importants et des temps de réponse (latence) plus faibles.

Avant le déploiement physique ou l'installation de l'infrastructure d'un tel réseau cellulaire, il est nécessaire de faire une bonne planification afin de choisir les meilleures caractéristiques et les emplacements des antennes. Pour cela, l'opérateur doit dimensionner et optimiser les paramètres radio. En effet, l'optimisation et planification permettent aux services opérationnels d'effectuer des prédictions précises de la couverture, de bien comprendre les caractéristiques de propagation de l'onde dans cet environnement particulier et d'optimiser la capacité du réseau de la manière la plus efficace.

L'objectif de ce travail est de planifier et optimiser, à travers la réalisation d'une application, le dimensionnement des paramètres radio proposé par l'opérateur de la téléphonie mobile et fixe Algérie Télécom qui seront utilisés dans la planification et l'optimisation, et ce, en proposant des paramètres optimales adéquats, qui seront implémentés via un outil professionnel (Atoll). Notre projet consiste à développer, sous environnement, langage de programmation Javas, une application permettant la résolution la plus simple du calcul des paramètres radio. Nous avons subdivisé notre manuscrit comme suit :

Le premier chapitre décrit les notions de base liées au réseau 4G-LTE, le fonctionnement des différents équipements, leurs emplacements dans le réseau, le concept cellulaire, les zones de couvertures, les bandes allouées au système et les méthodes d'accès multiples utilisées.

Le second chapitre est consacré à l'étude radio en décrivant les différents paramètres radio, Nous y explicitons le bilan de liaison ainsi que le calcul des débits et le nombre des sites et leurs modèles de propagation suivi d'une présentation détaillée sur notre application qui permet de résoudre les calculs dimensionnement des paramètres radio.

Introduction générale

Le troisième chapitre présente les outils professionnels d'optimisation (OSS NetAct) et de prédiction (planification) de la couverture (Atoll) utilisés par Algérie Télécom sur son interface radio afin de planifier et d'analyser les performances de son réseau. Nous décrivons également le fonctionnement de ces outils, nous présentons aussi les KPI (détaillés en annexe). Enfin, nous étudions les méthodes pour augmenter le débit et le nombre des utilisateurs.

Le dernier chapitre se scinde en deux parties. Nous analysons la planification de notre réseau et dimensionnement des paramètres radio à l'aide de notre application. Puis, nous exposons les résultats de notre optimisation.

Enfin, nous avons conclu notre rédaction par une mise en exergue de tout ce que nous avons appris durant ce stage.

**ETUDE DÉTAILLÉE SUR LE RÉSEAU
4G LTE**

I. Introduction :

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

Avec la 4G, on se dirige vers la transmission de toutes les informations. Voix et données par IP, le même protocole qu'on utilise sur Internet. Pour les fournisseurs, c'est plus facile et moins cher à gérer. Ça facilite aussi le développement d'applications multimédias. [1]

Cette génération permet des vitesses de téléchargement plus rapides et des temps de latence plus courts.

Etant le sujet principal de ce chapitre, on va détailler la LTE avec son évolution, ses caractéristiques, son architecture, ainsi que les technologies qui y sont intégrées comme L'OFDM, le MIMO, et le HARQ [2]

I-1. Présentation et architecture LTE :

I.1.1 : Le réseau LTE : (Long Term Evolution) :

La LTE désigne une norme spécifiée réalisée par l'organisme de standardisation 3GPP pour améliorer la norme UMTS des réseaux cellulaires 3G, vers la quatrième génération, pour faire face aux évolutions technologiques. Les buts de LTE consistent en une amélioration de l'efficacité spectrale qui permet le transfert de données à haut débit, de l'ordre de 50 Mbps, avec une portée plus importante, un nombre d'appels par cellule plus élevée que dans l'UMTS avec latence plus faible.

La LTE est basé sur des techniques radios telles que la technique OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) pour le sens descendant, la technique SC-FDMA (Single Carrier - Frequency Division Multiple Access) pour le sens montant et la technique MIMO (Multiple Input Multiple Output) pour l'émission-réception. Les largeurs de la bande de cette norme peuvent s'étendre **de 1,25 à 20 MHz** en liaison montante comme en liaison descendante, ce qui permet à un opérateur d'adapter cette technologie aux bandes de fréquence qu'il possède. [3]

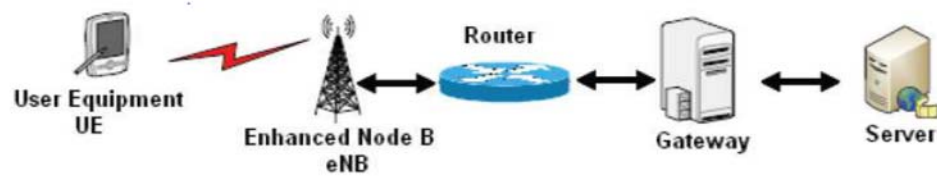


Figure I.1 : Présentation générale de système LTE.

Le 3GPP a défini plusieurs Releases entre **1997** et **2010** **figure (I.2)**. La Release correspond à un ensemble de nouvelles fonctionnalités introduites dans la norme, dans une période du temps donnée.[4]

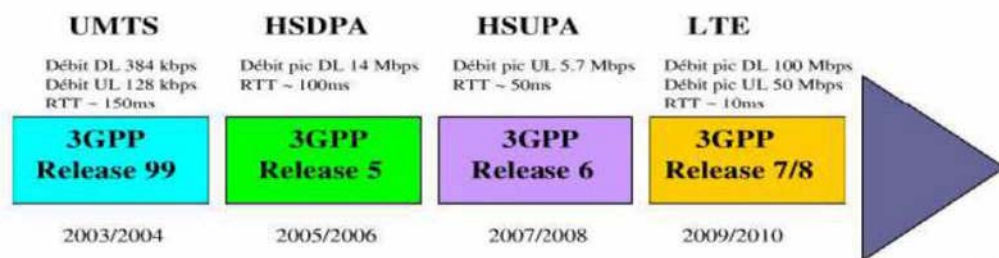


Figure I.2 : Les différentes releases de 3GPP.

I.1.2. Architecture LTE :

Les réseaux LTE sont des réseaux cellulaires constitués de milliers de cellules radio qui utilisent les mêmes fréquences hertziennes, y compris dans les cellules radio mitoyennes, grâce aux codages radio OFDMA et SC-FDMA. La **figure (I.3)** présente l'architecture du réseau LTE. Elle comprend les parties suivantes : [3]

- E-UTRAN (Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network) qui est le réseau d'accès
- EPC /SAE qui est le Cœur du réseau
- HSS (Home Subscriber Server) / PCRF (Policy & Charging Rules Function).

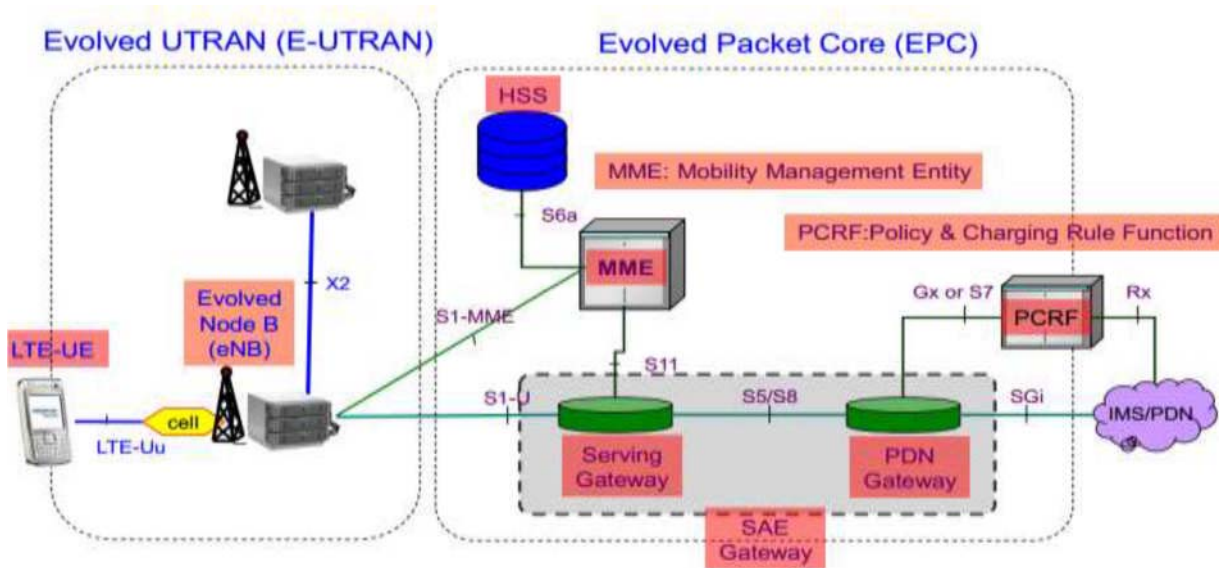


Figure I.3 : Architecture de réseau LTE.

Les nouveaux blocs spécifiés pour l'architecture connus aussi sous le nom d'EPS (Evolved Packet System), sont: L'EPC (Evolved Packet Core) et l'E-UTRAN (Evolved UTRAN). La **figure(I.4)** présente une architecture simplifiée de la partie EPS de réseau LTE.

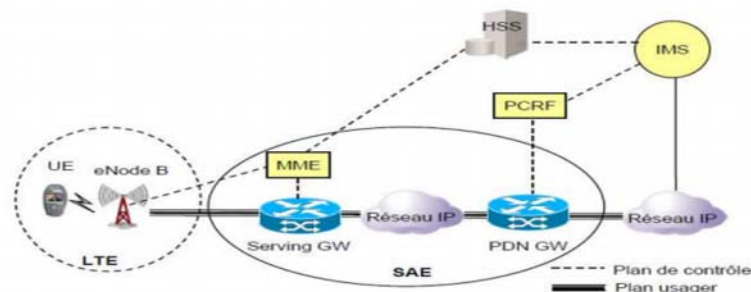


Figure I.4: Architecture d'EPS (Evolved Packet System).

- **Le réseau d'Accès Radio (E-UTRAN) :** (Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network) :

Le terme E-UTRAN désigne la partie radio d'un réseau de téléphonie mobile LTE ; c'est l'abréviation de « Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network » (réseau universel évolué d'accès radio terrestre). Le terme EUTRA est aussi parfois utilisé.

Le réseau EUTRAN assure la connexion via des ondes radio entre les terminaux mobiles et le cœur de réseau d'un opérateur mobile.

Un EUTRAN est constitué d'antennes radio, de stations de base « eNode B », ainsi que des liaisons fibre optique, cuivre ou faisceau hertzien (réseau de backhaul) raccordant ces équipements entre eux et avec le cœur de réseau. [12]

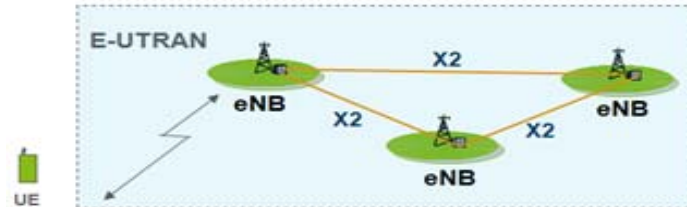


Figure I.5 : Réseau d'accès radio (E-UTRAN).

Entité eNodeB :

L'eNodeB est responsable de la transmission et de la réception radio avec l'UE. A la différence de l'UTRAN 3G où sont présentes les entités NodeB et RNC, l'architecture EUTRAN ne présente que des eNodeB. Les fonctions supportées par le RNC ont été réparties entre l'eNodeB et les entités du réseau cœur MME/Serving GW. L'eNodeB dispose d'une interface S1 avec le réseau cœur. L'interface S1 consiste en S1-C (S1-Contrôle) ou S1-MME entre l'eNodeB et le MME et S1-U (S1-User) entre l'eNodeB et le Serving GW. Une nouvelle interface X2 a été définie entre eNodeBs adjacents. Son rôle est de minimiser la perte de paquets lors de la mobilité de l'utilisateur en mode ACTIF (handover). Lorsque l'utilisateur se déplace en mode ACTIF d'un eNodeB à un autre eNodeB, de nouvelles ressources sont allouées sur le nouvel eNodeB pour l'UE; or le réseau continue à transférer les paquets entrants vers l'ancien eNodeB tant que le nouvel eNodeB n'a pas informé le réseau de lui relayer les paquets entrants pour cet UE. Pendant ce temps l'ancien eNodeB relaie les paquets entrants sur l'interface X2 au nouvel eNodeB qui les remet à l'UE. [10]

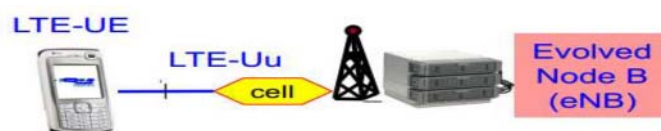


Figure I.6 : eNodeB.

- **EPC : Evolved Packet Core :**

Le cœur de réseau appelé « EPC » (Evolved Packet Core) utilise des technologies « full IP », c'est-à-dire basées sur les protocoles Internet pour la signalisation qui permet des temps de latences réduites, le transport de la voix et des données. Ce cœur de réseau permet l'interconnexion via des routeurs avec les autres eNodeB distants, les réseaux des autres opérateurs mobiles, les réseaux de téléphonie fixe et le réseau Internet. [10]

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

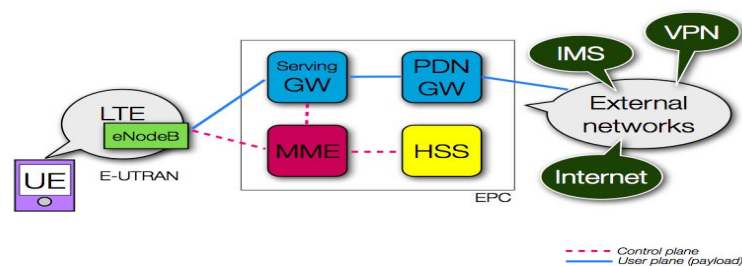


Figure I.7 : Architecture de réseau cœur EPC.

La partie Signalisation :

Gère la mobilité et le rattachement des abonnés sur le réseau, il s'agit du MME. Une base de données permettant d'authentifier l'abonné, de consulter leurs abonnements et de chiffrer les communications, il s'agit du HSS. Une politique de tarification, qui permet de gérer l'accès au réseau de données (PDN) en fonction du forfait de l'abonnée, il s'agit du PCRF. [10]

MME : Mobility Management Entity :

Cette partie est responsable de la localisation et la poursuite du terminal mobile (UE) entre les appels et la sélection d'une bonne S-GW (Serving-GetWay) à travers une connexion. Comme elle réalise le dernier point de la protection par codage, donc par conséquent c'est le point qui valide l'interception de signalisation. Ainsi, qu'elle contrôle le signal entre le UE (Utilisateur Equipment) et le réseau cœur, et assure l'établissement, la maintenance, et L'élargissement de la porteuse radio services. [10]

HSS : Home Subscriber Service :

Base de données similaire au HLR en GSM / WCDMA réseau cœur qui contient les informations du subscriber-related (les abonnés voisins), et porte l'appel de control et la session management. Elle est Principalement désignée à l'authentification, l'autorisation, la sécurité, le débit et fournit une localisation détaillée à l'utilisateur. [10]

PDN-GW: Packet Data Network Gateway:

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

- La porteuse radio entre UE et eNodeB.
- La porteuse des données entre eNodeB et SGW.
- La porteuse des données entre SGW et PGW.

PCRF: Policy and Charging Rules Function:

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

SGW: Serving Gateway:

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

P-GW: Packet-Switch GetWay:

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

SGSN : Serving GRPS Support Nom :

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

I.2. Les interfaces de réseau EPS :

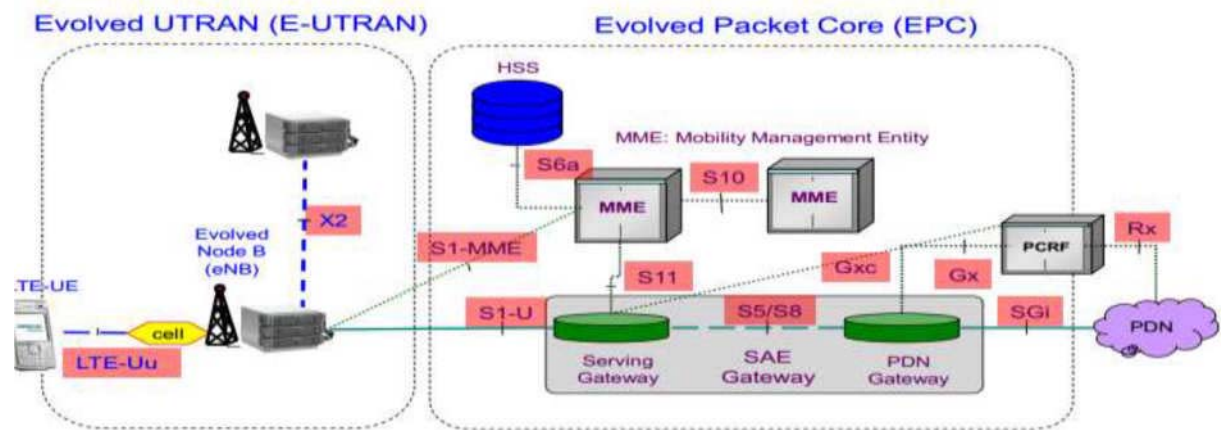


Figure I.8 : Les interfaces du réseau LTE.

Elles sont illustrées dans le tableau ci-dessous :

X2-U	(X2 User interface) elle est responsable du transport des paquets de donnée entre les eNodeBs, elle utilise le protocole de Tunneling GTP
X2-C	(X2 Control plan interface) c'est une interface de signalisation
S1-U	(S1 User plan interface) elle est responsable du transport des paquets de données des utilisateurs entre l'eNodeB et le SGW, elle utilise pour cela le protocole de transport (GTP over UDP/IP)
S1-C	(S1-C control pan interface) utilisé pour la signalisation entre eNodeB et MME, elle assure donc la fiabilité de transmission de donnée.
S6	C'est une liaison entre le MME et la base de données globale HSS.
S13	C'est l'interface entre l'entité MME et l'entité EIR dans le réseau LTE.
Gx	C'est l'interface permettant à l'entité de commutation par paquet dans LTE appelée PDN-GW d'obtenir des règles de taxation auprès de l'entité PCRF et ainsi taxer l'utilisateur sur la base des flux de services et non pas sur le volume.
Gy	C'est l'interface de taxation online entre le PDN-GW et l'Online Charging System.
Gz	C'est l'interface de taxation offline entre PDN-GW et l'Offline Charging.
S9	C'est une liaison entre le PCRF du réseau visité et le PCRF du réseau nominal dans le cas où la taxation est prise en charge par le réseau visité.
S5/S8	C'est l'interface entre le S-GW. En principe, S5 et S8 sont les mêmes, mais la différence est que S8 est utilisée lors de l'itinérance entre les différents opérateurs alors que S5 est le réseau interne.

Tableau I.1 : Les différentes interfaces en LTE.

I.3. La structure topologique de la trame LTE :

I.3.1. Le concept cellulaire :

Une cellule est communément représentée sous la forme d'un hexagone; en effet, l'hexagone est le motif géométrique le plus proche de la zone de couverture d'une cellule qui assure un maillage régulier de l'espace. Dans la réalité, il existe bien entendu des zones de recouvrement entre cellules adjacentes, qui créent de l'interférence intercellulaire.

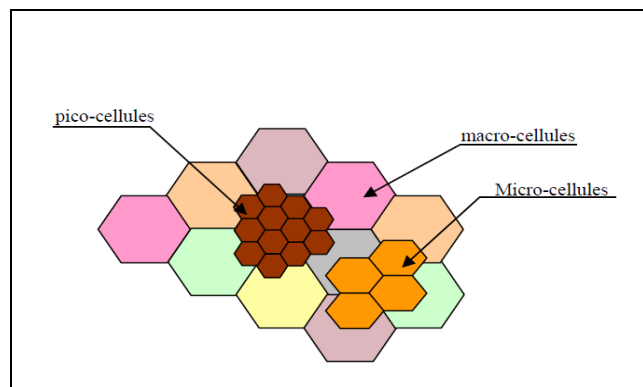


Figure I.9 : Structure cellulaire d'un réseau GSM.

On distingue plusieurs types de cellules en fonction de leur rayon de couverture, lié à la puissance d'émission de la station de base, et de leur usage par les opérateurs.

a) Pico-Cellules :

Ces cellules ont un rayon de service de 10 à 100m. Elles conviennent pour la propagation à l'intérieur des bâtiments.

b) Micro-cellules:

Ces cellules ont un rayon de service de 1 à 4km. Elles sont adaptées à l'environnement urbain dense.

c) Macro-cellules:

Il s'agit de cellules dont le rayon de service est de 1 à 35km. Elles caractérisent les liaisons en milieu suburbain et rural.

I.4. Interface Air :

Le LTE a intégré de nouvelles technologies concernant la réception et l'émission de données. Le système de transmission de liaison descendante (downlink) est basé sur la technologie OFDMA, et celui de la liaison montante (uplink) est basé sur la technologie SC-FDMA. Ces deux transmissions prennent en charge le FDD (Division de Fréquence Duplex) et TDD (Division de Temps Duplex) qui sont des modes de duplexage temporelles et fréquentielles. LTE intègre également la technologie MIMO, afin d'améliorer la couverture de la cellule, et l'utilisation de HARQ qui garantit un faible temps de latence et une transmission rapide.

I.4.1. Principe de L'OFDMA et SC-FDMA :

I.4.1.1. OFDMA : Orthogonal Frequency Division Multiple Access :

L'OFDMA est une technologie de codage radio de type « Accès multiple par répartition en fréquence » qui est utilisée notamment dans les réseaux de téléphonie mobile de 4^{ème} génération LTE.

Le codage OFDMA consiste en un codage et une modulation numérique d'un ou plusieurs signaux binaires pour les transformer en échantillons numériques destinés à être émis sur une (ou plusieurs) antennes radio ; réciproquement le signal radio reçoit le traitement inverse en réception. Le principe de l'OFDMA est de répartir sur un grand nombre de sous-porteuses le signal numérique que l'on veut transmettre. [16]

I.4.1.2. SC-FDMA : Single Carrier - Frequency Division Multiple Access :

Le single-carrier FDMA est une technologie de codage radio de type accès multiple par répartition en fréquence utilisée notamment dans les réseaux de téléphonie mobile de 4^{ème} génération LTE. Comme pour d'autres techniques à schéma d'accès multiples (TDMA, FDMA, CDMA, OFDMA), le but est l'attribution et le partage d'une ressource radio commune (bande de fréquence) entre plusieurs utilisateurs. Le SC-FDMA peut être considéré comme une variante linéaire des codages OFDM et OFDMA, dans le sens où il consiste aussi à répartir sur un grand nombre de sous-porteuses du signal numérique, mais il utilise en complément, une « **DFT** » (Transformation de Fourier discrète du signal) supplémentaire pour pré-coder l'OFDMA conventionnel. Le SC-FDMA a attiré l'attention comme une alternative séduisante à l'OFDMA, particulièrement dans les communications terre-satellite et dans le sens de transmission montant des réseaux 4G LTE où son **PAPR** (peak-to-average

power ratio) plus faible que celui de l'OFDMA bénéficie au terminal mobile en termes d'efficacité énergétique, en diminuant la puissance crête d'émission et donc le poids et le coût du terminal (smartphone ou tablette tactile). Il a été adopté pour les liaisons uplink de certaines normes 3GPP, plus particulièrement pour la partie radio (eUTRAN) des réseaux mobiles « LTE ». [21]

I.4.1.3. Comparaison entre l'OFDMA et le SC-FDMA :

La figure suivante permet de relever les points communs entre l'OFDMA et le SCFDMA :

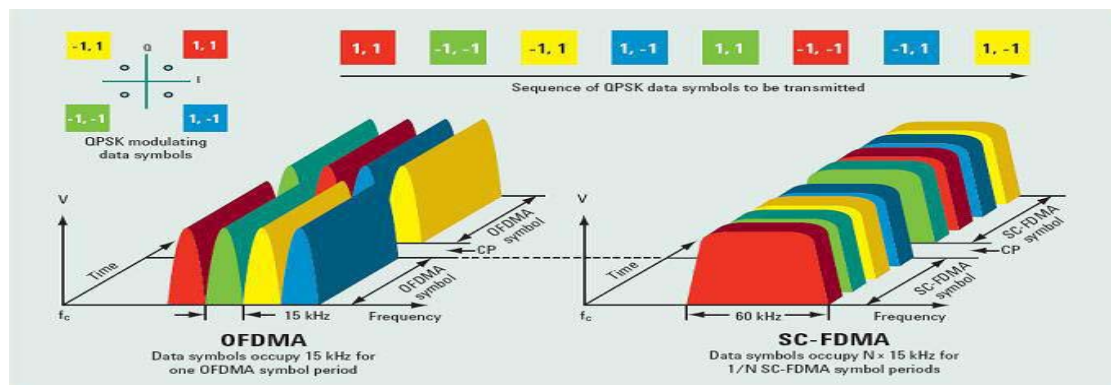


Figure I.10 : La différence entre OFDMA et SC-FDMA.

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

Mais ces techniques n'ont pas que des points communs. La différence majeure entre elles, réside dans le fait que l'OFDMA est une technique de transmission multi-porteuse tandis que la SC-FDMA est une technique mono-porteuse

I-4-2. Structure de la trame LTE :

Une trame LTE dure 10 ms. décomposée en 20 slots de 0,5 ms chacun, numérotés de 0 à 19.

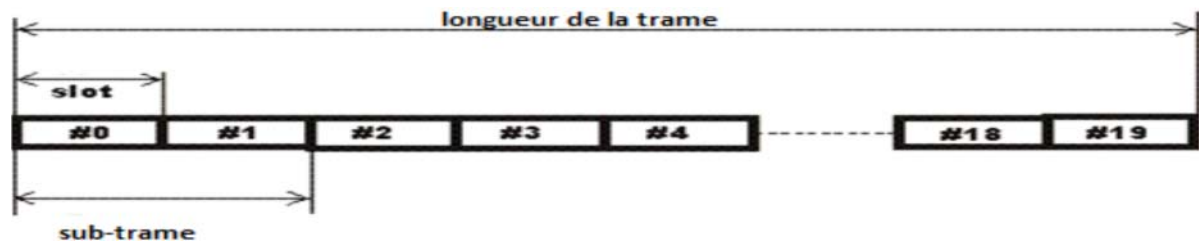


Figure I.11 : Structure de la trame LTE.

I.4.2.1. Les types de la trame LTE :

Le LTE puisse maintenir la synchronisation entre l'eNodeB et L'UE, il a défini deux structures de trames l'E-UTRAIN. Les structures de trames pour le LTE diffèrent entre les modes duplex TDD et FDD, car il ya des exigences différentes sur la séparation des données transmises. Il existe 2types de trames LTE

- Type1 : utilisé par les systèmes opérant en mode LTE FDD.
- Type2 : utilisé par les systèmes opérant en mode LTE TDD.

A. La trame LTE de type 1 :

La trame LTE de type 1 a une longueur de 10ms . Celle-ci est divisée en 10 sous-trames de longueur de 1ms. Chaque sous-trame est divisée en 2slots de 0.5ms. Un slot correspond à un ensemble de symboles de modulation, 7pour le cas d'un préfixe cyclique de taille normale et 6 pour le cas d'un préfixe cyclique étendu.[8]

B. La trame LTE de type 2 :

Tout comme la trame FDD, la trame TDD est de longueur **T=10ms** divisée en deux demi-trames , chacune de 5ms. Les demi-trames LTE sont divisées en 5sous-trames. Chaque sous-trame est divisée en sous-trames spéciales. Ces dernières sont composées de trois champs.

- **DwPTS** (Downlink Pilot Time Slot), utilisée pour la synchronisation en DL.
- **GP** (Guard Perid), assure la transmission de UE sans avoir des interférences entre UL et DL.
- **UpPTS** (Uplink Pilot Time Slot), utilisé par eNodeB pour déterminer le niveau de puissance reçu de l'UE.

En mode FDD, les voies montantes et descendantes opèrent sur deux fréquences porteuses séparées par une bande de garde. En mode TDD, les voies montantes et descendantes utilisent la même fréquence porteuse, le partage s'effectue dans le domaine temporel, comme illustré sur la **figure (1.13)**. Certains intervalles du temps de transmission sont réservés à la voie montante, tandis que les autres sont réservés à la voie descendante. Un temps de garde est nécessaire aux changements de direction de transmission, notamment pour laisser aux équipements le temps de basculer de l'émission à la réception. En LTE, l'intervalle du temps élémentaire peut être dédié à l'un des sens de transmission, est appelé la sous-trame. [8]

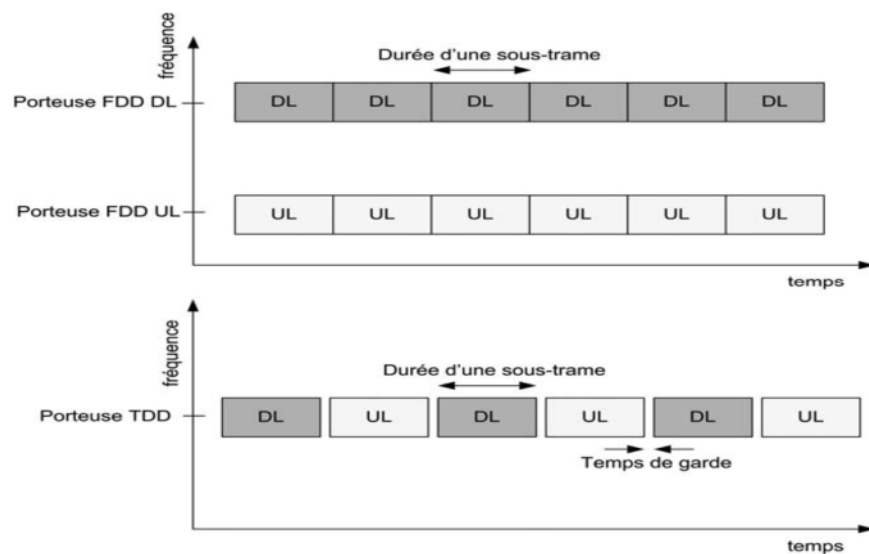


Figure I.12 : Mode de duplexage FDD et TDD.

I.4.3. LTE Resource bloc :

En LTE, L'espace temps /fréquence est divisé en PRB (physical Resource Bloc). Chaque PRB est composé de 12 sous porteuses consécutives d'une largeur de 15KHZ chacune, pour un slot (0.5ms). Un PRB est le plus petit élément d'allocation des ressources affectées par le planificateur de la station de base.

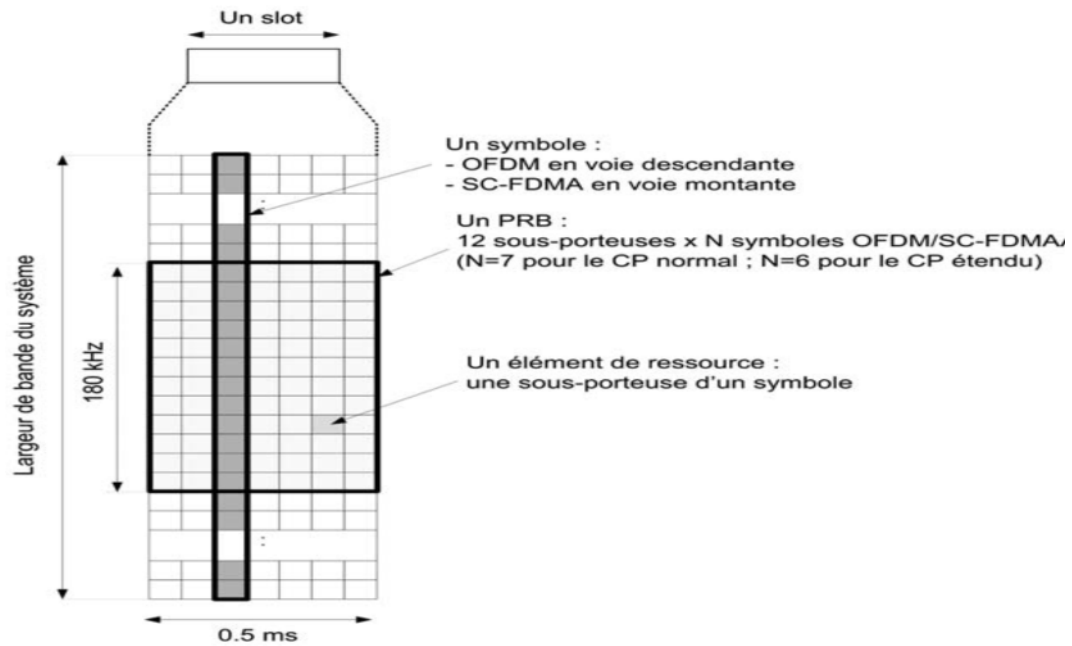


Figure I.13 : Bloc de ressources LTE.

Le nombre total de sous porteuses disponibles dépend de la largeur de bande de transmission globale du système. Les spécifications LTE définissent les paramètres de bande passante à partir de 1.4MHz jusqu'à 20MHz comme le montre le tableau ci-dessous :

Transmission BW[MHZ]	1.4	3	5	10	15	20
Dure Sub-Frame	10ms	10ms	10ms	10ms	10ms	10ms
Sub-carrier Spacing	15ms	15ms	15ms	15ms	15ms	15ms
Number of ressource bloc	6	15	25	50	75	100

Tableau I.2 :Le nombre de PRB valables en fontion de la largeur de la bande.

I .4.4 : Modulation et codage adaptifs :

La modulation et le codage adaptatifs AMC (Adaptative Modulation et Coding), est une approche opportuniste qui tend à adapter la technique de modulation et de codage en fonction de l'état du canal.

Principalement par la mise en œuvre de la modulation 16 QAM (16 Quadrature Amplitude Modulation à 16 états). Cette modulation permet de doubler la capacité de transfert par rapport à la modulation utilisée pour l'UMTS, la QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) qui est basée sur deux porteuses de même fréquence déphasées de 90 degrés, soit 2 puissance 2 = 4 états d'information. Pour sa part, la 16 QAM combine deux niveaux d'amplitude avec deux porteuses en quadrature, soit 2 puissance 4 = 16 états d'information. Chaque une de ces modulations est utilisée pour un lien précis tel que :

Modulations **Downlink** : QPSK, 16QAM et 64QAM.

Modulations **Uplink** : QPSK et 16QAM.

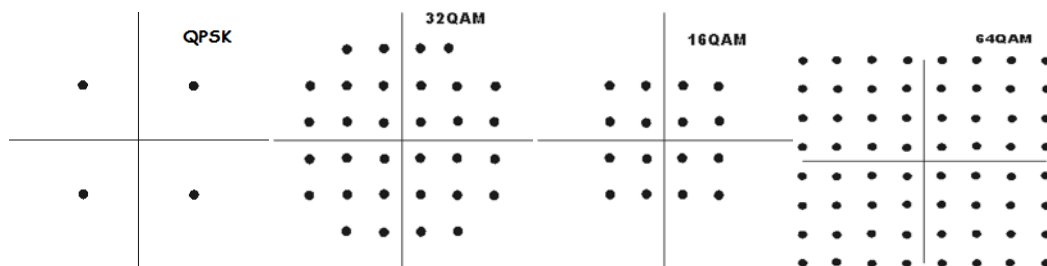


Figure I.14 : Modulations QPSK et QAM.

La modulation QPSK : Quadrature Phase Shift Keying :

Deux signaux FI en quadrature sont générés à partir d'un oscillateur local à la fréquence quadruple. Le train de donnée binaire est séparé en deux "sous trains" appelés I et Q. Le paire de la valeur, constitue ce que l'on appelle un symbole.

Pour des considérations électroniques, les signaux I et Q sont centrés sur 0V. On peut donc considérer que I et Q prennent symboliquement deux niveaux +1, -1 correspondant aux états binaires.

Chacun attaque un multiplieur. Le résultat de chaque multiplication est sommé en sortie de façon à obtenir un signal modulé :

$$V_s(t) : V_s(t) = I \cos wt + Q \sin wt. \quad \text{I.1}$$

Les états de phases du signal modulé se représentent en coordonnées polaires dans le plan

I, Q. Suivant les combinaisons de ces derniers, on obtient alors le diagramme de communément constellation. [25]

- **Nombre de bits par QAM symbole :**

En sélectionnant un format d'ordre supérieur de QAM, la vitesse d'une liaison de données peut être augmentée.

Le tableau suivant donne un résumé des nombres de bits par symbole pour une modulation donnée :

MODULATION	BITS PER SYMBOL
BPSK	1
QPSK	2
8PSK	3
16QAM	4
32QAM	5
64QAM	6

Tableau I.3 : Nombre de bits/symbole en fonction de la modulation.

I.4.5. La technologie MIMO : Multiple Input Multiple Output :

La technique MIMO consiste en l'utilisation de plusieurs antennes à l'émission et à la réception. Le but de la technique MIMO était d'améliorer le débit, d'augmenter l'efficacité spectrale, de diminuer la probabilité de coupure du lien radio, etc.

Vu que les progrès en codage se sont approchés de la limite de capacité de Shannon pour les liens radio, des progrès significatifs en efficacité spectrale sont effectués ç travers l'augmentation du nombre d'antennes ç la fois à l'émetteur et au récepteur.

En effet, MIMO répond au besoin de la norme LTE-Advanced en termes de capacité de transmission. Cette dernière limite le nombre d'antennes à utiliser en raison de contraintes technologiques exigées.

La technologie permet de régler ce problème. Le principe de la technologie MIMO consiste à émettre dans un même canal des signaux transmis sur des antennes différentes. A la réception aussi et avec un certain nombre d'antennes et des traitements adéquats, il s'agit de simuler cette réception dans une même bande de n canaux différents.[26]

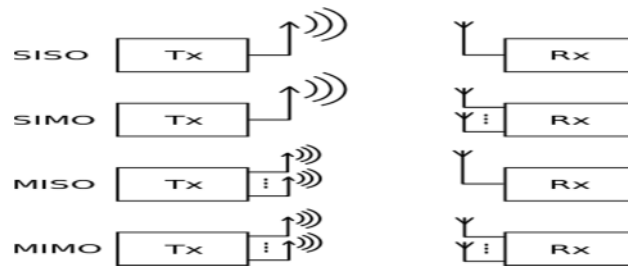


Figure I.15 : Schéma représentatif des systèmes SISO, SIMO, MISO, et MIMO.

La technologie MIMO profite de ces différents canaux pour améliorer la rapidité de transmission des données. On peut considérer trois catégories de MIMO :

- **la diversité spatiale MIMO** : on transmet simultanément un même message sur différentes antennes à l'émission. Les signaux reçus sur chacune des antennes de réception sont ensuite remis en phase et sommés de façon cohérente.
- **Le multiplexage spatial MIMO** : chaque message est découpé en sous messages.

On transmet simultanément les sous-messages différents sur chacune des antennes d'émission. Les signaux reçus sur les antennes de réception sont réassemblés pour reformer le message entier d'origine.

- **Le MIMO - Beamforming (formation de faisceau)** : le réseau d'antennes MIMO est utilisé pour orienter et contrôler le faisceau d'onde radio (amplitude et phase du faisceau). On peut ainsi créer des lobes constructifs / destructifs et optimiser une transmission entre l'émetteur et la cible. Les techniques de beamforming permettent à la fois d'étendre une couverture radio (d'une station de base ou d'un point d'accès par exemple) et de limiter les interférences entre utilisateurs et la pollution électromagnétique environnante (en ciblant le récepteur visé).

I.4.6. Calcul du débit en DOWNLINK et UPLINK :

En LTE pour 20 MHz, on a 100 PRB, et chaque PRB contient 12 sous-porteuses x 7 symboles (Normal CP) soit 84 symboles. Un PRB contient 84 symboles dans un slot de 0.5 ms. On parle de mbs/s donc dans 1ms, on a $84 \times 2 = 168$ symboles/1ms

Donc dans 100 PRB on a $168 \times 100 = 16800$ symboles/ms = 16800000 symboles/s = 16.8 Msps

Si on utilise une modulation 64 QAM, chaque symbole est codé sur 6 bits, on aura un débit de $16.8 \text{ Msps} \times 6 = 100.8 \text{ Mbps}$.

Pour un system LTE avec MIMO 4x4, le débit sera multiplié par 4 soit 403.2 Mbps

Si on utilise une modulation 64 QAM, chaque symbole est codé sur 6 bits, on aura un débit de $16.8 \text{ Msps} \times 6 = 100.8 \text{ Mbps}$. Pour un system LTE avec MIMO 4x4, le débit sera multiplié par 4 soit 403.2 Mbps.

I.4.7. HARQ : ARQ :

L'un des objectifs de LTE est de garantir des débits élevés. Pour l'atteindre l'UE doit adopter certaines techniques où il peut transmettre des données rapidement et de manière fiable. Quand il y'a des paquets erronée reçus sur UE ou eNB, il y aurait une sorte de mécanisme appliqué sur les dispositifs pour corriger les erreurs. Par conséquent, dans le LTE deux mécanismes sont suivis pour détecter et corriger les erreurs. Un mécanisme (HARQ) est mis en œuvre pour corriger les erreurs de paquets dans la couche MAC. En outre, il pourrait y avoir une chance que certains paquets sont encore laissés avec des erreurs et peuvent être acceptables pour certaines applications. Par conséquent, ceux-ci sont transmis aux couches supérieures. Le second mécanisme (ARQ) est mis en œuvre dans la couche RLC qui prend soin de ces erreurs résiduelles. Soit il fixe ces erreurs ou rejette les paquets.[28]

I.4.7.1. ARQ :(Automatic Request retransmission):

Fonctionne dans la couche RLC.

Si les données reçues contiennent une erreur (détectée par ARQ) alors elles sont rejetées et une nouvelle retransmission est demandée de l'expéditeur.

I.4.7.2.HARQ : Hybrid ARQ :

Fonctionne dans la couche MAC.

Si les données reçues ont une erreur, le récepteur tamponne les données et demande une réémission de l'expéditeur.

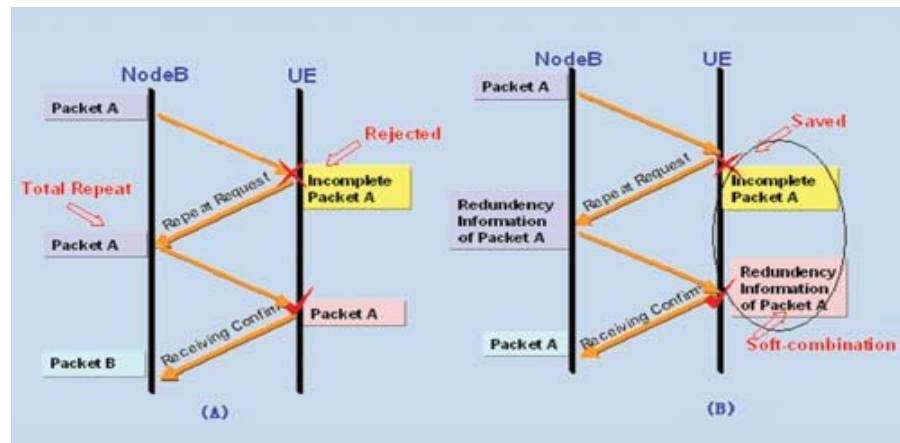


Figure I.16 : ARQ(A) et HARQ (B).

I-4-8. Les canaux LTE :

En LTE nous distinguons trois types de canaux dont les canaux physiques véhiculent l'information sur l'interface radio. Les canaux logiques sont définis par la nature de l'information transportée, et les canaux de transport sont définis par les caractéristiques de la transmission sur l'interface radio.

Les canaux sont utilisés pour séparer les différents types de données et leur permettre d'être transportés à travers le réseau d'accès radio d'une manière ordonnée.

Les différents canaux fournissent des interfaces aux plus hautes couches dans la structure de protocole LTE et permettent une séparation ordonnée et définie des données. [39]

- **Canaux logiques :**

Les canaux logiques correspondent aux services de transfert de données offert par les protocoles des couches hautes de l'interface radio. Il y a uniquement deux types de canaux logiques : les canaux de contrôle, pour les transferts des informations du plan de contrôle et les canaux de trafic pour les transferts des données utilisateur du plan usager. Chacun des canaux de ces deux catégories correspond à un certain type de flux d'information.

- **Canaux de transport :**

Les canaux de transport décrivent pourquoi et avec quelles données caractéristiques sont transférés les données à travers l'interface radio.

Par exemple, les canaux de transport décrivent comment les données sont protégées contre les erreurs de transmission, le type de codage du canal, la taille des paquets de données envoyés sur l'interface radio. Comme décrit dans les spécifications, les canaux de transports sont

classifiés en deux catégories : les canaux de transport downlink et les canaux de transport uplink.

- **Canaux physiques :**

Les canaux physiques sont l'implémentation des canaux transport sur l'interface radio. Leur structure dépend étroitement des caractéristiques de l'interface physique OFDMA.

I-4-9. Les couches LTE :

Nous décrivons brièvement le rôle de chacune des différentes couches et comment elles interagissent avec les autres.

- **La couche physique :**

Le rôle de la couche PHY est de fournir des services de transport de données sur les canaux physique pour les couches RLC et MAC hautes.

- **La couche MAC :**

La couche MAC s'occupe de multiplexage/démultiplexage de données vers les porteuses radio différentes. Elle est aussi responsable de la correspondance entre les canaux logiques et les canaux de transport.

- **La couche RLC :**

Cette couche est chargé de la segmentation/concaténation des paquets de données des couches supérieures, de la retransmission des paquets perdus, de la réorganisation pour les paquets « out-of-order » en utilisant la technique HARQ (Hybrid Automatic Repeat reQuest)

.La couche RLC utilise trois modes de transmission :

- ✓ **Le mode transparent TM (Transport Mode) :** utilisé pour la transmission du BCCH ou PCCH.
- ✓ **Le mode non acquitté UM (Unacknowledged Mode) :** utilisé avec les services sensibles au délai (VoIP), tolérants aux erreurs en temps réel, ou le MBMS.

- ✓ **Le mode acquitté AM (Acknowledged Mode) :** est utilisé avec les services sensibles à l'erreur et tolérants aux délais en temps non-réel (comme le service FTP).

- **La couche RRC :**

La couche RRC est la couche clé dans le processus de signalisation. Elle supporte plusieurs fonctions entre le terminal et l'eNodeB.

- **La couche PDCP :**

Son but principale est la compression/décompression d'en-tête, la sécurité (chiffrement, protection d'intégrité) et distribution l'un après l'autre de paquets.

I-5. Fréquences utilisés pour la technologie LTE :

Les bandes de fréquences hertziennes prévues par les normes 3GPP pour le LTE sont très nombreuses (plus de 30) et s'étalent de 600 MHz à 3,8 GHz.

Celles situées dans la zone des 800 et 900 MHz, elles sont utilisables sur tout le territoire et particulièrement dans les zones rurales car elles ont une plus grande portée que les ondes radio de fréquences plus élevées. Le rayon de couverture de chaque cellule est variable, allant de quelques centaines de mètres (débits optimaux en zones urbaines) jusqu'à 30 à 50 km (zones rurales). [30]

Comme l'illustre le tableau suivant :

Frequency Allocations For LTE			
E-UTRA band	Uplink (UL) Mobile transmit, BS receive	Downlink (DL) BS transmit, MS receive	
	$F_{UL_low} - F_{UL_high}$	$F_{DL_low} - F_{DL_high}$	
1	1920 MHz - 1980 MHz	2110 MHz - 2170 MHz	FDD
2	1850 MHz - 1910 MHz	1930 MHz - 1990 MHz	FDD
3	1710 MHz - 1785 MHz	1805 MHz - 1880 MHz	FDD
4	1710 MHz - 1755 MHz	2110 MHz - 2155 MHz	FDD
5	824 MHz - 849 MHz	869 MHz - 894 MHz	FDD
6	830 MHz - 840 MHz	875 MHz - 885 MHz	FDD
7	2500 MHz - 2570 MHz	2620 MHz - 2690 MHz	FDD
8	880 MHz - 915 MHz	925 MHz - 960 MHz	FDD
9	1749.9 MHz - 1784.9 MHz	1844.9 MHz - 1879.9 MHz	FDD
10	1710 MHz - 1770 MHz	2110 MHz - 2170 MHz	FDD
11	1427.9 MHz - 1452.9 MHz	1475.9 MHz - 1500.9 MHz	FDD
12	[TBD] - [TBD]	[TBD] - [TBD]	FDD
13	777 MHz - 787 MHz	746 MHz - 756 MHz	FDD
14	788 MHz - 798 MHz	758 MHz - 768 MHz	FDD
33	1900 MHz - 1920 MHz	1900 MHz - 1920 MHz	TDD
34	2010 MHz - 2025 MHz	2010 MHz - 2025 MHz	TDD
35	1850 MHz - 1910 MHz	1850 MHz - 1910 MHz	TDD
36	1930 MHz - 1990 MHz	1930 MHz - 1990 MHz	TDD
37	1910 MHz - 1930 MHz	1910 MHz - 1930 MHz	TDD
38	2570 MHz - 2620 MHz	2570 MHz - 2620 MHz	TDD
39	1880 MHz - 1920 MHz	1880 MHz - 1920 MHz	TDD
40	2300 MHz - 2400 MHz	2300 MHz - 2400 MHz	TDD

Tableau I.4 : Bandes de fréquences utilisées dans la LTE (Uplink et Downlink).

I.6 : Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté un aperçu des différents composants et caractéristiques de la technologie LTE (quatrième génération) afin de présenter par la suite la terminologie des termes utilisés dans cette technologie.

Nous nous sommes concentré sur la partie « Interface Air » c'est-à-dire tout ce qui est transmission, modulation et codage adaptatif, les différentes technologies intégrés au LTE comme le MIMO et le ARQ/HARQ.

**DIMENSIONNEMENT ET BILAN DE
LIAISONS**

II. Introduction :

Le dimensionnement d'un réseau est la première étape du processus global de la planification permettant une première évaluation rapide de la densité et de la configuration des sites requis, de la capacité offerte des éléments du réseau à planifier et de la couverture à estimer conjointement avec la capacité.

Dans ce chapitre, nous allons introduire les concepts de base et les calculs mathématiques nécessaires au dimensionnement sur ses deux plans : couverture et capacité. [31]

II.1- Configuration des paramètres radio :

Le canal de propagation est l'environnement dans lequel se propage l'onde radio et duquel dépend la qualité du signal qui subit tout au long de son trajet des distorsions et des affaiblissements. Pour cela une bonne configuration des paramètres radio (PCI, PUCCH) s'impose. [31]

II.1.1- Planification de PCI : (Physical Cell ID) :

PCI est l'une des identificateurs de cellules les plus importants dans le réseau LTE. Par conséquent, c'est l'une des étapes les plus importantes dans la planification de l'interface radio. L'utilisation de PCI peut raisonnablement réduire les interférences et augmenter l'utilisation des ressources et la qualité du service QoS. Il existe **504** PCI uniques, groupés en **168** groupes et chaque groupe variant de **0** à **2**. Comme l'indique la figure ci-dessous : [31]

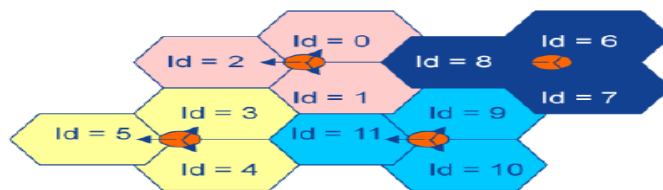


Figure II.1 : Identificateurs de cellules PCI.

Le PCI est utilisé pour identifier les signaux de synchronisations : PSS (Primary Synchronization Signal) et SSS (Secondary Synchronization Signal), nous avons calculé le PCI de chaque cellule par la formule suivante :

$$\text{PCI} = \text{ID} * \text{SSS} + \text{PSS}$$

II.1

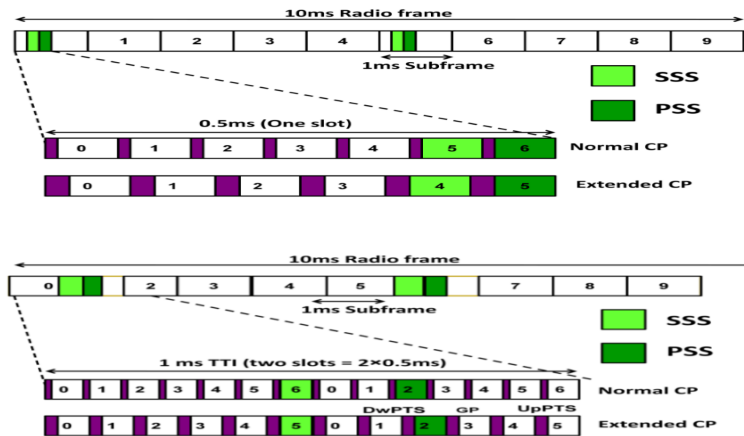


Figure II.2 : Trame radio avec PCI.

Les 504 valeurs différentes de PCI doivent être réutilisées dans la zone de couverture et doivent être suffisamment isolées pour éviter la duplication de la valeur PCI dans les secteurs voisins, pour cela la distance de réutilisation doit être très large pour éviter toute interférence. La lecture de PCI nous indique les informations suivantes :

- La position des PSS et SSS dans la trame indique à l'UE le mode de duplexage FDD ou TDD en vigueur sur la cellule.
- Le PSS est toujours transmis au même instant dans la sous trame d'un symbole OFDM (en FDD), cette propriété aide l'UE à acquérir la synchronisation au niveau de la trame.
- La durée du préfixe cyclique en voie descendante peut être estimée d'après l'espacement temporel entre les PSS et SSS. Dans le cas FDD par exemple, cette durée est donnée par la différence entre le début des séquences PSS et SSS reçues, diminuée de la durée de la séquence (5ms).

II.1.2- Configuration de PRACH : (Physical Random Access Channel) :

La procédure d'accès aléatoire est utilisée dans différents scénarios (l'accès initial, handover ou la ré-établissement). Le PRACH est constitué d'un préfixe cyclique (CP), d'une séquence aléatoire appelée préambule et d'un Temps de garde (GP), comme décrit à la **figure II.3**. Il est important de noter que la structure de PRACH est très différente des symboles SC-FDMA utilisés pour le PUSCH ou le PUCCH.

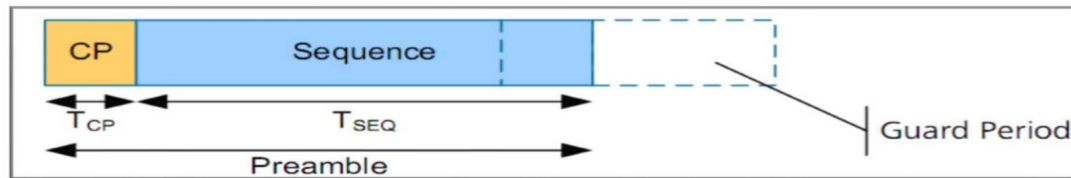


Figure II.3 : Structure de canal PRACH.

II.1.2.1- Paramètres et formats de PRACH :

Quatre formats de préambules ont été définis, chacun étant associé à une gamme de rayons de cellule. En effet, nous verrons que la longueur du préambule, du CP et du GP déterminent la couverture de PRACH, ainsi que son occupation de ressources temps-fréquence. Ainsi, une couverture élevée de PRACH réduit l'efficacité spectrale du système. Il est donc nécessaire de choisir un format de PRACH adapté à la taille de la cellule. [23]

Le **tableau II.1** illustre les différents formats PRACH :

Format de préambule	Durée d'une occasion de transmission (sous-trames)	Durée du CP (μ s)	Durée du préambule (μ s)	Durée du temps de garde (μ s)	Rayon maximal de cellule
0	1	103	800	97	~14 km
1	2	684	800	516	~77 km
2	2	203	2x800	197	~29 km
3	3	684	2x800	716	~100 km
4 (TDD uniquement)	<1	14,6	133	9,4	~1,4 km

Tableau II.1 : Format de préambule et indice de configuration PRACH.

II.1.2.2- Conception du préambule :

La durée de base choisie pour le préambule est de 800 μ s. Elle autorise la détection sans ambiguïté du retard d'un UE, quelle que soit sa position dans une cellule très large (plus de 100 Km), cette taille 800 μ s = 1,25 kHz, qui est donc bien plus faible que l'espacement entre sous-porteuses utilisé pour le PUSCH et le PUCCH (15 kHz). Chaque préambule occupe une largeur de bande correspondante à 6 PRB consécutifs, cet espacement entre sous-porteuses conduit à 1,08 MHz/1,25 kHz = 864 sous-porteuses pour le PRACH. Ces dernières sont décomposées en **839** sous-porteuses portant une séquence de Zadoff-Chu et **25** sous-porteuses vides **figure II.4**. [10]

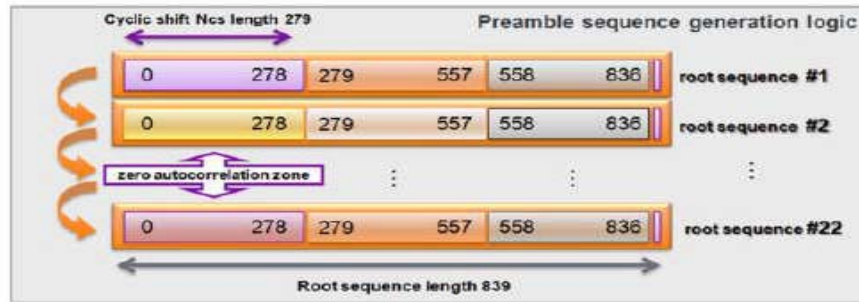


Figure II.4 : Génération logique des séquences de préambule.

Les paramètres de PRACH qui devraient être planifiés sont :

PrachFreqoffset : Il définit l'emplacement de PRACH dans le domaine fréquentiel. Le paramètre Prach Freq Off évite le chevauchement avec PUCCH et PUSCH.

- Si la trame PRACH est placée à la limite inférieure de la bande de fréquence UP, alors :

$$\text{PrachFreqOffset} = \text{roundup}[\text{Max de la taille roussoures bloques (PRB) of PUCCH}/2]$$

- Si la trame PRACH est placée à la limite superieur de la bande de fréquence UP, alors :

$$\text{PrachFreqOffset} = \text{Max NBR} - 6 - \text{roundup}[\text{Max de la taille roussoures bloques (PRB) of PUCCH}/2]$$

Prach cyclic shift (PrachCS) : Il indique le nombre de changement cyclique, pour assurer une séparation suffisante entre les Préambule. Ce PrachCS dépend de la taille de la cellule (voir le tableau II.2). Le PrachCS ne donne le nombre des cycles shift processus ZFshou utilisés pour la génération des cycles pour plusieurs utilisateurs. Par exemple si PrachCS=12, le nombre des cyclic shifts =119. Le nombre des Root sequences= $839/119 = 7$ cyclic shift. Comme nous avons 64 préambules à transmettre, le nombre des séquences par celle root seq req per cell= $64/7 = 10$.

Prach Cs	NBR Cyclic Shift	NBR des Root sequences	root seq req per cell	cell Range (Km)
1	13	64	1	0,76
2	15	55	2	1,04
3	18	46	2	1,47
4	22	38	2	2,04
5	26	32	2	2,62
6	32	26	3	3,48
7	38	22	3	4,33
8	46	18	4	5,48
9	59	14	5	7,,34
10	76	11	6	9,77
11	93	9	9	12,2
12	119	7	10	15,92
13	167	6	13	22,76
14	279	3	22	38,8
15	419	2	32	58,83
0	839	1	64	118,9

Tableau II.2 : Configuration du PrachCS et la taille de la cellule.

II.1.3. Configuration des Canaux physiques :

Les canaux physiques portent les données utilisateurs ainsi que les informations de contrôle nécessaires au fonctionnement de la couche physique. [10]

II.1.3.1. PDSCH : (Physical Dowling Shared Channel) :

Le canal physique PDSCH porte les données des canaux de transport DL-SCH et PCH (Paging CHannel). Les ressources allouées pour ce channel sont décidés par le processus Scheduler, il est transmis sur les ressources non utilisées par la région de control. Dans le cas de MIMO, il doit être transmis sur les mêmes ports que le PBCH, Il accepte les modulations QPSK, 16QAM et 64QAM. [10]



Figure II.5 : Les étapes de la transmission d'un PDSCH.

II.1.3.2- PBCH : (Physical Broadcast Channel) :

Le PBCH porte les informations sur le système, destinées à être diffusées à l'ensemble des UE de la cellule, telles que la largeur de la bande de système et le nombre d'antennes de l'eNodeB.

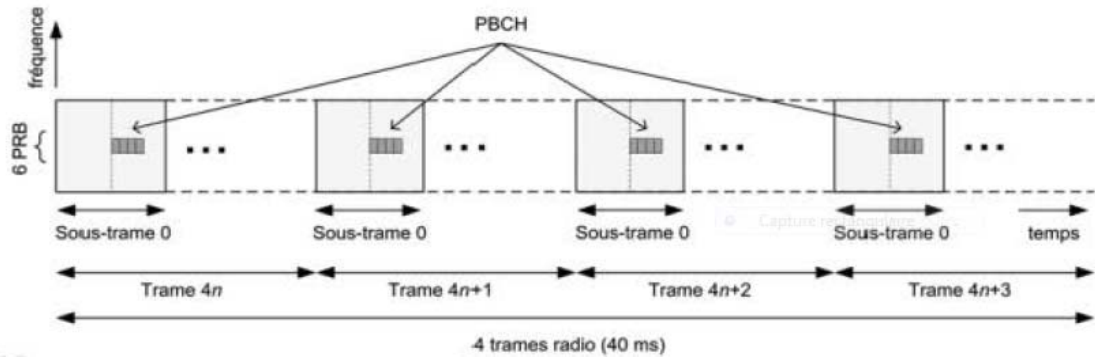


Figure II.6 : Le PBCH.

II.1.3.3- PDCCH : (Physical Dowling Control Channel) :

Le PDCCH porte les informations de contrôle pour les UEs. Il existe sous **04** formats de **0** à **3** (**tableau II.3**). Le format **0** est le moins protégé et le format **3** le plus protégé. Nous allons utiliser ainsi le format **0** pour des UEs dans des bonnes conditions radio, tandis que le format **3** sera réservé aux UEs en limite de couverture. Le PDCCH est formé des REG (ressources Elements Group), un REG porte **04** symboles OFDM et **06** RE (ressource Element).

Format du PDCCH	Nombre de CCE	Nombre de REG	Nombre de bits codés du PDCCH
0	1	9	72
1	2	18	144
2	4	36	288
3	8	72	576

Tableau II.3 : Différents formats du PDCCH.

II.1.3.4- PCFICH : (Physical Control Format Indicator Channel) :

Le PCFICH porte l'indicateur de format de contrôle(CFI).Le CFI peut prendre les valeurs **1, 2 ou 3**. Pour les largeurs de bande supérieures à **10 PRB**, et **2,3 et 4** pour les bandes inférieures a **10 PRB**. Il est codé en QPSK. Le PCFICH est transmis dans le premier symbole OFDM de la sous-trame, en **4** blocs de **4** symboles QPSK. Chaque bloc de **4** symboles est transmis sur un REG, les **4 REG** d'un PCFICH, sur le même port que le PBCH.

II.1.3.5- PHICH : (Physical HARQ Indicator Channel) :

Le PHICH indique à l'UE, les ACK/ NACK relatifs aux blocs de transport transmis sur la voie montante. Il est transmis sur **trois (03)** REG non attribués au PCFICH. . Un groupe de PHICH peut ainsi contenir jusqu'à 8 PHICH pour le CP normal et jusqu'à 4 PHICH pour le CP étendu.

II.1.3.6. PUCCH : (Physical Uplink Control Channel) :

Le canal physique de contrôle en voie montante PUCCH porte les informations de contrôle sur la voie montante pour un UE, ce dernier ne peut transmettre qu'un seul PUCCH dans une sous-trame donnée. Les informations de contrôle portées par le PUCCH sont :

- les informations sur l'état du canal CQI, PMI, RI, lorsqu'elles sont retournées périodiquement;
- les requêtes de scheduling;
- les acquittements d'HARQ pour les blocs de transport reçus en voie descendante.

Il existe plusieurs formats de PUCCH, qui diffèrent par le type d'information qu'ils portent et leur charge utile. Le **tableau II.4**, récapitule les différents formats ainsi que leurs principales caractéristiques. Les formats 1.1a et 1b sont dédiés au retour des ACK/NACK et/ou des requêtes de scheduling, tandis que les formats 2.2a et 2b visent principalement à remonter les CQI/PMI/RI. Les formats 2a et 2b permettent de remonter des ACK/NACK en plus des CQI/PMI/RI, si l'UE y est autorisé par configuration.

PUCCH Format	Normal Cyclic Prefix
1	Scheduling Request(SR)
1a	1x HARQ-ACK or 1 x HARQ-ACK + SR
1b	2x HARQ-ACK or 2x HARQ-ACK + SR
2	CQI (+ PMI, RI)
2a	1x HARQ-ACK +CQI
2b	2 x HARQ-ACK +CQI

Tableau II.4 : Les différents formats du PUCCH.

II.1.3.6.1- Format 1.1a.1b :

Les formats 1, 1a, 1b comme celui des formats 2,2a, 2b, repose sur une séquence de base spécifique à la cellule, construite à partir d'une séquence de Zadoff-Chu. Cette technique nous permis de multiplexer de manière orthogonale sur les mêmes ressources temps fréquence plusieurs utilisateurs. La capacité de multiplexage sur le PUCCH pour les formats 1/1a/1b est

contrôlée par le CP, qui détermine le nombre de codes (trois séquences orthogonales pour le CP normal et deux pour le CP étendu).

Pour calculer le nombre RBs dédiés pour les PUCCH dans ce format, nous avons besoin des paramètres suivants :

Le paramètre Cell Sr Period (SRI Répétition des périodes) : c'est la période de la répétition des signaux de références, elle prend les valeurs **5ms(0) ; 10ms(1) ; 20ms(2) ; 40ms(3) et 80ms(4)**.

- **Par titre d'exemple :** cell Sr Period=**20 ms** ; deltaPucchShifts= **2(6)**. le Nombre des UEs multiplexés dans un TTI de **20 ms** est : Max UEs= **18*20= 360**. Le nombre des RBs Pucch SRI= Roundnp (**840/360**)= **3**. (avec Max User **RRC=840**).

NBR RBs Pucch RSI=Roundnp [(n1PucchAn*delta-Pucch-Shifts/ (3*12))]

Le paramètre delta-Pucch-Shifts : Il définit la différence entre deux décalages cycliques consécutifs pour des ressources utilisant le même code orthogonal. DeltaPucchShift= **1.2.3** (représentés par **12.6.4** shift respectivement). Dans le format 1/1a/1b, les utilisateurs sont séparés par **03** codes orthogonaux qui nous permettent de calculer la capacité. Par titre d'exemple si le cycle shift= **6**, le nombre d'utilisateurs par un ressource bloque est Nb UEs/RB= **3*6 = 18 UEs**.

Le Paramètre n1PucchAn (NBR RBs Ack/Nack) : Il est utilisé pour le calculer de nombre des RBs pour le Ack/Nack Dynamique dans le format « 2 » du canal physique PUCCH.

NBR RBs Ack/Nack= [(Total CCE par Bande*delta-Pucch-Shifts)/ (3*12)]

- **Par titre d'exemple :** NBR des CCE= **43** (dans la bande **10MHz**) et delta Pucch Shift= **2**. Le NBR RBs Ack/Nack= Roundup= **[(43*2)/(3*12)]= 3**.

II.1.3.6.2- Format 2.2a.2b :

Dans le format 2.2a.2b les utilisateurs multiplexés sont séparés par le code CDM.

Le nombre des cycliques shifts dépend de paramètre delta Pucch Shift). Par titre d'exemple si vous avez **12** UEs à multiplexer dans un ressource bloque, nous vous recommandons d'utiliser un shift de **6** pour éviter les interférences (si vous allez utiliser le **12**).

-Pour calculer le nombre RBs dédiés pour les RSI, nous avons besoin des paramètres suivants :

- ✓ Le paramètre **maxNumRrc** qui représente le nombre des Utilisateurs RRC par cellule.
- ✓ Le paramètre **Cqi Periodicity**, elle prend les valeurs Cqi Periodicity= **20 ms** (Cqi periodicity prend les valeurs (2ms ; 5ms ; 10ms ; 20 ms).
- ✓ Le paramètre **cycl Shifts**.

Par titre d'exemple : nous avons **20 TTIs** qui transportent les CQIs et si nous supposons **6UEs** par ressource bloqué, le nombre de user est $UEs = 6 \times 20 = 120$ UES (pour **20TTIs/ RB**). Pour un nombre de **RRC=840** nous avons besoin de **7 Ressources bloques(RBs)** $RB = 840/120 = 7$ RBs.

II.1.3.7- PUSCH : (Physical Uplink Shared Channel) :

Le canal physique partagé en voie montante PUSCH porte les données du canal de transport UL-SCH (CQI, PMI, RI et acquittement d'HARQ). Toutes les informations transportées sur le PUSCH utilisent la même modulation (QPSK, 16QAM ou 64QAM).

II.2. Processus de dimensionnement :

Le dimensionnement des eNodeBs est la partie la plus délicate. Du coup elle doit être bien développée.

On a deux méthodes à suivre. La première tient compte des exigences de la capacité et la deuxième tient compte des exigences de la couverture, pour déterminer le rayon de chaque cellule et puis le nombre des sites.

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

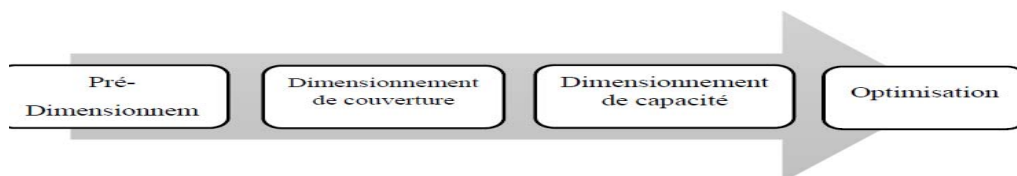


Figure II.7 : Les étapes de processus de dimensionnement.

II.2.1. Pré-dimensionnement :

Nécessite la collecte des informations qui portent sur la zone de déploiement. On cite quelques unes :

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

II.2.2. Dimensionnement de couverture :

Analyse de la couverture reste fondamentalement l'étape la plus critique dans la conception de réseau LTE. On va se baser sur le Bilan de liaisons (RLB), qui permet d'estimer le taux de perte du trajet.

Pour cela, il est nécessaire de choisir un modèle de propagation approprié. Le résultat final obtenu est la taille de la cellule à couvrir, ce qui donne une estimation sur le nombre total des sites. Cette estimation basée sur les exigences de couverture et elle doit être vérifiée aussi par les besoins de capacité.

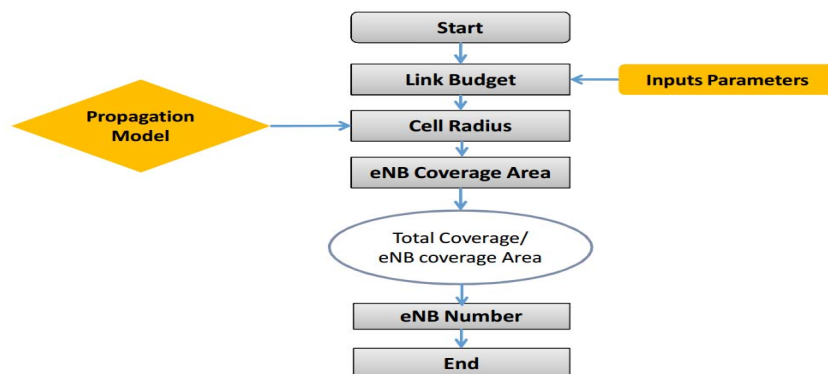


Figure II.8 : Etapes du dimensionnement de couverture.

II.2.2.1. Bilan de liaisons :

Le premier niveau du processus de dimensionnement est un niveau Link Budget. Il utilise le bilan de liaison RF avec un modèle de propagation statistique (par titre d'exemple Hata, COST-231 Hata ou Erceg-Greenstein) pour se rapprocher de la zone de couverture des sites prévus, pour permettre ensuite de déterminer le nombre des sites nécessaires pour le système RF. Le modèle de propagation statistique n'inclut pas les effets du terrain et a des

spécifications pour chaque type d'environnement (rural, urbain, suburbain, etc.). Cette approche assez simpliste permet une analyse rapide du nombre des sites qui peuvent être nécessaires pour couvrir une certaine zone.

Le bilan de liaison est établi sur la liaison descendante (Downlink) et la liaison montante (Uplink).

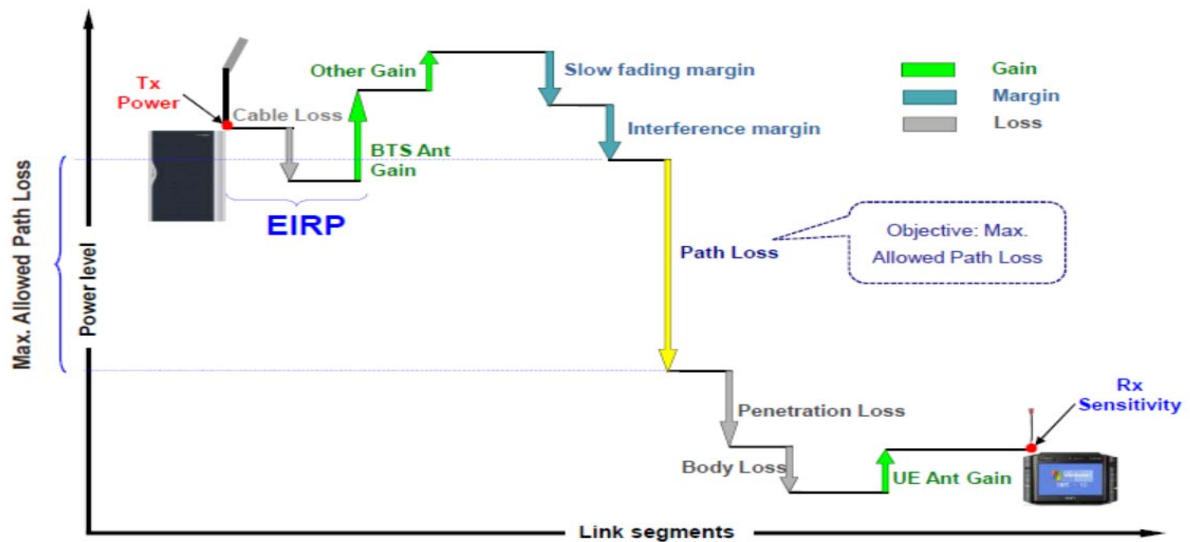


Figure II.9 : Bilan de liaison Downlink.

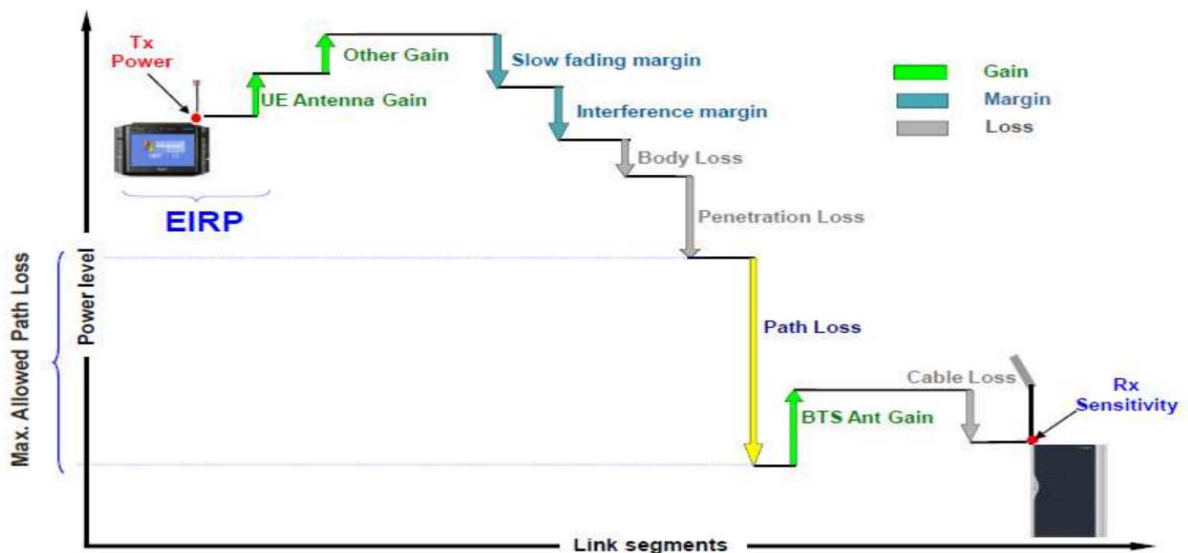


Figure II.10 : Bilan de liaison Uplink.

- Les pertes dans la liaison descendante (**Downlink**) sont calculées avec la formule :

$$\text{MAPL}_{\text{DL}} = \text{EIRP}_{\text{DL}} - S_{\text{UE}} - \text{LNF} - \text{IM}_{\text{DL}} - L_{\text{pen}} - L_{\text{bodyLoss}} + G_{\text{UEAntenna}} \quad \text{II.2}$$

- Les pertes dans la liaison montante (**Uplink**) sont calculées avec la formule :

$$\text{MAPL}_{\text{UL}} = \text{EIRP}_{\text{UL}} - S_{\text{eNB}} - \text{LNF} - \text{IM}_{\text{UL}} - L_{\text{bodyloss}} + G_{\text{eNBAntenna}} + G_{\text{eNBTMA}} \quad \text{II.3}$$

Avec :

MAPL: Perte maximal autorisée.

EIRP : Puissance isotrope rayonnée.

S_{UE}, S_{eNB}: Sensibilité du récepteur.

LNF : Identifiant d'émarge d'évanouissement normal.

IM : Marge d'interférences.

L_{pen} : Pertede pénétration.

L_{bodyLoss}: Perte du corps.

G_{UEAntenna} :Gain de l'antenne.

EIRP : Puissance isotrope rayonnée.

C'est la puissance isotrope perdu dans les câblages et les supports qui ont été rayonnée par l'antenne. Elle est calculée sur les deux liaisons grâce aux deux formules **II.7** et **II.8**.

$$\text{EIRP}_{\text{DL}} = P_{\text{eNB-tx}} - L_{\text{eNB-feeders}} - L_{\text{eNB-jumpers}} - L_{\text{eNB-connectors}} + G_{\text{Antenna}} \quad \text{II.4}$$

$$\text{EIRP}_{\text{UL}} = P_{\text{UE-tx}} + G_{\text{Antenna}} - L_{\text{body}} \quad \text{II.5}$$

Avec :

P_{eNB-tx}:puissance de l'eNodeB.

L_{eNB-feeders}, L_{eNB-jumpers}, L_{eNB-connectors} : Pertes de câblage. .

- **S_{rx}**: Sensibilité du récepteur (**S_{UE} et S_{eNB}**)

La sensibilité de récepteur indique le niveau de signal minimum qui peut encore être reçu avec succès. Elle est calculée avec la formule.

Elle est calculée avec la formule.

$$S_{\text{rx}} = N_{\text{sub-T}} + \text{SINR} + F_{\text{noise}} + N_{\text{RB}} \quad \text{II.6}$$

Avec :

N_{sub-T} : Puissance du bruit thermique par sous-porteuse(correspondant à la largeur de bande passante de15kHzdans le cas d'un espacement de sous-porteuse standard).Son calcul est effectué avec la formule **II.10**.

$$N_{\text{sub-T}} = K \times T \times B \quad \text{II.9}$$

T:Temperature [Kelvin]

k: constante de Boltzmann

B: Bande Passante (15Khz)

SINR : Signal à Interférence et Bruit

F_{noise}: Bruit du récepteur.

N_{nb} : Nombre de ressources blocs.

SINR (Signal to Interference and Noise Ratio):

Signal à Interférence et Bruit (SINR) est le rapport de puissance entre le signal utilisé et les interférences des cellules voisines et le bruit thermique.

II.2.2.2. Rayon de cellule :

La perte de trajet maximum autorisée est utilisée pour calculer le rayon de la cellule en utilisant un modèle de propagation.

L'équation pour calculer la distance en kilomètres **R** est la suivante :

$$R = 10^\alpha$$

Avec :

$$\alpha = \frac{\text{MAPL} - 46.3 - 33.9 \log(fc) + 13.82 \log(h_b) + a(h_m) + C_m}{44.9 - 6.55 \log(h_b)} \quad \text{II.10}$$

II.2.2.3. Surface des sites :

Le nombre de sites est facilement calculé à partir de la superficie du site et la valeur input de la zone de déploiement.

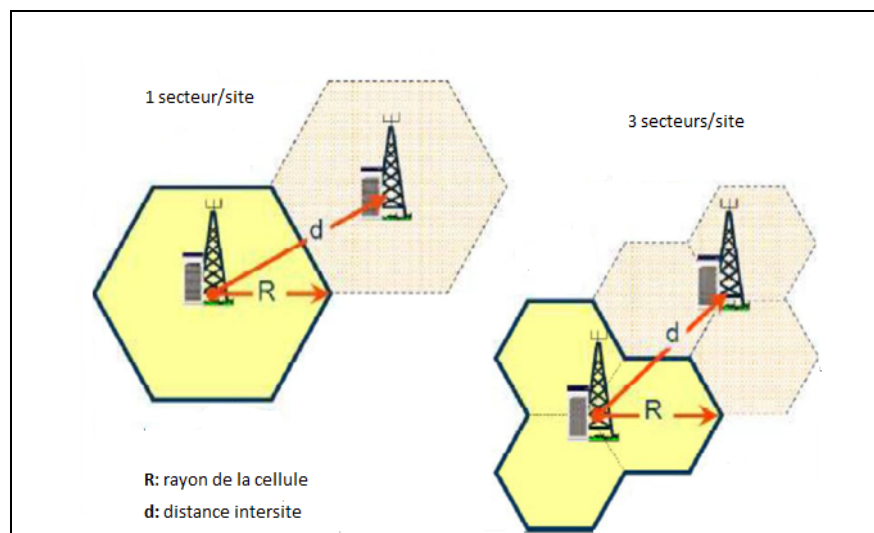


Figure II.11 : Modèle hexagonale de la cellule et types de secteur/site.

- Pour un site Omnidirectionnel ($S_{\text{Site 1}}$):

$$d = \sqrt{3} \times R$$

$$S_{\text{Site 1}} = \frac{3 \sqrt{3} \times R^2}{2} = 2.6 \times R^2 \quad \text{II.11}$$

- Pour un site à 3 Secteurs ($S_{\text{Site 3}}$) :

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

$$S_{\text{Site 3}} = \frac{9 \sqrt{3} \times R^2}{8} = 1.95 \times 2.6 \times R^2 \quad \text{II.12}$$

II.2.3. Dimensionnement de capacité :

Le dimensionnement de capacité permet de trouver la capacité maximale qui peut être supporté par une cellule. Son objectif est de déterminer le nombre des sites nécessaires pour satisfaire les trafics des abonnés dans une zone donnée.

La capacité théorique du réseau est limitée par le nombre d'eNodeB installé dans le réseau. Elle dépend de plusieurs facteurs tels que le type de la zone, service, nombre des abonnés, interférences.

II.2.3.1. Débit de la cellule en lien montant :

Notre objectif est d'obtenir une estimation du nombre des sites en fonction des besoins en capacité. Et ces derniers sont définis par les opérateurs du réseau en fonction du trafic.

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

$$T_{\text{Cell,UL}} = Q_{\text{UL}} \times R_{\text{avg,UL}} \quad \text{II.13}$$

Avec :

$$R_{\text{avg,UL}} = R_{\text{RB,UL}} \times (n_{\text{RB}} - n_{\text{PUCCH}} - n_{\text{PRACH}}) \quad \text{II.14}$$

- $T_{\text{Cell,UL}}$: Débit de la cellule en lien montant.
- $R_{\text{avg,UL}}$: Débit binaire moyen de l'utilisateur par cellule en lien montant.

- $(168 \text{ RE} \times 4 \text{ bit} \times 2 \text{ mimo} \times 75\% \times 1000)$
- Q_{UL} : La charge en lien montant.
- $R_{RB,UL}$: Débit binaire d'un seul RB pour le lien montant.
- n_{RB} : Nombre total de blocs de ressources de la bande passante.
- n_{PUCCH} : Nombre de blocs des ressources attribuées aux canaux contrôle PUCCH.
- n_{PRACH} : Nombre de blocs des ressources attribuées aux canaux contrôle PRACH.

II.2.3.2. Débit de la cellule descendant :

La capacité de la liaison descendante est basée sur le SINR à l'emplacement moyen à l'intérieur d'une cellule, et Le débit moyen de l'utilisateur par cellule, il est réduit proportionnellement avec le nombre des blocs de ressource. On obtient un débit de la cellule qui est présenté par l'équation suivante :

$$T_{Cell,DL} = Q_{DL} \times R_{avg,DL} \quad \text{II.15}$$

Avec :

$$R_{avg,DL} = n_{RB} \times R_{RB,DL} \quad \text{II. 16}$$

- $T_{Cell,DL}$: Débit de la cellule en lien descendant.
- $R_{avg,DL}$: Débit binaire moyen de l'utilisateur par cellule en lien descendant.
- Q_{DL} : La charge en lien descendant.
- $R_{RB,DL}$: Débit binaire d'un seul RB pour le lien descendant.
- n_{RB} : Nombre total de blocs de ressources de la bande passante.

II.2.3.3. Nombre des sites :

A l'étape finale, nous allons calculer le nombre des sites à partir les deux dimensionnements précédents :

- **Par le dimensionnement de la couverture :**

Le calcul du nombre de sites (N_{Site}) devient très simple, c'est la division entre la surface de la zone à couvrir (S_{Zone}) et la surface du site (S_{Site}).

$$N_{Site} = \frac{S_{Zone}}{S_{Site}} \quad \text{II. 17}$$

- S_{Zone} : est la surface totale de la zone, elle dépend du type de la zone à étudier, comme l'indique ce tableau suivant :

Type de zone	Surface de la zone (l/%)
Urbaine dense	50
Urbaine	400
Suburbaine	200
Rurale	300

Tableau II.5 : Surface de la zone.

- **Par le dimensionnement de la capacité :**

Le débit d'un site de N cellules devient :

$$T_{\text{Site}} = T_{\text{Cell}} \times N_{\text{cellule}} \quad \text{II.18}$$

L'utilisateur va entrer comme des inputs le nombre des abonnés et le débit moyen de chacun, afin de calculer le nombre des sites :

$$N_{\text{Site}} = \frac{T_{\text{Abonnée}}}{T_{\text{Site}}} \times N_{\text{Abonnées}} \quad \text{II.19}$$

- $T_{\text{Abonnée}}$: Débit d'un usager.
- $N_{\text{Abonnées}}$: Le nombre des abonnés.

II.3. Les modèles de propagations :

Un modèle de propagation est une formule mathématique utilisée pour caractériser la propagation de l'onde radio entre l'émetteur et le récepteur. Cette formule dépend de plusieurs facteurs, à savoir :

- La fréquence de l'onde ;
- La distance parcourue par l'onde ;

- Les hauteurs des antennes de l'émission et de la réception ;
- Type de terrain ;
- Clutter (caractéristiques et densité des bâtiments).

Puisque il ya plusieurs modèles de propagation ont été définis, nous allons présenter quelque modèle qui ont été mis en place dans le domaine des télécommunications sachant que ces modèles ne peuvent pas prédire le comportement à 100% exacte de la liaison radio , mais ils prédisent le comportement le plus probable. Ils sont utilisés pour prédire le rayon de la cellule à partir de la perte de trajet autorisée :

II.3.1. Les modèles déterministes :

Les modèles déterministes donnent des résultats beaucoup plus précis mais requièrent une quantité importante d'informations sur la zone où ils vont être appliqués. De plus ils demandent beaucoup du temps de calcul. Ils sont généralement réservés à des lieux particuliers où les autres modèles ne peuvent être utilisés. Ces modèles permettent de prédire la propagation des ondes radio et calculer les trajets des ondes radio en tenant compte des phénomènes de réflexion et diffraction. Parmi ces modèles nous citons :

-Le modèle de lancer de rayon :

C'est une technique entièrement déterministe (basée sur une approche dérivée de l'optique géométrique) dont le principe est :

- Lancement à partir de l'émetteur, de lignes directrices (rayons) dans toutes les directions.
- Rayons espacés régulièrement à partir de l'émetteur et tracés au fur et à mesure de leur propagation.
- Trajets émetteur-récepteur recherchés.

La condition d'arrêt est atteinte si :

- ✓ Puissance du rayon en dessous d'un seuil,
- ✓ Rayon qui a quitté la zone de simulation,
- ✓ Rayon qui a subi un nombre maximal de réflexions (**5 à 10 Km**).

II.3.2. Les modèles empiriques :

L'élaboration de ces modèles repose sur la collecte de données concernant des mesures et des formules mathématiques pour prédire l'impact ainsi que la valeur moyenne d'affaiblissement d'un émetteur sur une certaine zone de réception. Les modèles empiriques ont l'avantage d'être simple et de faiblement dépendre des caractéristiques d'un site. C'est pourquoi ils sont couramment employés pour les communications cellulaires pour une première estimation de la perte de propagation. On distingue plusieurs types du modèle empirique :

II.3.2.1. Modèle d'Okumura -Hata :

C'est le modèle le plus utilisé. Il tient compte de la fréquence, de la radiosité, de la distance entre l'émetteur et le récepteur et de la hauteur de la station de base et du mobile. Il prend en considération également la nature de l'environnement en qualifiant son degré d'urbanisation (Urbain, Suburbain ou Rural).

Le modèle de **Hata** a été adapté pour les limites suivantes :

Fréquences	150Mhz<f<1.5Ghz
Hauteur de l'antenne d'émission	30m<h _b <200m
Hauteur de l'antenne du mobile	1m<h _m <10m
Distance entre le MS et la BTS	1Km<d<20Km
Type d'environnement	➤ Urbain (grande ville) ➤ Urbain (ville moyenne) ➤ Banlieue Rural

Tableau II.6 : Condition de validité du modèle d'Okumura-Hata.

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

- Zone urbaine:

$$L_u (dB) = 69.55 + 26.16 \log(f) - 13.82 \log(H_b) + [44.9 - 6.55 \log(H_b)] \times \log(d) - a(H_m)$$

II.20

Le paramètre $a(H_m)$ est un facteur de correction dépendant de la hauteur de l'antenne de la station mobile et de l'environnement :

✓ Pour les villes de taille moyenne ou petite:

$$a(H_m) = [1.1 \log(f) - 0.7] \times H_m - [1.56 \log(f) + 0.8] \quad \text{II.21}$$

✓ Pour les villes de grande taille:

$$a(H_m) = 8.29[\log 1.54H_m]^2 - 1.1 \quad f \leq 200 \text{ MHz} \quad \text{II.22}$$

$$a(H_m) = 8.29[\log 1.54H_m]^2 - 4.97 \quad f > 200 \text{ MHz} \quad \text{II.23}$$

- **Zone Suburbaine:**

$$L_{su} (dB) = L_u - 2 \times [\log(f / 28)]^2 - 5.4 \quad \text{II.24}$$

- **Zone Rurale (semi-dégagé):**

$$L_{rsd} (dB) = L_u - 4.78 \times [\log(f)]^2 + 18.33 \log(f) - 35.94 \quad \text{II.25}$$

- **Zone Rurale (dégagé):**

$$L_{rd} (dB) = L_u - 4.78 \times [\log(f)]^2 + 18.33 \log(f) - 40.94 \quad \text{II.26}$$

II.3.2.2. Modèle COST 231-Hata :

Le COST231-Hata est un modèle de propagation radio utilisé par HUAWEI. Ses caractéristiques sont : la fréquence « 1500Mhz-2000Mhz », le rayon de la cellule « 1Km-20Km », la hauteur de l'antenne « 20m-200m », la hauteur de l'antenne du terminal « 1m-10m ».[34]

Le COST-Hata est décrit avec les deux formules et comme suit :

$$\text{MAPL} = 46.3 + 33.9 \log(f_c) - 13.82 \log(h_b) - a(h_m) + (44.9 - 6.55 \log(h_b)) \log(R) + C_m \quad \text{II.27}$$

$$a(h_m) = (1.1 \log(f_c) - 0.7) h_m - (1.56 \log f_c - 0.8) \quad \text{II.28}$$

MAPL : L'affaiblissement de parcours (dB).

f_c : Fréquence de fonctionnement (1500-2000MHz).

h_b : Hauteur de l'antenne de BS (20-200 m).

h_m : Hauteur de l'antenne mobile (1-10 m).

R: Rayon de la cellule (1-20 km).

a(h_m) : Facteur de correction pour la station mobile sur la hauteur de l'antenne.

C_m : La valeur de **C_m** est basée sur la morphologie de la zone à étudier.

II.3.2.3. Modèle de Walfish-Ikegami :

Fusion des modèles de Walfish et d'Ikegami par le groupe de travail COST231, en vue d'un modèle de propagation pour environnement urbain avec antennes sous les toits. Ce modèle prend en compte les propriétés de diffraction et de réflexion par les bâtiments, ce qui lui permet d'offrir une bonne précision. Seul l'effet de guide d'onde par des bâtiments rapprochés n'est pas pris en compte. Il est adapté au macro, micro et pico-cellules (il est valable à partir de **20 m**).

II.3.3. Les modèles hybrides et semi-déterministes :

L'idée principale de ce type de modèles est de combiner les avantages de chacun des deux types précédents. Ils allient à la fois des aspects théoriques et des mesures pratiques. Ils tiennent en compte la topologie de la zone à couvrir. Ces types de modèles se révèlent généralement plus légers en terme de calcul que ceux théoriques et plus performants en terme d'estimation de l'atténuation de puissance induite par un site de propagation.

II.4. Présentation de l'application :

Pour planifier un réseau 4GLTE, nous devons calculer les paramètres radio et faire le dimensionnement. En effet, pour faciliter la tâche de dimensionnement, nous avons proposé une application développée sous environnement Java permettant de faire les calculs de dimensionnement radio sans accéder à un outil professionnel. L'application que nous allons présenter nous permette de faire les tâches suivantes :

II.4.1- Interface :

Notre application est conçue pour faciliter la tâche de dimensionnement sans avoir accès à un outil professionnel tel qu'Atoll.

La fenêtre ci-dessous **figure II.13** est la porte d'entrée à notre application :

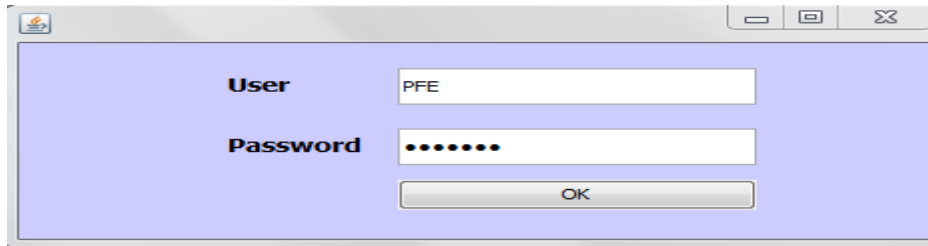


Figure II.12 : Identification de l'utilisateur.

Cette boîte de dialogue **figure II.12** sert à authentifier les utilisateurs. En effet, seuls les ceux ayant le mot de passe adéquat peuvent accéder à notre outil. Une fois l'identité de l'utilisateur est confirmée on aura accès à la fenêtre principale.

La fenêtre suivante **figure II.13** va nous donner accès aux différents menus.



Figure II.13 : Choix des fonctions.

Elle contient quatre (04) parties essentielles :

1. Calibration manuelle du modèle.
2. Planification d'un réseau radio 4GLTE.
3. Optimisation d'un réseau radio 4GLTE.
4. Dimensionnement et configuration des paramètres.

En cliquant sur « configuration » **Figure II.13**, une boîte de dialogue **Figure II.14** s'ouvre permettant de choisir la technologie (dans notre cas le LTE 4G).

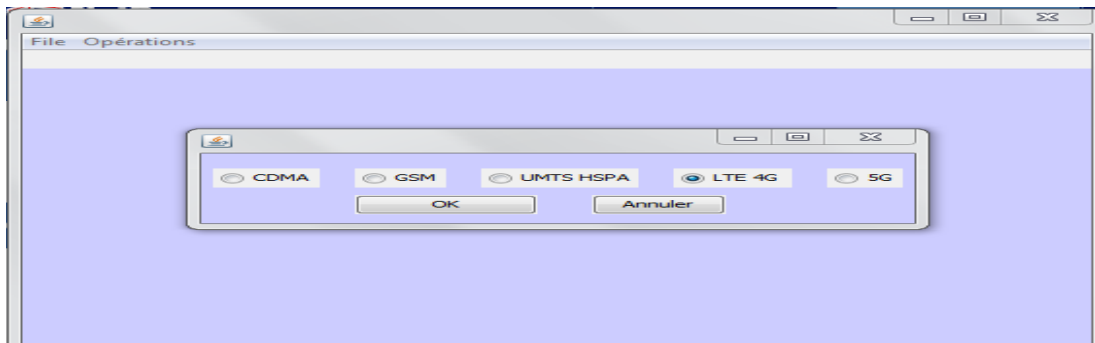


Figure II.14 : Choix de la technologie.

➤ Dans la fenêtre suivante **Figure II.15** nous devons choisir le type d'environnement (urbain, dense ou rural) et affecter les valeurs correspondantes aux Fréquences ainsi qu'aux bandes. Les paramètres de la station de base sont :

- Le nom de la BTS.
- La puissance d'émission de l'antenne en dBm.
- La hauteur de l'antenne d'émission par rapport au sol en mètre.
- Les coordonnées GPS de l'EnodeB (longitude et latitude).

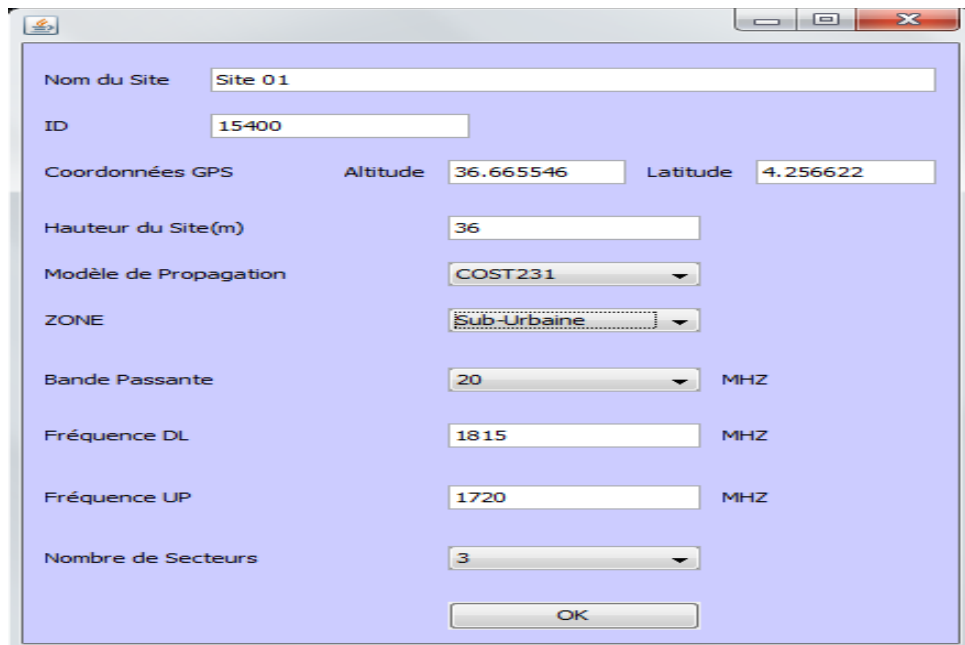


Figure II.15 : Choix de l'environnement et de quelques paramètres.

II.4.2- Configuration des paramètres radio LTE :

- En cliquant sur « OK », une autre fenêtre **Figure II.16** s'ouvre :

Figure II.16 : Introduction du fichier de mesures.

- Dans la fenêtre précédente **Figure II.16** nous allons configurer le canal PUCCH, nous devons choisir le type de formats (1/1a, 1b/ 2.2a.2b) et affecter les valeurs correspondantes aux paramètres de ces formats.
- Après avoir introduit tous les paramètres nécessaires, nous devons cliquer sur « OK » pour lancer les calculs.
- Notre application va effectuer les calculs suivants :

1. Calcul de Number of PHICH Groups :

$$\text{NBR PHICH Group} = N_g * (\text{NBR RB} / 8)$$

2. Calcul de ressources blocs (RB) dans la bande :

$$\text{NBR RB} = [\text{Bande (MHz)} - 12.10\%] / [12 * 15(\text{KHZ})] = [\text{bande} * 0.87890625 * 1024] / [15 * 12]$$

3. Calcul de nombre de CCE pour le format 1a.1b. Avec la formule suivante :

$$\text{NBR CCE} = [(\text{RB}(8 + ((\text{Max Syn Pdcch} - 1) * 12))) - (\text{NpichG} * 12) - 16] / 36$$

3. Calcul de ressources blocs pour le PUCCH dans le format 1a.1b :

$$\text{NBR RB Pucch1a; 1b} = \lceil \text{NBR CCE} / [12 \cdot 3 \cdot (1/\Delta \text{Pucch shifts})] \rceil$$

4. Calcul de ressources blocs pour le PUCCH dans le format 1 :

$$\text{NBR RB Pucch-1} = \lceil \text{NBR User} / [12 \cdot 3 \cdot \text{Cell SrPeriod} \cdot (1/\Delta \text{Pucch shifts})] \rceil$$

5. Calcul de ressources blocs pour le PUCCH dans le format 2a,2b :

$$\text{NBR RB Pucch 2; 2a; 2b} = \lceil \text{NBR User} \cdot \text{ActDrx} / [\text{CqiPerNp} \cdot \text{cyclic shifts}] \rceil$$

6. Calcul de NBR ressources blocs total pour le PUCCH :

$$\text{NBR RB PUCCH} = \text{NBR RB Pucch format 1} + \text{NBR RB Pucch Format 1a; 1b} + \text{NBR RB Pucch Format 2a; 2b}$$

7. Calcul de paramètre Prach Freq Offset :

$$\text{NBR RB Prach Freq Offset} = \text{Arrondi.sup} (\text{NBR RB PUCCH} / 2)$$

8. Calcul de paramètre n1PucchAn :

$$\text{NBR RB n1PucchAn} = (12 \cdot 3 / \Delta \text{Pucch}) \cdot \text{NBR RB Pucch 1}$$

9. Calcul de paramètre nCqiRb :

$$\text{NBR RB nCqiRb} = \text{NBR RB Pucch Format 2a;2b}$$

- Les résultats de calcul sont sauvegardés pour chaque EnodeB.

Calcul Surface de site :

Celle Rang (Km) Surface Site (Km2)

Calcul de Debit :

Débit Charge UI (Mbit/s) Débit Charge DI (Mbit/s)

Débit site DI (Mbit/s) Débit Site UI (Mbit/s)

Calcul de nombre de site :

Débit Abonné (Mbit/s) Nombre de Site

Précédent OK Annuler

Figure II.17 : Injection des paramètres de la capacité.

- Dans la fenêtre précédente **Figure II.17** nous devons injecter les paramètres de la capacité de l'eNodeB sont :
 - Le Débit Charge DL.
 - Le Débit Charge UL.
 - Le Débit d'abonné.
 - Après avoir introduit tous les paramètres nécessaires, nous devons cliquer sur « OK » pour lancer les calculs.
 - Notre application va effectuer les calculs suivants :
1. Récupère la valeur de Rayon (R) et calcul le celle Range (distance entre l'EnodeB et la limite de couverture.

2. Calcul de la limite (Cell Range) de site :

$$D = \text{Cell Range} = \sqrt{3} * R \quad \text{pour un Site (01 Secteur).}$$

$$D = \text{Cell Range} = (3/2) * R \quad \text{Pour un Site (03 Secteurs)}$$

3. Calcul de la surface de site :

$$\text{Surface site} = 2.6 * R^2 \quad \text{Pour un Site (01 Secteur).}$$

$$\text{Surface site} = 1.95 * 2.6 * R^2 \quad \text{Pour un site (03 Secteurs).}$$

4. Calcul $R_{\text{avg, UL}}$ (Débit binaire moyen de l'utilisateur par cellule en lien montant) :

$$R_{\text{avg, DL}} = R_{\text{RB, UL}} * (N_{\text{RB RB}} - N_{\text{RB RB PUCCH}} - 6)$$

$$\text{Avec : } N_{\text{RB RB PRACH}} = 6 ; \quad R_{\text{RB, UL}} = 504 \text{ Kbit/s} = 0.492 \text{ Mbit/s}$$

5. Calcul $R_{\text{avg, DL}}$ (Débit binaire moyen de l'utilisateur par cellule en lien descendant) :

$$R_{\text{avg, DL}} = R_{\text{RB, DL}} * N_{\text{RB}} \quad \text{Avec : } R_{\text{RB, DL}} = 1.52 \text{ Mbit/s}$$

6. Calcul de débit l'eNodeB dans le sens descendant (DL) :

$$\text{Débit site (DL)} = R_{\text{avg, DL}} * Q_{\text{DL}} \quad \text{Avec : } Q_{\text{DL}} = N_{\text{RB User DL}} = 150$$

7. Calcul de débit l'eNodeB dans le sens montant (UL) :

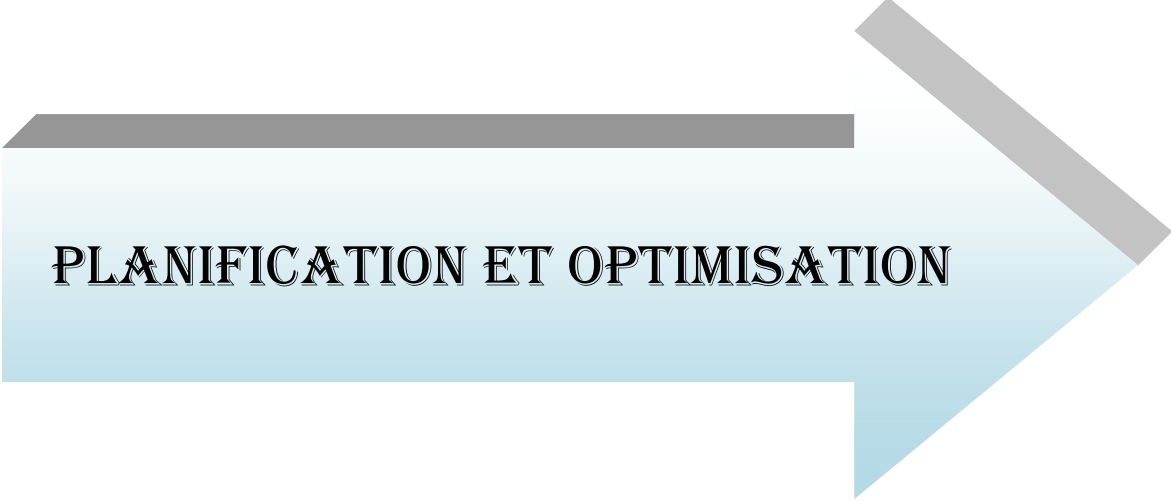
$$\text{Débit site (DL)} = R_{\text{avg, DL}} * Q_{\text{DL}} \quad \text{Avec : } Q_{\text{UL}} = N_{\text{RB User UL}} = 50$$

8. Calcul de nombre des sites :

$$N_{\text{RB de site}} = (\text{Débit abonnés} * N_{\text{RB Abonnée}}) / \text{débit de site}$$

Conclusion :

Dans ce chapitre, nous nous sommes attachés à donner un modèle analytique simple qui permette de quantifier l'impact de dimensionnement d'un réseau mobile LTE qui fait intervenir deux composantes : couverture et capacité. Toutes ces notions seront adoptées par la suite pour la conception et le développement de notre outil, qui est le contexte de **chap 3**.



PLANIFICATION ET OPTIMISATION

III. Introduction :

Dans le chapitre précédent, nous avons exposé les techniques de dimensionnement et quelques modèles de propagation. Ces techniques sont associés à des outils d'ingénierie afin d'aider les services opérationnels à planifier ou à faire optimiser un réseau de télécommunications radio mobile en limitant le nombre de campagnes de mesures. Parmi ces outils, nous citons Atoll et OSS NetAct utilisés par Algérie Télécom, ces outils sont présentés en détailles avec description de leurs différentes fonctionnalités en Annexe (A).

Dans ce chapitre, nous allons présenter la planification et l'optimisation de réseau 4G LTE, décrire ses différentes techniques d'optimisation, décrire le processus de planification et optimisation d'un réseau 4G LTE.[32]

III.1- Planification d'un réseau 4G LTE :

Dans la première partie de ce chapitre nous allons vous présenter le processus de planification après avoir fait le dimensionnement de notre réseau 4G LTE par notre Application (voir le chapitre II), Ainsi que l'outil de planification Atoll, les donnée d'entrées pour Atoll et les mesures en sorties prélevées à l'aide d'Atoll.

III.1-1- Présentation de l'outil de planification Atoll :

Atoll est un outil de planification et d'optimisation qui supporte différentes technologies telles que le GSM, le GPRS, l'EDGE, l'UMTS et LTE L'outil possède plusieurs fonctionnalités et modules permettant d'exécuter les tâches suivantes :

- Créer et configurer un réseau.
- Ajouter et modifier des sites.
- Configurer un plan de fréquences.
- Utiliser des modèles de propagation pour générer des couvertures.
- Prédire la couverture d'un site dans un environnement donné.

III.1-2-Les données en entrée pour l'outil Atoll :

Le fonctionnement de l'outil Atoll est basé essentiellement sur des données externes. En effet, quatre fichiers sont introduits en entrée, les fichiers de type de la zone (Clutter), d'élévation (Height), de données physiques [Physical data] et de mesures [Survey].

III.1.2.a- Fichier de type de zone [Clutter]:

Les fichiers Clutters sont des grilles numériques, ils contiennent une représentation spatiale de la classification des terres ou de leurs utilisations avec un index de noms pour chacune d'elles (exemple : open, sea, urban, forest, etc). Ils proviennent des images satellites ou aériennes ou bien générés à partir des cartes numérisées. Ces fichiers augmentent considérablement la précision des prédictions, néanmoins ils ne sont pas obligatoires pour créer un projet sous Atoll.

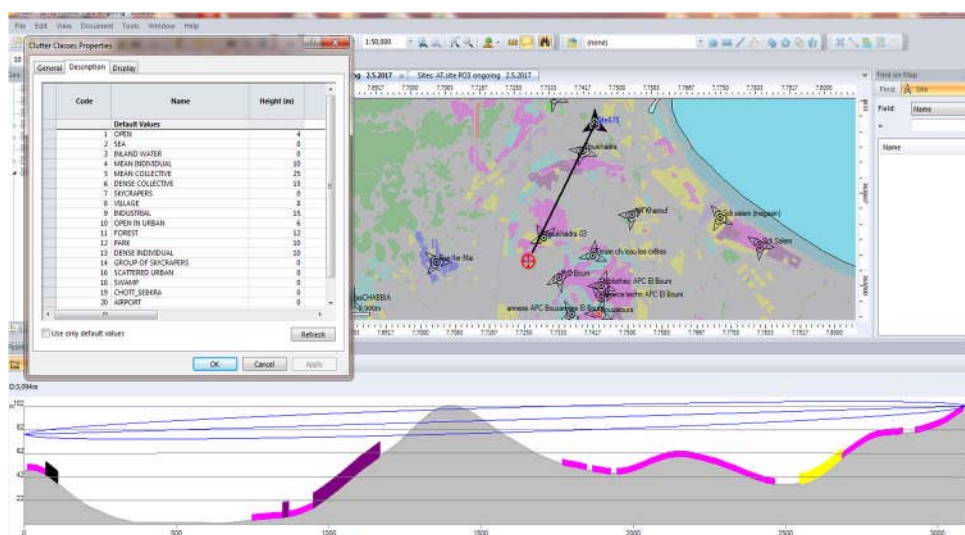


Figure III.1 : Visualisation d'un Fichier Clutter sur Atoll.

III.1.2.b- Fichier d'élévation [Height] ou DTM:

Les fichiers Height sont des grilles numériques, qui contiennent des valeurs en mètres ou en pieds associées à la hauteur du terrain au-dessus du niveau de la mer. Ils sont obligatoires sous Atoll lors de la prédiction de couverture pour tenir compte du relief.

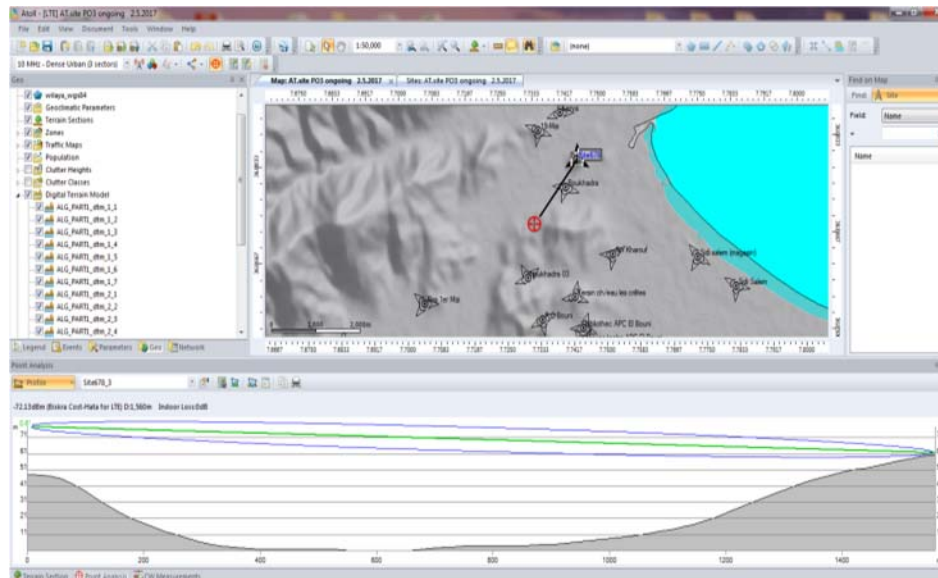


Figure III.2 : Visualisation d'un Fichier DTM sur Atoll.

III.1.2.c- Fichier de données physiques [Physical data]:

C'est une table de données bien définie qui contient les paramètres physiques de la station de base eNodeB et des (secteurs). Parmi ces paramètres, nous citons : les types d'antennes choisies, la puissance d'émission, la position de chaque site ainsi que les modèles de propagation utilisés...Etc. Ce fichier est introduit dans l'outil Atoll sous le format Excel ou fichier text (CSV). Nous avons trois catégories :

- **Fichier de données pour site** : il contient le nom de site, les coordonnées GPS, Le ID, Altitude et la hauteur de support

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Name	Longitude	Latitude	Altitude (m)	Comments	Support Height	Support Type	Max S1 inter	Max S1 inter	Site ID	Wilaya
2	AIN TAYA	17.28525	18.79346	[0]		50		950000	950000	616106	ALGER

Figure III.3 : Fichier Excel d'entrée données site pour Atoll.

- **Fichier de données pour cell** : il contient le nom des cellules, Le transmitter, la puissance Max et caractéristiques des antennes.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
	Name	Transmitter	Max Power	Frequency	Channel N	Traffic Log	Traffic Log	Reception	Comment	Max Num	UL Nois
4	LTE_AIN_TAYA_AlgeEst_1	LTE_AIN_TAYA_AlgeEst_1	20	1805 FDD - 20	0	0	0	NSN Cell Equipment			
5	LTE_AIN_TAYA_AlgeEst_2	LTE_AIN_TAYA_AlgeEst_2	20	1805 FDD - 20	0	0	0	NSN Cell Equipment			
6	LTE_AIN_TAYA_AlgeEst_3	LTE_AIN_TAYA_AlgeEst_3	20	1805 FDD - 20	0	0	0	NSN Cell Equipment			

Figure III.4 : Fichier Excel d'entrée données celle pour Atoll.

- **Fichier de données Transmitter** : il contient le paramétrage radio des antennes, les tilts, polarisation et Azimuts

Site	Transmitt	Active	DX (m)	DY (m)	Polarisati	Antenna	Height (m)	Azimuth (	Mechanic
AIN TAYA	LTE_AIN_TAI	True		0	0 V	742236V01_C	15	60	0
AIN TAYA	LTE_AIN_TAI	True		0	0 V	742236V01_C	15	180	0
AIN TAYA	LTE_AIN_TAI	True		0	0 V	742236V01_C	15	270	0

Figure III.5 : Fichier Excel d'entrée données Transmitter pour Atoll.

III.1.2.d- Fichier Vecteur:

Les données vectorielles représentant les infrastructures à couvrir (Bâtiment type de route, pont, ...etc.).

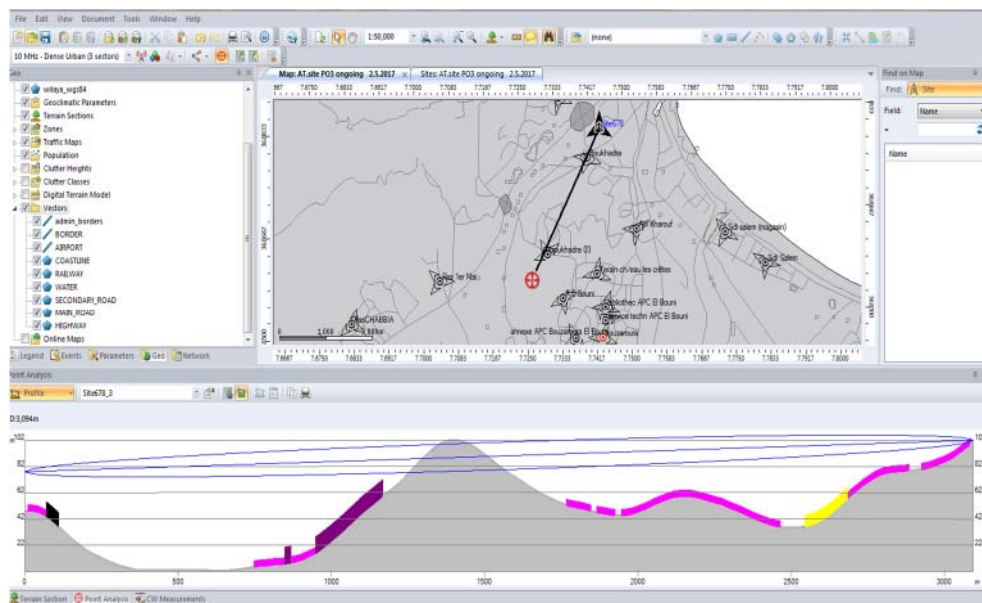


Figure III.6 : Visualisation d'un Fichier Vecteur sur Atoll.

III.1.3- Les données et les mesures en sortie d'Atoll:

Les mesures les plus importantes prélevées d'Atoll, mesure du niveau du signal reçu RSSI (Received Signal Strength Indication), mesure de la qualité du signal reçu RSRQ (Received Signal Quality) et SINR (Signal Interference Noise Ratio).

III.1.3.1-RSRP (Reference Symbol Received Power):

La réception d'un signal reçu radio d'une antenne. En 4G LTE les valeurs usuelles de RSSI pour un terminal varient de -30 dBm (niveau élevé de réception) à -140.

III.1.3.2-RSSI (Received Signal Strength Indication):

Réalisée par la couche physique du l'UE, permettant d'obtenir une valeur moyenne de la puissance reçue du signal de référence (RS) émise par la station de base par RE (Resource Element). La mesure s'exprime en Watt ou en dBm. La valeur est comprise entre -140 dBm à -44 dBm par pas de 1dB.

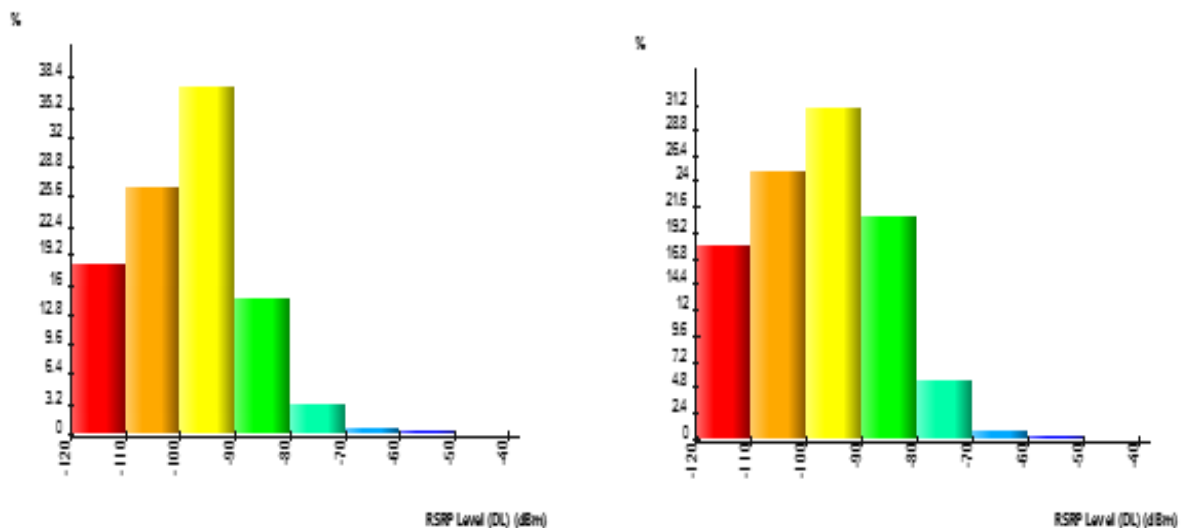


Figure III.7 : Visualisation de la mesure RSRP sur Atoll.

III.1.3.3- RSRQ (Reference Signal Received Quality):

RSRQ est le rapport entre le RSRP et le RSSI (Received Signal Strength Indicator). Le RSSI représente la puissance totale du signal reçu, cela englobe le signal transmis, le bruit et les interférences.

$$\text{RSRQ} = 10 \cdot \log (N \cdot \text{RSRP} / \text{RSSI}) \quad (\text{III. 1})$$

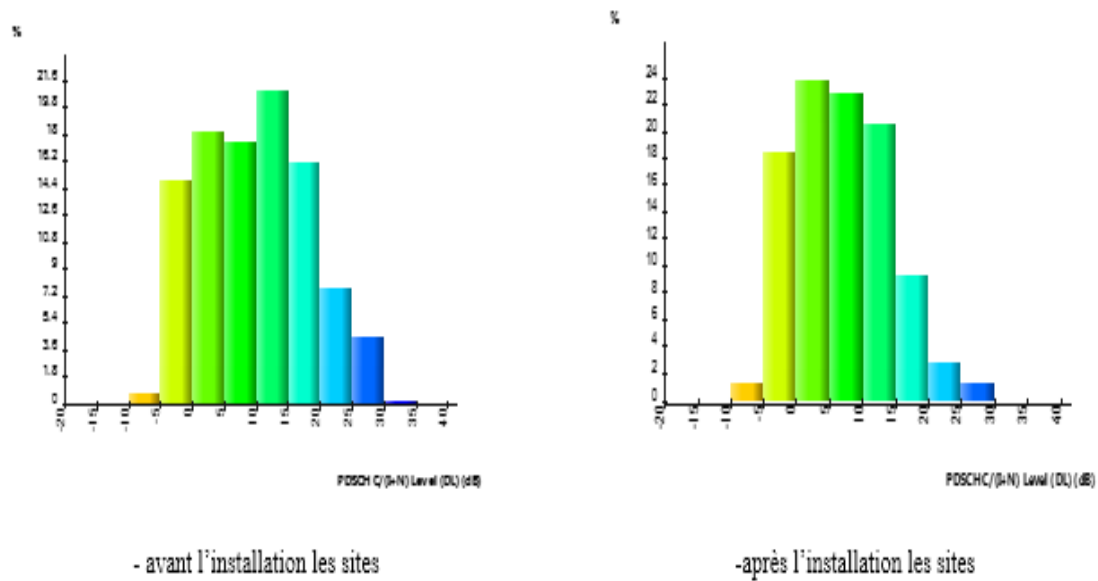


Figure III.8 : Visualisation de la mesure RSRQ sur Atoll.

III.1.3.4- SINR (Signal Interférence Noise Ratio) :

C'est l'indicateur de la qualité de la transmission d'une information.

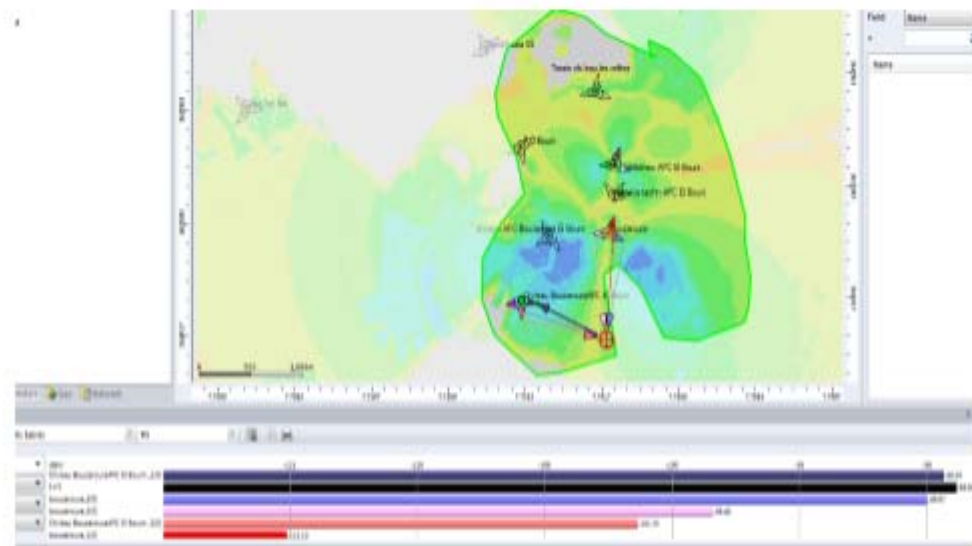


Figure III.9 : Visualisation de la mesure SINR sur Atoll.

III.2- Optimisation de réseau 4G LTE:

La qualité de service du réseau 4G est évaluée de façon objective à travers l'analyse des

compteurs et des KPIs. L'analyse quotidienne de ces derniers donnent aux ingénieurs une vue globale sur le déroulement des connexions dans chaque région, et permet ainsi de localiser les zones d'anomalies.

Notre plateforme de supervision, va nous permettre de visualiser les variations de tous les KPI's. Une analyse détaillée de ces graphes nous permettra de détecter toutes les anomalies du réseau et de proposer, dans la mesure du possible, des solutions. Ceci permettra d'assurer aux abonnés une meilleure qualité de service.

Pour arriver à un résultat optimal, la procédure d'optimisation d'un réseau, passe essentiellement par trois phases. La première phase est consacrée aux mesures et au stockage des KPI's. La deuxième phase servira à l'analyse des résultats et la localisation des problèmes. Enfin, la dernière phase, consiste à proposer des solutions optimales pour diminuer le taux d'erreur. La **figure(III.10)**résume le processus d'optimisation.[20]

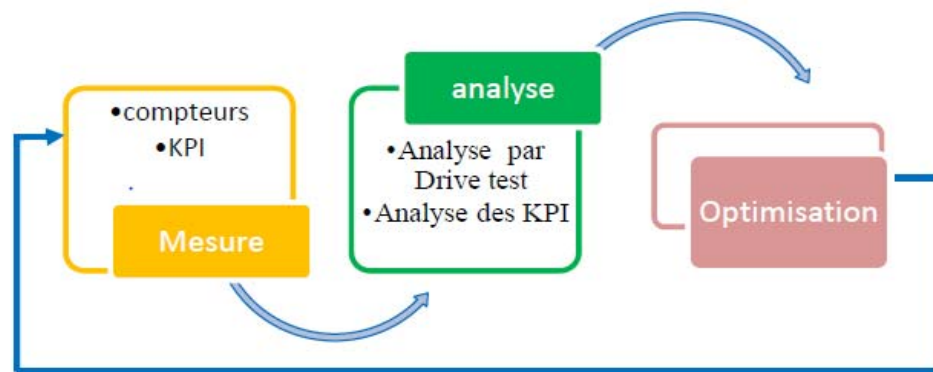


Figure III.10 : Schéma général du processus de l'optimisation.

III.2.1- Présentation de l'outil d'Optimisation OSS NetAct :

L'OSS NetAct (Opérationnel Support System), qu'est un outil de supervision et d'optimisation (l'annexe B), reçoit les données envoyés par eNodeB. L'OSS supporte les différentes technologies telles que le GSM, le GPRS, l'EDGE, l'UMTS et 4G LTE. L'outil possède plusieurs fonctionnalités et modules permettant d'exécuter les tâches suivantes :

- Créer et configurer un réseau.
- Ajouter et modifier des sites.
- Configurer un plan Radio.
- Générer les KPI's à l'aide des conteurs envoyés par eNodeB.

- Générer les rapports à l'aide des KPI's pour l'optimisation.
- Visualiser les PM (Performance Management), FM (Fault Management) et les Alarmes.

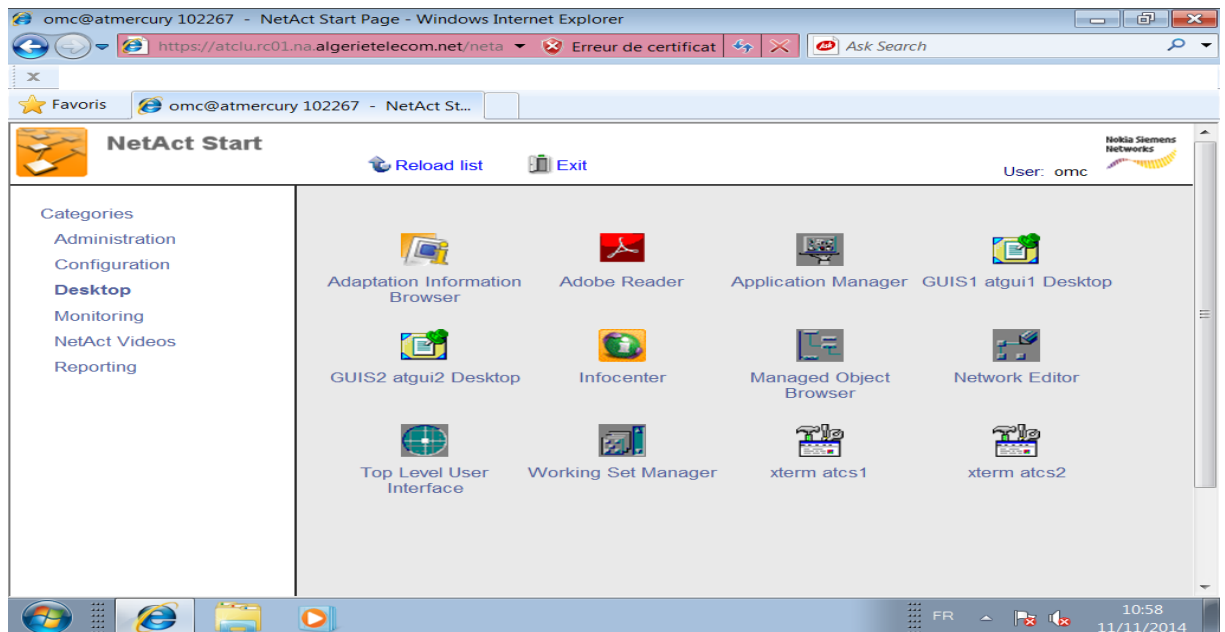


Figure III.11 : Image d'accueil d'OSS NetAct.

III.2.2-Les KPI (Key Performance Indicator):

Les indicateurs clés de performance (Key Performance Indicators, KPIs) correspondent aux mesures donnant des informations sur les performances du réseau. Ils permettent d'optimiser le réseau. Le KPI est le résultat d'une formule faite à partir des compteurs bruts. Ce dernier peut être extrait d'un nœud, d'une cellule, d'un UE.

Les KPIs évaluent essentiellement : Le volume du trafic, le maintien d'appel (si le réseau inclus la voix), la qualité du service sur l'ensemble du réseau. Ils permettent ainsi, de détecter les cellules défaillantes et les pannes au sein du réseau.

Pour chaque KPI, un seuil (limite) est déterminé, si celui-ci est dépassé une alarme est envoyée à la supervision pour indiquer la présence d'un problème et sa localisation.

Air interface KPIs LTE

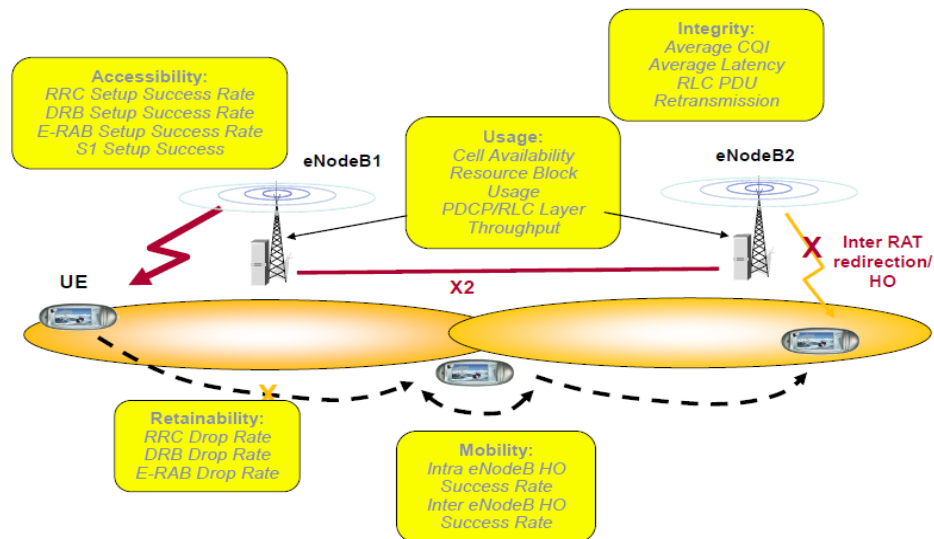


Figure III.12 : Les différents types de KPI.

III.2.2.1- KPI Retainabilité:

. Les KPI de Retainability sont utilisés pour évaluer la capacité du réseau à retenir les services demandés par un utilisateur pour une durée souhaitée une fois que l'utilisateur est connecté aux services. Ces compteurs peuvent être calculés par eNodeB (en regroupant tous les compteurs des cellules) ou par cellule. Ces KPI sont importants pour évaluer si notre système réseau corps et radio peut maintenir la qualité de service.

- **RRC Connection Setup Failure Ratio per Cause:** Ce KPI indique le taux d'échec de l'accomplissement de tentatives de connexions RRC pour une raison X.
- **Radio Bearer Drop Ratio:** L'architecture en LTE requiert l'établissement d'une connexion logique virtuelle entre les équipements, appelé Bearer (voir la **figure III-13**), 3GPP a défini deux grandes catégories des bearers, les bearers avec un débit garanti (GBR) et les bearers sans débit garanti (Non-GBR). Le KPI Radio Bearer Drop indique le taux de bearer ayant échoué.

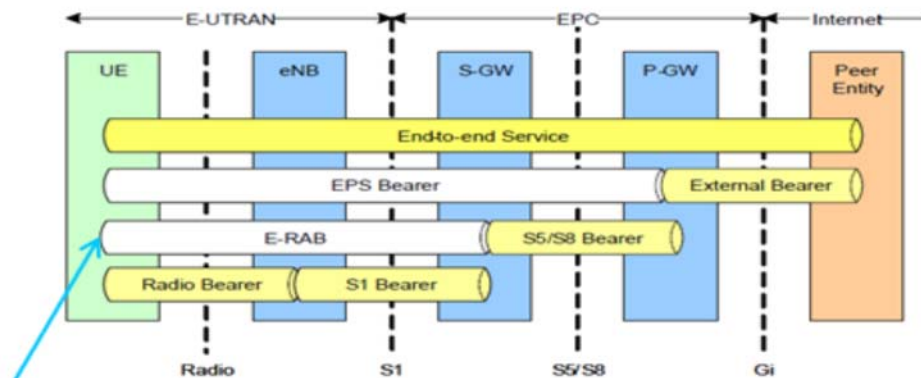


Figure III.13 : Architecture Bearer E-Utran / EPC.

- **E-RAB Drop Ratio per Cause** : l'E-RAB (E-Utran Radio Acces Bearer) c'est la concaténation d'un canal logique S1 bearer avec un bearer Radio, il décrit le QCI (quality Class identifier). Le KPI E-RAB Drop Ratio indique le taux d'E-RAB ayant échoué pour une raison.

III.2.2.2- KPI Accessibilité :

L'accès au réseau mobile regroupe un ensemble des procédures très différentes, dont la finalité est d'offrir à l'utilisateur qui allume son terminal la possibilité d'utiliser les services fournis par l'opérateur du réseau, ces étapes d'accès sont surveillées par l'opérateur par les KPI's ci-dessous :

- **RRC Connection Setup Success Ratio** : Ce KPI indique le taux de succès pour la procédure élémentaire d'établissement d'une connexion RRC.
- **Data Radio Bearer (DRB) Setup Success Ratio**: Ce KPI indique le taux de succès pour la procédure d'acquisition d'un bearer radio data.
- **E-RAB Accessibility**: Ce KPI renseigne sur la probabilité observée de la réussite de l'établissement d'une connexion E-RAB bout en bout (Authentification, sécurisation, établissement de la connexion).
- **S1 Setup Success Ratio** : Ce KPI renseigne sur le taux du succès de la procédure élémentaire S1, quand celle-ci est établie, l'interface S1 est opérationnelle et les messages S1 peuvent ainsi être échangés entre UE et eNodeB.

III.2.2.3- KPI Mobilité:

Le Handover (Mobilité) est le processus qui permet à un nœud mobile de changer son

Point d'attachement, pour améliorer la qualité de service, avoir le besoin de le quitter pour aller se connecter à une autre cellule ou carrément à une autre eNodeB. Parmi ces KPI's nous citons :

- **HO Success Ratio, intra eNB:** Ce KPI décrit le ratio du handover exécuté avec succès, le handover dont il est question est intra-eNB.
- **HO Success Ratio, Inter eNB S1 based:** Ce KPI décrit le ratio du handover exécuté avec succès, le handover dont il est question est inter eNB basé sur le mécanisme S1.

III.2.2.4- KPI Intégrité:

Ces KPI's nous renseignent sur les indicateurs de l'état du canal et de la latence de délivrance des données mesurés par l'UE en voie montante comme CQI, RI et des KPI's sur le HARQ qui est un mécanisme de retransmission des blocs de transport reçus de manière erronée.

Ci-dessous les KPI's les plus importants, nous allons utiliser :

- **Average CQI:** Ce KPI indique la valeur moyenne de la qualité du signal radio, la valeur de CQI devrait être **supérieur à 7**, une valeur autour **de 7** peut être acceptable, une valeur autour **de 8** peut être considérée comme bonne, une valeur supérieure à **9** est considérée comme excellente).
- **Average Latency :** Dans une eNB, ce KPI renseigne sur le délai (latence) de réception du premier paquet de la couche PDCP à travers l'interface Uu()
- **RLC PDU Retransmission Ratio Downlink or Uplink :** Ce KPI indique le ratio de retransmission HARQ pour un RLC PDU, dans la voie montante ou descendante.

III.2.2.5- KPI Usage:

Les KPI's d'usage sont utilisés pour évaluer le débit (throughput) et le volume dans les liaisons montantes (UL) et descendantes (DL) dans les couches PDCP/RLC, et aussi pour mesurer la valeur des utilisateurs connectés. Tous ces KPIs peuvent être mesurés par une cellule ou bien par un eNodeB.

III.2.3- Déroulement de l'optimisation :

L'analyse quotidien des KPI's donne aux ingénieurs une vue globale sur le déroulement des connexions dans chaque région et ainsi de localiser les zones à problèmes. Le travail de l'ingénieur consiste à trouver des solutions pour chaque problème rencontré afin d'assurer aux abonnés une meilleure qualité de service. L'optimisation comporte 06 volets essentiels comme illustrée ci-dessous :

- **Optimisation RF physical** : c'est le changement des plans de planification pour régler les problèmes d'interférences parmi les KPI's utilisés : SINR, RSRP, RSRQ et RSSI.
- **Optimisation de throughput** : c'est l'optimisation des taux de téléchargement dans le sens montant (UL) et dans le sens descendant (DL), parmi les KPI utilisés : throughput DL-UL, PRB usage, RI% et Mimo%.
- **Optimisation de signalisation** : c'est l'optimisation des processus d'authentification, sécurisation et établissement des services, parmi les KPI, nous trouvons : KPI Random Access, KPI Initial NAS msg, KPI NAS security, KPI S1 init setup et KPI RRC.
- **Optimisation des appels et les données** : c'est l'optimisation de la capacité du réseau à retenir les appels et le téléchargement des données par un utilisateur pour une durée souhaitée, parmi les KPI utilisés : RRC Conn SSR, E-RAB DROP, Radio bearer Drop Ratio et RRC connection Re-Etablissement.
- **Optimisation de la mobilité** : c'est l'optimisation du processus handover pour améliorer la qualité de service radio, parmi les KPI's utilisés : HO Success Ratio, Intra HO SR, Inter S1based HO et Inter X2 based HO.
- **Optimisation de la capacité du réseau** : c'est l'optimisation des formats des canaux logiques et physiques, pour augmenter le nombre d'utilisateurs, parmi les KPI's : PDCP Throughput, PRB Usage, PDCCH optimization, PUCCH optimisation et PUSCH optimisation.

III.2.3.1- Optimisation de Throughput (Débit):

Pour optimiser le throughput (débit), nous allons exploiter la technique MIMO qui s'appuie sur la présence de plusieurs antennes à l'émetteur et au récepteur. Elle va nous permettre la transmission de plusieurs flux de données indépendants sur les mêmes ressources temps-fréquence.

On distingue deux grandes techniques permises par la présence d'antennes multiples à l'émetteur.

Illustrées à la figure suivante, le mode de transmission diversité et le mode transmission multiplexage spatial.



Figure III.14 : Les Modes MIMO.

III.2.3.1.1- Les modes de transmissions MIMO :

a- La diversité de transmission (Div) :

Elle consiste à émettre la même information depuis plusieurs antennes, la diversité augmente la robustesse de la transmission.

b- Multiplexage spatial (MS):

Il consiste à transmettre plusieurs flux d'informations différents, appelés couches spatiales, sur les mêmes ressources temps-fréquence.

C- Les seuils de décision swiching Dynamique :

Pour que les antennes travaillent en mode Multiplexage spatial (MS) ou en mode Diversité (Div), nous sommes obligés de configurer les seuils (threshold's) de switch dynamique entre les modes (voir la figure suivante) qui sont en relation avec CQI et RI, constituent des indicateurs sur l'état du canal mesuré par l'UE en voie descendante.

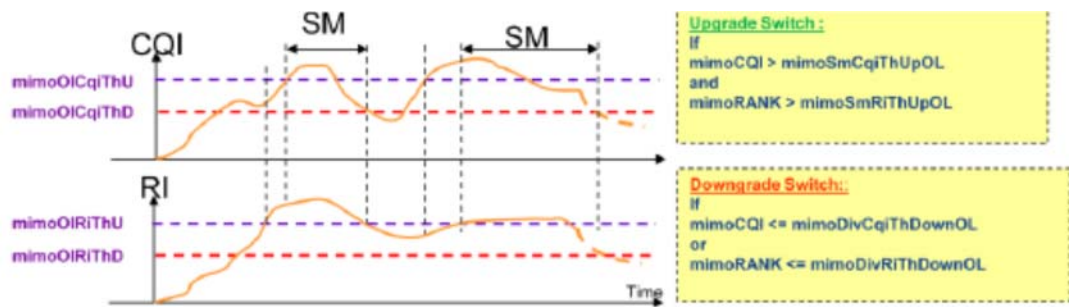


Figure III.15 : Les seuils de Switch dynamique.

III.2.3.1.2. Indicateur de rang RI :

L'indicateur RI (Rang du canal) est utilisé par le scheduler pour le nombre maximal des couches spatiales tolérés par l'UE dans le but d' allocation des ressources.

III.2.3.1.3. Canal Qualité Indicateur (CQI) :

Le CQI est un élément très important dans le réseau LTE, cet indicateur est principalement évalué sur le lien descendant dans une communication ainsi pour tester la qualité du canal de transmission, ainsi il est reçu par l'UE, alors que ce dernier le renvoi à l'eNodeB pour savoir s'il doit l'augmenter pour avoir en final une bonne communication.

III.2.3.2- Optimisation de l'accessibilité (nombre d'utilisateurs) :

L'accès au réseau augmente avec la vente des nouvelles puces, l'opérateur doit fournir à ces nouveaux utilisateurs les ressources radio nécessaires pour accéder au service. Il doit optimiser et augmenter les seuils de contrôle et d'admission ci-dessous :

- **Paramètre Maximum d'utilisateurs Actives (Maximum number of active UEs) :** il représente le nombre d'utilisateurs qui peuvent être connectés simultanément.
- **Paramètre Maximum d'RRC connectés :** il représenté le nombre de RRC (utilisateurs accédés au réseau). Et pour augmenter le nombre d'utilisateurs, il faut changer les paramètres ci-dessous :
 - **Paramètre PrachFreqoffset :** Il définit l'emplacement de PRACH dans le domaine fréquentiel. Le PRACH peut être placé sur le bord inférieur ou supérieur de la bande passante (Chapitre II).

- **Paramètre ACK/NACK** : Il est utilisé pour calculer de nombre des RBs pour l'Ack/Nack, Dynamique (voir de Chapitre II).
- **Paramètre Cqi Periodicity** : il représente le nombre des ressources Bloques dédiés pour la signalisation de CQI dans le format « 2 » du canal PUCCH. ce paramètre relié au nombre des utilisateurs.

$$\text{NBR USER} = n\text{CqiRb} * \text{Cyclic Shift} * \text{CqiPerNp} \quad \text{III.2}$$

III.3.Conclusion :

Dans la première partie de ce chapitre, nous avons donné un large aperçu sur la planification, les différents paramètres injectés dans Atoll en entrée et les différentes données à recevoir en sortie avec les étapes de planification.

Dans la deuxième partie de ce chapitre, nous avons présenté les KPI's, les techniques d'optimisation ainsi que les paramètres radio utilisés.

Nous consacrons le chapitre suivant pour les résultats de notre planification et optimisation, comme nous allons dimensionner notre réseau avec notre propre application.



RÉSULTATS ET INTERPRÉTATIONS

IV : Introduction :

Dans cette phase pratique, nous allons faire la prédiction pour les deux zones couvertes par les deux sites « Site01 et Site02 ». Et pour cela nous allons utiliser les deux outils Atoll et notre application. Nous avons vu dans le chapitre précédent que la planification prend comme initialisation le processus de dimensionnement qui est la configuration initiale du réseau qui est la base de la planification nominale, vous trouverez dans ce chapitre les résultats de dimensionnement avec notre application et les résultats de la planification avec l'optimisation.

IV.1- Planification et dimensionnement de réseau 4G-LTE :**IV.1.1 Dimensionnement de réseau 4G-LTE :****IV.1.1.1- Dimensionnement de clutter class :**

Avant de commencer le dimensionnement, on doit établir des statistiques sur la zone à couvrir à l'aide d'Atoll :

- Les statistiques nous ont permis d'étudier la zone à couvrir en la séparant en différents types de structure géographique « clutter class », tout en indiquant leur superficie.
- Répartir chaque type de zone « clutter class » à la morphologie qui lui correspond en utilisant le **tableau IV.1**.

Clutter classes	Morphology
OPEN	Rural
OPEN IN URBAN	Rural
AIRPORT	Suburb
SEA	Rural
INLAND WATER	Rural
FOREST	Suburb
PARK	Suburb
MEAN INDIVIDUAL	Urban
DENSE INDIVIDUAL	Dense Urban
MEAN COLLECTIVE	Urban
DENSE COLLECTIVE	Dense Urban
INDUSTRIAL	Suburb
VILLAGE	Suburb
SKYCRAPERS	Dense Urban
GROUP OF SKYCRAPERS	Dense Urban
CHOTT_SEBKRA	Rural
SCATTERED URBAN	Urban

Tableau IV.1 : Tableau illustratif des morphologies.

IV.1.1.2- Dimensionnement et configuration des sites :

Avant de calculer le nombre des sites, il faut configurer la station (la figure IV.1) avec notre application, nous allons utiliser les paramètres radio cités dans le tableau ci-dessous. Nous allons prendre une bande de 20 MHz et le multiplexage OFDMA SC-FDMA.

Paramètres	Configuration du réseau
La fréquence	Bande 3 (1800 MHZ)
La Bande	20 MHZ
La bande de fréquence DL	Fréquence centrale DL 1805-1825, Fc: 1815 EARFCN:1300
La bande de fréquence UL	La fréquence central UL 1710-1730, Fc:1720 EARFCN: 19300
Modulation Dowlink OFDMA	QPSK, 16QAM, 64QAM
Modulation Uplink Scheme SC-FDMA	QPSK, 16QAM
MIMO	MIMO/Tx diversity 2 x 2 MIMO
La catégorie de UE	Cat.4
Modèle de propagation	Cost231- Hata
Mode de duplexage	FDD

Tableau IV.2 : Tableau illustratif des paramètres radio.

La première étape c'est l'introduction des coordonnées GPS, le modèle de propagation, et les fréquences utilisées et le nombre des secteurs.

The screenshot shows a configuration window for a radio station. The fields are as follows:

- Nom du Site: site 01
- ID: 150001
- Coordonnées GPS: Altitude 35.36549, Latitude 4.8562
- Hauteur du Site(m): 27
- Modèle de Propagation: COST231
- ZONE: Urbaine
- Bande Passante: 20 MHz
- Fréquence DL: 1815 MHz
- Fréquence UP: 1720 MHz
- Nombre de Secteurs: 3

Figure IV.1 : configuration de la station.

IV.1.1.3- Dimensionnement et configuration des paramètres PUCCH :

La deuxième étape consiste à faire le dimensionnement, pour cela nous allons calculer les ressources radios dédiées pour le canal du control Physique PUCCH, avec le nombre de User RRC a 658 (10 pour le handover).

Figure IV.2 : calcul des paramètres radio de canal physique PUUCH.

A. Calcul des RB PUCCH dans le Formats 2, 2a, 2b:

Le principal objectif du mode DRX (Discontinus RX) est de réduire la consommation de l'UE en Ressources Bloques et énergie, par rapport à la réception Continue.

Si le DRX= True : Ce dernier n'est pas Activé, l'UE decode le PDCCH et effectue des mesures sur les cellules voisines en continue.

Si le DRX= False : Ce dernier est activé, nous avons deux périodes :

- une période d'éveil, pendant laquelle l'UE decode le PDCCH et effectue des mesures sur les cellules voisines.
- une période de repos, pendant laquelle l'UE n'a pas décodé le PDCCH ni à faire de mesures.

Nous allons prendre le mode DRX en état true pendant laquelle l'UE decode le PDCCH et effectue des mesures sur les cellules voisines en continue. Il est recommandé de prendre le nombre d'utilisateurs multiplexés dans une TTI (trame radio) à 6 User pour éviter les interférences.

DRX=True:

CQIPerNO	5	20	80
CyclicShiftsusedfor multiplexing	6	6	6
RessourceBlockRequirement	44	11	3

Tableau IV.3 : Résultats de Configuration de PUCCH formats 2,2a, 2b avec DRX True.

Nous remarquons que si la période d'envoi de CQI (CqiPerNp) augmente, le nombre des ressources bloques utilisés diminue, Ils ont une relation proportionnelle inverse.

➤ **DRX=False :**

En effet, si on active le DRX, la valeur des RB sera diminuée presque de 50%.

CqiPerNp	5	20	80
CyclicShiftsused for multiplexing	6	6	6
ResourceBlockRequirement	22	6	2

Tableau IV.4 : Résultats de Configuration de PUCCH formats 2,2a, 2b avec DRX False.

B-PUCCH Formats 1a, 1b:

Nous fixons la valeur de la période de réception PhichRes à 1/2 et nous allons prendre le nombre maximum des symboles PDCCH multiplexés dans une trame radio à 3, après on va changer les bandes de fréquence.

dlChBw	1.4	5	20
phichRes	1/2	1/2	1/2
maxNrSymPdcch	3	3	3
Number of PHICH Groups	1	2	5
Resource Blocks	6	25	100
Number of CCE	2	12	87

Tableau IV.5 : Configuration de PUCCH formats 1a, 1b.

Nous remarquons, que si la valeur de la bande **dlChBw** augmente, le nombre de ressource bloque augmente. Ce qu'explique l'augmentation de nombre d'utilisateurs multiplexés sur une trame radio, on appelle un groupe de PH/CH le nombre des codes orthogonaux utilisés pour ces utilisateurs.

La séparation des PHICH au sein d'un groupe s'effectua par des codes orthogonaux.

C-PUCCH Formats 1:

Nous avons fixé le **deltaPucchShift** à 3 et nous varions les valeurs des périodes d'envois des signaux de référence (**CellSRPeriod**).

cellSrPeriod (ms)	5	10	20	40	80
deltaPucchShift	3	3	3	3	3
RB Format 1	11	6	3	2	1

Tableau IV.6. PUCCH Formats 1.

Nous remarquons qu'à chaque fois qu'on augmente **cellSrPeriod**, le nombre de ressource bloque diminue.

Le tableau ci-dessous illustre les résultats de dimensionnement de canal physique PUCCH :

Cyclic shifts used for multiplexing =6	
Resource Block Requirement PUCCH Formats 2, 2a, 2b	6
Resource Block Requirement PUCCH Format 1	2
Number of PHICH Groups	3
Resource Blocks	100
Number of CCE	20
Resource Block Requirement PUCCH Formats 1a, 1b	2
PrachFreqOffset	5
nIPucchAn	36
nCqiRb	6
Total Resource Block Requirement	10
Cyclic shifts used for multiplexing =12	
Resource Block Requirement PUCCH Formats 2, 2a, 2b	3
Resource Block Requirement PUCCH Format 1	2
Number of PHICH Groups	3
Resource Blocks	100
Number of CCE	20
Resource Block Requirement PUCCH Formats 1a, 1b	2
PrachFreqOffset	5
nIPucchAn	36
nCqiRb	6
Total Resource Block Requirement	10
Cyclic shifts used for multiplexing =8; phichRes=1	
Resource Block Requirement PUCCH Formats 2, 2a, 2b	3
Resource Block Requirement PUCCH Format 1	1
Number of PHICH Groups	13
Resource Blocks	100
Number of CCE	84
Resource Block Requirement PUCCH Formats 1a, 1b	3
PrachFreqOffset	7
nIPucchAn	4
nCqiRb	36
Total Resource Block Requirement	3

Tableau IV.7 : Tableau illustratif des résultats de dimensionnement du PUCCH.

VI.1.1.4- Calcul de rayon de la cellule:

Pour le calcul de rayon de la cellule (cell range), nous allons prendre les valeurs proposées par l'opérateur Nokia dans le tableau ci-dessous :

Clutter Class	Dense Urban	Urban	Suburban	Rural
UI Cell range (Km)	0,43	0,72	1,33	4,43

Tableau IV.8 : Tableau illustratif des rayons proposés par Nokia.

VI.1.1.5- Calcul de la capacité de site:

Le calcul de nombre des sites se fait en se basant sur le rayon de la cellule et la surface de la région en affectant chaque rayon de la cellule à la morphologie de la zone. **La figure IV.3**, représente le calcul de nombre des sites nécessaires pour la région urbaine à couvrir. Pour un rayon=0.72 Km (Zone Urbaine), nous avons besoin de deux eNodeB's qui couvrent une surface de 5.76 Km² pour satisfaire 450 clients avec un débit par utilisateur (débit/utilisateur =1Mbit).

Calcul Surface de site :		Calcul de Debit :		Calcul de nombre de site :	
Celle Rang (Km)	0.72	Debit Charge UL (Mbit/s)	50	Debit Abonné (Mbit/s)	1
Surface Site (Km ²)	2.62	Debit Charge DL (Mbit/s)	150	Nombre de Site	2
		Debit Binaire Usager UL (Mbit)	0.25		
		Debit Binaire Usager DL (Mbit)	1		
		Debit site UL (Mbit/s)	50		
		Debit Site DL (Mbit/s)	450		

Buttons: Précédent, OK, Annuler

Figure IV.3 : calcul de nombre des sites.

IV.1.2- Planification de réseau 4G-LTE :

Les étapes suivantes démontrent la planification de la région urbaine à couvrir.

IV.1.2.1- Importation et configuration des sites :

Les figures IV.4 et IV.5 Ci-dessous nous montrent l'importation et l'activation des sites sur la zone.

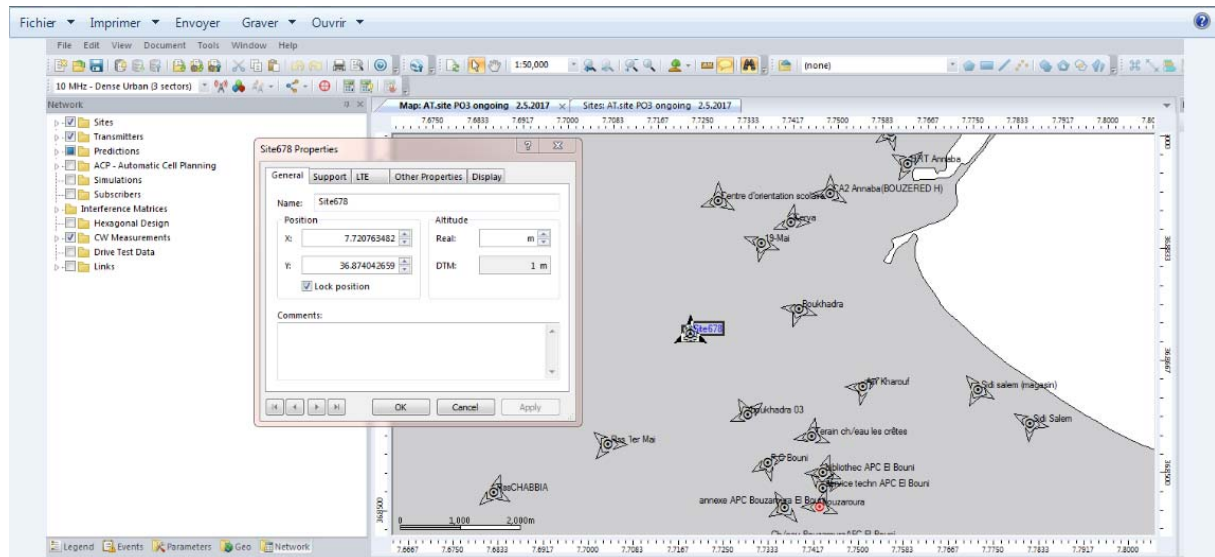


Figure IV.4 : Importation des sites.

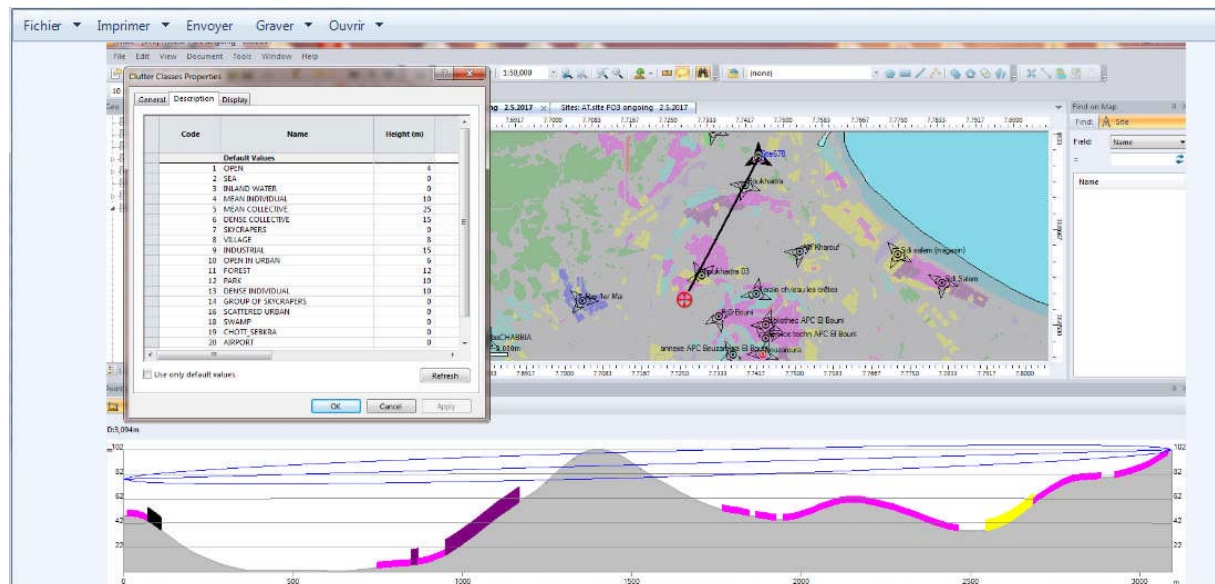


Figure IV.5 : Activation des sites.

IV.1.2.2- Prédiction de la couverture radio :

Après avoir placés les 04 sites dans nos deux régions, nous avons procédé à une prédiction avec l'outil Atoll .Le résultat de cette prédiction est donné à **la figure IV.6** Ci-dessous.

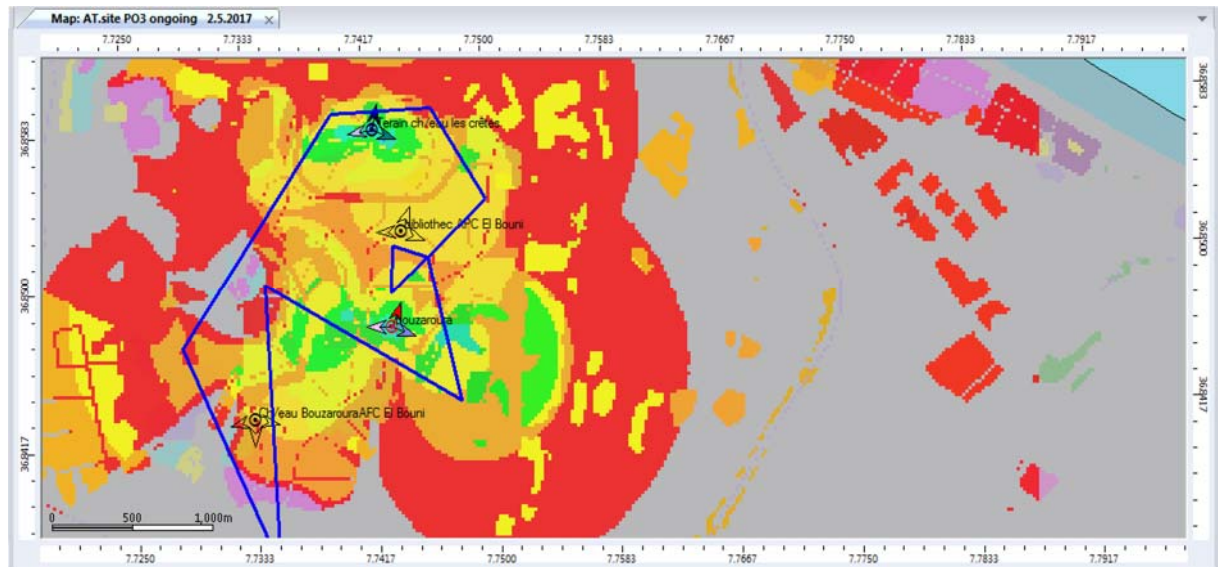


Figure IV.6 : Résultat de prédiction.

On remarque que le site ajouté ne satisfait pas la contrainte de la couverture, dans la partie inférieure de la zone à couvrir. Nous allons ajouter un deuxième site dans cette région.

La figure suivante représente la couverture après installation de deuxième site :

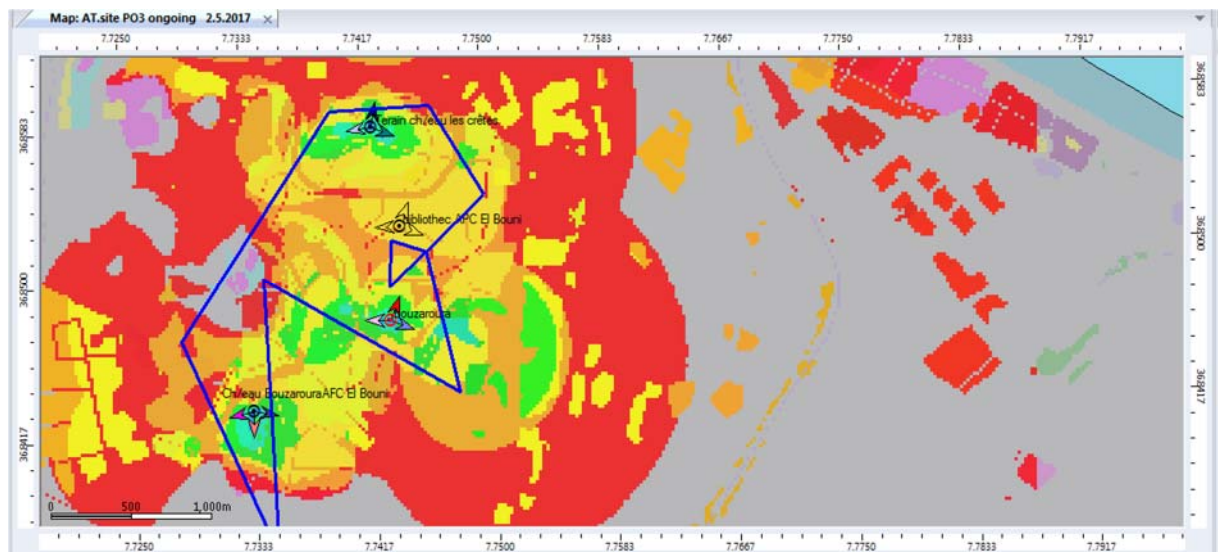


Figure IV.7 : Résultat de prédiction après l'ajout de 2eme site.

A partir du ce tableau suivant on distingue la ou il ya une bonne couverture, moyenne ou bien, une mauvaise couverture de la zone :

La zone	La valeur en Dbm	Qualité de couverture
Vert	-115 et -120	bonne
Rouge	-115 et -85	moyenne
Jaune	-85 et -75	mauvaise

Tableau IV.8 : La qualité de la couverture de la zone.

IV.1.2.3- Vérification de la planification :

- Nous avons obtenu une excellente couverture avec ces deux sites, les histogrammes de la figure ci-dessous décrivent la qualité radio (RSRQ), nous remarquons une bonne qualité de service.

Parmi les problèmes que nous avons réglés après prédiction de la couverture, les interférences entre les cellules et sur leurs bords. Les deux figures ci-dessous nous montrent ce phénomène avant et après l'installation des nouveaux sites.

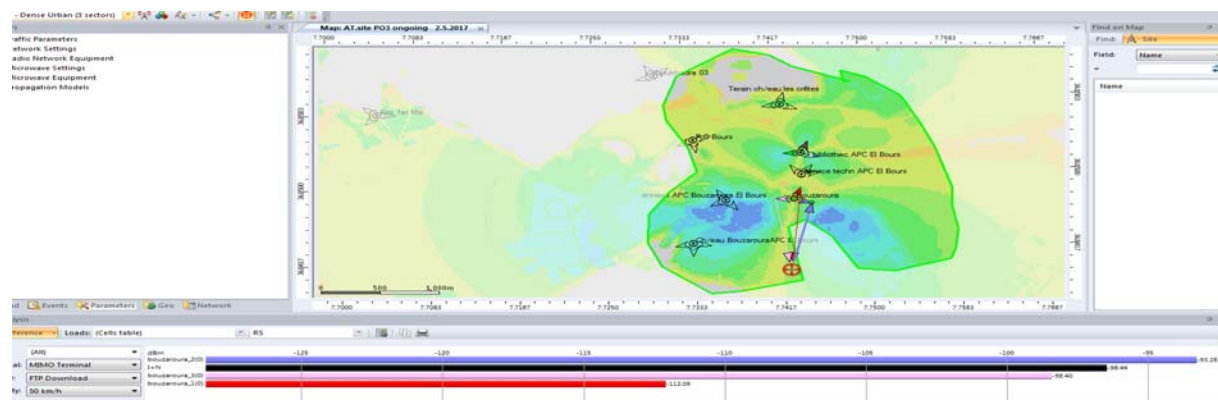


Figure IV.8 : Problème des interférences avant l'ajout de 2eme site.

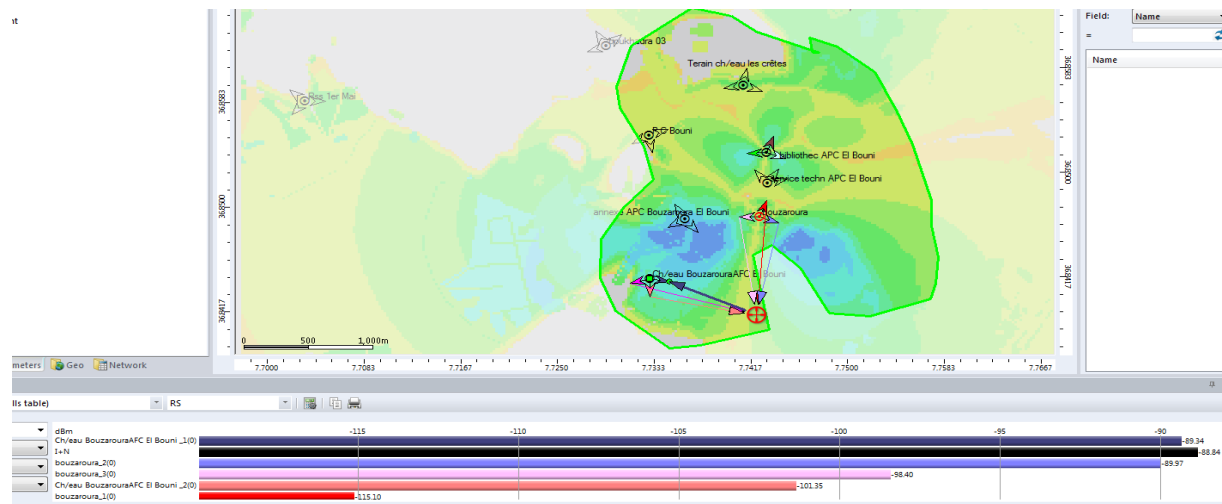


Figure IV.9 : Problème des interférences apes l'ajout de 2eme site.

Pour résoudre ce problème, nous avons diminué la puissance des sites pour diminuer les rayons de couverture des cellules.

IV.2- Optimisation :

Suite aux contrôles quotidiens de la qualité radio de réseau, nous avons remarqué que les abonnés de la région couverte par l'EnodeB(02) sont servis avec un débit très faible et les utilisateurs de la région couverte par l'EnodeB (01) n'accèdent pas facilement au réseau. Nous avons analysé les KPI radio de ces deux ENodeB's.

IV.2.1: Optimisation de Throughput (débit) a l'aide de la Technique MIMO :

Nom de paramètre	Avant Optimisation	Après Optimisation
MimoOICQIThrU	8	8
MimoOICQIThrD	7	7
MimoOIRIThrU	1,6	1,4
MimoOIRIThrD	1,4	1,2
ActFastmimoSwitch	False	True

Tableau IV.9 : changement des paramètres avec l'optimisation.

Nous avons changé trois valeurs MIMO OIRIThrU (de 1.6 a 1.4), MIMO OIRIThrD (de 1.4 a 1.2) et nous avons activé le paramètre du mode dynamique ActFastmimoSwitch, en fixant les deux valeurs (mimoOICQIThrU et mimoOICQIThrD).

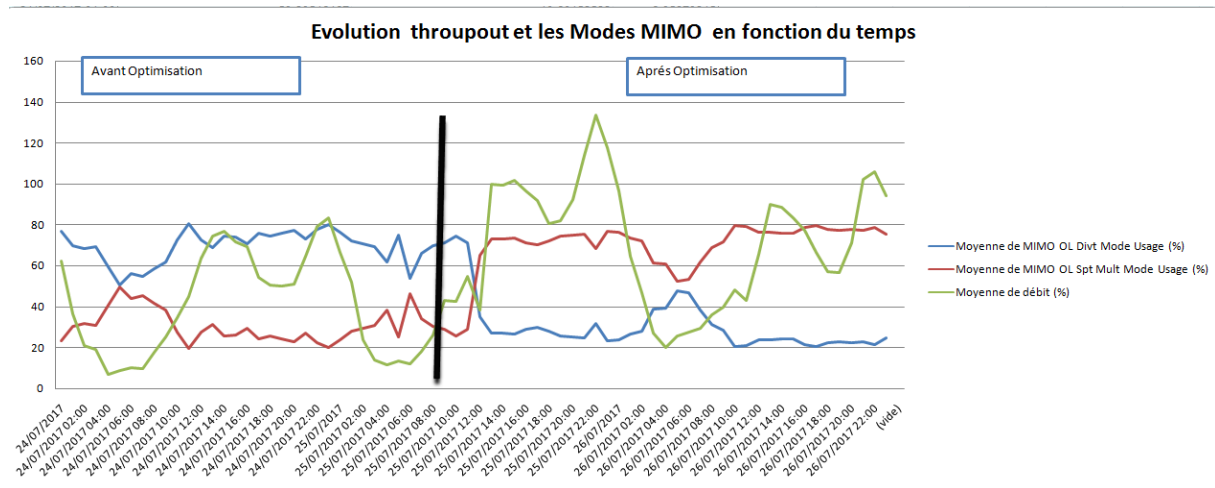


Figure IV.10 : Variation de Throughput en fonction des 2 modes diversité et spatial multiplixé.

Les courbes de la figure représentent la variation throughput en fonction des deux modes MIMO avant et après optimisation. Nous remarquons après optimisation une variation importante de Throughput de 24/07/2017 (00h) au 26/07/2017(22h), car l'antenne envoie deux messages différents ce qui explique l'augmentation de débit. Comme nous remarquons aussi que la valeur en (%) du mode SM a augmentée (une moyenne de 80%) et la valeur (%) du mode Div a diminuée (une moyenne de 20%).

IV.2.2- Optimisation de l'accessibilité au réseau :

Les deux courbes ci-dessous décrivent le taux d'accessibilité et le pourcentage des ressources blocs (RB) consommés par les utilisateurs pour un intervalle d'une heure du temps.

En analysant la courbe ci-dessous, nous remarquons que les valeurs de l'accessibilité ont diminué le 26/07/2017, nous avons un problème d'accessibilité (le taux d'accessibilité est inférieure à la valeur seuil qui est 97%). Par conséquent, nous pouvons voir les ressources bloques consommés à 100% pour cette eNodeB. Nous allons générer les KPI CQI pour voir la qualité de réseau.

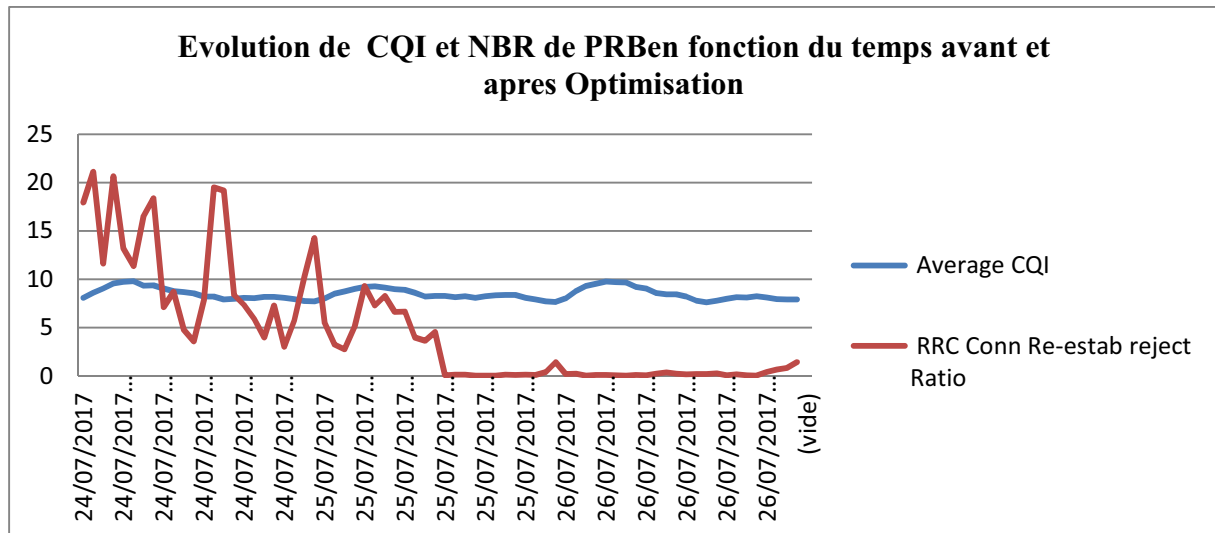


Figure IV.11 : Qualité signal Radio(CQI) et consommation des PRB de 24/07(00h) au 26/07 /17(00h).

Nous remarquons que nous avons une bonne qualité de signal CQI entre 8 et 10.

Par contre le nombre d'utilisateurs rejetés est supérieur à 20%, ce que veut dire que nous avons un problème d'accès.

Le tableau ci-dessous nous montre le nombre d'utilisateurs et les max User enregistrés par l'eNodeB entre 11H et 00H de la journée de 26/07/2017 détaillé par un intervalle d'une heure de temps. L'eNodeB est saturée à 100% comme nous montre le tableau ci-dessous (une moyenne de 350 utilisateurs dans l'eNodeB) sachant que nous avons paramétré les paramètres radio User comme suite (voir le tableau récapitulatif ci-dessous) 384 utilisateurs RRC par eNodeB et 250 User active par eNodeB. Pour remédier à ce problème, nous allons ajuster les paramètres liés au nombre d'utilisateurs.

Non de paramètre	Non technique	Valeur avant Optimisation	Valeur après Optimisation
Maximum number of active UEs	maxNumActUE	250	648
Maximum number of RRC connection	maxNumRrc	384	648
PRACH frequency offset	prachfreqoffset	4	4
Ack/NackOffset	N1pucchan	18	36
PUCCH bandwidthfor CQI	ncqirb	2	3

Tableau IV.10 : Nombre d'utilisateurs et les max User enregistrés par l'EnodeB.

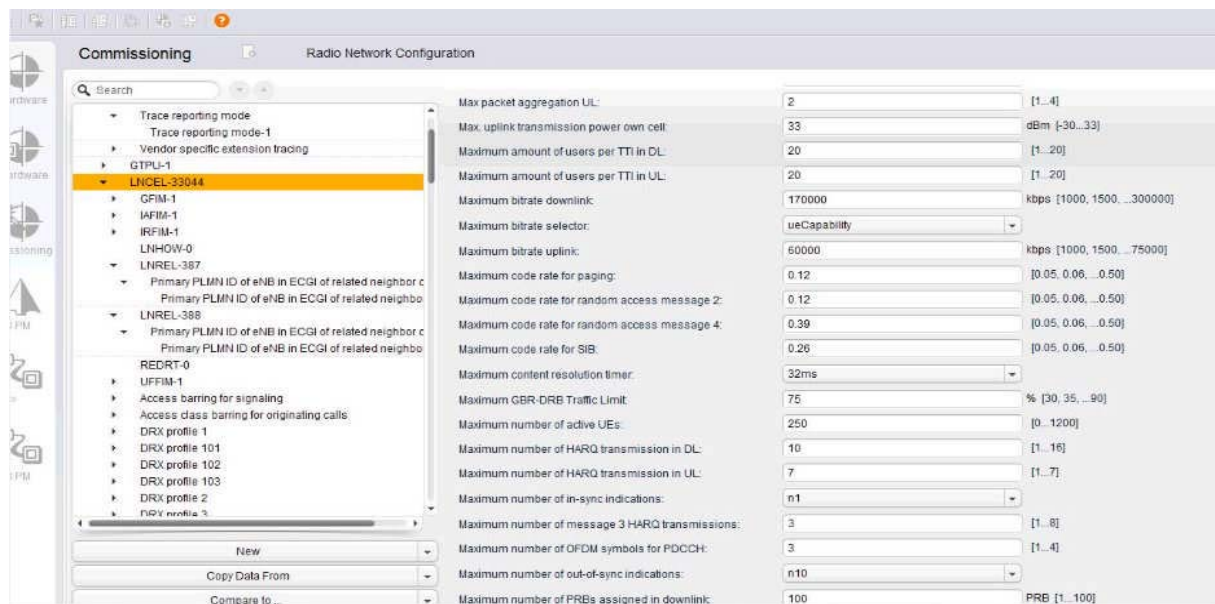


Figure IV.12 : changement des paramètres.

Dans la nouvelle configuration (la figure IV.12) de l'eNodeB, nous avons changé quatre paramètres différents (les définitions des paramètres au chapitre II) max user active (reçoit ou émet des données), max RRC (Nombre d'utilisateurs connecté à l'eNodeB). Comme nous avons augmenté la capacité de canal PUCCH, en fixons les valeurs de PRACH fréquence offset.

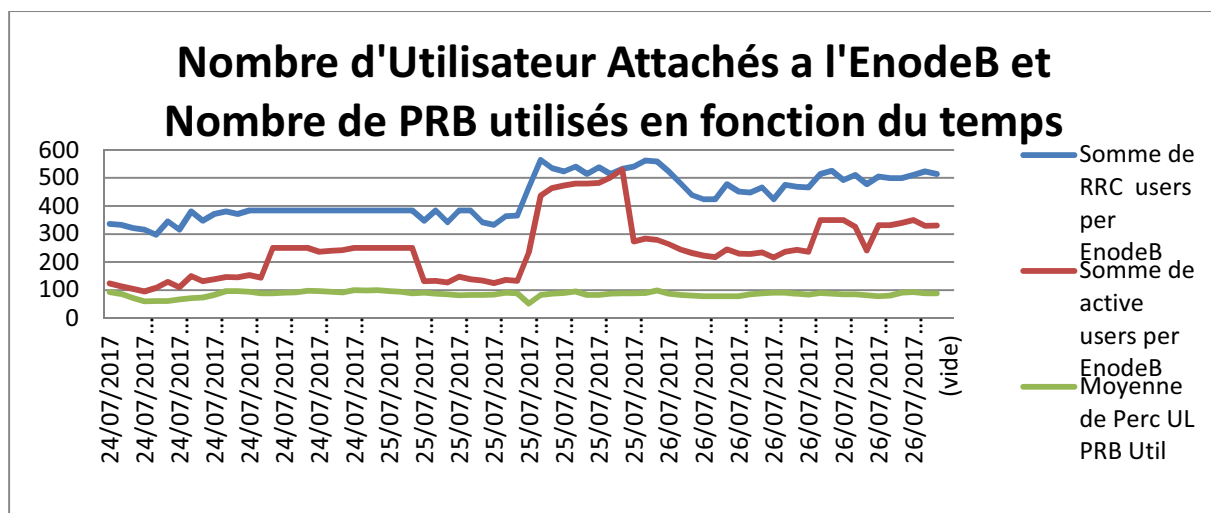


Figure IV.13 : Nombre d'utilisateurs RRC et le nombre d'utilisateurs actifs avant et après optimisation.

Les graphes ci-dessus illustrent la variation de nombre d'utilisateurs attachés à l'eNodeB, avant et après optimisation.

Avant l'optimisation, le nombre de RRC ne dépasse pas 384 utilisateurs, et le nombre de User ne dépasse pas 250, au dessus de ces valeurs, les utilisateurs seront rejetés, ce qui explique une valeur importante des rejets 20%.

Après optimisation, nous avons augmenté les paramètres d'accessibilité RRC de 384 vers un seul seuil de 648 et le nombre actif User est de 250 vers 648.

Les rejets après optimisation est au voisinage **de 0%**.

Nous avons amélioré l'accessible vers un autre réseau.

IV.3 .Conclusion :

Nous avons consacré ce dernier chapitre pour la simulation de notre application. En effet, nous avons étudié les paramètres radio. Nous avons également exposé les deux outils « OSS NetAct » et « Atoll » nous ont été très utiles, et nous ont permis d'étudier nos deux zones afin de planifier l'emplacement des deux sites finaux. Nous avons joué sur les positions des sites, leur tilt, leur azimuth et leur hauteur. Pour obtenir en fin une couverture excellente et optimisée tout en économisant le nombre de sites utilisés.



CONCLUSION GÉNÉRALE

Conclusion générale

Notre projet a été très bénéfique tant sur le plan personnel que sur le plan professionnel. Nous avons saisi cette opportunité pour acquérir de nouvelles connaissances théoriques et pratiques sur le réseau 4G-LTE et paramétrage des canaux physiques.

Le déploiement des nouveaux réseaux cellulaires requiert toujours la transmission de données à haut débit, et par suite nécessite une grande efficacité spectrale. Plusieurs solutions ont été présentées ayant chacune une efficacité spectrale. Généralement, ces solutions sont basées sur l'OFDM avec la technique d'accès multiple et la solution de combinaison de technique d'étalement et de porteuses multiples qui présentent aussi des avantages. Pour ce faire, nous avons d'abord étudié l'architecture et les paramètres radio d'un réseau 4G-LTE ainsi que les modèles de propagation. Nous nous sommes intéressés particulièrement aux paramètres des canaux physiques et KPI.

L'objectif principal de notre projet de fin d'études, était d'assurer une couverture optimale des deux régions site01 et site02 en solution LTE, en prenant comme initialisation le processus de dimensionnement qui est la configuration initiale du réseau, planification et prédiction de la simulation, qui consiste à trouver les meilleurs emplacements pour les eNodeB pour construire une couverture continue en fonction des besoins de planification. Ensuite l'optimisation de throughput (Debit) et nombre d'utilisateurs. Pour accomplir cette tâche, Nous avons approfondis nos connaissances théoriques et pratiques sur les indicateurs nécessaires à la planification. En effet, cela nous a permis d'acquérir énormément de connaissances et d'informations sur la technologie et la planification LTE, mais aussi sur les règles de planification et optimisation. Enfin, nous avons développé une application pour le calcul des paramètres radio.

Notre présent projet est un point de départ qui doit être suivi d'une bonne continuation tant sur le plan théorique que pratique. Ceci, en considérant d'autres types de canaux et un calcul optimal d'autres paramètres.

Plus l'opérateur s'investie dans la planification et l'optimisation de son réseau, plus il assure une bonne qualité de service à ses abonnés et un réseau performant.

L'outil OSS NetAct 8.0

Après avoir effectué la planification et l'installation de notre réseau, nous sommes appelés à superviser le réseau avec OSS (dans notre cas c'est l'OSS NetAct).

La supervision c'est d'améliorer les performances du réseau, cette opération doit être permanente car le canal radio est sujet tout le temps des changements.

L'image ci-dessous représente l'OSS NetAct, qui est un ensemble de composants logiciels utilisés pour collecter les données et les alarmes envoyées par les équipements radio et corps. En fonction de ces résultats et ces rapports, nous allons procéder à la correction des erreurs.



OSS NetAct

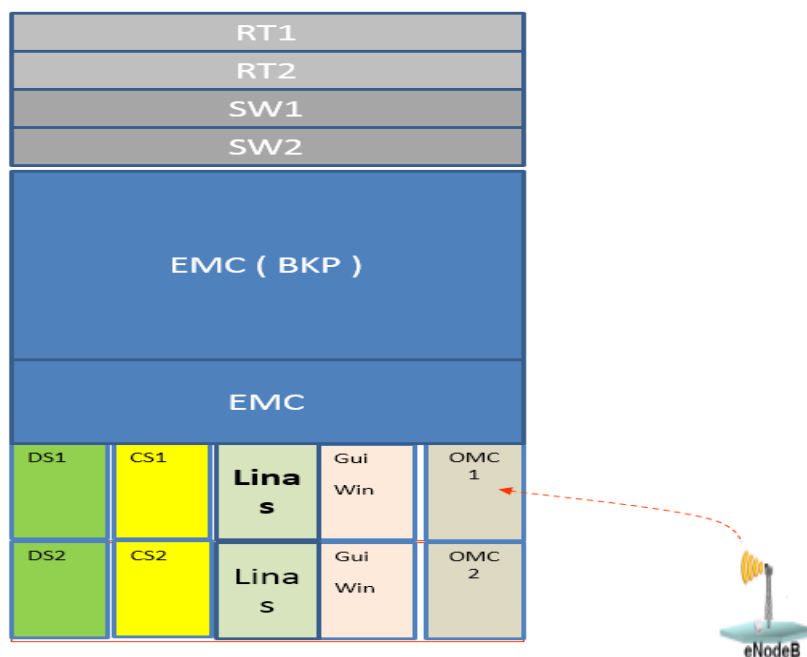
A.1- : Présentation de NetAct 8.0 :

Le NetAct est un outil de supervision avec une armoire à huit racks (dans l'image ci-dessus, nous avons 16 équipements pour assurer la redondance), il contient cinq (05) serveurs, un routeur, un switch, et des disques durs pour le stockage des données. Le NetAct comporte 03 applications (Citrix, Web, Java) gérées par les serveurs ci-dessous :

- **Serveur .O.M.S (Operation Maintenance system) :** c'est le serveur qui reçoit les données Pm (P Management), FM (Faulty Management) et Alarmes envoyées par l'EnodeB. Son système d'exploitation c'est linux.
- **Serveur CS (Connectivity Serveur):** c'est le serveur qui gère les connectivités entre l'EnodeB et l'OMS.

Annexe A

- **Serveur Ds (Data base Serveur):** après que le Cs a envoyé les données a la base de donnée, ces dernières sont gérées par le serveur DS, qui a un système d'exploitation linux.
- **Serveur Linas:** Linux gère les applications Web (reporting suite, top level User), comme il gère aussi tous ce que est application java comme (Cm editor, Cm opération manager...Etc.)
- **Serveur Guis:** c'est un serveur à base Windows 2008 server, il gère les applications Citrix



A.2- : Fonctionnalités de l'OSS NetAct 8.0 :

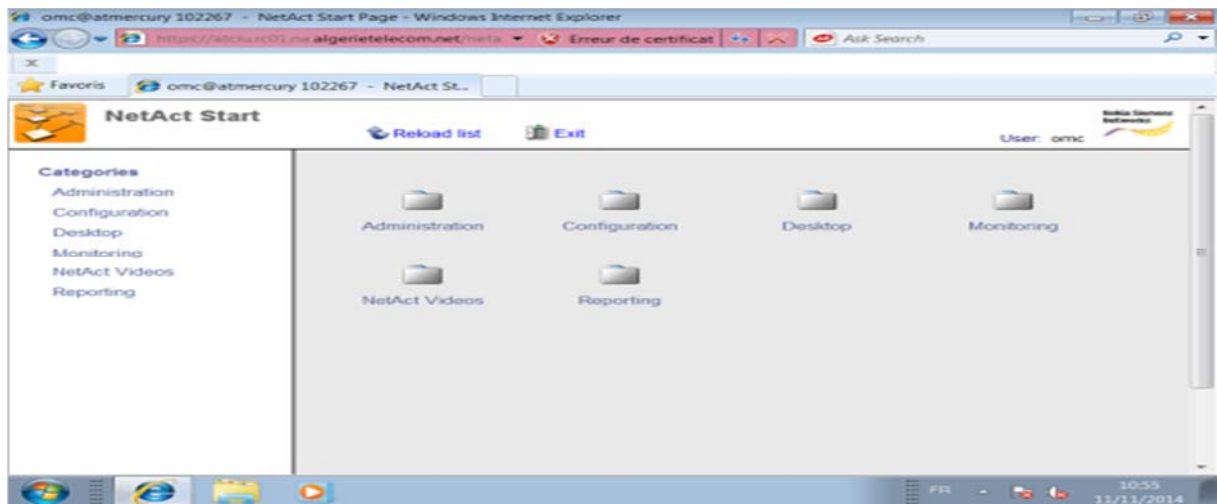
L'OSS NetAct (Operational Support System), qu'est un outil de supervision et d'optimisation , il reçoit les données envoyés par EnodeB. L'OSS supporte les différentes technologies telles que le GSM, le GPRS, l'EDGE, l'UMTS et 4G LTE.

L'outil possède plusieurs fonctionnalités et modules permettant d'exécuter les tâches suivantes :

- Créer et configurer un réseau.
- Ajouter et modifier des sites.

Annexe A

- Configurer un plan Radio.
- Générer les KPI à l'aide des conteurs envoyés par l'EnodeB.
- Générer les rapports à l'aide des KPI pour l'optimisation.
- Visualiser les PM (performance management), FM (Fault management) et les Alarmes.



A. 3- : Génération d'un rapport :

Pour générer des rapports avec l'OSS, il faut suivre les étapes suivantes :

1. Connectez-vous à NetAct Start Page avec l'identifiant et mot de passe.
2. Ouvrez le Gestionnaire des performances (Home ◇ Reporting).

La fenêtre de la figure ci-dessous nous permet de choisir les nœuds de réseau (EnodeB, cellule...Ect.) Comme suit :

Dans le menu «Outils de rapport», sélectionnez «Créateur de rapports».

3. Dans la zone "Technologie", sélectionnez une technologie.
4. Sélectionnez une hiérarchie et un niveau de rapport
5. Sélectionnez les objets (EnodeB, cellule...Etc.), pour faciliter la recherche, entrez au moins deux caractères à rechercher.
6. Sélectionnez un ou plusieurs objets dans la liste et cliquez sur le bouton « Edit time » (Modifier la sélection de temps).

Performance Manager
Navigate
Reporting Tools
Administration
Help

Report Creator Wizard

Object Selection

Technology

One-NSN - The NSN Network Directory Server
PCSC-NSN Point Core Concentrator Cluster
PC3500-NSN Policy Control Server 5000
PMK-Insta Public Key Infrastructure Agent
GSA-NSN Q1 Agent
RSCS-NSN Radio Applications Cloud Server Core
RACS-NSN Radio Applications Cloud Server
RACS-T - NSN Radio Applications Cloud Server Tokenizer
RAC300-NSN Radio Applications Cloud Server Content Optimization Delivery
RAC30W-NSN Radio Applications Cloud Server Switch/MP500S
RNC-NSN Radio Network Controller
SAAM-SeaMars Server Advanced Activation Manager
SDMN-NSN Serve iPhone Device Manager
SAU-NSN Simultaneous Active Users Counter for MS and TAS
BNC-NCN_PACKET Session Border Controller
SDN-NSN Subscriber Data Management Applications
SGSN-NSN Serving GPRS Support Node
TAS-NSN Telecom Application Server
TDX-TELLATA B008 Intelligent Network Manager
TMS-NSN TSP Installation Administration and Management Server

Radio

Hierarchy

PLMN

PLMN/MBITS
PLMN/MBITS/MBITS
PLMN/MBITS/MBITS/FTM
PLMN/MBITS/MBITS/FTM/ETH/LK
PLMN/MBITS/MBITS/FTM/MPRO
PLMN/MBITS/MBITS/FTM/MPRO/RF
PLMN/MBITS/MBITS/FTM/MPRO/RF/PPM
PLMN/MBITS/MBITS/FTM/MPRO/RF/PPM/RF
PLMN/MBITS/MBITS/FTM/MPRO/RF/PPM/RF/PPM

Report Level

PLMN

MBITS

LNBITS

Objects

MBITS

self_Ain_Oulman_619010
self_Ain_Oulman_extension_619040
self_AntiMalware_619130
self_Armoucha_619106
self_Baidaibord_619167
self_Bini_kat_619134
self_Benadkauf_619070
self_Bir_haddada_619004
self_Bri_Outillane_619008
self_Boutaleb_619052
self_CA_Ain_Rak_619013
self_CA_S1_Eulma_619007
self_CA_818001
self_CIT_619005
self_Douma_6190044
self_Hamma_619157
self_Hammam_Soukhna_619117
self_Kar_El_Abrak_APC_619184
self_Ismara_619116

Time Selection

Execution

Configuration

Reporting Suite

Report Creator

© 2014 Polaris Solutions and its affiliates. All rights reserved.

Indicateurs clés de performance KPIs

La qualité de service du réseau LTE est évaluée de façon objective à travers l'analyse des compteurs et des indicateurs. Les compteurs sont récoltés à travers des processus de mesures réalisées sur des intervalles de temps et liées aux événements survenus sur les équipements du réseau (eNodeB, MME). Ils font l'objet d'un traitement permettant d'en extraire des indicateurs de qualité de service exploitables. Nous allons présenter ci-dessous, les KPIs de l'interface Radio les plus utilisés.

B.1- Les KPIs d'accessibilité :

Les KPIs d'accessibilités sont utilisés pour mesurer la probabilité que les services demandés par un utilisateur peuvent être consultés dans les tolérances spécifiées suivant des conditions de fonctionnement de LTE. Radio Resource Control (RRC) et E-UTRAN Radio Access Bearer (ERAB) sont les deux principales KPI d'accessibilité.

Nous pouvons diviser un appel en deux parties: la partie signalisation (ou contrôle) et la partie données (ou informations). Et nous pouvons classer le RRC comme responsable d'accessibilité de la phase de contrôle et l'ERAB comme responsable d'accessibilité de la partie DATA.

- **RRC Connection Establishment Success Rate:**

RRC (Connection Establishment Success Rate) est le taux de réussite d'établissement d'une connexion RRC, Ce KPI décrit le rapport de tous les établissements de succès RRC par rapport aux tentatives d'établissement RRC dans l'E-UTRAN. Il est utilisé pour évaluer l'E-UTRAN. Autrement dit, il est pour évaluer la capacité d'admission de la cellule pour le téléchargement (downloading) de l'UE.

La formule de RRC Connexion Establishment Success Rate est donnée par:

$$RrcEstabSR = \frac{\sum RRC.SuccConnEstab}{\sum RRC.AttConnEstab} \times 100\%$$

- **ERAB Setup Success Rate :**

L'ERAB se compose de la radio bearer (liaison logique entre eNodeB et UE) et de la S1 bearer (liaison logique entre eNodeB et le MME). Les compteurs liés à ce KPI sont mesurés lorsque l'eNodeB reçoit un message de demande de configuration ERAB du MME (Fig.III.3). Le taux de réussite de l'établissement ERAB est décrit comme étant le rapport de tous les établissements réussis d'ERAB sur le nombre de tentatives de ce dernier, il est utilisé pour évaluer l'accessibilité des services dans l'E-UTRAN.

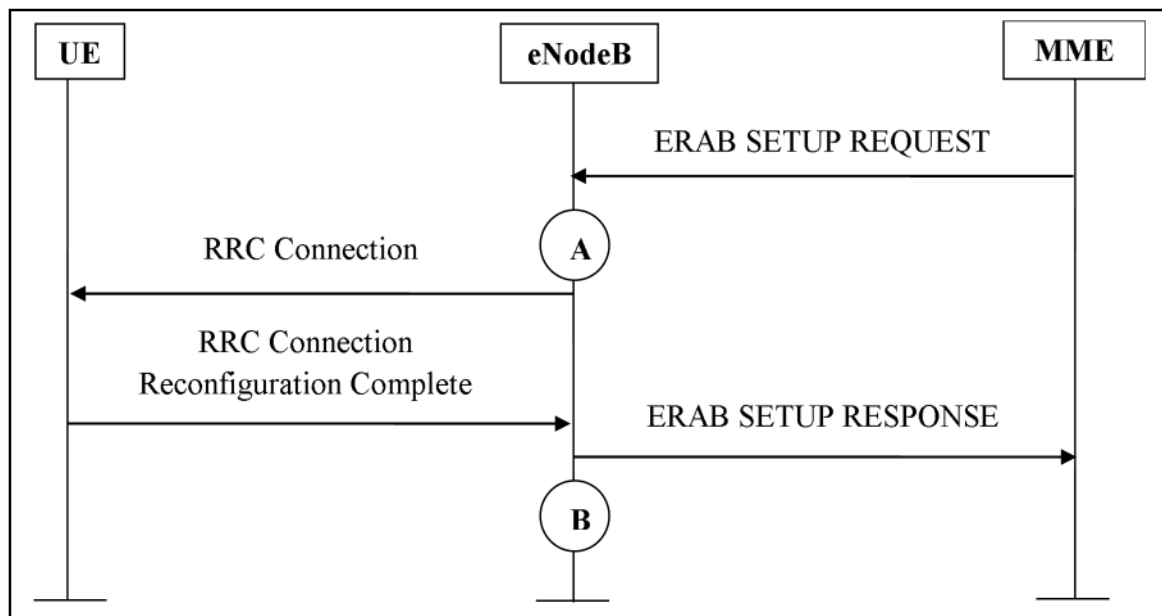


Figure III.3: Les points de mesure pour la configuration ERAB.

La formule d'ERAB Setup Success Rate est donnée par:

$$ERABSR = \frac{ERABSetupSuccess}{ERABSetupAttempt} \times 100\%$$

Ce KPI peut être utilisé pour évaluer le taux de réussite de configuration ERAB de tous les services, y compris les services de VoIP (Voice over IP) et les données. ERAB se produit après la connexion de RRC.

B.2- Les KPIs de continuité (Retainability) :

Les KPIs de continuité sont utilisées pour évaluer la capacité du réseau et de retenir les services demandés par un utilisateur une fois que l'utilisateur est connecté aux services. Ces KPI sont importants pour évaluer si le système peut maintenir la qualité de service (QoS) à un certain niveau, parmi ces KPIs on trouve :

- **Call Drop Rate :**

Le taux de call drop est l'un des KPI utilisées par les opérateurs de réseau pour évaluer la performance de leurs réseaux. Il est fait pour reporter la satisfaction du client avec le service fourni par le réseau et son opérateur. Ce KPI peut être utilisé pour évaluer le taux de coupure d'appel, il mesure l'anomalie de la version (release) au niveau de l'eNodeB. Notez qu'il existe deux procédures différentes indiquant la version ERAB: elles sont indiquées par l'indication de la version ERAB (Release Indication) et la commande de la version contextuelle de l'UE (UE Context Release Command) comme indiqué dans la figure III.4.

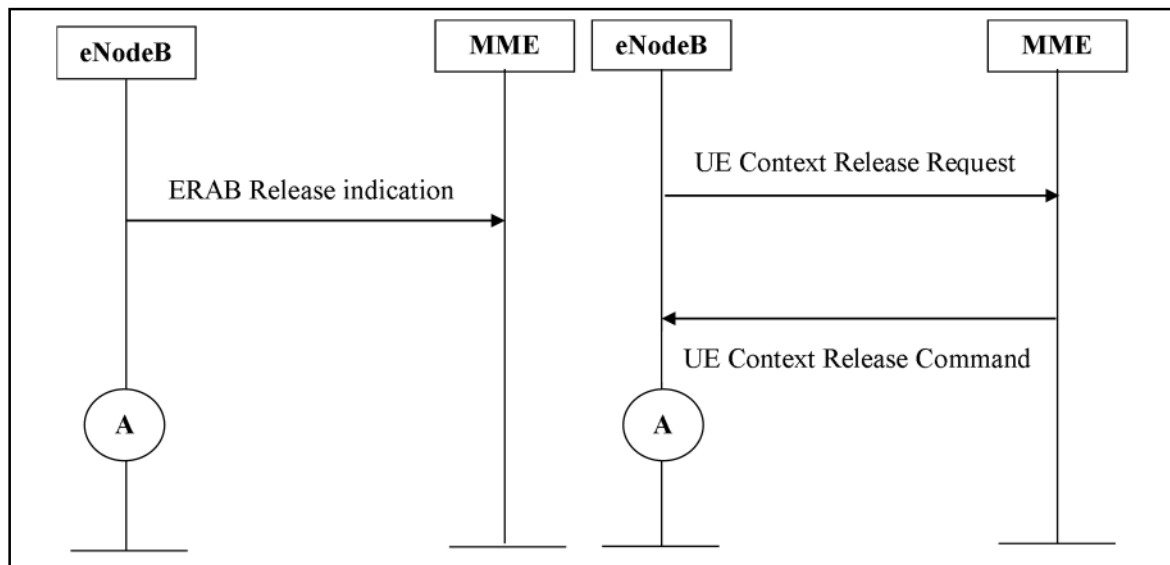


Figure III.4:les procédures de détection des anomalies de la version ERAB.

Comme le montre la figure III.4, le compteur de libération de l'anomalie de la version ERAB est incrémenté lorsque l'eNodeB envoie une indication de la version ERAB au MME ou reçoit un message de commande de version contextuelle de l'UE du MME, et les causes de libération ne sont pas une libération normale.

La formule de call drop Rate est donnée par:

$$CDR = \frac{ERABAbnormalRelease}{ERABRelease} \times 100\%$$

Les opérateurs de réseaux de télécommunications visent à réduire le call drop. Dans les réseaux mobiles ceci est réalisé par l'amélioration de la couverture radio, l'augmentation de la capacité du réseau et l'optimisation des performances de ses éléments.

B.3- Les KPIs de mobilité :

Ces types de KPIs sont utilisés pour évaluer la performance de la mobilité E-UTRAN qui représente un point critique pour l'opérateur. Plusieurs catégories de KPI de mobilité sont définies sur la base des types de handover (HO) suivants: intra-fréquence, inter-fréquence, et inter-Radio Access Technology (RAT). Parmi ces KPIs, on trouve :

- **Intra-Frequency Handover Out Success Rate:**

Ce KPI peut être utilisé pour évaluer le taux de réussite de la transmission intra-fréquence dans une cellule ou un cluster. Le transfert intra-fréquence comprend les scénarios intra-eNodeB et inter-eNodeB. Le scénario HO Intra-eNodeB est représenté à la figure III.5. Le compteur de tentative HO est collecté au point B, Lorsque l'eNodeB envoie un RRC Connexion Reconfiguration message à l'UE, Il décide d'effectuer un HO. L'eNodeB compte le nombre de tentatives d'exécution de HO intra-fréquence intra-eNodeB dans la cellule source. Les compteurs HO réussite sont collectés au point C. L'eNodeB compte le nombre de HO réussies dans la cellule source lorsque l'eNodeB reçoit le message RRC Connexion Reconfiguration Complete de l'UE.

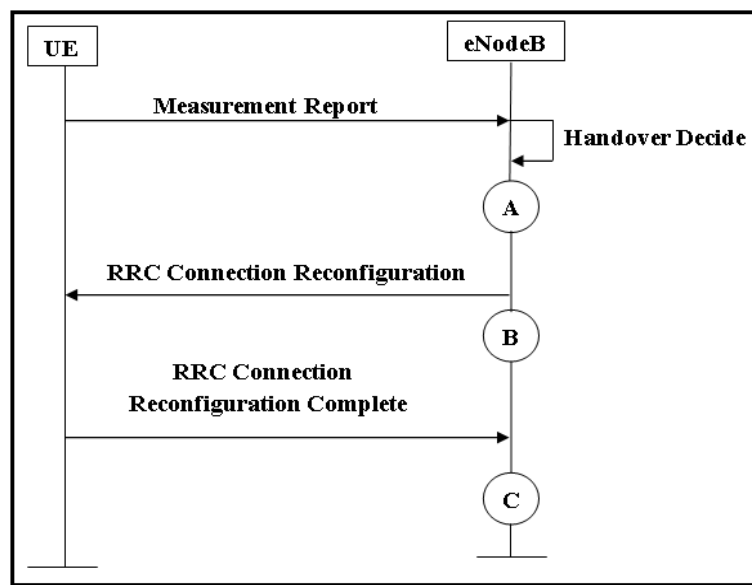


Figure III.5:Le scénario HO pour intra-fréquence intra-eNodeB.

Deux scénarios sont disponibles pour le HO inter-eNodeB, comme montrent la figure III.6 et la figure III.7. Les tentatives de HO sont collectées au point B. Lorsque la Source-eNodeB envoie un message RRC Connexion Reconfiguration à l'UE, il décide d'effectuer le HO inter-

Annexe B

eNodeB. Dans ce KPI, Les cellules sources de HO sont à la même fréquence. Le nombre de tentatives de fréquence intra-fréquence inter-eNodeB est mesuré à la cellule source. Le nombre de HOs réussies est collecté au point C. Les fréquences inter-eNodeB réussies est mesuré dans la cellule source lorsque le Source-eNodeB reçoit un UE Context Release message de la cible-eNodeB Ou un UE Context Release Command message à partir du MME, indiquant que l'accès de l'UE au cible-eNodeB est réussi.

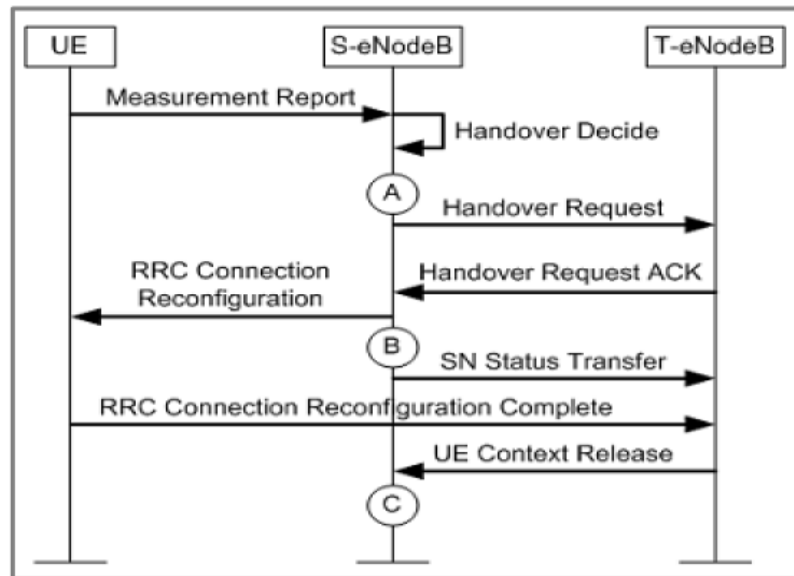


Figure III.6:Le scénario A de HO pour intra-fréquence inter-eNodeB

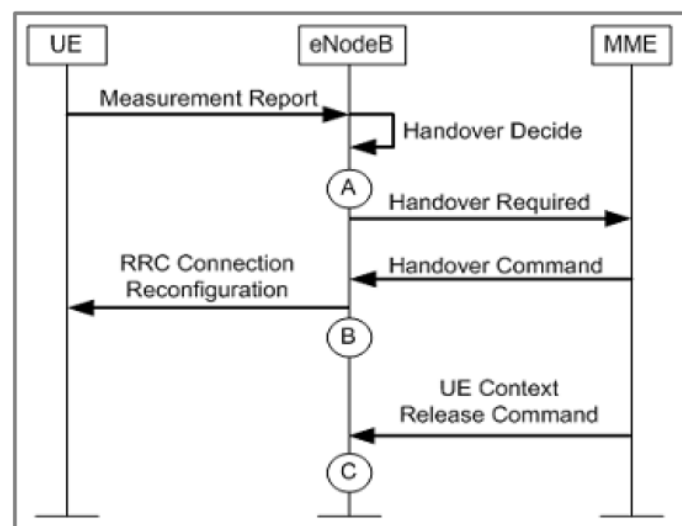


Figure III.7:Le scénario B de HO pour intra-fréquence intra-eNodeB

La formule :

$$IntraFreqH0OutSR = \frac{IntraFreqH0Out_{SRSuccess}}{IntraFreqH0Out_{SRAttempt}} \times 100\% \quad (III.6)$$

B.4- Les KPIs d'usage :

Les KPIs d'usage sont utilisés pour évaluer le débit (throughput) et le volume dans les liaisons montantes (UL) et descendantes (DL) dans les couches PDCP/RLC, et aussi pour mesurer la valeur des utilisateurs connectés. Tous ces KPIs peuvent être mesuré par une cellule ou bien par un eNodeB. Parmi ces KPIs on trouve :

- *Average DL Throughput of PDCP Layer in Active Cell*: Ce KPI indique la valeur moyenne du débit par cellule en voie descendante pour la couche PDCP.
- *Average UL Throughput of PDCP Layer in Active Cell*: Ce KPI indique la valeur moyenne du débit par cellule en voie montante pour la couche PDCP.
- *Average Active ConnectedUEs in eNB*: Ce KPI indique la valeur moyenne des utilisateurs connectés (ayant acquis un bearer de signalisation et un bearer data) pour une eNodeB durant la période de mesure.

Bibliographie

- [1] MERAH Hocine, “Conception d’un MODEM de la quatrième génération (4G) des réseaux de mobiles à base de la technologie MC-CDMA.”, Thèse de Magister, Université de Setif, Septembre 2012.
- [2] Yekhllef Mohammed, “Etude des méthodes d’accès dans les réseaux mobiles”, Thèse de Magister, Université de Batna. Année 2008
- [3] [http://en.wikipedia.org/wiki/LTE_\(telecommunication\)](http://en.wikipedia.org/wiki/LTE_(telecommunication)) Introduction to LTE.
- [4] DidaceetIskill KETA-WAPOUTOU et MOUSSE, “3GPP LTE interface radio long term evolution: single carrier FDMA“, Telecom paris. Année 2007.
- [5] http://fr.wikipedia.org/wiki/3rd_Generation_Partnership_Project Introduction of 3GPP.
- [6] <http://www.3gpp.org/about-3gpp> About 3GPP.
- [7] <http://www.unwiredinsight.com/2012/3gpp-lte-releases> 3GPP Releases for LTE.
- [8] http://www.efort.com/r_tutoriels/LTE_SAE_EFORT.pdf Caractéristiques de la technologie LTE.
- [9] http://www.tutorialspoint.com/lte/lte_overview.htm Caractéristiques de la technologie LTE.
- [10] Yannick Bouguen,ÉricHardouin,François-Xavier Wolff, ‘‘LTE et les réseaux4G.’’ Edition EYROLLES. 2012
- [11] <http://4g-lte-world.blogspot.com/2013/01/quality-of-service-qos-in-lte.html> Quality of service (Qos) in LTE.
- [12] <http://fr.wikipedia.org/wiki/EUTRAN> EUTRAN Introduction.
- [13] <http://fr.scribd.com/doc/230418772/LTE> LTE Document.
- [14] http://fr.wikipedia.org/wiki/Faisceau_hertzien Définition d’un faisceau hertzien.
- [15] <http://lteworld.org/wiki/long-term-evolution-lte> LTE interfaces.
- [16] http://fr.wikipedia.org/wiki/Orthogonal_frequency-division_multiplexing Principe de l’OFDM.
- [17] <http://fr.slideshare.net/Maxita1989/50868690-rapportlte> Rapport LTE INPT.
- [18] <http://www-public.it-sudparis.eu/~afifi/Rapport%20projet%20MIMO.pdf> Rapport de projet de fin d’études. HECHMI Sabrine et ICHAWIA Mouna.
- [19] Erik Dahlman, Stefan Parkvall, and Johan Sköld, “4G LTE/LTE-Advanced for Mobile Broadband”.Edition ELSEVIER. First published 2011 P27.28.29.

Bibliographie

- [20]Eya JAMMAZI, ‘Mémoire de Projet de Fin d’Etudes Optimisation d’un réseau pilote 4G pour Tunisie Télécom.’ , Université de Gabès.Tunisie. Juin 2013.
- [21]<http://fr.wikipedia.org/wiki/SC-FDMA>Principe de SC-FDMA.
- [22]http://fr.wikipedia.org/wiki/Facteur_de_cr%C3%AAte Facteur de crête.
- [23] <http://lte-bullets.com/LTE%20in%20Bullets%20-%20Cyclic%20Prefix.pdf>Cyclic prefix
- [24]http://fr.wikipedia.org/wiki/Adaptative_Modulation_and_CodingModulation et codage adaptatif.
- [25]<http://www.radio-electronics.com/info/rf-technology-design/pm-phase-odulation/8qam-16qam-32qam-64qam-128qam-256qam.php>Modulations QPSK,QAM bit/symbols.
- [26] [http://fr.wikipedia.org/wiki/MIMO_\(t%C3%A9l%C3%A9communications\)](http://fr.wikipedia.org/wiki/MIMO_(t%C3%A9l%C3%A9communications))MIMO Multiple-Input Multiple-Output.
- [27] http://en.wikipedia.org/wiki/Signal-to-noise_ratio SNR.
- [28] <http://lteinwireless.blogspot.com/2012/03/harq-in-lte.html>HARQ/ARQ.
- [39]<http://www.radio-electronics.com/info/cellulartelecomms/lte-long-term-evolution/physical-logical-transport-channels.php>. LTE Physical, Logical and Transport Channels.
- [30][http://fr.wikipedia.org/wiki/LTE_\(r%C3%A9seaux_mobiles\)](http://fr.wikipedia.org/wiki/LTE_(r%C3%A9seaux_mobiles)). Fréquences utilisées par la technologie LTE.
- [31] <http://www.atdi.fr/planification-reseau/> . planification radio.
- [32] http://en.wikipedia.org/wiki/RF_Planning. Radio fréquence planning.
- [33]Sami TABBANE, “Long Term Evolution: Radio Network Planning.” ITU Islands. November 2013.
- [34]http://en.wikipedia.org/wiki/COST_Hata_model.Model de propagation Cost-Hata .