

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne démocratique et populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

جامعة سعد حنبل بالبلدية
Université SAAD DAHLAB de BLIDA

كلية التكنولوجيا
Faculté de Technologie

قسم الإلكترونيك
Département d'Électronique



Mémoire de Master

En Télécommunication
Spécialité : Réseaux & Télécommunications

Présenté par

Boudehana Samah

Choumane Fatma Zohra

Dimensionnement et planifications de L'E-UTRAN D'un réseau LTE

Proposé par

Mohamed Hakim Hakimi

Dr Hocine Ait Saadi

Année Universitaire 2021-2022

Remerciements

Nous tenons, avant tout, à remercier ALLAH le tout puissant de nous avoir donné la volonté, la santé et la patience et de nous avoir aidé à surmonter toutes les dures épreuves et les moments difficiles pour aboutir à ce travail.

*Tout d'abord, ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu avoir le jour sans l'aide et l'encadrement de **Mr Hakim Hakimi** et **Dr.Houcine AIT SAADI**, on les remercie pour la qualité de leur encadrement exceptionnelle, pour leur patience et leur disponibilité durant notre préparations de ce mémoire.*

*Ce projet a été réalisé en collaboration avec **Huawei-Algérie** Nos remerciement s'adresse à **M^{me} Sylvie** pour son aide pratique et son soutien moral et ses encouragements*

*Nos remerciements s'adressent également au département d'optimisations de l'opérateur **Djezzy** plus précisément **M^{me} Aissiou Ibtissem** pour son aide dans les démarches pratiques.*

Nous remercions très vivement les membres du jury pour l'honneur et l'intérêt qu'ils nous ont accordé en acceptant d'examiner et d'évaluer ce mémoire.

Nos pensées vont vers nos chers parents, pour leurs sacrifices, leurs encouragements et surtout pour leurs prières. Nous leurs souhaitons la bonne santé et la longue vie, Incha Allah.

Dédicaces :

A mes très chers parents, source de vie, d'amour et d'affection.

A mes chers sœurs Sabrina et Maïssa, source de joie et de bonheur.

A toute ma famille Boudehana et Stambouli source d'espoir et de motivation.

A mes très chers grands parents mama Malika et papa Baaziz, source de prière de bien être.

A toute mes nièces et mes neveux Nesrine Ilhem et Safa, source d'encouragement.

A tous mes Amis, tout particulièrement Choumane Zahra.

A vous chers lecteur.

Boudehana samah

Dédicaces :

Avec un énorme plaisir, un cœur ouvert et une joie immense, je dédie ce modeste travail tout d'abord :

À elle, qui m'a donné la vie, qui s'est sacrifiée pour mon bonheur et ma réussite, à la lumière de mes jours : à ma mère.

À lui, qui a été toujours présent, mon soutien moral et ma source de joie : à mon père.

À mes sœurs, mon seul frère, et à toute la famille CHOUMANE et BARGOUGE.

À toute la famille BOUDEHANA et spécialement SAMAH.

À tous mes enseignants, qui ont contribué à ma formation tout au long de mes années d'études.

À tous mes collègues de promotion que j'ai eu le plaisir de côtoyer pendant cette période d'études.

À tous mes amis, mes connaissances sans exceptions.

Choumane Zahra

ملخص

لنشر أي شبكة راديو متنقلة، لدينا نوعان من التحجيم. لدينا تخطيط للحجم أو التغطية وتخطيط آخر يعتمد على السعة

كجزء من مشروع التخرج هذا، الذي تم تنفيذه بالتعاون مع هواوي الجزائر نحن نقدم أداة لتحديد حجم و موقع شبكات الجيل الرابع التي تم تطويرها على ايكسال. يوفر عدد المواقع اللازمة في منطقة معينة. وبالتالي فإننا نتحقق من صحة حلنا من خلال محاكاة باستخدام أداة التخطيط الراديو اتوول
كلمات المفاتيح التغطية تخطيط الحجم الجيل الرابع السعة

Résumé

Pour déployer n'importe quel réseau radio mobile, nous avons deux types de dimensionnement. On a le dimensionnement ou planification basée sur la couverture et planification basée sur la capacité.

Dans le cadre de ce projet de fin d'études, qui a été réalisé en collaboration avec **Huawei-Algérie**. Nous proposons un outil de dimensionnement des eNodeB des réseaux LTE-4G. Cet outil de calcul qui a été développé sur Excel permet d'obtenir le nombre de sites nécessaires dans une zone donnée. Ainsi nous validons notre solution par une simulation avec l'outil de planification radio Atoll.

Mots clés : EnodeB ; LTE-4G ; dimensionnement ; planification ; couverture ; capacité.

Abstract:

To deploy any mobile radio network, we have two types of dimensioning. We have dimensioning or coverage planning and other planning that will be based on capacity. As part of this graduation project, which was carried out in collaboration with Huawei-Algeria. We offer a tool for eNodeBs dimensioning of LTE-4G networks. This calculation tool, which was developed on Excel, makes it possible to obtain the number of sites necessary in a given area. Thus we validate our solution by a simulation with the Atoll radio planning tool.

Keywords: EnodeB; LTE-4G; dimensioning ; planning ; coverage ; capacity.

Liste des acronymes

3GPP	3rd Generation Partnership Project
BCCH	Broadcast Control Channel
BLER	Block Error Rate
CDMA	Code Division Multiple Access
CP	Cyclic Prefix
DFT	Discrete Fourier Transform
DwPTS	Downlink Pilot Time Slot
EDGE	Enhanced Data rates for GSM Evolution
EIR	Equipment Identity Register
EPC	Evolved Packet Core
E-UTRAN	Evolved-UMTS Terrestrial Access Network
FDMA	Frequency Division Multiple Access
GP	Guard Period
HARQ	Hybrid Automatic Repeat request
HLR	Home Location Register
HSS	Home Subscriber Service
IM	Interference Margin
IP	Internet Protocol
LTE	Long Term Evolution
MAC	Medium Access Control
MAPL	Maximum Allowable Path Loss
MCS	Modulation and Coding Scheme
MIMO	Multiple Input Multiple Output
MME	Mobile Management Entity
MSC	Mobile Switching Center
NF	Noise Figure
NLOS	Non Line Of Sight
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
PBCH	Physical Broadcast Channel

Liste des acronymes

PCCH Paging Control Channel

PCFICH Physical Control Format Indicator Channel

PCI Physicals Cells ID

PCRF Policy and Charging Rules Function

PDCCH Physical Downlink Control CHannel

PDCP Packet Data Compression Protocol

PDN Packet Data Network

PDSCH Physical Downlink Shared CHannel

P-GW Packet Data Network GateWay

PHICH Physical Hybrid ARQ Indicator CHannel

PM Planning Margin

PRACH Physical Random Access Channel

PRB Physical Ressource Block

PUCCH Physical Uplink Control CHannel

PUSCH Physical Uplink Shared Channel

QoS Quality of Service

RE Ressource Element

RF Radio Fréquence

RLC Radio Link Protocol

RNC Radio Network Controller

RRC Radio Ressource Control

SC-FDMA Single Carrier - Orthogonal Frequency Division Multiple Access

SGSN Serving GPRS Support Node

S-GW Serving GateWay

SINR Signal to Interference and Noise Ratio

SM Shadowing Margin

SOH System Overhead

FDD Frequency Division Duplex

TDD Time Division Duplex

TDMA Time Division Multiple Access

UE User Equipment

Liste des acronymes

UMTS Universal Mobile Telecommunications System

UpPTS Uplink Pilot Slot

VL Vehicle Loss

WiMAX Worldwide Interoperability for Microwave Access

X2 The interface between eNodeB.

WCDMA Wideband Code Division Multiple Access

PSS Primary Synchronization Signal

POH Protocol Overhead

BL Building Loss

Liste des Figures

Figure 1-1: Présentation générale de système LTE.	2
Figure 1-2: Les différents releases de 3GPP	3
Figure 1-3: Architecture de réseau LTE.....	4
Figure 1-4: Architecture d'EPS (Evolved Packet System).....	4
Figure 1-5: Réseau d'accès radio (E-UTRAN)	5
Figure 1-6: eNodeB	5
Figure 1-7: Architecture de réseau cœur EPC	6
Figure 1-8: Les interfaces du réseau LTE.	7
Figure 1-9: concept cellulaire.	8
Figure 1-10: La différence entre OFDMA et SC-FDMA	9
Figure 1-11: Structure de la trame LTE	10
Figure 1-12: Mode de duplexage FDD et TDD	11
Figure 1-13: Bloc de ressources LTE	12
Figure 1-14: Modulations QPSK et QAM	13
Figure 1-15: Schéma représentatif des systèmes SISO, SIMO, MISO, et MIMO	14
Figure 1-16: ARQ(A) et HARQ (B)	15
Figure 2-1: processus de dimensionnement.	20
Figure 2-2: Processus de dimensionnement de couverture.....	22
Figure 2-3: variation SINR en fonction du nombre de bloc de ressources [12]	28
Figure 2-4: inputs pour le calcul du MAPL.....	30
Figure 2-5: Différents types de site.....	35
Figure 2-6: Etapes du dimensionnement orienté capacité	37
Figure 2-7: Exemple de répartition de la grille des ressources en DL LTE-A	38
Figure 2-8: Signaux de référence en UL.....	39
Figure 2-9: Signaux de synchronisation pour DL	39
Figure 2-10: Canal PBCH pour la liaison descendante.....	40
Figure 2-11: Exemple de mapping des canaux PDCCH, PHICH et PCFICH	41
Figure 2-12: Schéma simplifié de la répartition des MCS selon la distance.....	44
Figure 2-13: Evolution du SINR en fonction de la distance pour JT-Comp.....	45
Figure 3-1: Création de nouveau projet	55
Figure 3-2: Choix de modèle LTE	56
Figure 3-3: Spécifications de la carte numérique	56
Figure 3-4: Modèle Numérique de Terrain.....	57
Figure 3-5: Classes de sursol	57
Figure 3-6: Hauteurs De Sursol	57
Figure 3-7: Carte numérique de l'Algérie	58
Figure 3-8: Choix du système de coordonnées.....	58
Figure 3-9: la carte de la commune Boufarik (Blida)	59
Figure 3-10: Affichage de la carte en ligne	59
Figure 3-11: Zone géographique à planifier	60
Figure 3-12: Modèle de propagations Cost-Hata calibré	61

Figure 3-13: La création de nouvelle bande	61
Figure 3-14: La bande de fréquence utilisée	62
Figure 3-15: Configuration des paramètres généraux du site	62
Figure 3-16: Configuration des paramètres d'antenne	63
Figure 3-17: Diagramme de rayonnement de l'antenne « 65deg 17dBi 6Tilt 1800MHz »	63
Figure 3-18 : Sélection de la couche Radio 1800 FDD-15MHz (copie d'E-UTRAN Band3)	64
Figure 3-19 : Sélection de la zone de Focus.....	64
Figure 3-20 : Créer des stations automatiquement	65
Figure 3-21: La sélection classe de sursol personnalisé	65
Figure 3-22: Seuil de niveau de signal pour la prédiction	66
Figure 3-23: La sélection d'antenne	66
Figure 3-24: Ajout des sites sur la zone sélectionnée	67
Figure 3-25: Changements des statistiques.....	67
Figure 3-26: Détails du secteur	68
Figure 3-27: LTE RSRP (niveau de couverture)	68
Figure 3-28: Etat initiale et finale de la couverture	69
Figure 3-29: Amélioration de la couverture	69
Figure 3-30: les détails de l'amélioration	70
Figure 3-31: Paramétrage des niveaux	70
Figure 3-32: Prédiction par niveau de champs DL (Indoor,Outdoor)	71
Figure 3-33: Prédiction par niveau de champs DL Outdoor	71
Figure 3-34: Prédiction de la couverture par niveau de C/I en DL	72
Figure 3-35: types de service	73
Figure 3-36: Les types de Mobilité.....	74
Figure 3-37: MIMO terminal	75
Figure 3-38: Mobile terminal	75
Figure 3-39: Business user	76
Figure 3-40: Standard user	76
Figure 3-41: configuration d'environnements.....	77
Figure 3-42: les services de model de trafic	78
Figure 3-43: liste des paramètres de trafic.....	79
Figure 3-44: configuration des services	79
Figure 3-45: Création d'une carte de trafic	80
Figure 3-46: Carte de trafic	80
Figure 3-47: Simulation création	81
Figure 3-48: Signification des points.....	81
Figure 3-49: résultat de simulation.....	82
Figure 3-50: nombre total d'utilisateur	82
Figure 3-51: Résultats de débit pour 245utilisateurs	82
Figure 3-52: Demandes et résultats pour le service High Speed Internet	83
Figure 3-53: Demandes et résultats pour le service Mobile Internet Access.....	83

Figure 3-54: Demandes et résultats pour le service de vidéo conférence.....	84
Figure 3-55: Prédiction de la couverture par débit (DL).....	85
Figure 3-56: Modification des paramètres de reconfiguration	85
Figure 3-57: Statistiques des modifications effectuées par l'ACP.....	86
Figure 3-58: Les corrections automatiques de l'optimisation des sites existant	86
Figure 3-59: Niveau de champ avant et après l'optimisation (indoor)	87
Figure 3-60: Statistique de l'optimisation de la couverture par niveau de champ (indoor)	87
Figure 3-61: Niveau de champ avant et après l'optimisation (outdoor).....	88
Figure 3-62: Statistique de l'optimisation de la couverture par niveau de champ (outdoor).....	88
Figure 3-63: Niveau de C/I avant et après l'optimisation.....	89
Figure 3-64: Débit avant et après l'optimisation.....	89
Figure 3-65: Statistique de l'optimisation de débit	90

Liste des Tableaux

Tableau 1-1 : Les différentes interfaces en LTE.....	7
Tableau 1-2: Le nombre de PRB valables en fonction de la largeur de la bande.....	12
Tableau 1-3: Nombre de bits/symbole en fonction de la modulation	13
Tableau 1-4: Bandes de fréquences utilisées dans la LTE (Uplink et Downlink)	19
Tableau 2-1: Paramètres pour le calcul de la PIRE	24
Tableau 2-2: Paramètres pour le calcul de la sensibilité de réception.....	25
Tableau 2-3: Marge d'interférence en fonction de la charge de la cellule	30
Tableau 2-4: Modélisation mathématique du modèle COST231 WI.....	32
Tableau 2-5: Modélisation mathématique du modèle de Okumura-Hata.....	33
Tableau 2-6: Modélisation mathématique du modèle COST-231 Hata	34
Tableau 2-7: type de terrain suivant le modèle d'Erceig-Greenstein.....	34
Tableau 2-8: Empreinte du site en fonction du nombre de secteurs.....	35
Tableau 2-9: Densité des RS en fonction de la configuration MIMO	38
Tableau 2-10: Nombre de PRB alloué au canal PUCCH	42
Tableau 2-11: Récapitulatif de l'OverHead pour chaque CC en LTE.....	42
Tableau 2-12: [SINR]_min selon le MCS	44
Tableau 2-13: Exemple de modèle de trafic.....	48
Tableau 3-1: Calcul et résultat de dimensionnement de couverture en DL.....	51
Tableau 3-2: Calcul et résultat de dimensionnement de couverture en UL	52
Tableau 3-3: Calcul de capacité en DL	53
Tableau 3-4: Calcul de capacité en UL	54

Liste des Equations

Équation 1-1.....	13
Équation 2-1.....	23
Équation 2-2.....	23
Équation 2-3.....	24
Équation 2-4.....	24
Équation 2-5.....	25
Équation 2-6.....	26
Équation 2-7.....	27
Équation 2-8.....	27
Équation 2-9.....	27
Équation 2-10.....	29
Équation 2-11.....	31
Équation 2-12.....	31
Équation 2-13.....	34
Équation 2-14.....	35
Équation 2-15.....	35
Équation 2-16.....	36
Équation 2-17.....	36
Équation 2-18.....	36
Équation 2-19.....	36
Équation 2-20.....	37
Équation 2-21.....	38
Équation 2-22.....	39
Équation 2-23.....	40
Équation 2-24.....	41
Équation 2-25.....	41
Équation 2-26.....	41
Équation 2-27.....	42
Équation 2-28.....	42
Équation 2-29.....	42
Équation 2-30.....	45
Équation 2-31.....	46
Équation 2-32.....	47
Équation 2-33.....	48
Équation 2-34.....	48
Équation 2-35.....	48
Équation 2-36.....	48
Équation 2-37.....	49
Équation 2-38.....	49
Équation 2-39.....	49
Équation 2-40.....	49

Équation 2-41.....	49
Équation 2-42.....	49

Table des matières

Remerciements.....	i
ملخص.....	iv
Résumé	iv
Abstract:.....	iv
Liste des acronymes.....	v
Liste des Figures.....	viii
Liste des Tableaux.....	x
Liste des Equations	xi
Table des matières.....	xiii
Introduction générale	1
Chapitre 1 : Notions de base du réseau 4G-LTE	2
1.1 Introduction	2
1.2 Présentation et architecture LTE	2
1.2.1 Le réseau LTE : (Long Term Evolution).....	2
1.2.2 Architecture LTE.....	3
1.3 interfaces de réseau EPS	7
1.4 La structure topologique de la trame LTE.....	8
1.4.1 Le concept CELLULAIRE.....	8
1.5 Interface Air.....	8
1.5.1 Principe de L'OFDMA et SC-FDMA.....	8
1.5.2 Structure de la trame LTE	10
1.5.3 LTE Resource bloc	11
1.5.4 Modulation et codage adaptifs.....	12
1.5.5 La technologie MIMO	14
1.5.6 Calcul du débit en DOWNLINK et UPLINK.....	15
1.5.7 HARQ: ARQ.....	15
1.5.8 Les canaux LTE	16
1.5.9 Les couches LTE.....	17
1.6 Fréquences utilisés pour la technologie LTE.....	18
1.7 Conclusion.....	19
Chapitre 2 : Dimensionnement de l'E-UTRAN d'un réseau 4G LTE	20

Table des matières

2.1	Introduction	20
2.2	Processus de Dimensionnement.....	20
2.3	Dimensionnement de couverture	21
2.3.1	BILAN de liaison Radio RLB	23
2.3.2	Les MARGES	28
2.4	MODELE de propagation RF	31
2.4.1	Propagation en espace libre	31
2.4.2	Modèle COST-231 Walfisch-Ikegami	31
2.4.3	Modèle de Okumura-Hata	32
2.4.4	Modèle COST-231 Hata.....	33
2.4.5	Modèle d’Erceig Greenstein	34
2.4.6	2Calcul du nombre de site en se basant sur le bilan de liaison	35
2.5	Dimensionnement de capacité	36
2.5.1	Calcul de l’efficacité de la bande spectrale	37
2.5.2	Calcul de la capacité de la CELLULE	42
2.5.3	Modèle de trafic et estimation du nombre D’ABONNÉES.....	46
2.5.4	Détermination du nombre de sites requis.....	49
2.6	Conclusion	49
	Chapitre 3 : développement d’un outil et simulation sur Atoll.....	50
3.1	Introduction général	50
3.2	Développement de l’outil sur Excel	50
3.2.1	Introduction	50
3.2.2	Calcul de couverture	51
3.2.3	Calcule de capacité	52
3.3	Validation des résultats obtenus	54
3.3.1	Présentation de l’outil de planification Atoll.....	54
3.3.2	Préparation du projet	55
3.3.3	Création du projet.....	55
3.3.4	Importer une carte numérique.....	56
3.3.5	Le système de coordonnées	58
3.3.6	Zone géographique à planifier	59
3.3.7	Zone géographique à planifier	59
3.3.8	Réglages PRÉLIMINAIRES:	60

Table des matières

3.3.9	Déploiement des sites (eNodeB)	63
3.3.10	Réalisations de calculs (prédictions).....	70
3.3.11	Paramètres de trafic	72
3.3.12	Planifications de capacité	77
3.3.13	Prédiction de la couverture par débit (DL)	84
3.3.14	L'optimisation	85
3.4	comparisons	90
3.5	Conclusion :	90
	Conclusion générale.....	91
	Annexes.....	92
	Bibliographie	93

Introduction générale

Actuellement, la croissance rapide des technologies des télécommunications, présente un développement remarquable non seulement pour faciliter notre vie quotidienne, mais aussi pour apporter une contribution importante à l'évolution des systèmes informatisés. A partir de la première génération de réseau cellulaire, qui est une communication analogique, jusqu'à ceux qui sont développées aujourd'hui, comme le LTE (Long Term Evolution), une multitude de technologies se sont succédées. Ces temps-ci, c'est la technologie LTE, appartenant à la quatrième génération, qui domine au niveau des opérateurs de téléphonies mobile. Un des défis qui se posent face à ces opérateurs est de se mettre à la hauteur de ces évolutions tout en tenant compte du coût d'investissement, c'est-à-dire avoir un investissement optimal.

Pour faire face à ce défi, une bonne planification de ces technologies s'impose. Le déploiement des infrastructures au niveau des opérateurs de téléphonie mobile nécessite une étude préalable pour chercher un coût d'investissement abordable et pour se tenir à l'échelle vis-à-vis des opérateurs concurrents. Dans ce travail, nous allons donc faire une étude de la planification du réseau d'accès d'un réseau LTE. Cette étude commence par la théorie jusqu'à la pratique, c'est-à-dire en partant des modèles mathématiques de planification cellulaire jusqu'à la mise en application sur un cas réel.

Le premier chapitre présente un aperçu général sur le réseau LTE ainsi que la technologie LTE. On précise ces exigences techniques, l'architecture de ce réseau et l'interface radio qui est le centre d'intérêt de l'étude de la planification. On évoque aussi les services offerts ainsi que la possibilité de compatibilité avec les réseaux de générations antérieures.

Le deuxième chapitre est consacré pour la planification et le dimensionnement dans les réseaux des nouvelles générations, où nous allons expliquer le processus de planification dans le réseau d'accès en LTE, et nous allons étudier une solution pour la planification orientée couverture et orientée capacité proposer par HUAWEI Algérie.

Le dernier chapitre, va simuler une planification d'un réseau d'accès du LTE.

La zone de BOUFARIK a été prise comme exemple. Une validation des résultats théoriques de la méthode de planification faite par Excel sera comparée par le logiciel Atoll concernant la couverture radio de la zone choisie.

Chapitre 1 : Notions de base du réseau 4G-LTE

1.1 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 usagers mobiles, en termes de qualité de 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 technologie 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]

1.2 PRESENTATION ET ARCHITECTURE LTE

1.2.1 LE RESEAU 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 4 G, pour faire face aux évolutions technologiques. Les buts du LTE consistent en une amélioration de l'efficacité spectrale qui permet le transfert de données à haut débit, de l'ordre de 100 Mbps, avec une portée plus importante, un nombre d'appels par cellule plus élevée que dans l'UMTS avec une latence plus faible. La LTE est basée 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 des canaux dans la bande des fréquences 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]

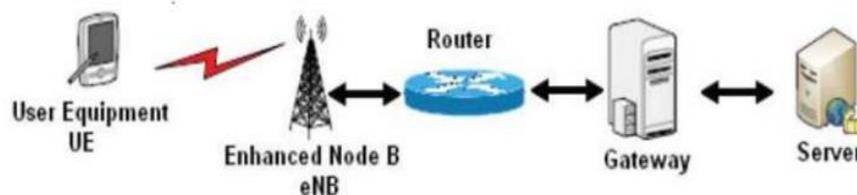


Figure 1-1: Présentation générale de système LTE.

Le 3GPP a défini plusieurs Releases entre 1997 et 2010 (Figures 1-1). La Release correspond à un ensemble de nouvelles fonctionnalités introduites dans la norme, dans une période du temps donnée, pour la LTE c'est la release 7/8 à partir de 2010.[4]

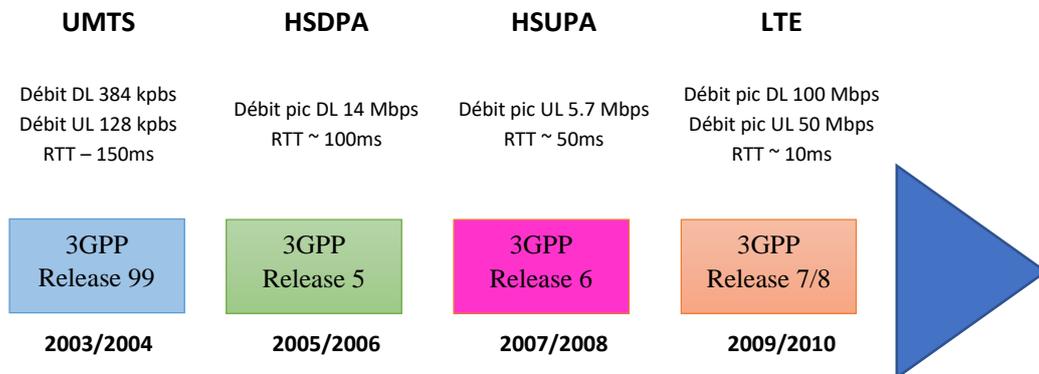


Figure 1-2: Les différents releases de 3GPP

1.2.2 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 1-3 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, constitué par :
 - UE,
 - ENodeB.
- EPC /SAE qui est le cœur du réseau, constitué par :
 - HSS (Home Subscriber Server) / PCRF (Policy & Charging Rules Function),
 - MME (Mobility Management Entity),
 - PCRF (Policy & Charging rule Function),
 - Gateway (Serving Gateway & PDN Gateway).

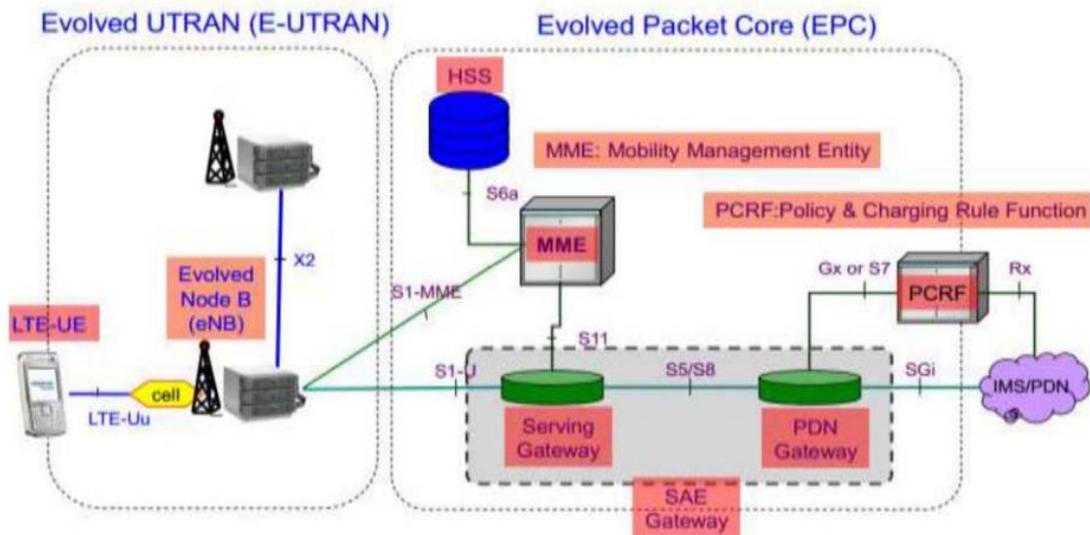


Figure 1-3: Architecture de réseau LTE

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 1-4 présente une architecture simplifiée de la partie EPS de réseau LTE.

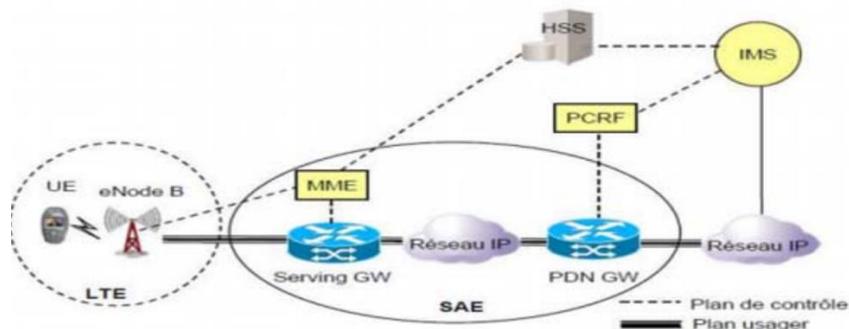


Figure 1-4: Architecture d'EPS (Evolved Packet System).

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

Un E-UTRAN est constitué d'antennes radio, de stations de base « eNode B », ainsi que des liaisons fibre optique ou faisceau hertzien (réseau de backhaul) raccordant ces équipements entre eux et avec le cœur de réseau [3].

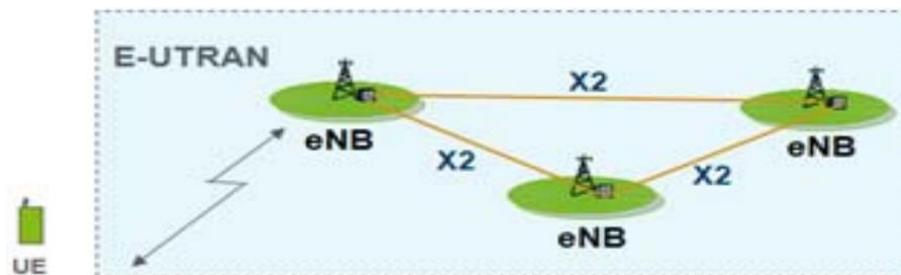


Figure 1-5: Réseau d'accès radio (E-UTRAN)

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 présentés les entités NodeB et RNC, l'architecture E-UTRAN ne présente que des eNodeB. Les fonctions supportées par le RNC dans le réseau UTRAN -3G ont été réparties entre les 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-Usager) 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 la nouvelle eNodeB pour l'UE ; or le réseau continue à transférer les paquets entrants vers l'ancien eNodeB tant que la nouvelle eNodeB n'a pas informé le réseau de lui relayer les paquets entrants pour cet UE. Pendant ce temps l'ancienne eNodeB relaie les paquets entrants sur l'interface X2 à la nouvelle eNodeB qui les remet à l'UE. [6]

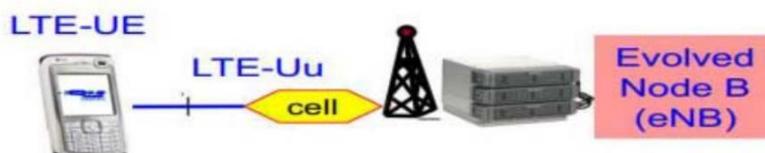


Figure 1-6: eNodeB

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. [6]

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

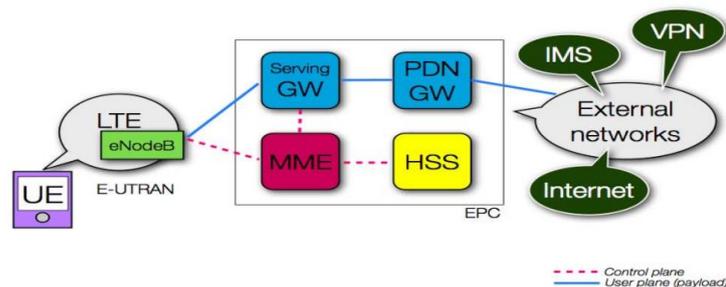


Figure 1-7: Architecture de réseau cœur EPC

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'abonné, il s'agit du PCRF. [6]

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-Gateway) 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 (UserEquipment) et le réseau cœur, et assure l'établissement, la maintenance, et l'élargissement de la porteuse radio services. [5]

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. [6]

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. [5]

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. [5]

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 [5].

P-GW: Packet-Switch GetWay.

Packet-Switch Gateway (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 selon les normes techniques du standard 3GPP.

SGSN : Serving GRPS Support Nom : Interconnecte le LTE, UMTS, et le réseau GSM pour augmenter la mobilité. [5]

1.3 INTERFACES DE RESEAU EPS

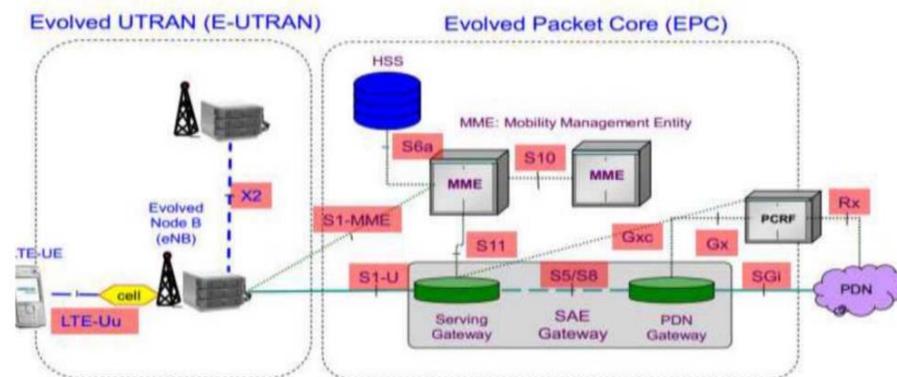


Figure 1-8: Les interfaces du réseau LTE.

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 entres 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'usager 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 1-1 : Les différentes interfaces en LTE.

1.4 LA STRUCTURE TOPOLOGIQUE DE LA TRAME LTE

1.4.1 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. [5]

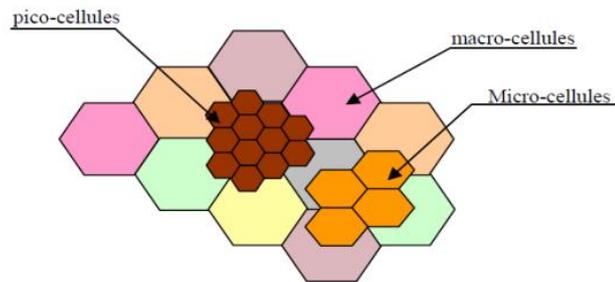


Figure 1-9: concept cellulaire.

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.

- Pico-Cellules.** Ces cellules ont un rayon de service de 10 à 100m. Elles conviennent pour la propagation à l'intérieur des bâtiments (en indoor) ;
- Micro cellules.** Ces cellules ont un rayon de service de 1 à 4km. Elles sont adaptées à l'environnement urbain dense ;
- 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. [5]

1.5 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 le 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. [5]

1.5.1 PRINCIPE DE L'OFDMA ET SC-FDMA

1.5.1.1 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

- 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. [5]

1.5.2 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.

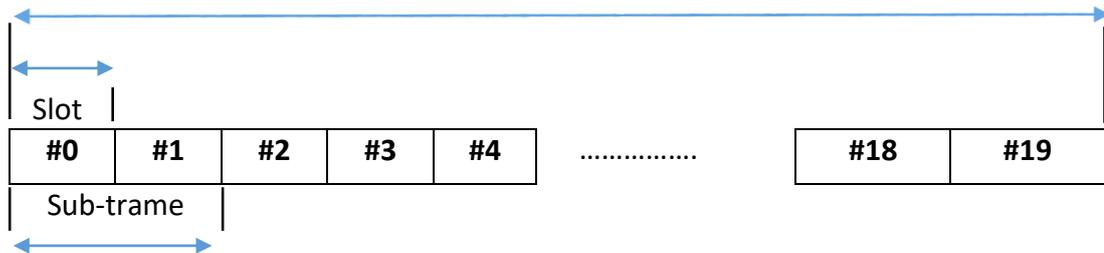


Figure 1-11: Structure de la trame LTE

1.5.2.1 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 y a des exigences différentes sur la séparation des données transmises. [5] Il existe 2 types 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 2 slots de 0.5ms. Un slot correspond à un ensemble de symboles de modulation, 7 pour le cas d'un préfixe cyclique de taille normale et 6 pour le cas d'un préfixe cyclique étendu. [5]

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 5 sous-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 Period), 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 (1.12).

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. [5]

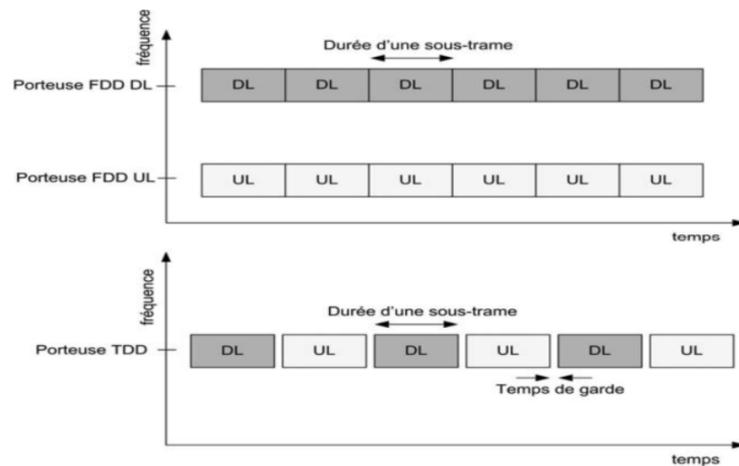


Figure 1-12: Mode de duplexage FDD et TDD

1.5.3 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. [5]

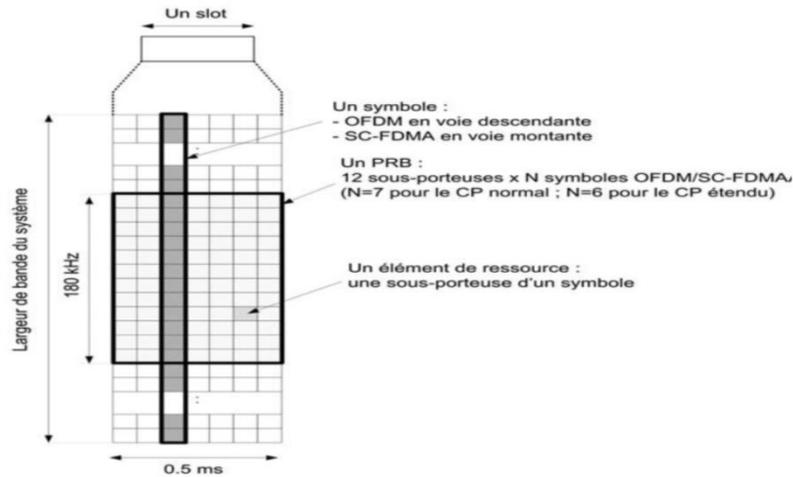


Figure 1-13: Bloc de ressources LTE

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	10 ms					
Sub-carrier Spacing	15 ms					
Number of ressource bloc	6	15	25	50	75	100

Tableau 1-2: Le nombre de PRB valables en fonction de la largeur de la bande

1.5.4 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 $2^2 = 4$ états d'information. Pour sa part, la 16 QAM combine deux niveaux d'amplitude avec deux porteuses en quadrature, soit $2^4 = 16$ 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

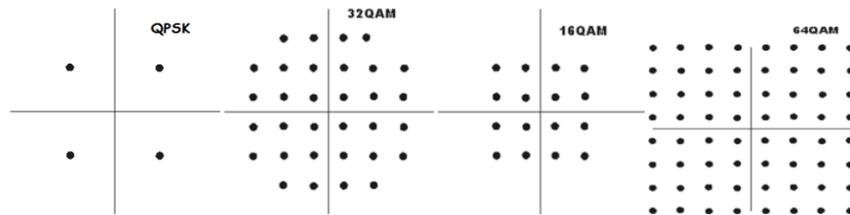


Figure 1-14: Modulations QPSK et QAM

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. La 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 :

$$Vs(t): Vs(t) = Icoswt + Qsinwt \tag{1-1}$$

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. [5]

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 1-3: Nombre de bits/symbole en fonction de la modulation

1.5.5 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. [7]

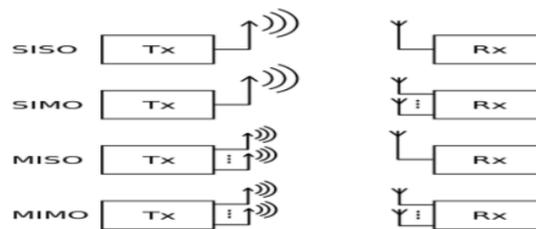


Figure 1-15: Schéma représentatif des systèmes SISO, SIMO, MISO, et MIMO

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). [5]

1.5.6 CALCUL DU DEBIT 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. 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 = 16.8Mbps

Si on utilise une modulation 64 QAM, chaque symbole est codé sur 6 bits, on aura un débit de $16.8 \text{ Mbps} \times 6 = 100.8 \text{ Mbps}$. Pour un system LTE avec MIMO 4x4, le débit sera multiplié par 4 soit 403.2 Mbps. [5]

1.5.7 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 erronés 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 cœur 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 cœur dans la couche RLC qui prend soin de ces erreurs résiduelles. Soit il fixe ces erreurs ou rejette les paquets. [5]

1.5.7.1 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. [5]

1.5.7.2 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. [5]

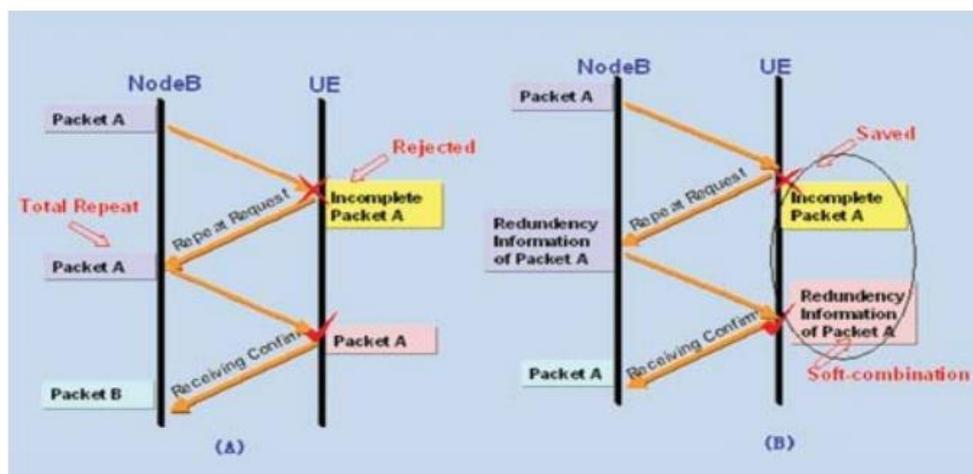


Figure 1-16: ARQ(A) et HARQ (B)

1.5.8 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. [9]

- 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. [8] Les différents canaux logiques de l'interface radio du LTE sont :
 - **BCCH** (Broadcast Control CHannel) : utilisé pour la diffusion d'informations de contrôle sur la cellule.
 - **PCCH** (Paging Control CHannel) : utilisé pour la notification d'appel
 - **CCCH** (Common Control CHannel) : utilisé pour la transmission de la signalisation quand elle ne peut pas être transmise sur un canal dédié DCCH
 - **DCCH** (Dedicated Control CHanel) : utilisé pour la signalisation dédiée à un utilisateur
 - **DTCH** (Dedicated Trafic CHannel) : utilisé pour porter les informations de trafic dédiées à un utilisateur

- Canaux de transport : Un canal de transport est caractérisé par la façon dont les données sont transportées sur l'interface radio. Ces façons sont par exemple : la méthode d'accès aux ressources radio, le type de codage canal, le schéma de transmission MIMO et la possibilité d'effectuer une retransmission. Les différents canaux de transport sont :
 - **BCH** (Broadcast CHannel) : utilisé en voie descendante pour la diffusion d'information sur la cellule
 - **DL-SCH** (Downlink Shared CHannel) : utilisé pour la transmission de données dédiées de contrôle et du plan usager en sens descendant et utilisé également pour transmettre les informations de cellule non portées par le BCH
 - **PCH** (Paging CHannel) : utilisé pour diffuser les informations de paging sur l'ensemble de la cellule

- **RACH** (Random Access CHannel) : utilisé pour l'établissement d'une connexion RRC avec la station de base et le rétablissement lors d'un handover
 - **UL-SCH** (Uplink Shared CHannel) : utilisé pour la transmission de données dédiées de contrôle et du plan usager en sens montant
- 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. [8] Voici donc la liste des canaux physiques en voie montante et en voie descendante.

Pour la voie montante :

- **PUSCH** (Physical Uplink Shared CHannel): utilisé pour la transmission de l'UL-SCH et porte également les informations de contrôle du PUCCH en cas de collision de ces deux canaux sur le même intervalle de temps
- **PUCCH** (Physical Uplink Control CHanel): utilisé pour la transmission d'information de contrôle nécessaire à l'HARQ et à l'allocation de ressource
- **PRACH** (Physical Random Access CHannel): utilisé pour porter le RACH

Pour la voie descendante :

- **PDSCH** (Physical Downlink Shared CHannel): utilisé pour la transmission du DL-SCH et du PCH
- **PBCH** (Physical Broadcast CHannel): utilisé pour la transmission de BCH
- **PCFICH** (Physical Control Format Indicator CHannel): utilisé pour indiquer le nombre de symbole OFDM utilisés pour la transmission du PDCCH dans une sous-trame
- **PDCCH** (Physical Downlink Control CHannel): utilisé pour la transmission d'information de contrôle
- **PHICH** (Physical Hybrid ARQ Indicator CHannel): utilisé pour porter les acquittements d'HARQ

1.5.9 LES COUCHES LTE

Nous décrivons brièvement le rôle de chacune des différentes couches et comment elles interagissent avec les autres. [5]

- **La couche physique** : Le rôle de la couche PHY est de fournir des services de transport de données sur les canaux physiques 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 chargée 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)**. Il est utilisé avec les services sensibles au délai (VoIP), tolérants aux erreurs en temps réel, ou le MBMS
 - ✓ **Le mode acquitté AM (Acknowledged Mode)**. Il 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 principal est la compression/décompression d'en-tête, la sécurité (chiffrement, protection d'intégrité) et distribution l'un après l'autre de paquets.

1.6 FREQUENCES UTILISEES 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). [5]

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	FDD
	F _{UL_low} - F _{UL_high}	F _{DL_low} - F _{DL_high}	
1	1920 Mhz – 1980 Mhz	2110 Mhz - 2170 Mhz	FDD
2	1850 - 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	2210 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 - 1820 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 1-4: Bandes de fréquences utilisées dans la LTE (Uplink et Downlink)

1.7 CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons présenté un aperçu des différents composants et caractéristiques de la technologie LTE (4G) afin de présenter par la suite la terminologie des termes utilisés dans cette technologie.

ET en a bien concentré sur la partie « Interface Air » c’est-à-dire tout ce qui est transmission, modulation et codage adaptatif, les différentes technologies intégrées au LTE comme le MIMO et le ARQ/HARQ.

Chapitre 2 : Dimensionnement de l'E-UTRAN d'un réseau 4G LTE

2.1 INTRODUCTION

Pour un opérateur, la phase de dimensionnement est d'une importance capitale avant la mise en œuvre de son réseau. Dans ce chapitre, nous introduirons les concepts de base et les calculs nécessaires au dimensionnement sur ses deux plans : la couverture et la capacité.

2.2 PROCESSUS DE DIMENSIONNEMENT

La première étape de la mise en place du réseau LTE se trouve être le dimensionnement qui est donc la phase initiale de planification du réseau. Le processus de dimensionnement est directement lié à la qualité et l'efficacité du réseau qui en cas de mal conception peut affecter profondément son développement. Le dimensionnement des eNodeB est donc la partie la plus délicate.

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 nombres des sites [10].

Finalement, le nombre des eNodeB serait le maximum du nombre issu des deux méthodes.

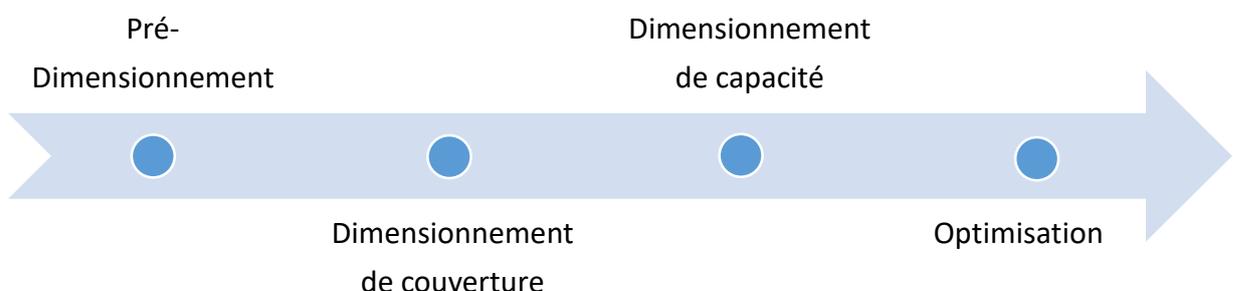


Figure 2-1: processus de dimensionnement.

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

- **Pré-dimensionnement** : nécessite la collecte des informations qui portent sur la zone de déploiement. Ces informations sont fruits des investigations approfondies, on cite par exemple : Les informations détaillées sur l'eNodeB et l'UE (Noise Figure, MIMO, etc.), Les informations sur la zone de déploiement (superficie, information

démographiques, densité d'abonné, taux de pénétration de la technologie LTE), informations sur les abonnés de la zone (services demandés, trafic offert, etc.) [11].

▪ **Dimensionnement de couverture :**

Nous nous baserons sur le bilan de liaisons (RLB), qui permet d'estimer le taux de perte du trajet. Pour cela, il est nécessaire de choisir d'un modèle de propagation approprié. Le résultat final obtenu est la taille de la cellule à couvrir, ce qui donne une estimation sur le nombre total de sites. Cette estimation basée sur les exigences de couverture doit être vérifiée et complétée par les besoins de capacité.

▪ **Dimensionnement de capacité :**

La vérification de la taille des cellules et le nombre des sites obtenue pour l'analyse de couverture, sera effectuée par la capacité. On va vérifier si le système peut supporter la charge demandée sinon de nouveaux sites doivent être ajoutés.

▪ **Optimisation :**

On compare les résultats obtenus de deux dimensionnements (en couverture et en capacité) et on considère le nombre des sites le plus grand.

2.3 DIMENSIONNEMENT DE COUVERTURE

Ce schéma rassemble toutes les entrées et les sorties du dimensionnement orienté couverture. Le principal output de ce processus est le nombre d'eNodeBs requis pour la couverture. Pour bien comprendre ce schéma, voici son descriptif séquentiel simplifié [10] :

- Etablir le bilan de liaison radio pour aboutir à l'affaiblissement maximal de parcours (y compris le calcul de la sensibilité du récepteur)
- Choisir le modèle de propagation adéquat pour déterminer le rayon de la cellule.
- Calculer l'empreinte du site en se basant sur le rayon et la configuration.
- Déduire le nombre nécessaire de sites pour couvrir la surface de déploiement considérée.

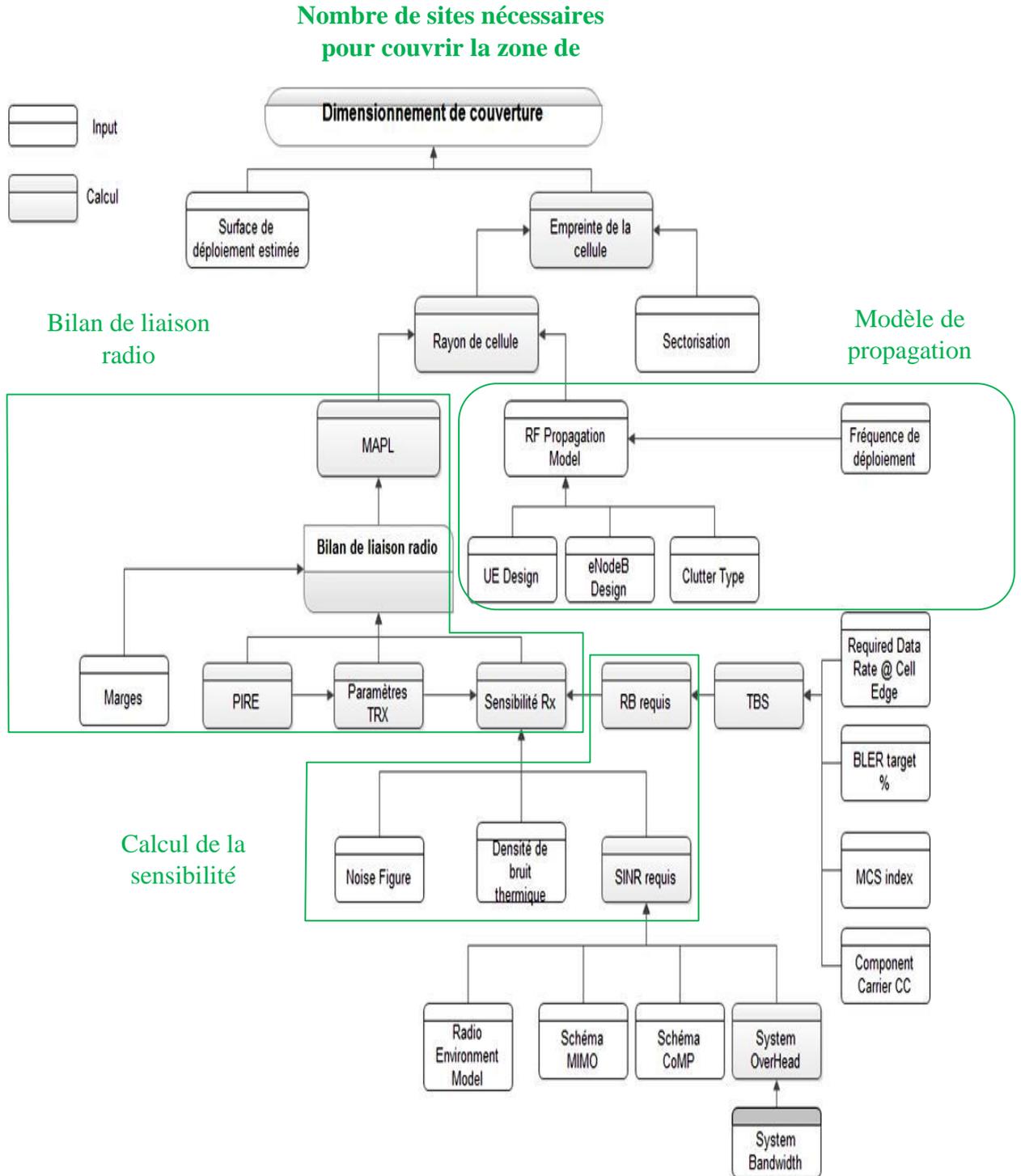


Figure 2-2: Processus de dimensionnement de couverture

2.3.1 BILAN DE LIAISON RADIO RLB

2.3.1.1 FORMULE GENERALE

Pour déterminer l'affaiblissement de parcours maximal (ou Maximum Allowable PathLoss MAPL), on commence par établir un bilan de liaison radio (RLB). La seule sortie de RLB est l'affaiblissement de parcours maximal, ce dernier est utilisé conjointement avec un modèle de propagation pour enfin déduire la distance maximale pouvant séparer l'émetteur et le récepteur. Pour un réseau cellulaire, la liaison sur l'interface radio est bidirectionnelle, car on a un sens montant et un sens descendant, d'où il semble nécessaire d'établir un double bilan de liaison pour UL et DL. Commençons par l'expression de la puissance reçue en fonction de la puissance émise [9] [10] :

$$P_{RX} = P_{TX} + G_{TX} - L_{TX} + G_{RX} - L_{RX} - PL - PM \quad 2-1)$$

Avec :

- P_{RX} = Puissance reçue (dBm)
- P_{TX} = Puissance émise (dBm)
- G_{TX} = Ensemble des gains introduits au niveau de l'émetteur (dBi)
- L_{TX} = Ensemble des pertes introduites au niveau de l'émetteur (dBi)
- G_{RX} = Ensemble des gains introduits au niveau du récepteur (dBi)
- L_{RX} = Ensemble des gains introduits au niveau du récepteur (dBi)
- PL = Affaiblissement de parcours (dBi)
- PM = Marges de planification (dBi)

Si on se place dans le cas d'un affaiblissement de parcours maximal, la puissance reçue correspond donc à la sensibilité du récepteur. L'équation (2.1) peut ainsi être reformulée :

$$MAPL = PIRE - RefSens + G_{Rx} - L_{Rx} - PM \quad 2-2)$$

Nous allons maintenant traiter les paramètres de l'équation (2.2) un par un.

- **MAPL (Maximum Allowable PathLoss)** : L'affaiblissement maximal de parcours, exprimé en dB. C'est le paramètre dont on désire y aboutir à travers l'établissement d'un bilan de liaison, il s'exprime en dB.

- **PIRE (Puissance Isotrope Rayonnée Equivalente)** : ou EIRP (Equivalent Isotropic Radiated Power), est la puissance rayonnée équivalente à une antenne isotrope. Elle est exprimée en dB, sous la formule suivante :

$$PIRE = P_{TX} + G_{TX} - L_{TX} \quad 2-3)$$

Paramètre	eNodeB	UE
P_{TX}	Puissance de l'émission de l'eNodeB au niveau du connecteur de l'antenne (43-49 dBm).	Puissance d'émission de l'UE (dépend de la catégorie du UE) Catégorie 1->5 UE de Rel-8/9 Catégorie 6-7-8 UE de Rel-10/11
$G_{TX} = \sum_{i \in UE/enodeB} G_i$	G_a : Gain de l'antenne de l'eNodeB, il dépend du constructeur. $G_{TX,d}$: Gain de diversité, dépend du nombre d'antennes à l'eNodeB et de la taille du motif de coopération (M_C). $G_{TX,d} = 10 \log_{10}(N_R)$	G_a : Gain de l'antenne de l'UE, il dépend du constructeur. $G_{TX,d}$: Gain de diversité, dépend du nombre d'antennes à l'UE. $G_{TX,d} = 10 \log_{10}(N_R)$
$L_{TX} = \sum_{i \in UE/enodeB} L_i$	L_{feeder} : Pertes des câbles d'alimentation entre l'eNodeB et le connecteur d'antenne : elle dépend de la longueur, type et fréquence du câble. (1-6 dBm) L_{other} : Autres pertes liées à l'eNodeB (exemple : connecteurs).	L_{body}/L_{head} : Perte du corps humain, dépend de l'équipement de l'utilisateur (téléphone/clé USB/tablette)

Tableau 2-1: Paramètres pour le calcul du la PIRE

RefSens: Désigne la sensibilité de référence du récepteur, elle s'exprime en dB. Physiquement, ce paramètre correspond à la puissance minimale de réception, Elle est donnée par la formule (2.4).

$$RefSens = 10 \log_{10}(K.T) + 10 \log_{10}(B_{Rx}) + SINR_{req} + NF + IM \quad 2-4)$$

Paramètre	Description
K	Constante de Boltzmann (1.388062×10^{-23})
T	Température ambiante en (K)
B_{Rx}	La largeur de bande de réception : elle dépend du nombre de blocs de ressources requis, et la largeur d'un bloc de ressources.
$SINR_{req}$	La valeur de SINR requise au récepteur : dépend de B_{Rx} , du débit d'information requis, schéma CoMP, MIMO, etc. Déduite à partir des simulations du lien.
NF	RF Noise Figure (dB) : dépend du mode de duplexage et l'écart duplex.
IM	Marge d'implémentation (dB) : dépend du constructeur, elle tient compte des erreurs résiduelles dans l'étage RF du récepteur (erreurs d'échantillonnage, quantification, etc.)

Tableau 2-2: Paramètres pour le calcul de la sensibilité de réception

- **Gain du récepteur G_{RX}** : Dans les deux sens, le gain du récepteur GRX correspond au gain de diversité de réception qui dépend du type d'antenne du récepteur et du nombre d'antenne. Encore une fois, ce paramètre provient des constructeurs.
- **Perte du récepteur L_{RX}** : Ce sont les pertes causées au niveau du réception, comme les pertes de composants électronique et les pertes associées à l'utilisation de câble et d'autres acquittements.
- **Marge de planification PM** : Apres les calculs de différentes pertes ci-dessus, il est nécessaire de définir une marge de planification qui est une marge de sécurité vis-à-vis de l'environnement radio.

2.3.1.2 CALCUL DE LA SENSIBILITE DU RECEPTEUR

Le calcul de la sensibilité n'est pas évident, il est complexe et passe par plusieurs étapes, nous allons donc le consacrer cette partie, dans laquelle on va déterminer B_{Rx} et $SINR_{req}$ de l'équation (2.4) [11].

- 1) Détermination de la bande de réception B_{Rx}

$$\begin{aligned}
 B_{Rx} &= N_{PRB,req} \times BW_{PRB} = N_{PRB,req} \times 12 \times \Delta f \\
 &= 180_{KHZ} \times N_{PRB,req}
 \end{aligned}
 \tag{2-5}$$

Avec $N_{PRB,req}$ et BW_{PRB} sont respectivement le nombre de PRB (Physical Resource Block) requis et la largeur de bande d'un PRB. $\Delta f = 15KHZ$ Désigne l'espacement entre sous-porteuses. Etant sur la bordure de la cellule (où la puissance reçue doit être supérieure ou égale à la sensibilité), et pour déterminer $N_{PRB,req}$, nous devons tout d'abord définir:

- Débit d'information requis sur les bordures de la cellule : C'est le débit à procurer pour les utilisateurs situés sur les bordures de la cellule, il dépend du service à planifier et garantir pour eux. On le note : $R_{Service}$ [bit/s]
- BLER (Block Error Rate) cible (%) : Le taux d'erreur par bloc à planifier sur les bordures de la cellule, il dépend du type de service à planifier et garantir. On va le noter $BLER_{target}$
- MCS index (Modulation & Coding Scheme) : La technique de modulation et de codage optimale. L'index prend une valeur de 0 à 28. En fait, chaque MCS index doit se référer à une modulation ayant bits/symbole et un codage de rendement. (Voir l'annexe)
- Le Coût système (System OverHead) (%) : on va le noter SOH, présente le pourcentage des ressources consommées par le système parmi la totalité des ressources. En effet, le canal physique qui transporte le trafic usager (PDSCH pour le DL et PUSCH pour l'UL) n'occupe qu'un certain nombre de blocs de ressources PRB, car les autres PRB contiennent le reste des canaux et signaux physiques [11].

Remarque :

En LTE, il existe 29 MCS différents pour la transmission de données, en voie montante qu'en voie descendante. On peut voir ces MCS dans l'annexe.

Par conséquent, $N_{PRB,req}$ est donné par la formule (2.6) :

$$N_{PRB,req}^{XL} = E \left\{ \frac{10^{-3} \cdot R_{Service}^{XL} \cdot (1 + SOH^{XL})}{(100\% - BLER_{target}^{XL}) \cdot R^{XL} \cdot b^{XL} \cdot CP_i \cdot 12} \right\} + 1 \quad 2-6$$

Où, l'indice XL mentionne UL/DL, R_{XL} et b_{XL} désigne respectivement le rendement de codage et l'ordre de modulation pour le MCS sélectionné et CP_i désigne le nombre de RE (Ressource Element) utilisé pour le PRB, (égal à 7 pour un préfixe cyclique normal et 6 pour un préfixe cyclique étendu) et $E[.]$ la partie entière.

Exemple illustratif :

On se place dans le sens descendant, où on désire planifier et garantir un service pour les usagers situés sur la bordure de la cellule, ce service nécessite un débit $R_{Service}^{DL}$ (exemple 238.58Kbits/s), et un BLER cible égal à $BLER_{target}^{DL}$ (exemple 10 %). La modulation et le codage sur les bordures de la cellule sont 6-QPSK donc $b^{DL}=2$ et $R^{DL}= 0.4385$.

On suppose aussi que le coût système en DL est $SOH^{DL} = 25\%$. D'où le débit d'information réellement demandé s'écrit sous la forme :

$$R_{réel} = \frac{R_{Service}^{DL} \cdot (1 + SOH^{DL})}{(100\% - BLER_{target}^{DL})} [bit/Sec] \quad (2-7)$$

Ensuite, on doit rappeler qu'un symbole de modulation nécessite un RE (élément ressource), et qu'un TTI égal à 1 ms dans le domaine temporel. On peut aboutir à la taille de block de transport TBS (Transport Block Size : nombre de bits/utilisateur/TTI)

$$TBS = \frac{10^{-3} \cdot R_{Service}^{DL} \cdot (1 + SOH^{DL})}{(100\% - BLER_{target}^{DL})} [bit/TTI] \quad (2-8)$$

Puis, on aboutit au nombre de RE requis $N_{RE,req}$:

$$N_{RE,req} = \frac{10^{-3} \cdot R_{Service}^{XL} \cdot (1 + SOH^{DL})}{(100\% - BLER_{target}^{XL}) \cdot R^{DL} \cdot b^{DL}} [RE] \quad (2-9)$$

Il suffit maintenant de trouver le nombre PRB requis. Pour se faire on rappelle que le nombre de RE par PRB est égal à $12 \times CPI$, avec $CPI = 7$ lorsque le préfixe cyclique est normal, et $CPI = 6$ lorsque le préfixe cyclique est étendu. D'où on peut retrouver le nombre de PRB requis en passant par la formule (2.6).

2) Détermination du SINR requis : $SINR_{req}$

Par définition, le SINR (Signal to Interference and Noise Ratio) est rapport signal sur interférence et bruit. Le $SINR_{req}$ est le paramètre qui traduit la performance du système. Plus cette valeur est faible plus le système est performant. La mise en place d'une formule explicite pour déterminer le $SINR_{req}$ semble très complexe. Alors la solution la plus adéquate est d'utiliser les résultats des simulations fournis par les constructeurs.

La figure (2.3) représente la variation de SINR requis ($SINR_{req}$) en fonction du nombre de bloc de ressources requis.

($N_{PRB,req}$) déjà calculé pour tous les valeurs de MCS index, Exemple :

si le MCS est 6 – QPSK ($QPSK R = 0.4385$) et $N_{PRB,req} = 5$ donc $SINR_{req} = 2$ dB.

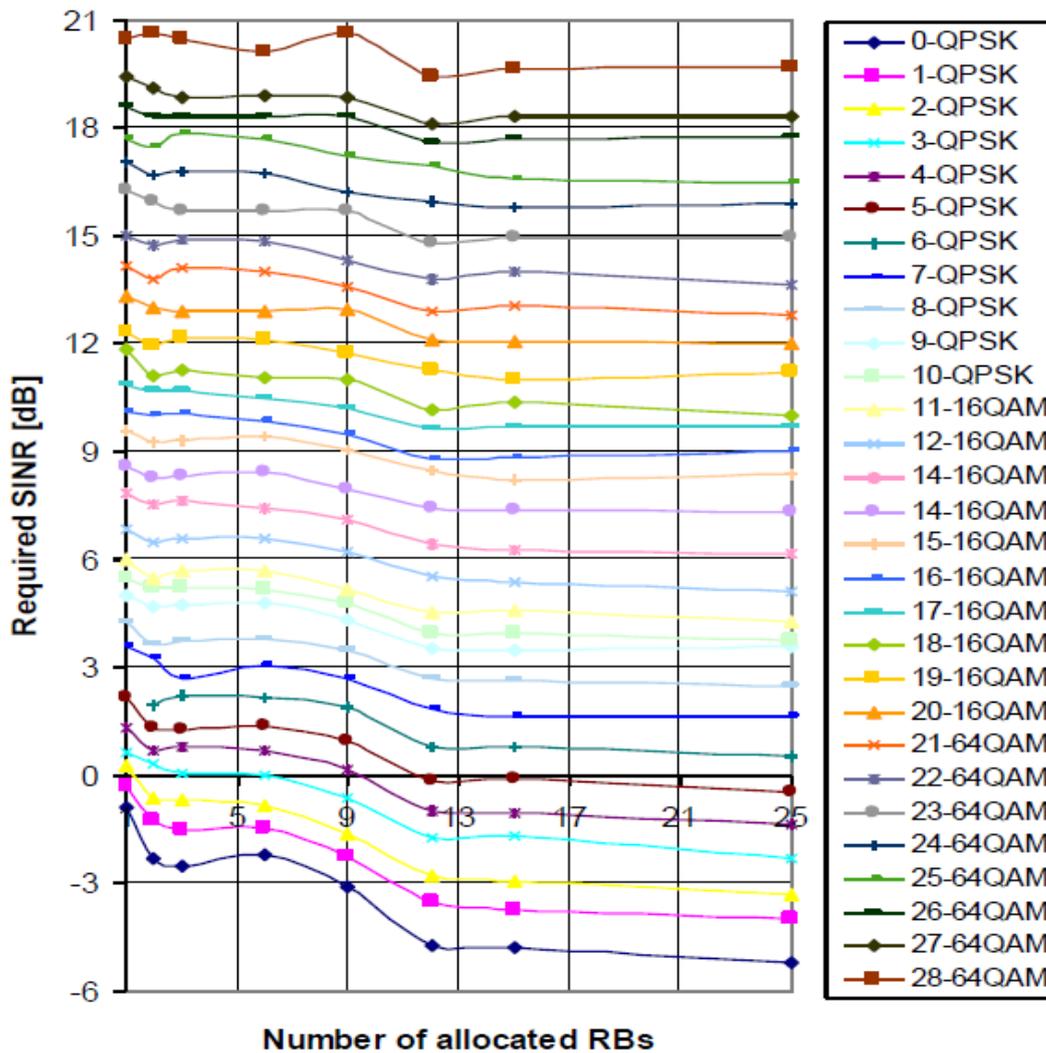


Figure 2-3: variation SINR en fonction du nombre de bloc de ressources [11]

2.3.2 LES MARGES

Après avoir calculé la sensibilité du récepteur et la PIRE dans les sections précédentes, la Question qui se pose maintenant : Est-ce qu'on peut calculer l'affaiblissement de parcours Maximum ? On doit répondre immédiatement par 'non'. Car, il est indispensable de Comptabiliser un ensemble de marges de sécurité, qui correspondent à l'environnement Radio, pour éviter le phénomène 'Swiss Cheese' (surface avec trous de couverture), et enfin atteindre notre objectif de couverture.

2.3.2.1 MARGE DE PENETRATION

Le milieu dans lequel l'utilisateur évolue a un impact sur le bilan de liaison. En effet, l'UE peut être en visibilité directe avec la station de base (LOS : Line Of Sight) ou peut ne pas être en visibilité directe (NLOS : Non Line Of Sight). Dans le deuxième cas, on parle d'un utilisateur situé à l'intérieur d'un bâtiment, ou dans une zone à haute densité de bâtiment, ou à l'intérieur d'un véhicule. Par conséquent, on distingue 4 types de couverture : Outdoor, indoor, deep indoor et incar. Chacune de ces dernières est caractérisée par une marge de pénétration qui comptabilise les pertes additionnelles introduites.

Cette marge dépend essentiellement de trois facteurs [10] :

- La fréquence du signal RF : Les pertes varient selon la fréquence du signal.
- Le type des bâtiments : Essentiellement le matériel de construction (brique, bois, pierre, verre, etc.)
- La structure des bâtiments : densité et épaisseur des murs, nombre et dimensions des fenêtres, etc.

La marge de pénétration est assimilée à une variable aléatoire Gaussienne, le meilleur moyen de déterminer sa valeur, consiste à prendre des mesures expérimentales depuis la zone concernée. Généralement, elle prend une valeur autour de 20 dB ou plus pour la perte des bâtiments (notée BL), et une valeur autour de 8 dB pour la perte des véhicules (notée VL) [11].

2.3.2.2 MARGE DE SHADOWING

Le Shadowing, ou l'effet de masque, ou autrement le Slow fading, est la variation du signal dite à moyenne échelle. Ce phénomène est dû aux obstacles qui existent dans milieu de propagation radio, tel que les bâtiments et la morphologie du terrain (vallées, collines, etc.). Les mesures réelles du terrain ont montré que l'effet de masque est une valeur aléatoire Log-Normale (c.-à-d. Son Logarithme est une variable aléatoire Gaussienne) de moyenne nulle et de variance qui dépend de la densité de l'environnement. Le calcul théorique nécessaire pour modéliser cette variable est très complexe, la solution est donc de procéder comme pour la marge de pénétration car les mesures pratiques sont indispensables pour établir la distribution de cette variable. Généralement, la marge de Shadowing (notée SM) est fixée à 5.4 dB[11].

2.3.2.3 MARGE D'INTERFERENCE

L'interférence est un intervenant très gênant dans les réseaux cellulaires, faute de la réutilisation de fréquence. En particulier en LTE-A, le facteur de réutilisation est de 1, ce qui mène à des niveaux d'interférence beaucoup plus importante. D'autre sources d'interférence peuvent être prises en compte, tel que les interférences des autres systèmes, on parle donc de l'interférence inter-système. Pour ceci, on introduit une autre marge de sécurité pour maintenir l'équilibre du bilan de liaison : la marge d'interférence (Interference Margin). Son équation est donnée par :

$$IM_{dB} = 10 \log_{10} \left(\frac{SNR}{SINR} \right) = 10 \log_{10} \left(\frac{I + N_{th} \cdot B_{Rx}}{N_{th} \cdot B_{Rx}} \right) \quad 2-10$$

Avec N_{th} , B_{Rx} , I sont respectivement la densité de bruit thermique (dB/Hz), la largeur de bande de réception et le niveau de l'interférence provenant des cellules adjacentes qui utilisent les mêmes PRB simultanément. La valeur de IM_{dB} est fortement lié à la charge de la cellule (Cell Load (%)) : le taux d'occupation des ressources physiques), la technique de coordination de l'interférence dans le concept CoMP, la distance entre deux sites, etc. Une

simulation de la variation de la marge d'interférence en fonction de la charge de la cellule a été élaborée en, dont on a résumé les valeurs dans le tableau ci-dessous. On note qu'aucune technique pour combattre l'interférence entre cellule n'a été considérée dans la simulation (On raisonne sur le Worst Case).

Charge de la cellule (%)	IM_{dB}
35	1
40	1.3
50	1.8
60	2.4
70	2.9
80	3.3
90	3.7
100	4.2

Tableau 2-3: Marge d'interférence en fonction de la charge de la cellule

2.3.2.4 MARGE DE PLANIFICATION

La marge de planification (PM) qui figure dans l'équation (2.2), est utilisée pour le calcul de l'affaiblissement maximum de parcours (MAPL). Elle n'est autre que la somme de toutes les marges de sécurité prises en compte. Elle est nécessaire pour équilibrer le bilan de liaison radio. Pour enfin aboutir à une valeur de MAPL, valable pour la planification.

$$\begin{cases} PM = IM + SM + BL & , \text{Si couverture indoor/ deep indoor} \\ PM = IM + SM + VL & , \text{Si couverture incar.} \\ PM = IM + SM & , \text{Si couverture Outdoor.} \end{cases}$$

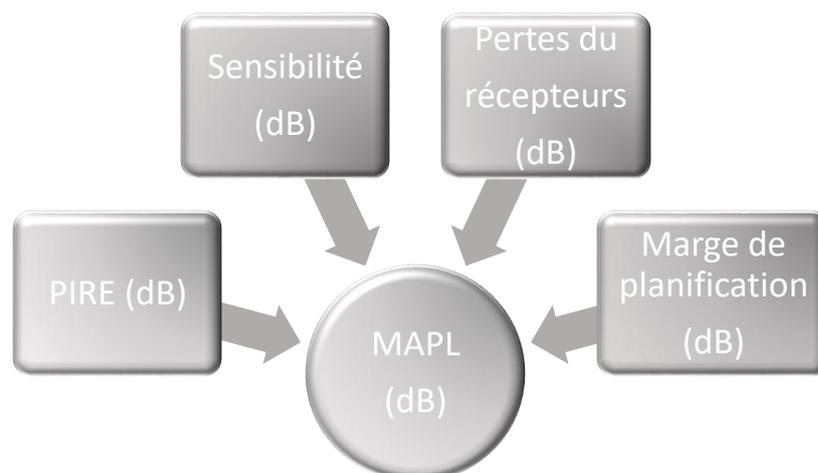


Figure 2-4: inputs pour le calcul du MAPL

2.4 MODELE DE PROPAGATION RF

Un modèle de propagation RF 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 (morphologie).
- Clutter (caractéristiques et densité des bâtiments), etc.

On fait recours à un modèle de propagation dans le but d'estimer la valeur de l'atténuation de parcours. Il n'est pas évident de mettre en place une seule équation faisant intervenir tous les facteurs, ce qui explique l'existence d'une multitude de modèles de prédiction de propagation dans le monde des télécommunications, dont on va citer quelques-uns dans cette section. Ces modèles peuvent être théoriques ou empiriques (basés sur la collection d'une grande quantité de mesures pratiques pour approximer la réponse du canal de propagation radio).

2.4.1 PROPAGATION EN ESPACE LIBRE

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

$$L_{FS} = 10 \log_{10} \left[\left(\frac{4\pi dF}{c} \right)^2 \right] = 20 \log_{10} \left[\frac{4\pi dF}{c} \right] \quad (2-11)$$

Avec d , F et c sont respectivement la distance parcourue, la fréquence et la célérité de la lumière.

2.4.2 MODÈLE COST-231 WALFISCH-IKEGAMI

Ce modèle est utilisé pour les environnements urbains et sous-urbains. Il a été initialement conçu pour des fréquences inférieures à 2 GHz, mais il peut être étendu pour atteindre des fréquences jusqu'à 6 GHz. Selon ce modèle, l'expression du PathLoss peut s'écrire comme étant somme de trois termes d'affaiblissement élémentaire, comme suit [10] :

$$L = L_0 + L_{rst} + L_{msd} \quad (2-12)$$

Avec :

<p>L_0 : Propagation en espace libre.</p>	$L_0 = 32.4 + 20 \log_{10}(d.F)$ <p>d : distance en Km F : Fréquence en MHz</p>
<p>L_{rst} : Perte de diffraction du toit vers la rue.</p>	$L_{rst} = -16.9 - 10 \log_{10}(w) + 10 \log_{10}(F) + 20 \log_{10}(h_m) + L_{ori}, \text{ si } h_m < h_{roof}$ $L_{rst} = 0, \text{ sinon}$ <p>w : largeur de la rue en m. F : Fréquence en MHz. h_m : Hauteur du mobile. h_{roof} : Hauteur du toit du bâtiment. L_{ori} : facteur de correction prenant en compte l'orientation de la rue.</p> $L_{ori} = -10 + 0.354 \varphi, \text{ si } \varphi \in [0, 35]$ $L_{ori} = 2.5 + 0.075(\varphi - 35), \text{ si } \varphi \in [35, 55]$ $L_{ori} = 4.0 + 0.0114(\varphi - 55), \text{ si } \varphi \in [55, 90]$ <p>Avec φ est l'angle d'incidence du trajet radio par rapport à l'orientation de la rue.</p>
<p>L_{msd} : Perte par diffraction multi-masques.</p>	$L_{msd} = L_{beh} \cdot K_a \cdot K_d \cdot \log_{10}(d) + K_f \cdot \log_{10}(F) - 9 \log_{10}(b)$ <p>Avec :</p> $L_{beh} = -18 \log_{10}(1 + (h_b - h_{roof})) , \text{ si } h_b > h_{roof}$ $L_{beh} = 0, \text{ sinon}$ <p>h_b : Hauteur de la station de base en m. $K_a = 54, \text{ si } h_b > h_{roof}$ $K_a = 0, \text{ sinon}$ $K_d = 18, \text{ si } h_b > h_{roof}$ $K_d = 18 - 15 \cdot (h_b - h_{roof})/h_{roof}, \text{ sinon}$ $K_f = -4 + 0.7(\frac{F}{925} - 1), \text{ Pour les sites de taille moyenne.}$ $K_f = -4b + 1.5(\frac{F}{925} - 1), \text{ Pour les centres métropolitains.}$ Et b désigne la séparation entre bâtiments en m.</p>

Tableau 2-4: Modélisation mathématique du modèle COST231 WI

2.4.3 MODÈLE DE OKUMURA-HATA

C'est le modèle le plus fréquemment utilisé, basé sur les mesures d'Okumura prises dans La région de Tokyo. Ce modèle prend en considération plusieurs facteurs, essentiellement La nature de l'environnement en spécifiant son degré d'urbanisation (urbain, urbain dense, sous urbain, rural). L'affaiblissement selon ce modèle est donné par [11]:

Urbain	$L_U = 69.55 + 26.16 \log_{10}(F) - 13.82 \log_{10}(h_b) - a(h_m) + [44.9 - 6.55 \log_{10}(h_b)]. \log_{10}(d)$ <p>Avec $a(h_m) = [1.1 \log_{10}(F) - 0.7]. h_m - [1.56 \log_{10}(F) - 0.8]$</p>
Urbain dense	$L_{Ud} = 69.55 + 26.16 \log_{10}(F) - 13.82 \log_{10}(h_b) - a(h_m). [44.9 - 6.55 \log_{10}(h_b)]. \log_{10}(d)$ <p>Avec $a(h_m) = 8.29. [\log_{10}(1.54 h_m)]^2 - 1.1$, pour $F \leq 400$ MHz $a(h_m) = 3.2. [\log_{10}(11.75 h_m)]^2 - 4.9$, pour $F \geq 400$ MHz</p>
Sous Urbain	$L_{SU} = L_U - 2. [\log_{10}(F/28)]^2 - 5.4$
Rural	$L_R = L_U - 4.78[\log_{10}(F)]^2 + 18.33 \log_{10}(F) - \alpha$ <p>$\alpha = 35.94$, si la zone est rurale quasi – ouverte. $\alpha = 40.94$, si la zone est rurale ouverte.</p>

Tableau 2-5: Modélisation mathématique du modèle de Okumura-Hata

Avec :

F Désigne la fréquence en MHz. [150,1000]

h_b Désigne la hauteur de la station de base en mètre (30 à 200).

h_m Désigne la hauteur du terminal mobile en mètre. [1,10]

d Désigne la distance en Km. [1,20]

2.4.4 MODÈLE COST-231 HATA

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

Urbain	$L_U = 46.3 + 33.9 \log_{10}(F) - 13.82 \log_{10}(h_b) - a(h_m) + [44.9 - 6.55 \log_{10}(h_b)]. \log_{10}(d)$ <p>Avec $a(h_m) = [1.1 \log_{10}(F) - 0.7]. h_m - [1.56 \log_{10}(F) - 0.8]$</p>
Urbain dense	$L_{Ud} = 46.3 + 33.9 \log_{10}(F) - 13.82 \log_{10}(h_b) - a(h_m) + [44.9 - 6.55 \log_{10}(h_b)]. \log_{10}(d) + 3$ <p>Avec $a(h_m) = [1.1 \log_{10}(F) - 0.7]. h_m - [1.56 \log_{10}(F) - 0.8]$</p>
Sous Urbain	$L_{SU} = L_U - 2 \cdot [\log_{10}(F/28)]^2 - 5.4$
Rural	$L_R = L_U - 4.78[\log_{10}(F)]^2 + 18.33 \log_{10}(F) - \alpha$ <p>Avec $\alpha = 35.94$, si la zone est rurale quasi – ouverte. $\alpha = 40.94$, si la zone est rurale ouverte.</p>

Tableau 2-6: Modélisation mathématique du modèle COST-231 Hata

2.4.5 MODÈLE D'ERCEIG GREENSTEIN

Le modèle Erceig Greenstein est un modèle empirique développé pour les applications Sans fil large bande. Le groupe qui l'a développé, a remarqué que le modèle d'Okumura-Hata n'est pas convenable pour les zones boisées et montagneuses, c'est pour cette raison qu'ils ont créé un modèle valable pour trois différents types de terrain A, B et C (voir Tableau 2.7).

$$L = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi d_0 F_{Hz}}{c} \right) + 10\gamma \log_{10} \left(\frac{d}{d_0} \right) + X_f + X_h \quad 2-13$$

Avec :

$$d_0 = 100 \text{ mètres, } d \text{ distance en mètres}$$

$$\gamma = a - b h_b + C/h_b$$

$$X_f = 6 \log_{10}(F_{MHz}/2000)$$

$$X_h = -10.8 \log_{10}(h_m/2), \text{ pour les terrains de type A et B.}$$

$$X_h = -20 \log_{10}(h_m/2), \text{ pour les terrains de type C.}$$

Type de terrain	Description	a	B	C
A	Montagneux avec une lourde densité d'arbres	4.6	0.0075	12.6
B	Vallonné avec une densité modérée d'arbres	4	0.0065	17.1
C	Terrain plat avec faible densité d'arbres	3.6	0.005	20

Tableau 2-7: type de terrain suivant le modèle d'Erceig-Greenstein

2.4.6 2 CALCUL DU NOMBRE DE SITE EN SE BASANT SUR LE BILAN DE LIAISON

Après avoir calculé l'affaiblissement de parcours maximum (MAPL) par l'établissement d'un bilan de liaison équilibré, on peut déterminer le rayon de la cellule en utilisant le modèle de propagation adéquat. En effet, lorsque l'affaiblissement de parcours est égal à sa valeur maximale, la distance parcourue est égale au rayon de la cellule R_{Cell} .

On suppose que la fréquence porteuse de déploiement est entre 1500 -2000 MHz, pour que les résultats du modèle soient valables.

On va prendre un exemple pour bien comprendre le principe. On suppose qu'on est dans un environnement urbain, qu'on va y appliquer le modèle *COST-231 Hata*. Selon le tableau 2.6, on obtient [11] [12] :

$$MAPL = 46.3 + 33.9 \log_{10}(F) - 13.82 \log_{10}(h_b) - a(h_m) + [44.9 - 6.55 \log_{10}(h_b)] \cdot \log_{10}(R_{Cell}) \quad 2-14$$

$$R_{Cell} = 10^{\frac{MAPL - 46.3 - 33.9 \log_{10}(F) + 13.82 \log_{10}(h_b) + a(h_m)}{[44.9 - 6.55 \log_{10}(h_b)]}} \quad 2-15$$

Une fois que le rayon de la cellule R_{Cell} est calculé (dans cet exemple le modèle choisi est *cost-231 Hata*, donc l'unité est le Km), on peut calculer la superficie de couverture de la cellule (appelée empreinte du site), qu'on note S_{Cell} . Cette dernière, dépend bien du nombre de secteurs par site, qu'on va noter $N_{Secteur}$ (voir tableau 2.8).

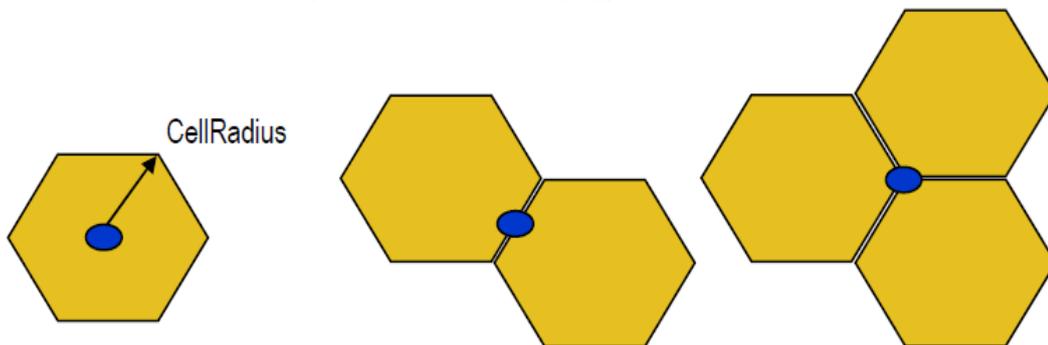


Figure 2-5: Différents types de site

(Site mono-sectorisé (à gauche), site bi-sectorisé (au milieu) et site tri-sectorisé (à droite))

Nombre de secteur par site	Empreinte
1	$S_{Cell} = 2.6 \times R_{Cell}^2$
2	$S_{Cell} = 1.3 \times 2.6 \times R_{Cell}^2$
3	$S_{Cell} = 1.95 \times 2.6 \times R_{Cell}^2$

Tableau 2-8: Empreinte du site en fonction du nombre de secteurs

Après la détermination de l'empreinte du site, et tout en disposant de la superficie totale de la zone de déploiement noté ($S_{Déploiement}$), on peut enfin aboutir au nombre de sites demandés pour la couverture, $N_{Couverture}$, à l'aide la formule (2.16). (Cette formule est applicable pour l'évaluation du sens montant et du sens descendante)

$$N_{Couverture} = E \left(\frac{S_{Déploiement}}{S_{Cell}} \right) + 1 \quad (2-16)$$

Le même algorithme qui figure dans le diagramme de la figure (2.2), doit être respecté pour la liaison montante et la liaison descendante. Ensuite, il faut choisir $N_{Couverture}$ le plus grand, pour s'assurer que les deux liaisons soient équilibrées et que le site soit balancé.

$$N_{Couverture}^{DL} = E \left(\frac{S_{Déploiement}}{S_{Cell}^{DL}} \right) + 1 \quad (2-17)$$

$$N_{Couverture}^{UL} = E \left(\frac{S_{Déploiement}}{S_{Cell}^{UL}} \right) + 1 \quad (2-18)$$

$$N_{Couverture} = MAX(N_{Couverture}^{DL}, N_{Couverture}^{UL}) \quad (2-19)$$

2.5 DIMENSIONNEMENT DE CAPACITE

L'objectif de 'dimensionnement de capacité' est de déterminer le nombre de sites nécessaires pour 'absorber' le trafic offert par les abonnés situés dans la zone de déploiement. Cette phase fait appel essentiellement à ces paramètres clés [10] :

- La capacité de la cellule dans le sens montant et le sens descendant : calculée à partir des paramètres systèmes et l'efficacité spectrale du système.
- Le volume de trafic généré par les abonnés de la zone de déploiement : déterminé à travers le nombre d'abonnés dans la zone et le trafic offert par abonné.

Chapitre 2 : Dimensionnement de l'E-UTRAN d'un réseau 4G LTE

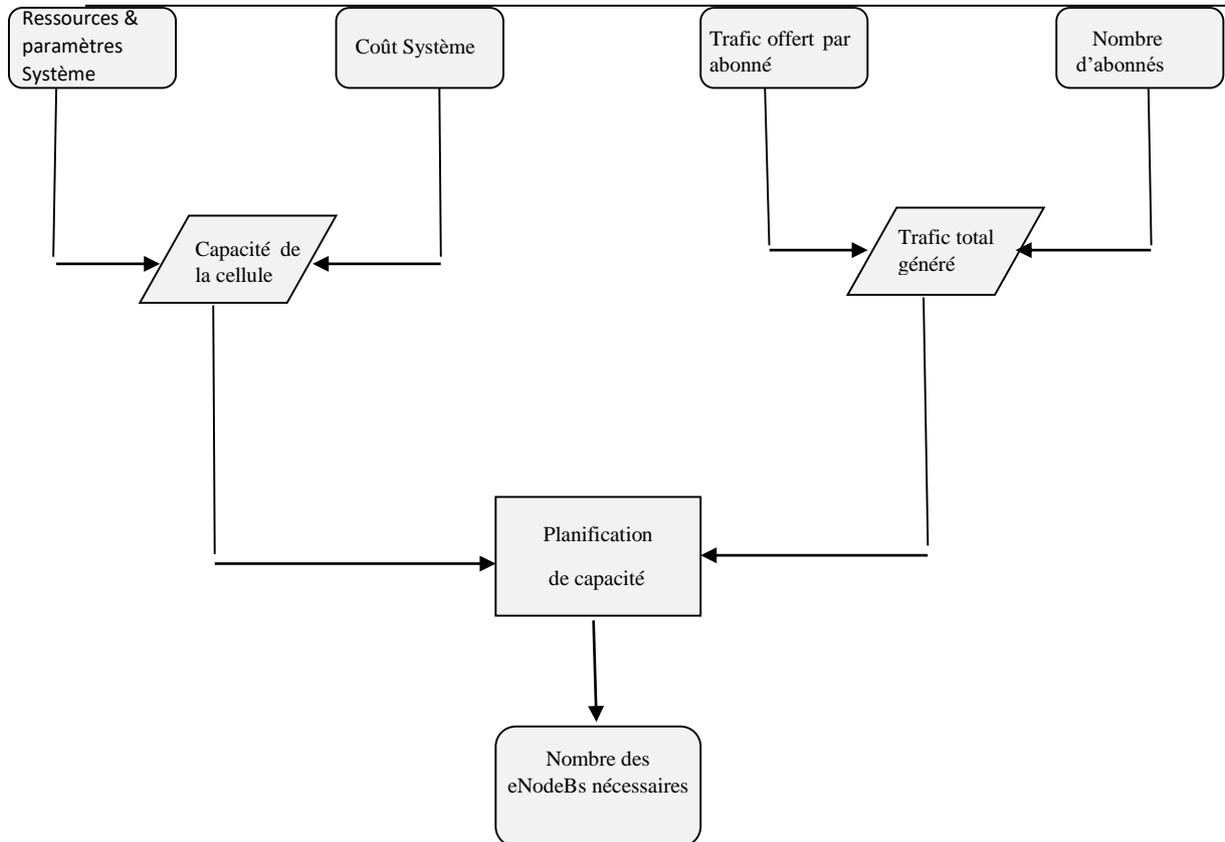


Figure 2-6: Etapes du dimensionnement orienté capacité

Dans cette section nous allons expliquer le schéma de la figure 2.06, calculer le coût Système, ou le System OverHead comme étant un paramètre très important, pouvant nous servir pour le calcul de la capacité de la cellule, puis nous allons calculer la capacité de la Cellule, ensuite nous allons mettre en place un modèle de trafic standard et finalement nous allons établir une formule permettant le dimensionnement orienté capacité.

2.5.1 CALCUL DE L'EFFICACITE DE LA BANDE SPECTRALE

Comme tout système de communication sans fil large bande, LTE-A promet de délivrer des débits élevés pour UL et DL, grâce à une efficacité spectrale améliorée et la largeur de bande disponible (par agrégation de porteuses). Ce paragraphe va discuter les facteurs agissant quantitativement et qualitativement sur la bande spectrale allouée au système. En effet, la capacité de la cellule à desservir des abonnés dépend de la quantité des ressources réservées au canal physique PDSCH/PUSCH.

Nous allons nous pencher sur le calcul de l'efficacité de la bande en LTE-A pour le sens montant et descendant, qu'on va noter respectivement η_{BW}^{DL} et η_{BW}^{UL} . Raison de simplification, les pertes de l'étage RF et les pertes dues à l'insertion du préfixe cyclique, sont à négliger par rapport aux pertes dues aux canaux et signaux physiques. Il faut mettre en relief que l'efficacité de la bande et le coût système, sont deux paramètres complémentaires, autrement dit :

$$\eta_{BW}^{UL} = 1 - SOH^{UL} \quad \text{et} \quad \eta_{BW}^{DL} = 1 - SOH^{DL} \quad (2-20)$$

Le chapitre 1 explique la structure de l'interface air et la grille des ressources temporelles pour LTE, cette grille est partagée entre les différents canaux et signaux physiques (voir figure 2.7).

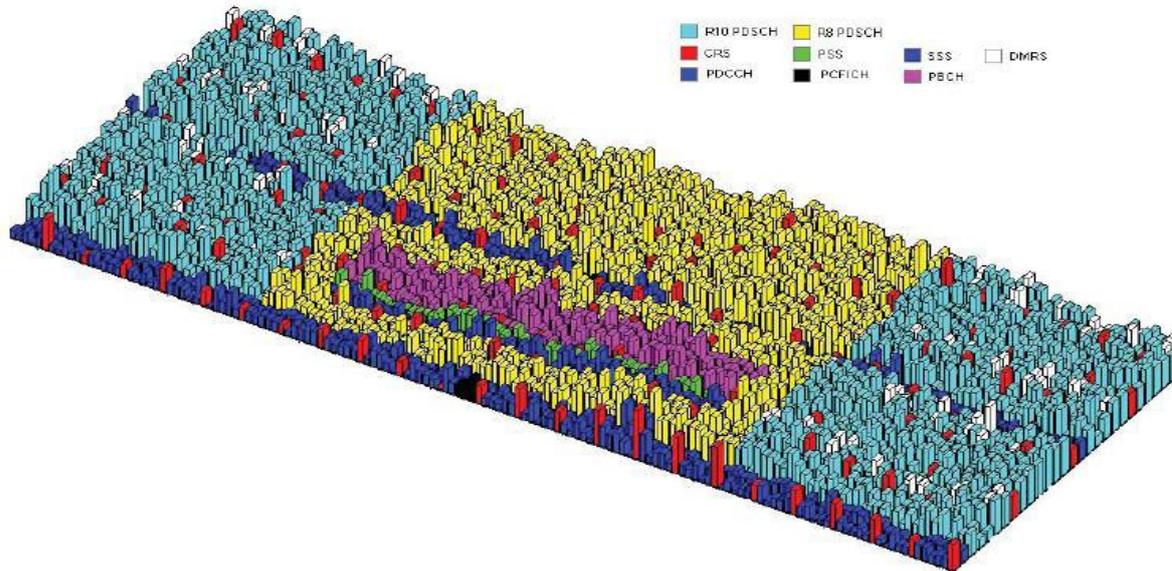


Figure 2-7: Exemple de répartition de la grille des ressources en DL LTE-A

- Coût des signaux de référence **RS** pour UL/DL :

On va le noter SOH_{RS}^{UL} et SOH_{RS}^{DL} respectivement pour le DL et l'UL. Comme c'est mentionné dans le chapitre 1, le signal de référence occupe un certain nombre d'éléments ressources (RE) par bloc de ressources (PRB) pour servir dans l'estimation de canal. La densité des RE alloués ne dépend que de la configuration MIMO et la longueur du préfixe cyclique. La densité des signaux de référence en DL (CSI-RS) peut être résumée dans le tableau suivant :

Nombre d'antenne à l'eNodeB (N_{bs})	RE de RS / PRB $N_{RS/PRB}^{DL}$
1	4
2	8
4	12
8	20

Tableau 2-9: Densité des RS en fonction de la configuration MIMO

$$SOH_{RS}^{DL} = \frac{N_{RS/PRB}^{DL}}{CPI \times 12} \quad (2-21)$$

Exemple : Pour préfixe cyclique de taille normale $Pi = 7$, et 2 antennes à l'eNodeB $N_{bs}=2$, donc $SOH_{RS}^{DL} = \frac{8}{84} = 9,52\%$. Pour le lien montant, les signaux de référence (DM-RS), transmis

toujours sur le quatrième RE dans le domaine temporel dans chaque PRB de PUCCH.

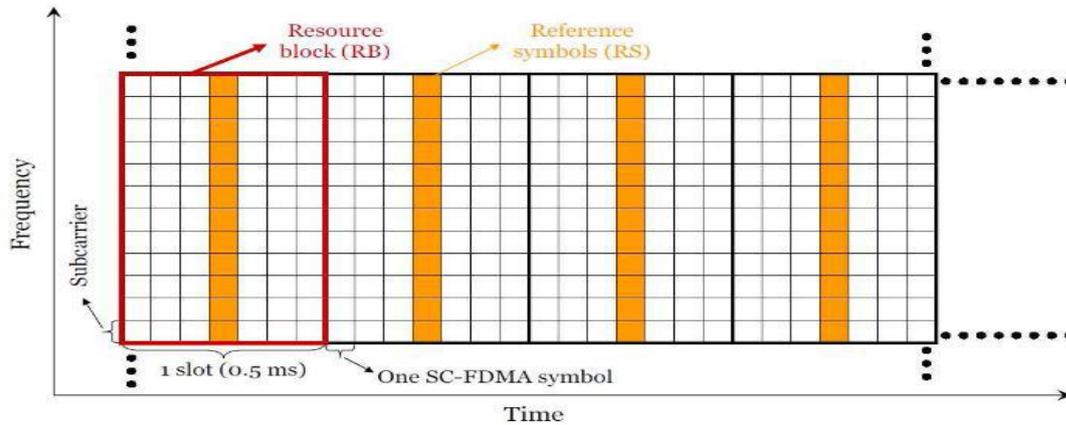


Figure 2-8: Signaux de référence en UL

$$SOH_{RS}^{UL} = \frac{12}{12 \times CPI} \times SOH_{PUCCH}^{UL} = \frac{1}{CPI} \times SOH_{PUCCH}^{UL} \quad (2-22)$$

- Canaux de synchronisation pour DL : PSS et SSS :

Les canaux PSS et SSS occupent ensemble deux fois 72 RE pendant chaque trame radio.

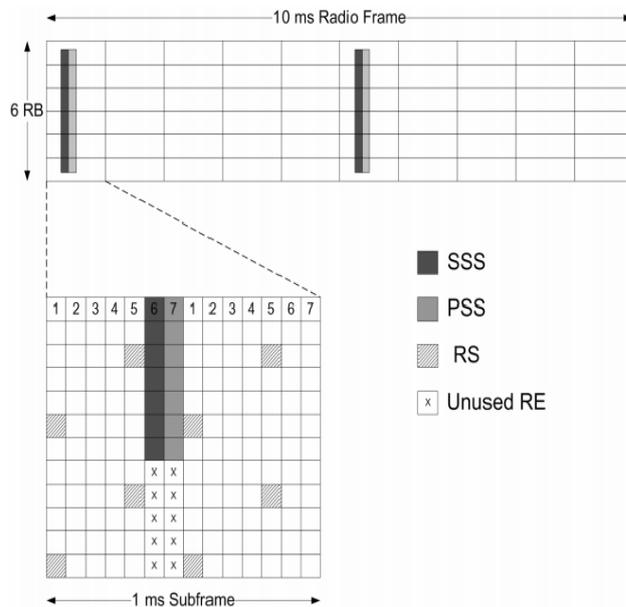


Figure 2-9: Signaux de synchronisation pour DL

Ainsi l'OverHead relatif à ces signaux correspond au rapport entre le nombre de RE alloués à ces signaux et le nombre total des RE dans la trame radio de 10 ms, et il est donné par l'équation ci-dessous :

$$SOH_{PSS/SSS}^{DL} = \frac{72 \times 2}{N_{PRB}^{total} \times 12 \times CP_i \times 20} \quad (2-23)$$

N_{PRB}^{total} : Dépend de la bande spectrale allouée au système , exemple pour 15MHz

$$N_{PRB}^{total} = 75$$

- Le coût du canal **PBCH** pour DL :

Ce canal est transmis durant 4 trames radio de 10 ms consécutives et il occupe 6 PRB, soit 72 sous-porteuses. Le PBCH est représenté dans la figure 2.10, par la coloration jaune.

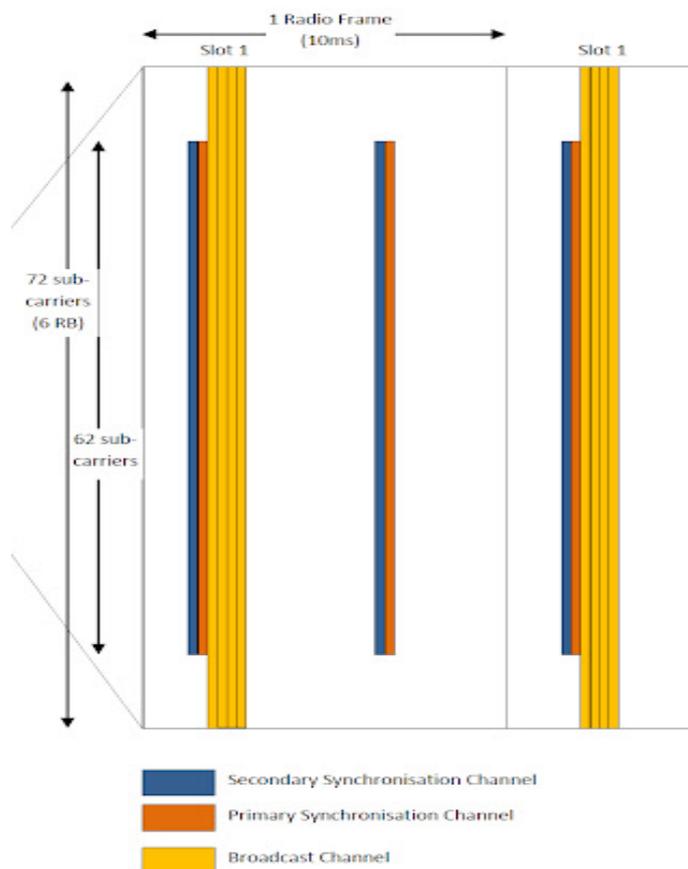


Figure 2-10: Canal PBCH pour la liaison descendante

D'où :

$$SOH_{PBCH}^{DL} = \frac{4 \times 72}{N_{PRB}^{total} \times 12 \times CP_i \times 20} \quad (2-24)$$

- **PDCCH, PCFICH et PHICH** pour le DL (appelé L1/L2 OverHead) :

Ces canaux sont susceptibles à occuper les trois premiers symboles, du domaine temporel, de chaque TTI. Le nombre de RE occupés par un TTI par ces canaux, peut être modélisé sous la forme : $(2y - x)$

Avec $y = 1, 2$ ou 3 .

Et $x = N_{RS/PRB}^{DL}$: Le nombre de RE occupés par RS.

$$SOH_{L1/L2}^{DL} = \frac{12 \times 3 - N_{RS/PRB}^{DL}}{12 \times CP_i \times 2} \quad (2-25)$$

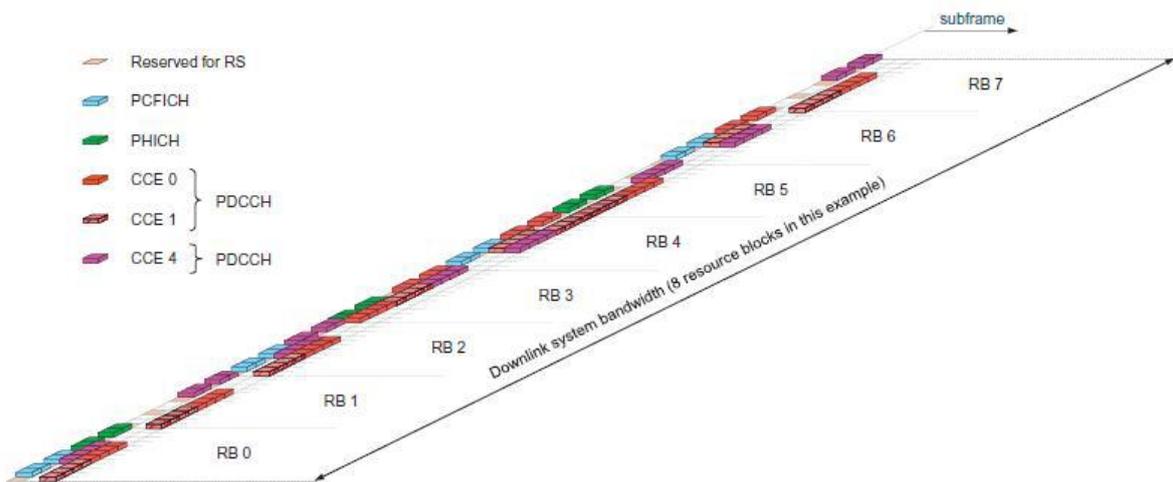


Figure 2-11: Exemple de mapping des canaux PDCCH, PHICH et PCFICH

- **PRACH** pour UL :

PRACH transporte le préambule d'accès aléatoire, il occupe 6 PRB de chaque trame radio de 10 ms. L'emplacement de ces PRB, dépend principalement de deux paramètres de la couche RRC, qui sont : PRACH Configuration Index (pour la détermination de la densité de RACH, autrement dit le nombre de symboles dans le domaine fréquentiel que peut occuper un préambule d'accès aléatoire. Son valeur s'étend de 1 à 4) et PRACH Frequency offset (pour le positionnement dans le domaine fréquentiel).

$$SOH_{PRACH}^{UL} = \frac{6 \times RACH_{Densité}}{N_{PRB}^{total} \times 12 \times CP_i \times 20} \quad (2-26)$$

- PUCCH pour UL :

L'OverHead du canal PUCCH, est défini comme étant le rapport entre le nombre de PRB réservés pour ce canal et le nombre total des PRB dans le domaine fréquentiel par TTI. Le tableau ci-dessous indique le nombre de PRB alloués pour différents largeurs de bande.

$$SOH_{PUCCH}^{UL} = \frac{N_{PRB,PUCCH}}{N_{PRB}^{total}} \quad (2-27)$$

Largeur de bande du canal	$N_{PRB,PUCCH}$
1.4 MHz	1
3.0 MHz	2
5.0 MHz	2
10.0 MHz	4
15.0 MHz	6
20.0 MHz	8

Tableau 2-10: Nombre de PRB alloué au canal PUCCH

UL	DL
SOH_{RS}^{UL}	SOH_{RS}^{DL}
SOH_{PRACH}^{UL}	$SOH_{PSS/SSS}^{DL}$
SOH_{PUCCH}^{UL}	SOH_{PBCH}^{DL}
–	$SOH_{L1/L2}^{DL}$

Tableau 2-11: Récapitulatif de l'OverHead pour chaque CC en LTE

On obtient ainsi l'OverHead du système par CC, car chaque CC est censé contenir tous les canaux physiques, pour qu'elle garde la compatibilité LTE/LTE-Advanced.

$$SOH^{UL} = SOH_{RS}^{UL} + SOH_{PRACH}^{UL} + SOH_{PUCCH}^{UL} \quad (2-28)$$

Et

$$SOH^{DL} = SOH_{RS}^{DL} + SOH_{PSS/SSS}^{DL} + SOH_{PBCH}^{DL} + SOH_{L1/L2}^{DL} \quad (2-29)$$

Et enfin η_{BW}^{UL} , η_{BW}^{DL} sont obtenus à l'aide de l'équation (2.20).

2.5.2 CALCUL DE LA CAPACITE DE LA CELLULE

La capacité de la cellule en LTE/LTE-A n'est autre que le débit moyen sur le canal physique de données (PDSCH pour DL et PUSCH pour UL), et ceci dépend de plusieurs intervenants, qui sont essentiellement les suivants :

- Le nombre de CC allouées et leurs largeurs respectives.
- Les techniques de modulation et de codage employés.
- Les techniques MIMO mises en place.
- L'OverHead du système.
- La taille du préfixe cyclique.
- Le nombre de secteurs par site, etc.

Nous allons commencer par un exemple pour enfin établir une formule générale permettant de calculer la capacité de la cellule pour le sens montant et le sens descendant. On se place dans le sens descendant, et on suppose que le système ne dispose que d'une seule CC de largeur 15 MHz, cette largeur correspond à 75 PRB par TTI (1 ms), autrement dit (**12 sous – porteuses \times 7 symboles OFDM \times 75 PRB**) RE / 0.5 ms dans le cas d'un préfixe cyclique de taille normale ($CP_i = 7$), ensuite **12600×10^3** [RE/s].

Nous devons maintenant retrancher l'ensemble de RE utilisés par le système, on va donc supposer que l'OverHead du système dans le sens descendant est de **25%** ($SOH^{DL} = 0.25$ d'où $\eta_{BW}^{DL} = 0.75$), puis le débit des RE consacrés pour les usagers sur le canal PDSCH est **$0.75 \times 12600 \times 10^3$** [RE/s].

On sait qu'un élément ressource RE correspond à un symbole de modulation, donc le nombre de bits d'informations par RE dépend de la technique de modulation et de codage utilisée (MCS index). Or le MCS utilisé n'est pas le même dans tous les points de la cellule, car il dépend de la valeur de SINR (AMC : Adaptive Modulation & Coding), plus le SINR est élevé plus l'ordre de MCS est grand (voir figure 2.12). Pour ceci nous proposons de déterminer la probabilité d'adopter un MCS donné (dans ce cas le canal est PDSCH, donc les modulations possibles sont QPSK, 16-QAM et 64-QAM avec différents rendements de code). On note Pr_{MCSi} la probabilité d'adopter MCS d'index i (avec $i \in [0, 28]$). Dans ce qui suit nous allons faire un exemple simplifié pour comprendre le principe, cet exemple ne tient compte que de trois MCS qui sont les suivants : QPSK $\frac{1}{2}$, 16-QAM $\frac{2}{3}$, 64-QAM $\frac{5}{6}$. Ceci peut être généralisé pour tous les MCS index (voir l'annexe).

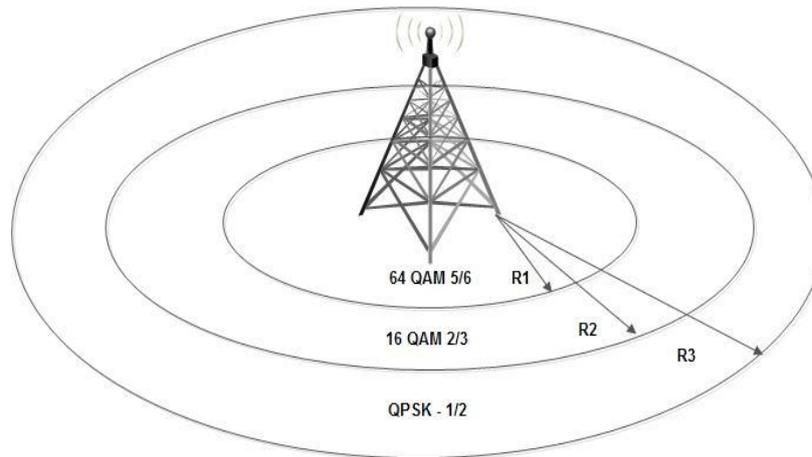


Figure 2-12: Schéma simplifié de la répartition des MCS

Nous allons donc avoir besoin essentiellement de deux résultats :

- La courbe de variation de SINR de l'UE en fonction de la distance de l'eNodeB (à partir du Link Level Simulation).
- La valeur minimale de SINR requise pour chaque MCS (notée $SINR_{min}^{MCS_i}$) (Link Level Simulation). Voir l'exemple dans le tableau ci-dessous.

MCS	$SINR_{min}(dB)$
QPSK 1/2	1.75
16-QAM 2/3	11.5
64-QAM 5/6	14.5

Tableau 2-12: [SINR]_min selon le MCS

Selon des données réalisées par une simulation avec MATLAB [10], pour représenter la variation du SINR en fonction de la distance UE-eNodeB, pour le cas JT-CoMP et sans coopération, où il a été considéré un $R_{cell} = 1000$ m, $PL(r) = 36.3 + 37.6 \log_{10}(r)$, $N_{th} = 174.4$ dB/Hz, $P_{Tx} = 48$ dBm, la puissance de l'émission de l'eNodeB, un motif de coopération à 3 cellules.

On remarque que l'impact du concept CoMP sur la capacité est négligeable par rapport aux autres facteurs, en effet les R_i sont presque identiques et par conséquent les Pr_{MCS_i} sont aussi presque identiques.

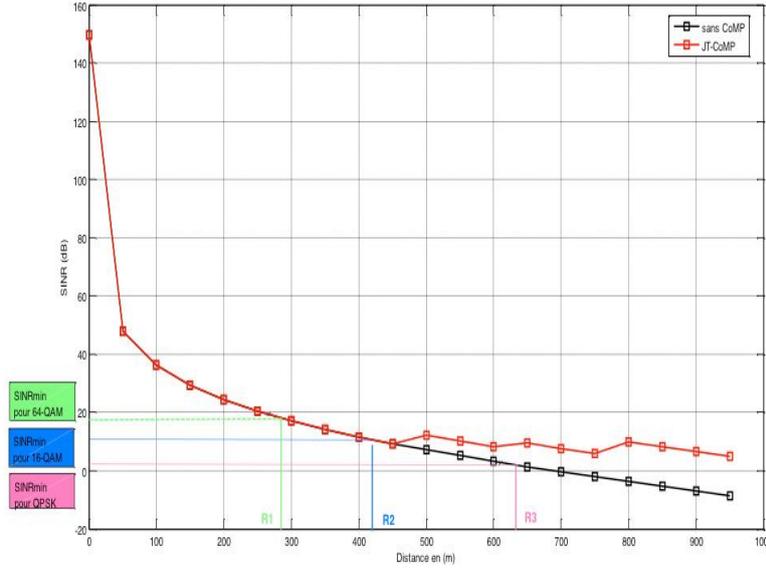


Figure 2-13: Evolution du SINR en fonction de la distance pour JT-Comp

Puis :

$$Pr_{64QAM} = \frac{R_1^2}{R_2^2}, Pr_{16QAM} = \frac{R_2^2 - R_1^2}{R_3^2} \text{ et } Pr_{QPSK} = \frac{R_2^2 - R_1^2}{R_3^2}$$

On rappelle que chaque MCS est caractérisé par un nombre de bits/symbole b et un rendement de code R donc une efficacité de $\eta^{MCSi} = b^{MCSi} \cdot R^{MCSi}$

Par suite, les $(0.75 \times 12600 \times 10^3)$ [RE/s] deviennent :

$$\left(\sum_{i=0}^{28} \eta^{MCSi} \cdot Pr_{MCSi} \right) \times 0.75 \times 12600 \times 10^3 \text{ [bit/s]}. \text{ Avec } \sum_{i=0}^{28} Pr_{MCSi} = 1.$$

Reste à considérer la technique MIMO, et les gains de multiplexage spatial. Le gain de multiplexage spatial n'est pas le même dans tous les points de la cellule, il dépend du rang de la matrice du canal. De même, on pose $Pr_{(SM_{gain}=K)}$ est la probabilité que le gain de multiplexage spatial soit égal à $k=1, 2, 4$ ou 8 pour DL (pour le sens montant $k=1, 2$ ou 4).

Si on suppose que $Pr_{(SM_{gain}=K)}$ et Pr_{MCSi} sont indépendantes, et que le site est tri-sectorisé, la capacité de la cellule pour le sens descendant est égale à :

$$C_{Capacity}^{DL} = N_{Sector} \cdot N_{CC}^{DL} \cdot \left(\sum_{i=0}^{28} \eta^{MCSi} \cdot Pr_{MCSi} \right) \cdot \left(\sum_{K \in \{1,2,4,8\}} K \cdot Pr_{(SM_{gain}=K)} \right) \eta_{BW}^{DL} \cdot 12 \cdot N_{PRB} \cdot CP_i \cdot 2 \cdot 10^3 \quad \text{2-30}$$

[bits/s]

Par analogie pour le sens montant :

$$C_{Capacity}^{UL} = N_{Sector} \cdot N_{CC}^{UL} \cdot \left(\sum_{i=0}^{28} \eta^{MCSi} \cdot Pr_{MCSi} \right) \cdot \left(\sum_{K \in \{1,2,4\}} K \cdot Pr_{(SM_{gain}=K)} \right) \eta_{BW}^{UL} \cdot 12 \cdot N_{PRB} \cdot CP_i \cdot 2 \cdot 10^3 \quad (2-31)$$

[bits/s]

Avec :

- N_{Sector} : Nombre de secteurs par site.
- N_{CC}^{DL} et N_{CC}^{UL} : sont respectivement le nombre de CC pour DL et pour UL.
- η^{MCSi} et Pr_{MCSi} : sont respectivement l'efficacité et la probabilité d'occurrence du MCS d'index i .
- k et $Pr_{(SM_{gain}=K)}$: sont respectivement le gain de multiplexage spatial et la probabilité d'occurrence de ce gain.
- η_{BW}^{DL} et η_{BW}^{UL} : sont respectivement l'OverHead du système en DL et en UL.
- N_{PRB} : est le nombre de PRB par CC (dans ce cas les CC sont de mêmes largeurs).
- CP_i : le nombre de symboles OFDM par TTI (égal à 7 si le CP est normal et à 6 si le CP est étendu)

2.5.3 MODELE DE TRAFIC ET ESTIMATION DU NOMBRE D'ABONNÉS

Pour dimensionner le trafic nous avons besoin des informations des abonnés et de la zone de déploiement. Les données nécessaires pour prévoir le nombre d'abonnés dans la zone concernée, sont principalement les suivantes [9] [10] :

- Densité d'abonnés dans la zone (abonnés/Km) : ρ
- Surface de déploiement (en Km) : $S_{Déploiement}$
- Part de marché estimé de l'opérateur (%) : $P_{Marché}$
- Taux de pénétration des consommateurs (%) : $TP_{Consommateur}$
- Taux de croissance (%) : TC
- Durée d'investissement (années): I

Facteur d'Overbooking (%) : **OBF** .Lorsqu'un site prend en charge un nombre d'abonnés égal à son capacité, il utilise entièrement ses ressources radio, ce qui augmente le niveau d'interférence dans toute la zone de déploiement. Exemple : **OBF = 10%** ,il faut charger la cellule à 10 % moins de sa capacité, si elle peut servir 100 abonnés, il faut l'affecter 90.

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

$$N_{abonnés} = \rho \cdot S_{Déploiement} \cdot P_{Marché} \cdot (1 + TC) \cdot TP_{Consommateur} \quad 2-32)$$

On se propose maintenant d'estimer le trafic offert par abonné à l'heure chargée (Busy Hour : BH). L'heure chargée est définie comme étant les 60 minutes consécutives où le trafic est maximal.

Le trafic en LTE est aléatoire, sporadique et variable au cours du temps, il est mesuré en (bits/s) car LTE est un réseau à commutation de paquets, ainsi la formule d'Erlang n'est plus valable. Vu que le réseau LTE permet d'offrir une multitude de services aux abonnés, nous proposons de discriminer le trafic comme étant une somme de plusieurs segments de trafic, provenant chacun d'une application/service. (Voir tableau 2.13)

Service	Débit en DL (Kbps) $R_{Service}^{DL}$	Débit en UL (Kbps) $R_{Service}^{UL}$	Protocol OverHead (%) $POH_{Service}$	Taux de Pénétration (%) $TP_{Service}$
VOIP	26.90	26.90	3.63	20.0
HTTP browsing	250.11	62.53	5.3	100.0
FTP	750.34	140.69	9.8	20.0
Interactive Streaming	134.90	134.90	2.2	10.0
Background Services	15.69	15.69	1.0	50.0

Tableau 2-13: Exemple de modèle de trafic

Avec :

$R_{Service}^{DL}$ et $R_{Service}^{UL}$ Désignent respectivement le débit demandé par un abonné à BH pour un service donné en UL et en DL (exemple. VoIP) : Cet indicateur dépend de plusieurs facteurs essentiellement on peut citer : la classe socio-économique des abonnés (classe résidentielle à services de base, classe résidentielle à services supplémentaires, classe des petites et moyennes entreprises, classe des grandes entreprises et professionnels), le besoin spécifique des abonnés envers ce service, le type de la zone (industrielle, résidentielle, rurale), la taille d'un paquet de ce service, etc.

$POH_{Service}$ Désigne l'ensemble des coûts supplémentaires, en termes de débit, que puisse introduire le service lui-même, par le protocole qui l'encapsule (exemple : TCP, UDP, etc.)

$TP_{Service}$ Désigne le taux de pénétration du service.

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

$Traffic_{abonné}^{DL} = \sum_{Service \in Ensemble\ des\ services} R_{Service}^{DL} \cdot (1 + POH_{Service}) \cdot TP_{Service}$	(2-33)
$Traffic_{abonné}^{UL} = \sum_{Service \in Ensemble\ des\ services} R_{Service}^{UL} \cdot (1 + POH_{Service}) \cdot TP_{Service}$	2-34)

Le volume total de trafic pour DL et UL à la i-ème année d'exploitation peut s'exprimer donc :

$$Traffic^{DL} = Traffic_{abonné}^{DL} \cdot N_{abonnés} \quad (2-35)$$

$$Traffic^{UL} = Traffic_{abonné}^{UL} \cdot N_{abonnés} \quad 2-36)$$

2.5.4 DETERMINATION DU NOMBRE DE SITES REQUIS

Le nombre de sites nécessaires pour satisfaire la contrainte de la capacité est donnée par :

$$N_{Capacité}^{DL} = E \left(\frac{Trafic^{DL}}{C_{Capacité}^{DL} \cdot (1 - OBF)} \right) + 1 \quad 2-37)$$

$$N_{Capacité}^{UL} = E \left(\frac{Trafic^{UL}}{C_{Capacité}^{UL} \cdot (1 - OBF)} \right) + 1 \quad 2-38)$$

$$N_{Capacité} = \text{Max} (N_{Capacité}^{DL}, N_{Capacité}^{UL}) \quad 2-39)$$

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

$$C_{abonné}^{DL} = E \left(\frac{C_{Capacité}^{DL} \cdot (1 - OBF)}{Trafic_{abonné}^{DL}} \right) \quad 2-40)$$

$$C_{abonné}^{UL} = E \left(\frac{C_{Capacité}^{UL} \cdot (1 - OBF)}{Trafic_{abonné}^{UL}} \right) \quad 2-41)$$

Dans les sections précédentes, nous avons déterminé le nombre minimum des eNodeBs requis pour établir la couverture demandée, noté $N_{Couverture}$, ainsi que le nombre minimum d'eNodeB pour satisfaire la demande en termes de capacité, noté $N_{Capacité}$. Par conséquent, le nombre de sites demandés pour obéir à la fois à la contrainte de Couverture et de capacité est donné par l'équation :

$$N^{enodeB} = \text{Max} (N_{Couverture}, N_{Capacité}) \quad 2-42)$$

2.6 CONCLUSION

Nous avons consacré ce chapitre pour aborder le principe de dimensionnement de l'eNodeB 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 du chapitre suivant.

Chapitre 3 : développement d'un outil et simulation sur Atoll

3.1 INTRODUCTION GENERAL

Dans ce chapitre nous avons effectué une simulation de déploiement du réseau LTE 1800 sur la zone de Boufarik ville (wilaya Blida).

Cette simulation nous a permis d'utiliser un Logiciel appelé Atoll, ce dernier est développé par la société Forsk de la planification des réseaux, et qui nous permet de voir des informations sur le nombre de sites nécessaires pour assurer le service et également savoir la couverture des zones données.

Notre objectif est de développer un outil de calcul simple de dimensionnement avec Excel et comparer les résultats trouvés avec Atoll.

En premier lieu, on a calculé le MAPL et le rayon de la cellule selon les exigences de réseau pour Détermine le nombre d'eNodeB final qui est le plus grand nombre entre la capacité et la couverture.

Dès qu'on lance le programme Atoll, on ouvre un nouveau document pour simuler l'environnement LTE1800, puis on importe les cartes adaptées afin de réaliser des prédictions dans la région de Boufarik., en choisissant le système de coordonnées approprié.

Dans ce projet, notre travail a été basé sur un milieu urbain (ville), on procède au paramétrage du modèle de propagation ainsi que de l'antenne en conséquence puis observer et analyser les résultats des simulations. Et à la fin nous comparerons le résultat qui obtenu par Atoll avec notre résultat obtenu grâce à l'outil que nous avons développé.

3.2 DEVELOPPEMENT DE L'OUTIL SUR EXCEL

3.2.1 INTRODUCTION

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

Dans cette partie, on utilise le fichier Excel afin d'introduire les calculs mathématiques nécessaires au dimensionnement sur ses deux plans : couverture et capacité.

Les paramètres pertinents du réseau qui constituent l'entrée du processus de dimensionnement sont :

- La surface à couvrir
- La densité d'abonnés par km²

- Modèle de trafic
- Charge moyenne en DL

3.2.2 CALCUL DE COUVERTURE

L'analyse de la couverture reste fondamentalement l'étape la plus critique dans la conception de réseau LTE. On se base sur le Bilan de liaisons, qui permet à estimer le taux de perte du trajet. Pour cela, il est nécessaire de choisir d'un modèle de propagation approprié qui est le : Modèle COST-231Hata calibré.

Le résultat final obtenu est la taille de la cellule à couvrir, ce qui donne une estimation sur le nombre total de sites. Cette estimation basée sur les exigences de couverture doit être vérifiée aussi par les besoins de capacité.

1	Parameters	Value	
2	Max Transmitter power (dBm)	46	
3	Antenna Gain (dBi)	17	
4	Cable loss (dB)	0,5	
5	EIRP (dBm)	62,5	
6	Diversity gain UE (dBi)	3,0103	
7	Noise figure	8	
8	Thermal Noise (dBm)	-104,5	
9	Receiver noise floor (dBm)	-96,5	
10	SINR requis (dB)	-6	
11	Receiver sensitivity (dBm)	-102,5	
12	Interference Margin (dB)	3	
13	Receiver antenna gain (dBi)	0	
14	Penetration loss (dB)	20	
15	Body Loss (dB)	0	
16	Marge shadowing (dB)	0	
17	MAPL (dBm)	142	
18	Hb (m)	30	
19	Hm (m)	1,5	
20	F_DL (Mhz)	1835	
21	Rayon Cell (Km) Urbain	1,152583	
22	Surface de déploiement (km ²)	6,067	
23	Surface du site Urbain (km ²)	6,7352297	
24	Nombre de site	0,9007859	1
25			
26			

Tableau 3-1: Calcul et résultat de dimensionnement de couverture en DL

1	Parameters	Value	
2	Max Transmitter Power (dBm)	23	
3	Transmitter antenna gain (dBi)	0	
4	Body Loss (dB)	0	
5	EIRP (dBm)	23	
6	Diversity Gain (dBi)	3	
7	Noise Figure (dB)	5	
8	Thermal Noise (dBm)	-118,4	
9	Receiver Noise Floor (dBm)	-113,4	
10	SINR requis (dB)	-7	
11	Receiver sensitivity (dBm)	-120,4	
12	Interference Margin (dB)	3	
13	Loss cable (dB)	0,5	
14	Receiver antenna gain (dBi)	17	
15	Penetration Loss (dB)	20	
16	Marge Shadowing (dB)	0	
17	MAPL	139,9	
18	Hb (m)	30	
19	Hm (m)	1,5	
20	F_UL (Mhz)	1740	
21	surface de déploiement	6,067	
22	Rayon Cell (Km)Urbain	1,058085	
23	Surface du site (km ²)	5,676089	
24	Nombre de site UL	1,06887	2
25			
26			

Tableau 3-2: Calcul et résultat de dimensionnement de couverture en UL

Le nombre de eNodeB requis pour couvrir la liaison montante est 2 sites et pour la liaison descendante est de 1 donc le nombre final de site est de 2 sites.

3.2.3 CALCULE DE CAPACITÉ

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

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

Chapitre 3 : développement d'un outil et simulation sur Atoll

1	SOH DL	0,14					
2	nombre de PRB	75					
3	6 QPSK 1/2	0,4385					
4	14-16 QAM	0,54					
5	26-64 QAM	0,8525					
6	Probabilite QPSK	0			nombre DL User	Debit de service	
7	Probabilite 16QAM	0			H S I	58	10000
8	Probabilite 64QAM	1			Mobile access	93	128
9	L'efficacite spectral η	0,86			Video Confere	16	64
10	η mcs 6	0,877			VOIP	57	12,2
11	η mcs 14	2,16				593623,4	5,446086239
12	η mcs 26	5,115					
13	$\sum(\eta \text{ mcs} \cdot \text{pr mcs})$	5,115					
14	probabilite Smgain=1	0	1			0,258928571	
15	probabilite Smgain=2	1	2			0,415178571	
16	probabilite Smgain=4	0	4			0,071428571	
17	probabilite Smgain=8	0	8			0,254464286	
18	$\sum(\text{gain} \cdot \text{pr smgain})$	2					
19	CPI	7					
20	Ncc	1					
21	la capacite de la cellule bit/s	110852280	110 Mbit/s				
22	la capacite de site bit/s	332556840	332 Mbit/s				
23	Taux de penetration	0,6					
24	P marche	0,3					
25	la densite d'abonnees par km2	800					
26	surface deploiement km2	6,067					
27	Nombre d'abonne	4853,6					
28	debit de service R(kbps)	12,2	10000	128	64		
29	POH	0,03	0,053	0,098	0,022		
30	Taux de penetration service	0,25	0,25	0,41	0,07		
31	trafic offre par abonne (kbps)	2697,8431					
32	le trafic total Kbps	2356965,23					
33	OBF	0,1					
34	nombre de site	7,87489517	8				

Tableau 3-3: Calcule de capacité en DL

1	SOH UL	0,25				
2	nombre de PRB	75				
3	6 QPSK 1/2	0,365				
4	14-16 QAM	0,45				
5	28-64 QAM	0,7717				
6	Probabilite QPSK	0				
7	Probabilite 16QAM	1				
8	Probabilite 64QAM	0				
9	L'efficacite spectral η	0,75				
10	η mcs 6	0,73				
11	η mcs 14	1,8				
12	η mcs 26	4,6302				
13	$\sum(\eta \text{ mcs} * \text{pr mcs})$	1,8				
14	probabilite Smgain=1	0	1			
15	probabilite Smgain=2	1	2			0,319587629
16	probabilite Smgain=4	0	4			0,371134021
17	probabilite Smgain=8	0	8			0,268041237
18	$\sum(\text{gain} * \text{pr smgain})$	2				0,041237113
19	CPI	7				
20	Ncc	1				
21	la capacite de la cellule bit/s	34020000	34,02(Mbps)			
22	la capacite de site bit/s	102060000				
23	Taux de penetration	0,6				
24	P marche	0,3				
25	la densite par km2	800				
26	surface deploiement km2	6,067				
27	Nombre d'abonne	4853,6				
28	debit de service R(kbps)	12,2	2000	64	64	0
29	POH	0,03	0,053	0,098	0,022	0
30	Taux de penetration service	0,37	0,32	0,04	0,26	0
31	trafic offre par abonne (kbps)	698,38638				
32	le trafic total Kbps	610143,864	1595 Mbps			
33	OBF	0,1				
34	nombre de site	6,64253995	7			
35						
36	N de capacite	8				

Tableau 3-4: Calcule de capacité en UL

Le nombre eNodBs obtenus avec calcul de capacité est de 8 sites pour la liaison descendante est de 7 sites dans liaison montant. Donc le nombre final requis d'eNodeB est de 8 sites.

3.3 VALIDATION DES RESULTATS OBTENUS

3.3.1 PRESENTATION 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, il 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

3.3.2 PRÉPARATION DU PROJET

Avant de se lancer dans l'étude de planification, il faut tout d'abord configurer le logiciel pour être approprié à notre projet.

Les étapes à suivre sont :

- Création d'un projet LTE
- Importer la carte de la wilaya de Blida (résolutions des pixels de 20m).
- Choisir le système de coordonnées.
- Définir le modèle de propagation
- Créer les paramètres radio (le type d'antenne, les caractéristiques du site...)
- Ajouter des sites (un nom, une position et une hauteur...)
- Configurer les paramètres du Transmetteur (contient une ou plusieurs antennes)
- Configurer les paramètres de la cellule.

3.3.3 CRÉATION DU PROJET

Après avoir lancé le programme Atoll, il est nécessaire de choisir le type de technologie sur laquelle on souhaite travailler. Dans ce projet nous allons planifier un réseau LTE 1800. Pour cela on procède aux :

“ Fichier “ -> “ Nouveau “->“ À partir d'un modèle de document “

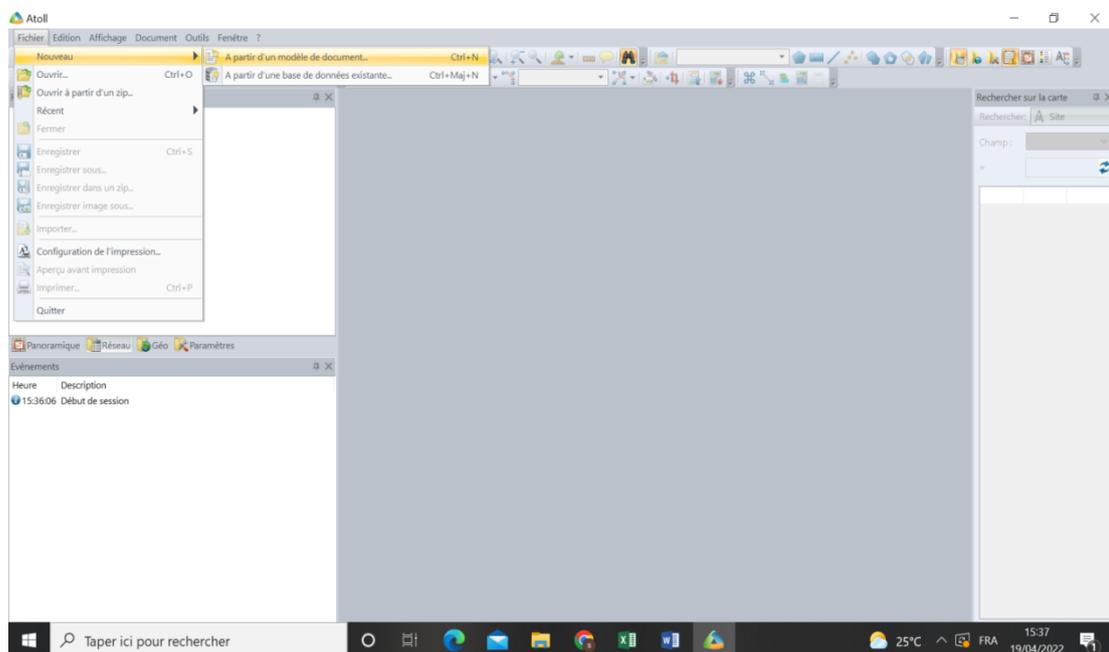


Figure 3-1: Création de nouveau projet

Une nouvelle fenêtre s'ouvre et donne de nombreuses options à choisir, la figure 3.2, il y a beaucoup d'options à choisir (3GPP Multi-RAT, Wi-Fi, WIMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access), LTE...). Pour ce projet, on a choisi le système LTE. Une fois notre système est choisi, on choisit le système de coordonnées.

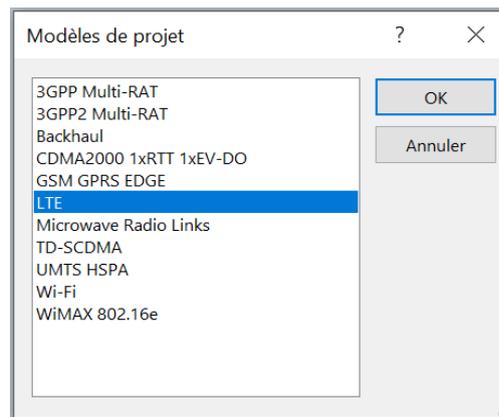


Figure 3-2: Choix de modèle LTE

3.3.4 IMPORTER UNE CARTE NUMÉRIQUE

Le profil de Map du trafic basé sur l'environnement utilisateur ne doit être utilisé que pour une précision sur le trafic, qui est du même niveau que l'encombrement statistique disponible dans un projet. Avant de commencer le calcul, il est nécessaire d'importer la Mapp numérique sur laquelle on va planifier la zone désirée.

Tous d'abords, on a importé la grande carte d'Algérie (figure 3.7), puis on zoom la zone de Boufarik (wilaya Blida).(Avec l'importation des cartes clutter classes et clutter height, Vector, Ortho).

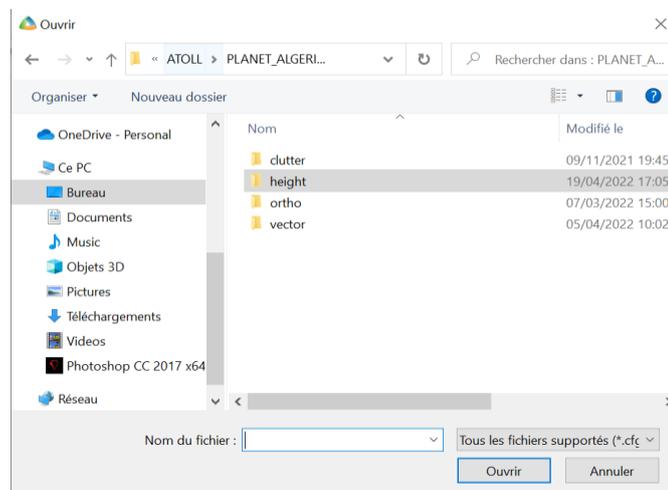


Figure 3-3: Spécifications de la carte numérique

- Le modèle numérique de terrain nous donne la morphologie du terrain :

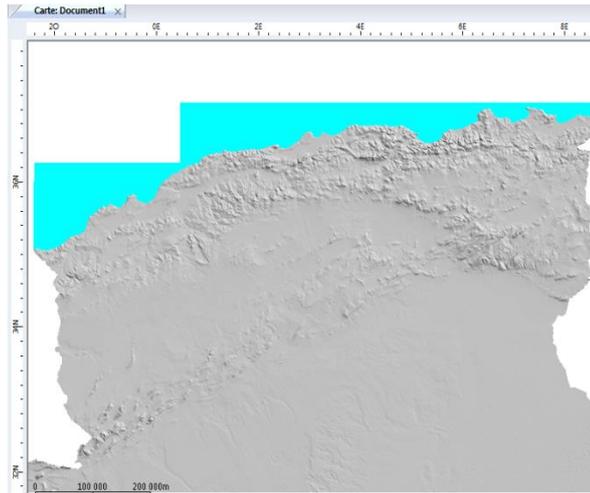


Figure 3-4: Modèle Numérique de Terrain

- Les classes de sursol décrivent les types d'occupation du terrain (végétation, type d'environnements).

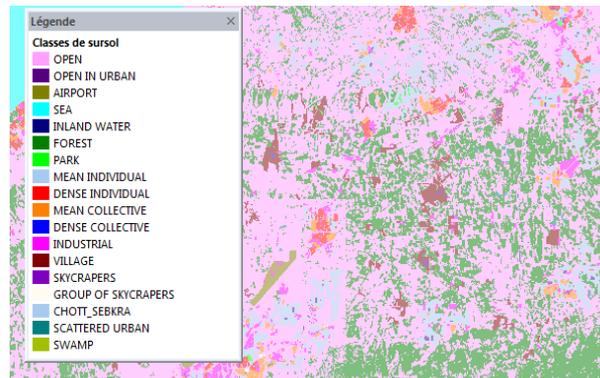


Figure 3-5: Classes de sursol

- Les hauteurs de sursol nous donnent la hauteur de chaque environnement :

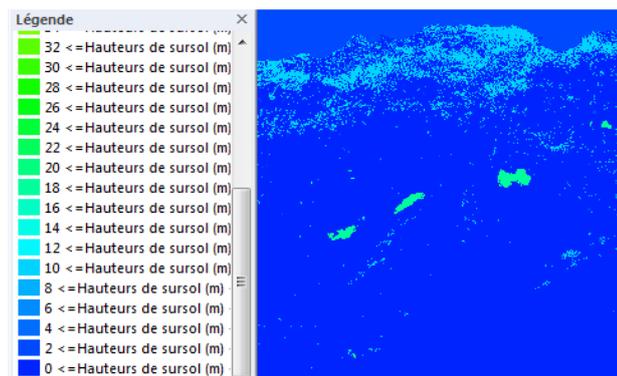


Figure 3-6: Hauteurs De Sursol

- **Vector** : contient des fichiers pour tracer les différents chemins (les routes principales et secondaires, les rues, l'autoroute, chemin de fer).

La carte numérique de l'Algérie est affichée :

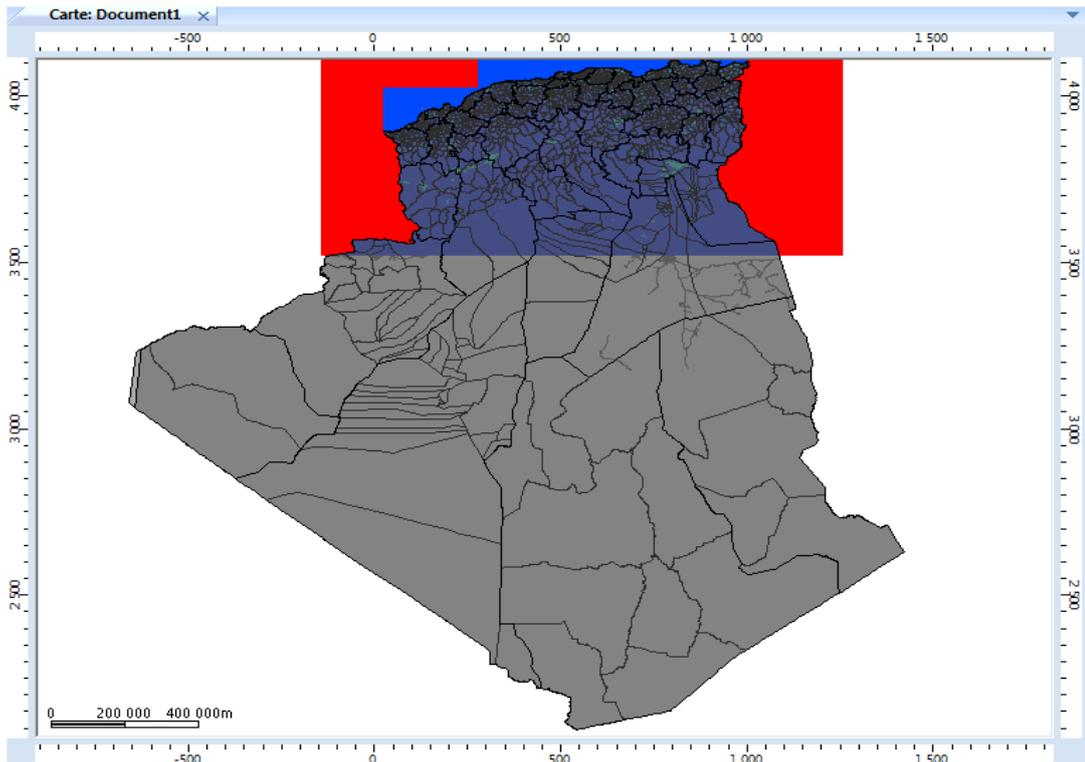


Figure 3-7: Carte numérique de l'Algérie

3.3.5 LE SYSTÈME DE COORDONNÉES

Il est nécessaire de définir un système de coordonnées pour notre projet. Par définition, c'est un ensemble de techniques géodésiques permettant de représenter la surface de la terre dans son ensemble ou une partie sur une surface plane.

Document → *Propriétés* → *Projection* → *Rechercher* dans : sélectionnez *WGS84UTM Zones*, puis choisir *WGS 84/UTM Zone 31N*

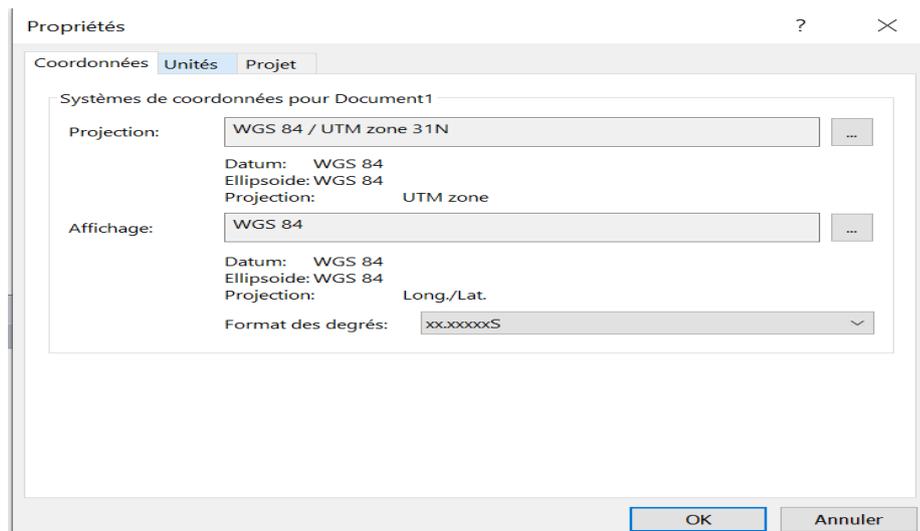


Figure 3-8: Choix du système de coordonnées

Le système de coordonnées à utiliser dans Atoll est le **WGS 84 / UTM zone 31N**. et L'Affichage l'élément **WGS 84**, et la Format des Degrés on a choisi l'élément **xx.xxxxxS** . Comme montre la figure (3.8).

3.3.6 ZONE GÉOGRAPHIQUE À PLANIFIER

Le but du projet est le déploiement du réseau LTE dans la zone de Boufarik ville, la figure (3.9) représente la carte de la zone géographique considérée, il s'agit de la commune de BOUFARIK situé dans la wilaya de Blida, qui couvre une surface de 51.001 km².

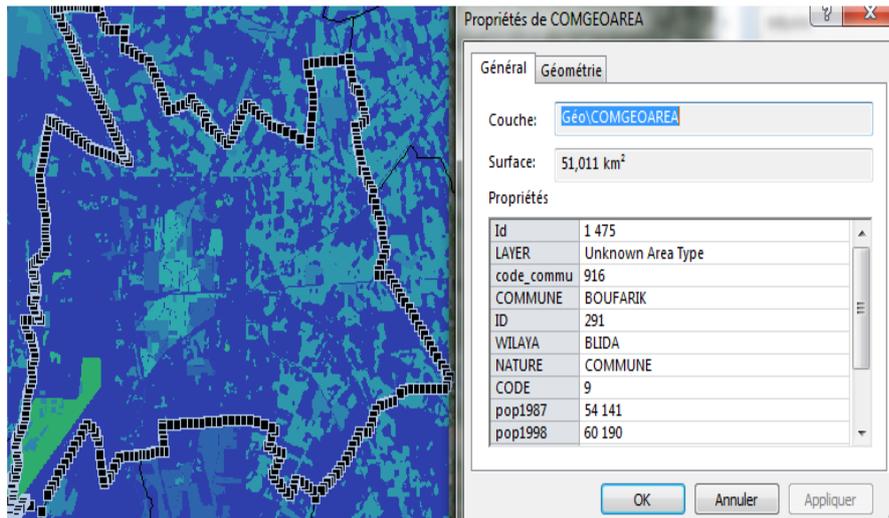


Figure 3-9: la carte de la commune Boufarik (Blida)

3.3.7 ZONE GÉOGRAPHIQUE À PLANIFIER

Notre travail a été fait dans un milieu urbain (Boufarik ville), afin de bien déterminer le centre-ville, on ajoute la carte en ligne en précisant son URL du serveur.

On obtient la Map suivante :

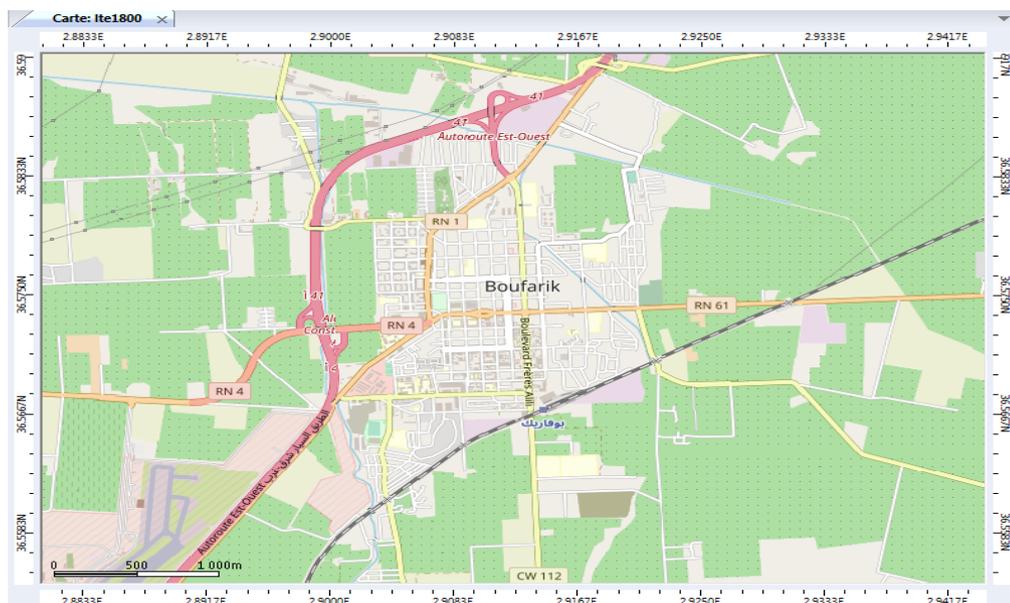


Figure 3-10: Affichage de la carte en ligne

Nous essayons d'assurer une couverture totale de cette région. Donc nous limitons la zone en forme hexagonale par :

Computation zone (en rouge) : utilisé pour définir la surface dans laquelle Atoll prend en considération les émetteurs actifs.

Focus zone (en vert) : c'est la zone exacte à planifier, dans laquelle Atoll génère ses Rapport et statistiques.

La figure suivante présente un aperçu de la zone à planifier (Boufarik ville), qui couvre 6.067 Km².

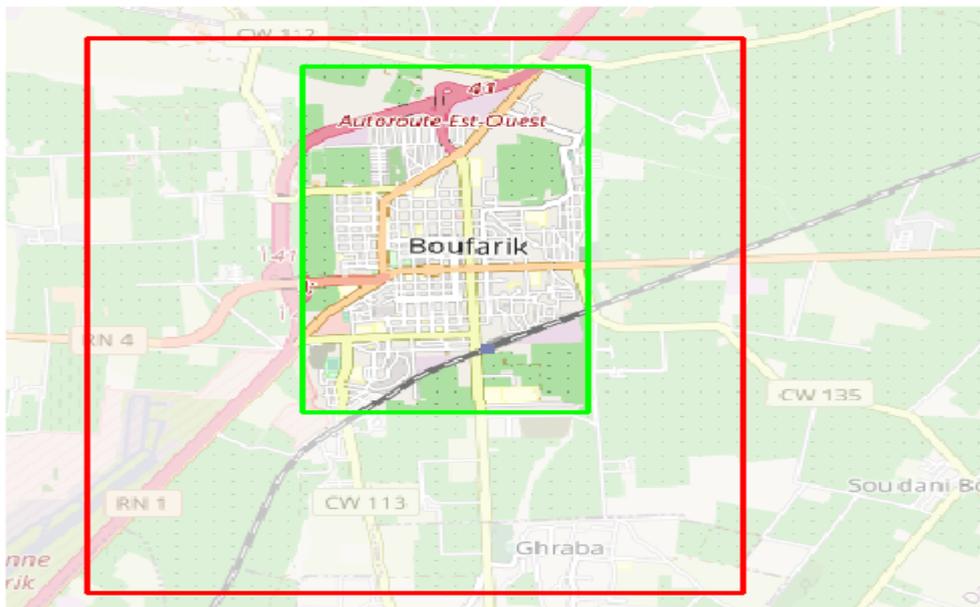


Figure 3-11: Zone géographique à planifier

3.3.8 RÉGLAGES PRÉLIMINAIRES:

Dans ce projet, on a travaillé dans un milieu urbain (ville), on doit donc paramétrer le modèle de propagation et l'antenne en conséquence.

On a utilisé le modèle COST-231 HATA calibré (figure 3 .12).

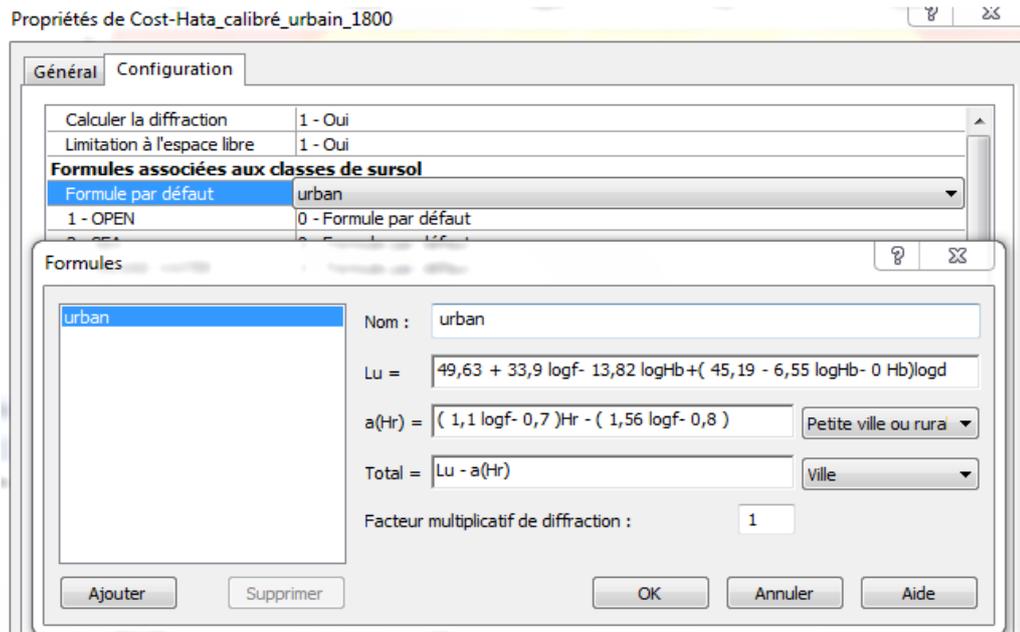


Figure 3-12: Modèle de propagations Cost-Hata calibré

Choix de la bande de fréquence :

- Pour le choix de la bande de fréquence, on a choisi la bande numéro 3 (figure 3.14), Downlink 1805-1880 MHz (la fréquence centrale en DL 1835) et Uplink 1710-1785 MHz (la fréquence centrale en UL 1740) avec une largeur de bande égale à 15 MHz, la technique utilisée est la FDD.

Tout d'abord, nous créons la nouvelle bande appropriée comme suit :

- On fait une copie de la bande 3-15MHz, comme indiqué dans la figure (3.13)

Nom	Méthode de duplexage	TDD : Fréquence initiale, FDD : Fréquence initiale DL (MHz)	FDD : Fréquence initiale UL (MHz)	Largeur de canal (MHz)	Séparation inter-canaux (MHz)	Nombre de blocs de fréquences
E-UTRA Band 38 - 5MHz	TDD	2 570	2 570	5	0	25
E-UTRA Band 39 - 10MHz	TDD	1 880	1 880	10	0	50
E-UTRA Band 39 - 15MHz	TDD	1 880	1 880	15	0	75
E-UTRA Band 39 - 20MHz	TDD	1 880	1 880	20	0	100
E-UTRA Band 39 - 5MHz	TDD	1 880	1 880	5	0	25
E-UTRA Band 4 - 10MHz	FDD	2 110	1 710	10	0	50
E-UTRA Band 4 - 15MHz	FDD	2 110	1 710	15	0	75
E-UTRA Band 4 - 20MHz	FDD	2 110	1 710	20	0	100
E-UTRA Band 4 - 5MHz	FDD	2 110	1 710	5	0	25
E-UTRA Band 41 - 10MHz	TDD	2 496	2 496	10	0	50
E-UTRA Band 41 - 15MHz	TDD	2 496	2 496	15	0	75
E-UTRA Band 41 - 20MHz	TDD	2 496	2 496	20	0	100
E-UTRA Band 41 - 5MHz	TDD	2 496	2 496	5	0	25
E-UTRA Band 42 - 10MHz	TDD	3 400	3 400	10	0	50
E-UTRA Band 42 - 15MHz	TDD	3 400	3 400	15	0	75
E-UTRA Band 42 - 20MHz	TDD	3 400	3 400	20	0	100
E-UTRA Band 42 - 5MHz	TDD	3 400	3 400	5	0	25
E-UTRA Band 43 - 10MHz	TDD	3 600	3 600	10	0	50
E-UTRA Band 43 - 15MHz	TDD	3 600	3 600	15	0	75
E-UTRA Band 43 - 20MHz	TDD	3 600	3 600	20	0	100
E-UTRA Band 43 - 5MHz	TDD	3 600	3 600	5	0	25
E-UTRA Band 7 - 10MHz	FDD	2 620	2 500	10	0	50
E-UTRA Band 7 - 15MHz	FDD	2 620	2 500	15	0	75
E-UTRA Band 7 - 20MHz	FDD	2 620	2 500	20	0	100
E-UTRA Band 7 - 5MHz	FDD	2 620	2 500	5	0	25
E-UTRA Band 8 - 10MHz	FDD	925	880	10	0	50
E-UTRA Band 8 - 5MHz	FDD	925	880	5	0	25
* Copie de E-UTRA Band 3 - 15MHz	FDD	1 805	1 710	15	0	75

Figure 3-13: La création de nouvelle bande

Ensuite, on fait un double clic sur la copie de la bande et modifions certains paramètres tels que le numéro de premier et dernier canal :

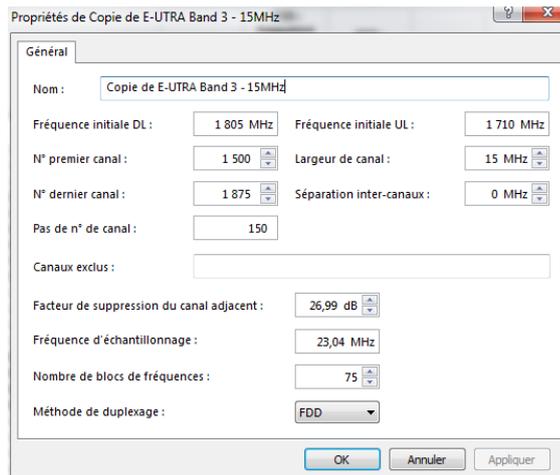


Figure 3-14: La bande de fréquence utilisée

Paramétrage des stations :

- Dans l'onglet général, Nous choisissons les antennes "65deg 17dBi 6Tilt 1800 MHz". Ces antennes sont tri-sectorisés et on change aussi la hauteur à 30m. Ensuite, on procède à la sélection du type de schéma d'antenne qui est dans ce cas (MIMO 2 × 2) et pour le modèle de propagation qui va être utilisé pour les simulations ont choisi COST-231 HATA calibré (car LTE1800) avec une résolution principale de 20m.
- Dans l'onglet LTE, on fixe la valeur de la puissance maximale d'émission de l'antenne est de 46 dBm, et la bande de fréquence de 15 Mhz.
- La majorité des paramètres doit s'adapter à une configuration par défaut, une fois que tous les paramètres ont été configurés, la mise en place des sites pourra être lancée.

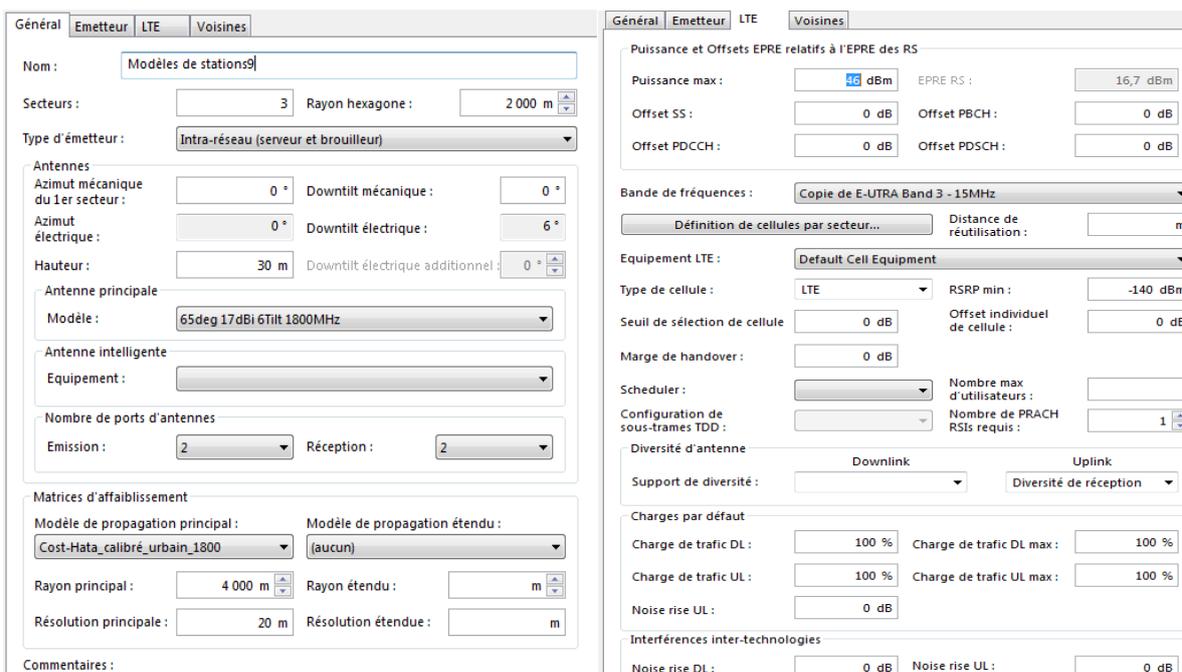


Figure 3-15: Configuration des paramètres généraux du site

On utilise les antennes : « 65deg 17dBi 6Tilt 1800MHz », dont les propriétés sont :

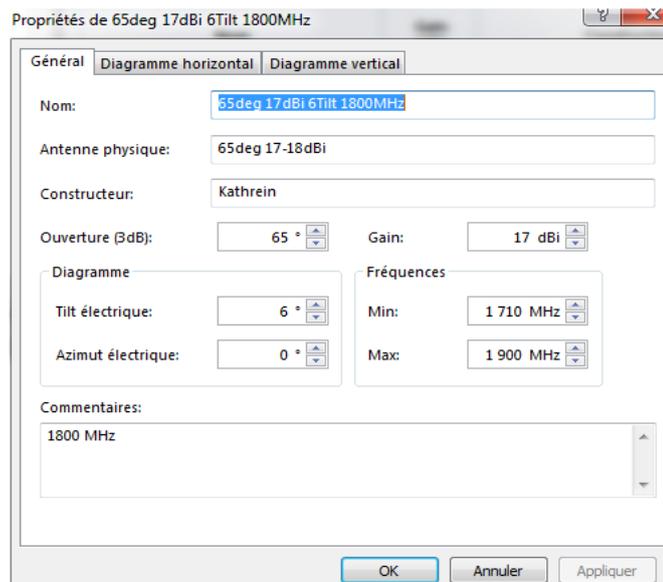


Figure 3-16: Configuration des paramètres d'antenne

Les diagrammes de rayonnement montré ci-dessous :

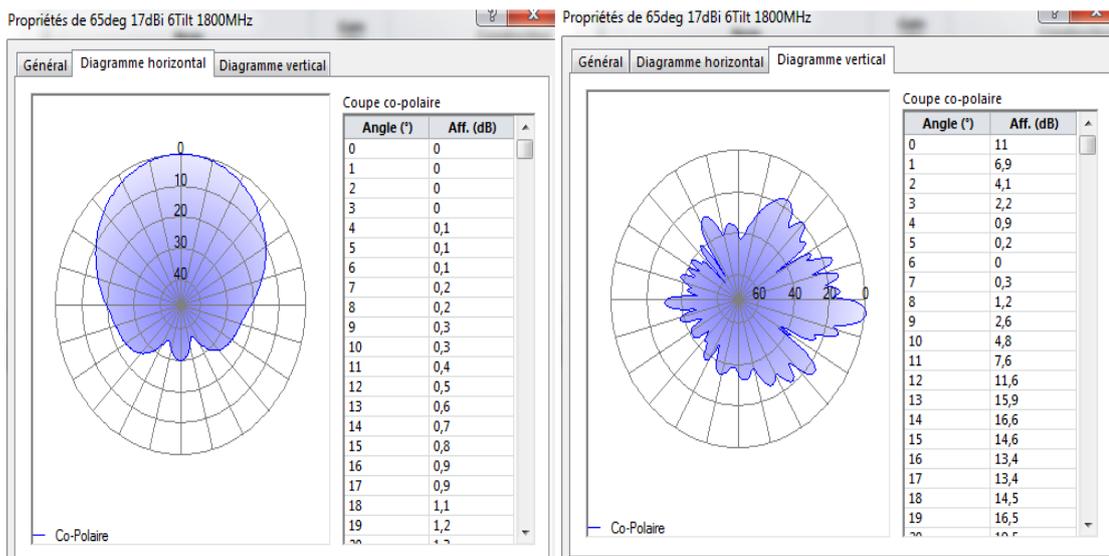


Figure 3-17: Diagramme de rayonnement de l'antenne « 65deg 17dBi 6Tilt 1800MHz »

3.3.9 DEPLOIEMENT DES SITES (eNodB)

Pour placer des sites sur une carte, on peut le faire : soit manuellement (Positionnement site par site), soit de manière automatique.

Le logiciel Atoll propose l'outil de planification cellulaire automatique ACP qui cherche automatiquement le(s) meilleur(s) emplacement(s) pour planifier des nouveaux sites ou pour des sites existants.

Pour une planification automatique des sites dans la zone que nous avons sélectionnée précédemment, on doit configurer l'ACP avant son lancement.

3.3.9.1 REGLAGE DE L'OUTIL ACP

- Activer uniquement la couche radio utilisée.
- Nombre d'itération (nombre maximal de calculs =100).

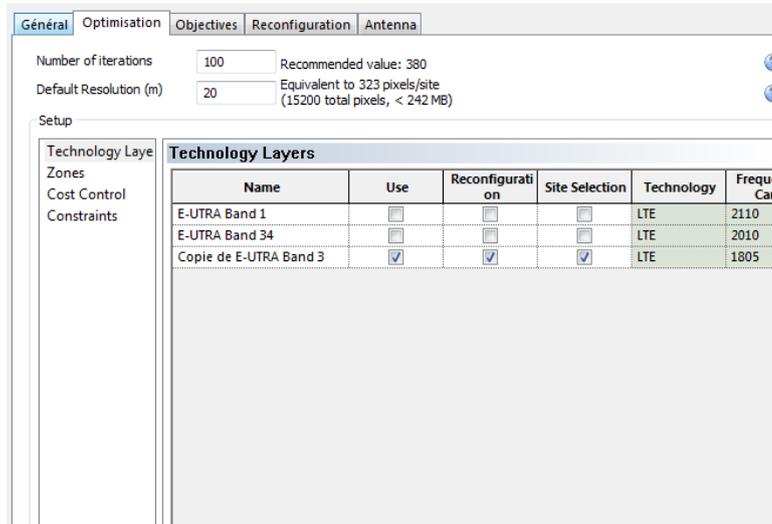


Figure 3-18 : Sélection de la couche Radio 1800 FDD-15MHz (copie d'E-UTRAN Band3)

- Nous avons choisi la zone exacte à planifier qui est la zone d'intérêt

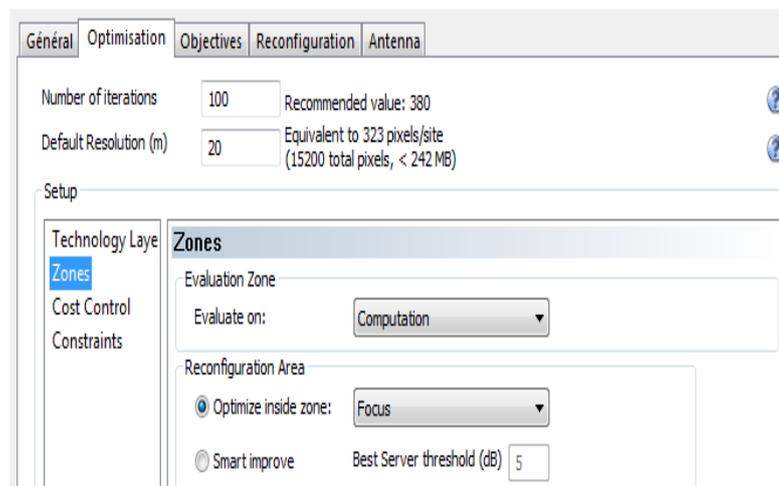


Figure 3-19 : Sélection de la zone de Focus

Reconfiguration :

- La sélection de la zone de Focus
- Création de nouvelles stations automatiquement en appuyant sur 'setup'

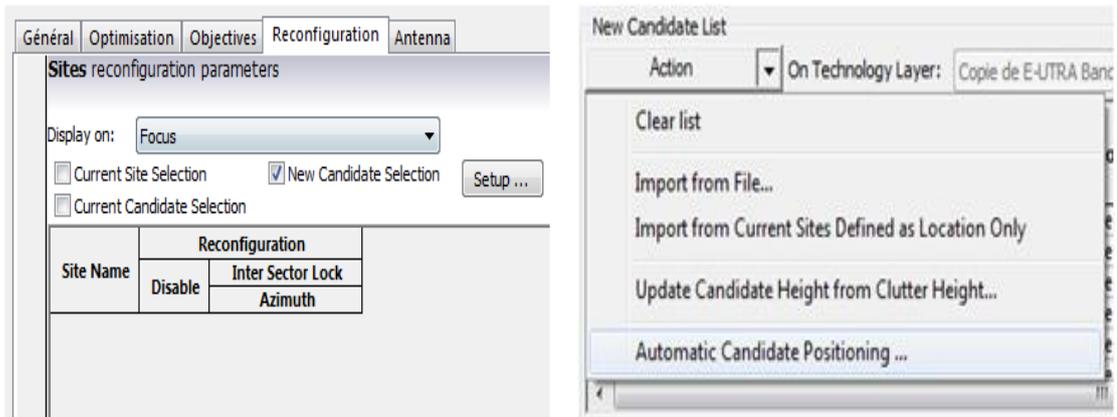


Figure 3-20 : Créer des stations automatiquement

- La sélection d'un groupe de classes de sursol personnalisé pour les règles de conception.

Design rules
Clutter classes:

Name	Forbidden	Preferred
OPEN	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SEA	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
INLAND WATER	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
MEAN INDIVIDUA	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
MEAN COLLECTIV	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
DENSE COLLECTIV	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
SKYCRAPERS	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
VILLAGE	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
INDUSTRIAL	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
OPEN IN URBAN	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
FOREST	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
PARK	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
DENSE INDIVIDU	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
GROUP OF SKYCR	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
SCATTERED URBA	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
SWAMP	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
CHOTT_SEBKRA	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
AIRPORT	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Figure 3-21: La sélection classe de sursol personnalisé

Objectif :

On trouve par défaut les objectifs sur la zone d'intérêt, on se concentre uniquement sur le niveau du signal RSRP, pas sur la qualité RSRQ

- Couvrir la zone avec un niveau de signal supérieur ou égale à -105 dBm.

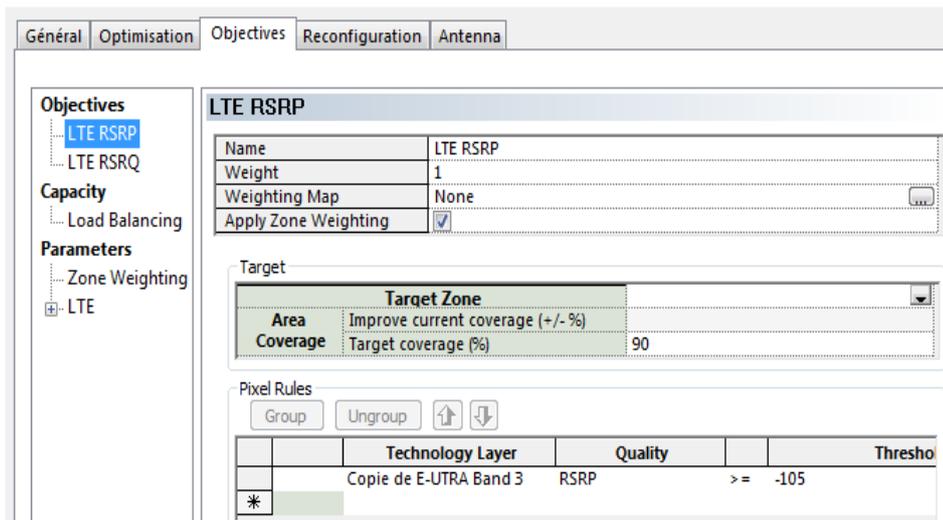


Figure 3-22: Seuil de niveau de signal pour la prédiction

Antenne :

On utilise notre propre antenne '65deg 17dBi 6Tilt 1800MHz'.

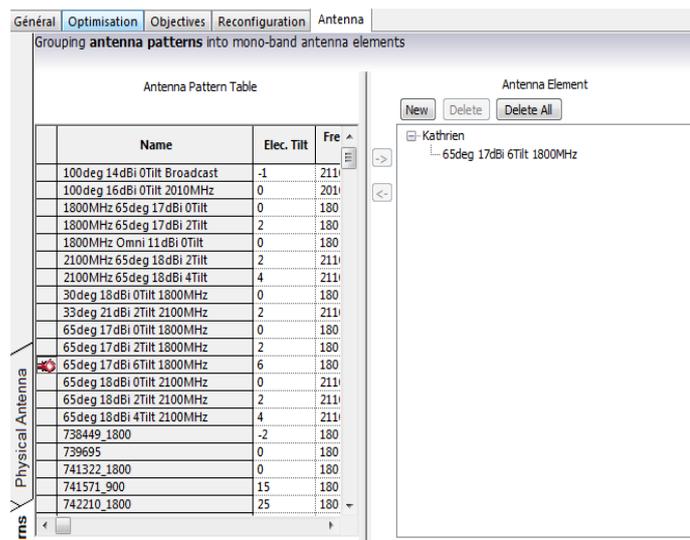


Figure 3-23: La sélection d'antenne

Après avoir déterminé la nouvelle configuration ACP, on le lance immédiatement.

La figure suivante montre un aperçu de la zone à planifier et la distribution des sites dans la zone d'intérêt, qui contient 07 sites.

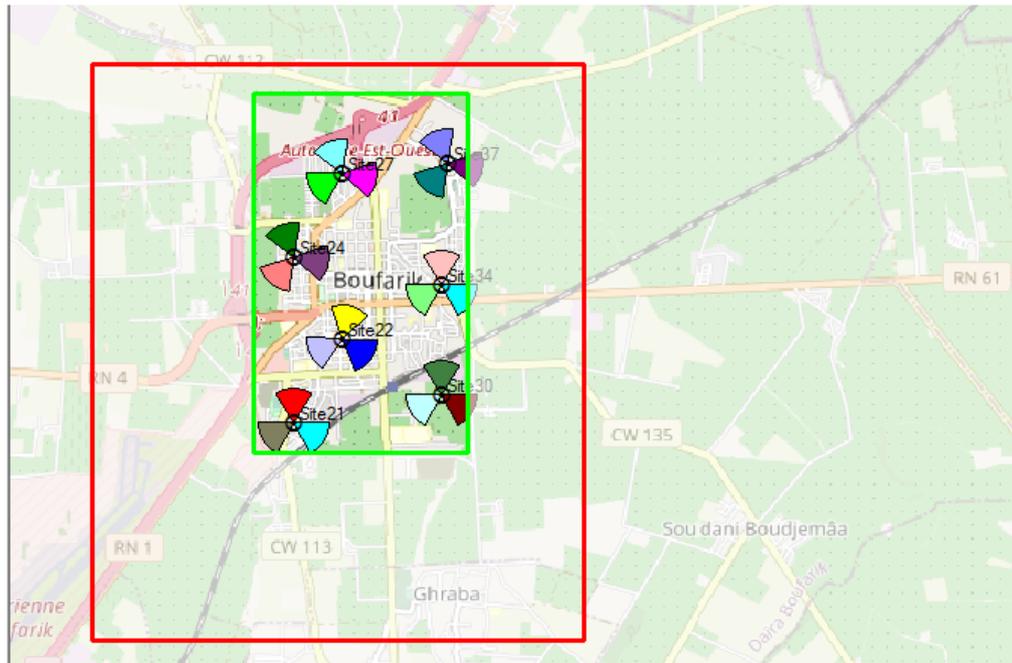


Figure 3-24: Ajout des sites sur la zone sélectionnée

Pour voir plus de détails :

- Statistique :

Detailed Zone Results						
Objective: LTE RSRP						
Zone		<i>Initial</i>		<i>Final</i>		
Focus		0.00%		90.94%		
Clutter Group: 4,5,6,...		0.00%		94.36%		
Objective: LTE RSRQ						
Zone		<i>Initial</i>		<i>Final</i>		
Focus		0.00%		75.83%		
Clutter Group: 4,5,6,...		0.00%		74.05%		
Site Selection and Reconfiguration Statistics						
Site						
	Added	Tech. added/removed	Removed	Initial	Final	
	7 (7 from candidates)	0	0	0	7	
Sector Removed						
	0					
Reconfiguration						
	Antenna	Elec. Tilt	Azimuth	Mech. Tilt	Antenna Height	Power
	0	0	0	0	0	0

Figure 3-25: Changements des statistiques

Nombre de sites établis est de 7 sites, en ce qui concerne la reconfiguration rien n'a changé car nous n'avons pas de sites à l'origine.

- Secteurs :

Des informations sur l'antenne (Tilt, Azimut.....).

Cell/Tx Name	Use				Antenna Pattern		Azimuth		Mechanical Tilt		Sector Selection	
	Ant	Azi.	MTilt	Sele	Initial	Final	Initial	Final	Initial	Final	Initial	Final
Site21_1(0)	✓	✓	✓	✓	65deg 17dBi 6Tilt 1	65deg 17dBi 6Tilt 1	0	0	0	5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Site21_2(0)	✓	✓	✓	✓	65deg 17dBi 6Tilt 1	65deg 17dBi 6Tilt 1	120	120	0	3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Site21_3(0)	✓	✓	✓	✓	65deg 17dBi 6Tilt 1	65deg 17dBi 6Tilt 1	240	240	0	1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Site22_1(0)	✓	✓	✓	✓	65deg 17dBi 6Tilt 1	65deg 17dBi 6Tilt 1	0	15	0	4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Site22_2(0)	✓	✓	✓	✓	65deg 17dBi 6Tilt 1	65deg 17dBi 6Tilt 1	120	125	0	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Site22_3(0)	✓	✓	✓	✓	65deg 17dBi 6Tilt 1	65deg 17dBi 6Tilt 1	240	245	0	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Site24_1(0)	✓	✓	✓	✓	65deg 17dBi 6Tilt 1	65deg 17dBi 6Tilt 1	0	340	0	4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Site24_2(0)	✓	✓	✓	✓	65deg 17dBi 6Tilt 1	65deg 17dBi 6Tilt 1	120	100	0	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Site24_3(0)	✓	✓	✓	✓	65deg 17dBi 6Tilt 1	65deg 17dBi 6Tilt 1	240	220	0	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Site27_1(0)	✓	✓	✓	✓	65deg 17dBi 6Tilt 1	65deg 17dBi 6Tilt 1	0	340	0	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Site27_2(0)	✓	✓	✓	✓	65deg 17dBi 6Tilt 1	65deg 17dBi 6Tilt 1	120	100	0	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Site27_3(0)	✓	✓	✓	✓	65deg 17dBi 6Tilt 1	65deg 17dBi 6Tilt 1	240	240	0	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Site30_1(0)	✓	✓	✓	✓	65deg 17dBi 6Tilt 1	65deg 17dBi 6Tilt 1	0	0	0	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Site30_2(0)	✓	✓	✓	✓	65deg 17dBi 6Tilt 1	65deg 17dBi 6Tilt 1	120	120	0	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Site30_3(0)	✓	✓	✓	✓	65deg 17dBi 6Tilt 1	65deg 17dBi 6Tilt 1	240	240	0	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Site34_1(0)	✓	✓	✓	✓	65deg 17dBi 6Tilt 1	65deg 17dBi 6Tilt 1	0	0	0	1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Site34_2(0)	✓	✓	✓	✓	65deg 17dBi 6Tilt 1	65deg 17dBi 6Tilt 1	120	120	0	1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Site34_3(0)	✓	✓	✓	✓	65deg 17dBi 6Tilt 1	65deg 17dBi 6Tilt 1	240	240	0	1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Site37_1(0)	✓	✓	✓	✓	65deg 17dBi 6Tilt 1	65deg 17dBi 6Tilt 1	0	340	0	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Site37_2(0)	✓	✓	✓	✓	65deg 17dBi 6Tilt 1	65deg 17dBi 6Tilt 1	120	100	0	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Site37_3(0)	✓	✓	✓	✓	65deg 17dBi 6Tilt 1	65deg 17dBi 6Tilt 1	240	220	0	4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Figure 3-26: Détails du secteur

➤ Graphe :

On peut savoir dans n'importe quelle plage d'itérations l'amélioration s'est produite.

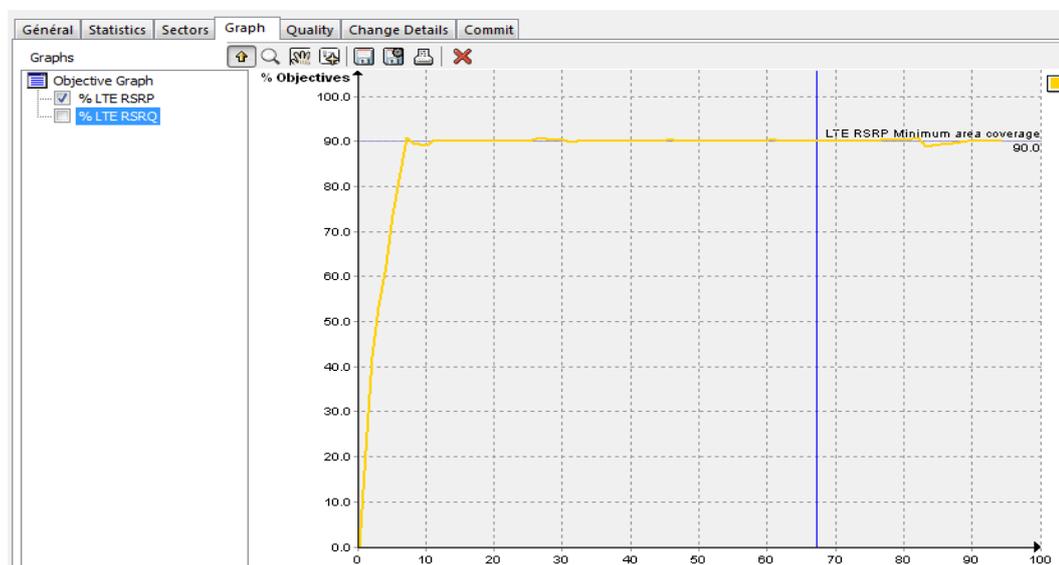


Figure 3-27: LTE RSRP (niveau de couverture)

On remarque que dans les premières itérations, il y avait des développements importants entre (0 et 8), puis progressivement augmenté. après 11 itérations, elle commence à se stabiliser.

➤ Qualité :

Les objective de predictions :

- Etat initiale à gauche
- Etat finale à droite

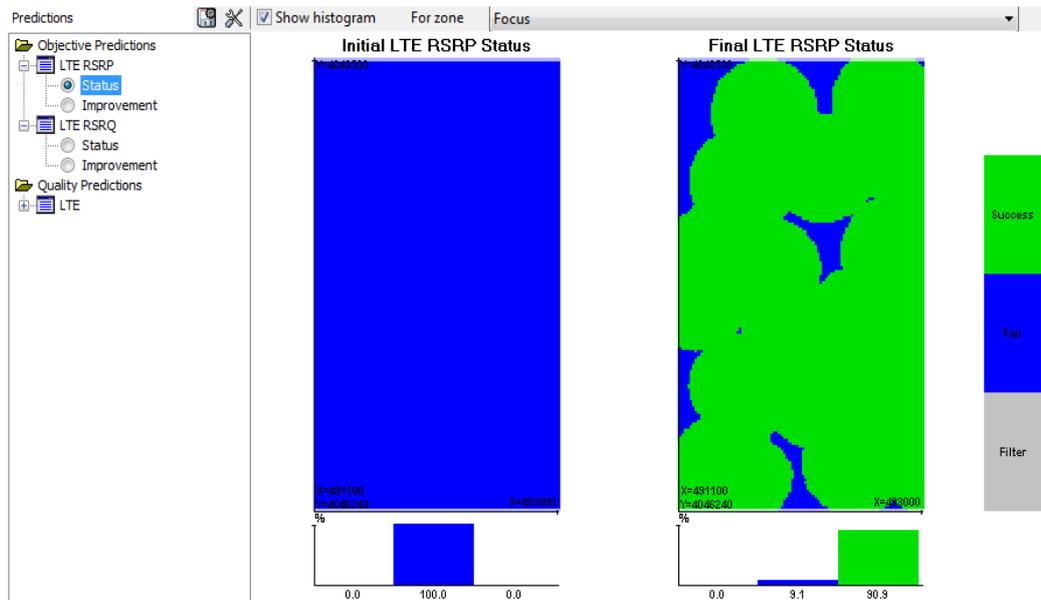


Figure 3-28: Etat initiale et finale de la couverture

La couleur verte signifie une présence de couverture et la couleur bleue absence de couverture, Quand on voit la statistique, on s'aperçoit qu'on n'a pas une couverture complète (non couvert a 100%) donc on a eu un taux de couverture 90.9% et de 9.1% non couvert.

➤ Amélioration :

Both (rouge) veut dire les deux aux même temps, et tout ce qui est jaune est une amélioration.

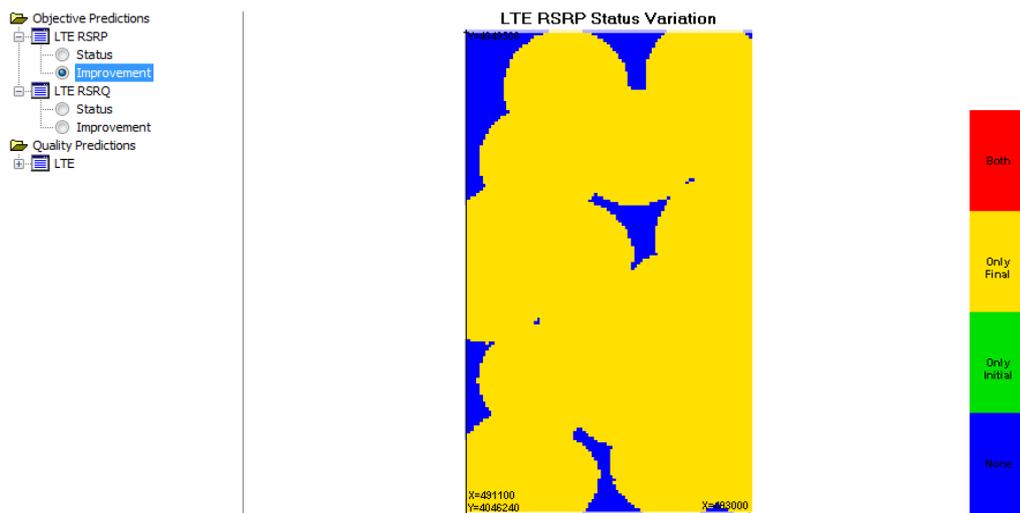


Figure 3-29: Amélioration de la couverture

➤ Les détails :

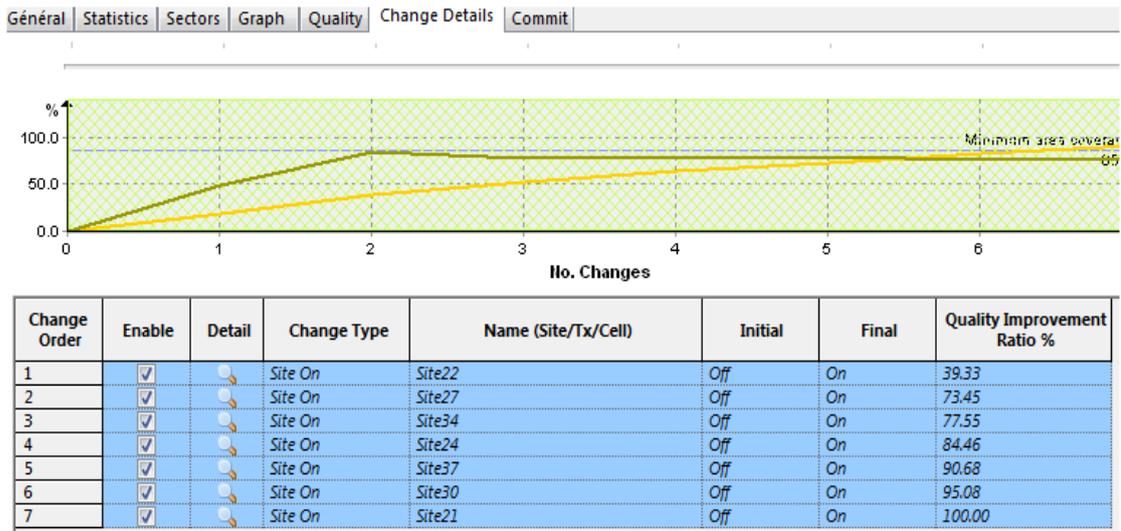


Figure 3-30: les détails de l'amélioration

3.3.10 RÉALISATIONS DE CALCULS (PRÉDICTIONS)

Différents types de prédictions peuvent être réalisés. Ce qui nous intéresse pour la prédiction de couverture c'est :

- Le calcul par niveau de champ (RSRP)
- Le calcul de C/I

3.3.10.1 COUVERTURE PAR NIVEAU DE CHAMPS (DL)

Cette simulation permet d'estimer la puissance reçue par un mobile en chaque point de la zone de calcul, C'est la première simulation que l'on réalise. Elle nous sert à bien positionner les sites radios sur la carte afin de maximiser la couverture en puissance.

Avant de lancer de cette prédiction, il faut ajuster les niveaux selon la technologie :

	Min	Max	Légende
1	-80	-70	-80 <= Meilleur niveau de champ (dBm) < -70
2	-95	-80	-95 <= Meilleur niveau de champ (dBm) < -80
3	-110	-95	-110 <= Meilleur niveau de champ (dBm) < -95
4	-120	-110	-120 <= Meilleur niveau de champ (dBm) < -110
5	-140	-120	-140 <= Meilleur niveau de champ (dBm) < -120

Figure 3-31: Paramétrage des niveaux

Résultat du lancement :



Figure 3-32: Prédiction par niveau de champs DL (Indoor,Outdoor)

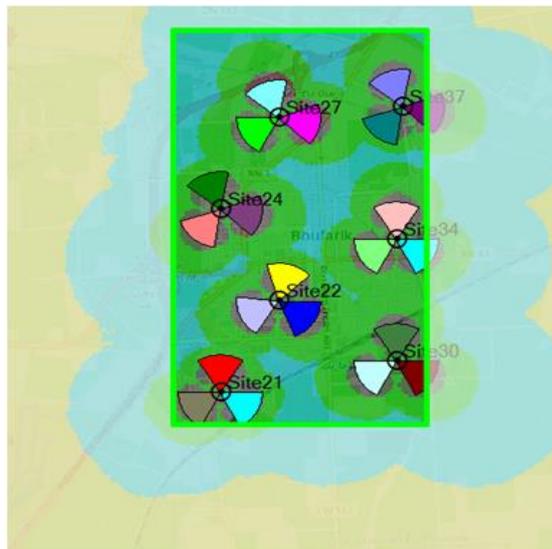


Figure 3-33: Prédiction par niveau de champs DL Outdoor

D'après la figure ci-dessus, on remarque que la zone est bien couverte. Chaque couleur définit un niveau de signal :

[-80 ; -70 [Excellente ;
[-95 ; -80 [Bon ;
[-110 ; -95 [Moyen ;
[-120 ; -11 [Mauvais ;
[-140 ; -120 [Mauvais ;

On a calculé cette prédiction pour le outdoor, où la majorité de la zone est couverte de bleu et de vert ce qui montre une valeur bien importante [-95; -70[, aussi pour l'indoor , il est bon avec la dégradation des couleurs en raison de la pris en compte les pertes des immeubles.

3.3.10.2 PREDICTIONS DE LA COUVERTURE PAR NIVEAU DE C/I EN DL

La couverture de $C/(I+N)$ pour Carrier on Interférence and Noise permet d'évaluer l'état de brouillage de la communication. Lorsque le C/I est positif, cela signifie que notre signal est supérieur au bruit (tout ce qui est positif est bon et tout ce qui est négatif est mauvais).

- Les seuils et la description du SINR :

[-20 ; -10 [Mauvais;
[0 ; 10 [Acceptable ;
[10 ; 20 [Bon ;
[20 ; 30 [Excellent ;

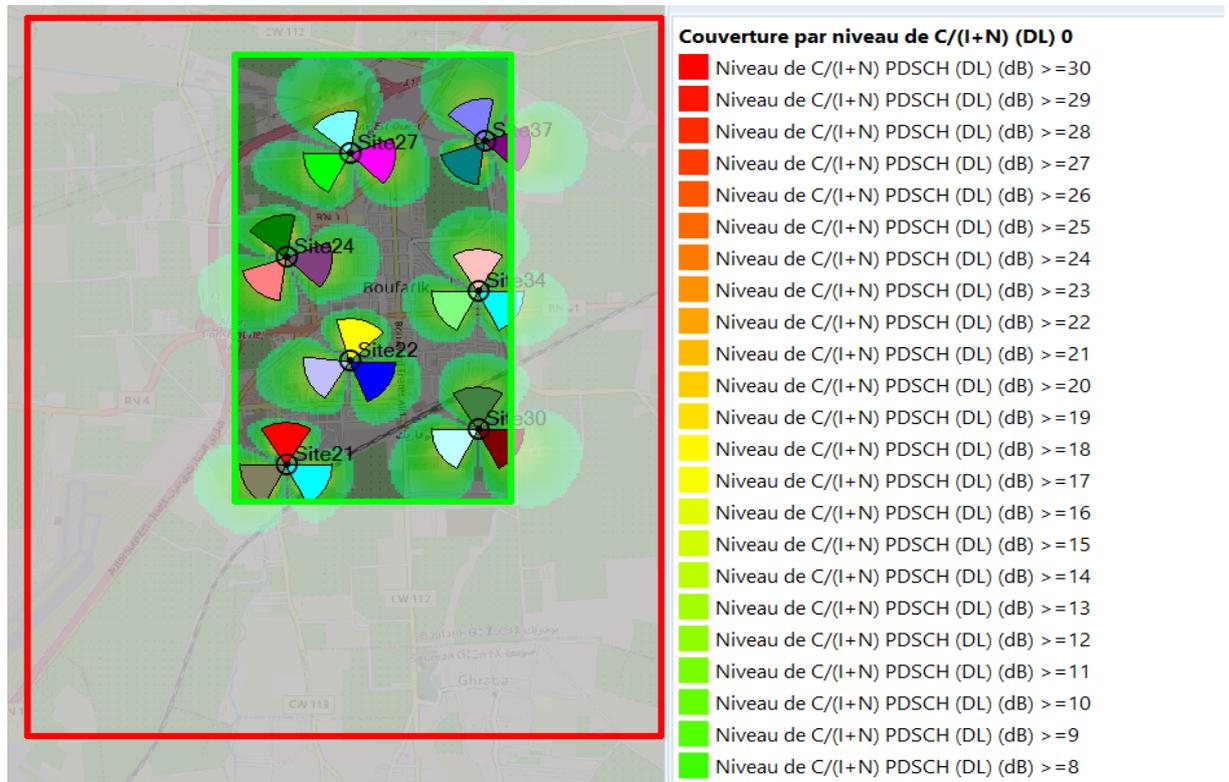


Figure 3-34: Prédiction de la couverture par niveau de C/I en DL

3.3.11 PARAMÈTRES DE TRAFIC

Il y a beaucoup de paramètres qui sont utilisés dans la planification de la capacité, voici un aperçu des différentes fenêtres de chaque paramètre

3.3.11.1 TYPES DE SERVICE

La différenciation entre les types de services se fait à partir de leur facteur d'activité, de leur débit minimum et de leur débit maximal ; voir ces paramètres dans les figures suivantes :

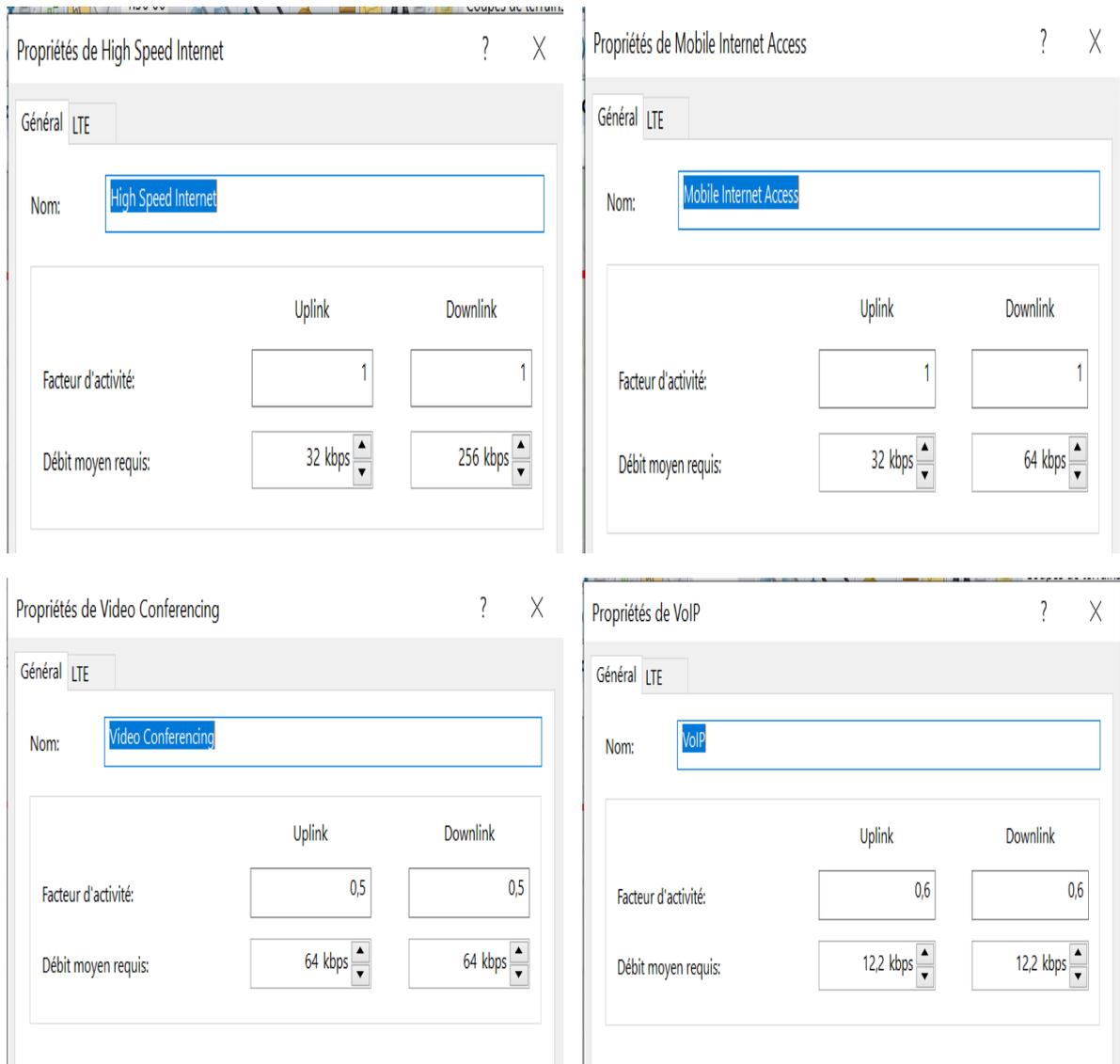


Figure 3-35: types de service

3.3.11.2 LES TYPES DE MOBILITE

La différenciation entre les types de mobilité provient de l'équipement de l'utilisateur ou de la vitesse mobile dans une zone spécifique :

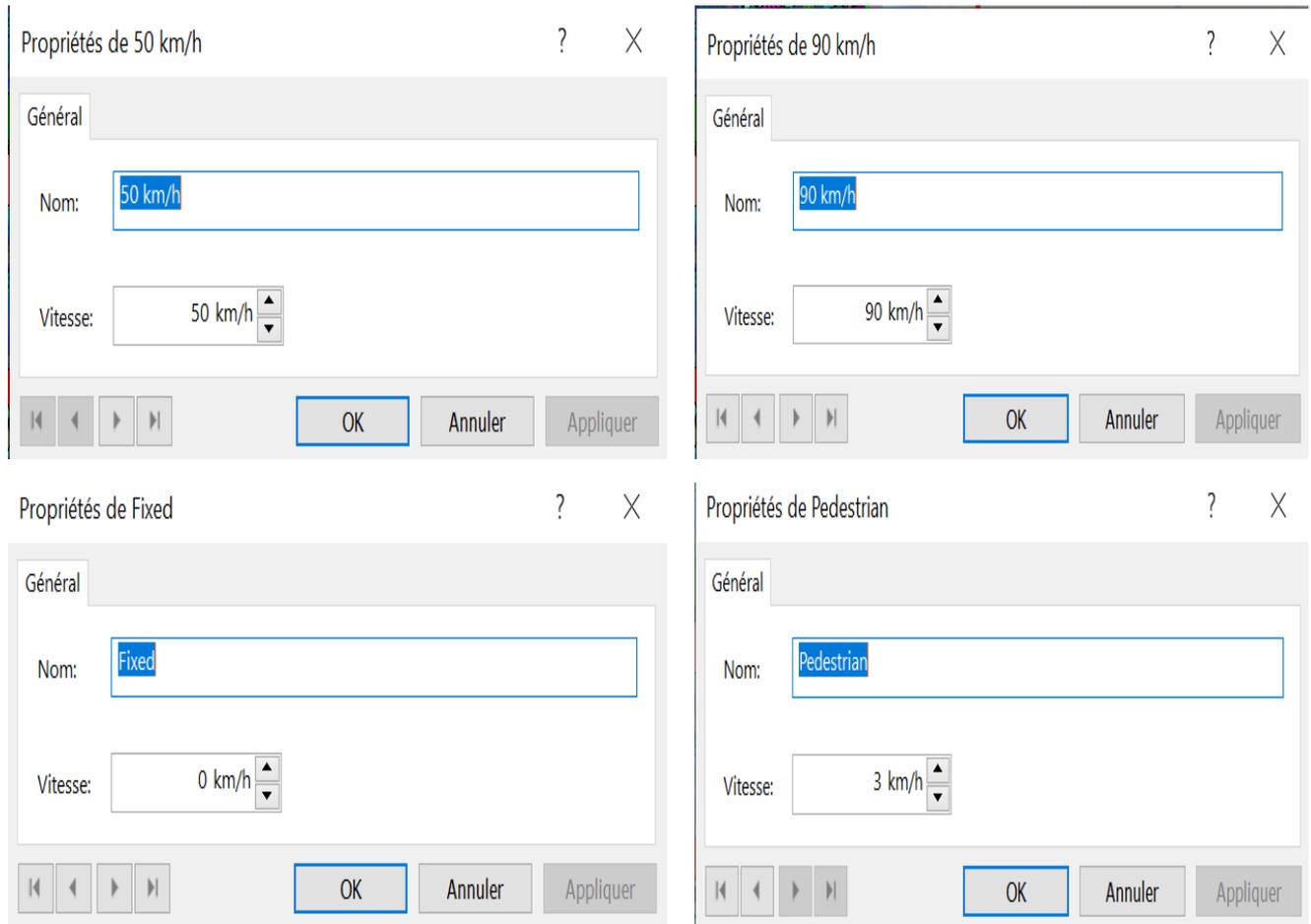


Figure 3-36: Les types de Mobilité

3.3.11.3 TYPES DE TERMINAUX

Il existe deux types : terminal MIMO et terminal mobile ;

La caractérisation de chacun d'eux provient des paramètres suivants dans les images suivantes :

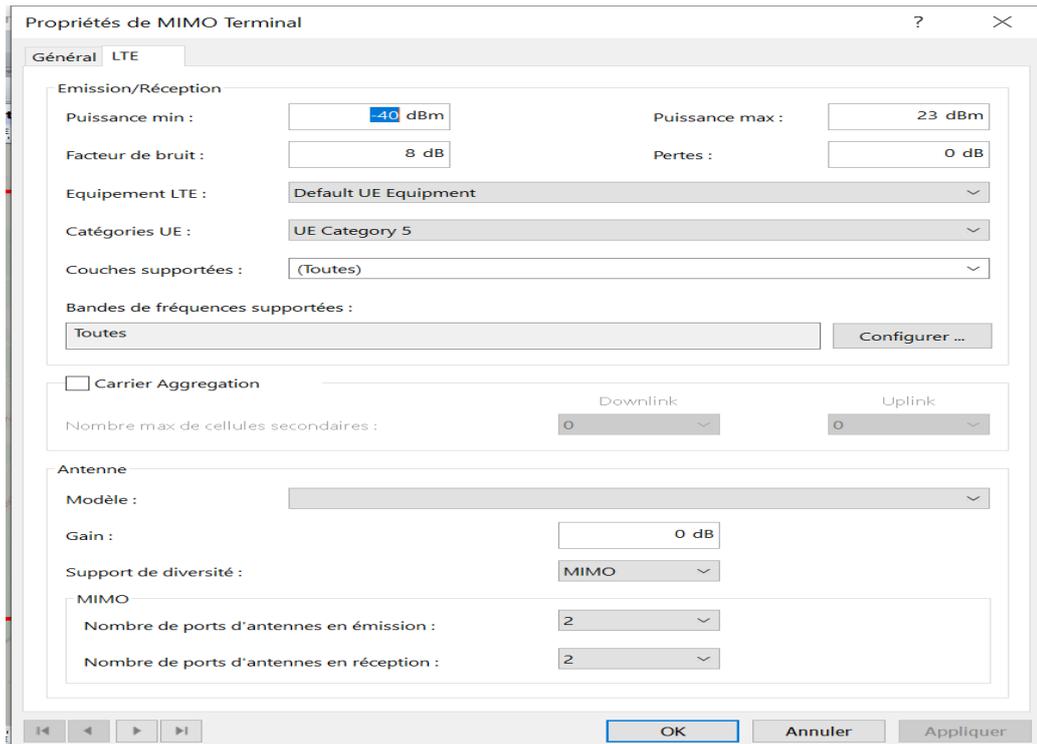


Figure 3-37: MIMO terminal

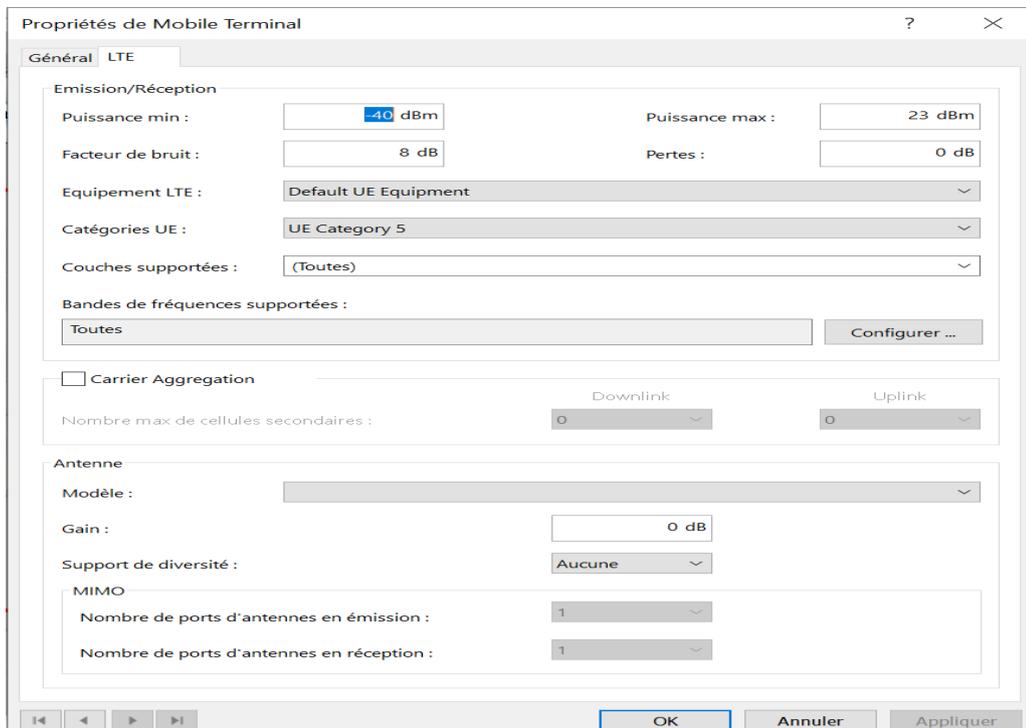


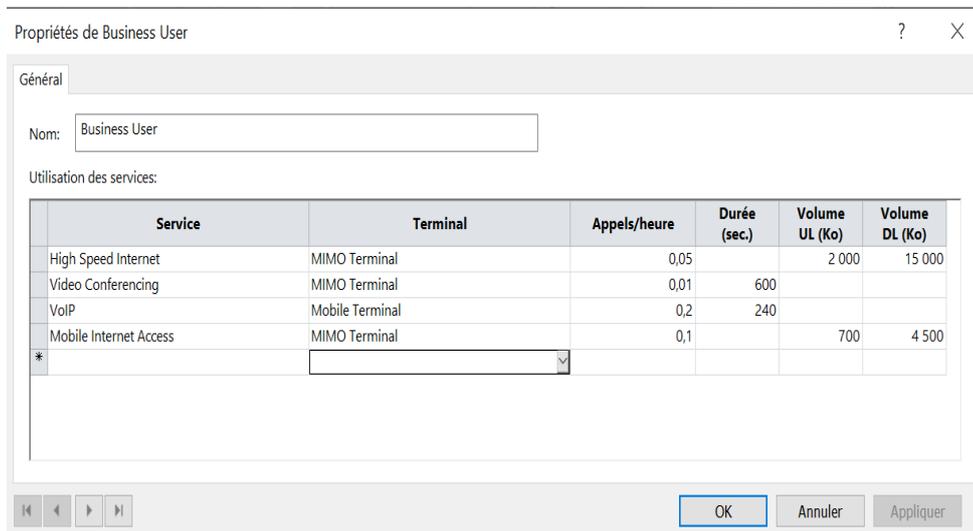
Figure 3-38: Mobile terminal

3.3.11.4 PROFIL D'UTILISATEURS

Dans notre simulation on va choisir deux types d'utilisateur afin de satisfaire leurs besoins. Les deux figures montrent la configuration ;

-Standard user : est un simple utilisateur

-Business user : qui peut être une entreprise, une école, homme d'affaires



Propriétés de Business User

Général

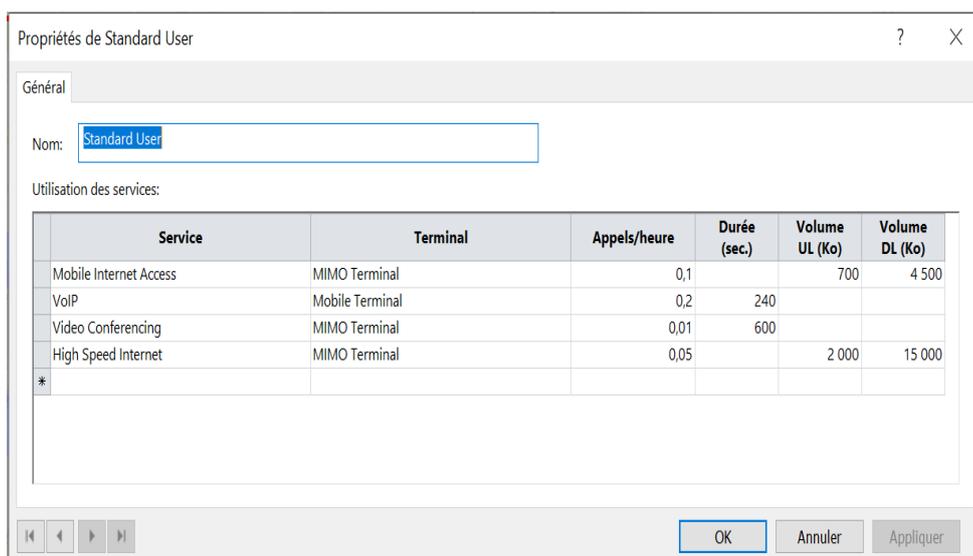
Nom: Business User

Utilisation des services:

Service	Terminal	Appels/heure	Durée (sec.)	Volume UL (Ko)	Volume DL (Ko)
High Speed Internet	MIMO Terminal	0,05		2 000	15 000
Video Conferencing	MIMO Terminal	0,01	600		
VoIP	Mobile Terminal	0,2	240		
Mobile Internet Access	MIMO Terminal	0,1		700	4 500
*					

OK Annuler Appliquer

Figure 3-39: Business user



Propriétés de Standard User

Général

Nom: Standard User

Utilisation des services:

Service	Terminal	Appels/heure	Durée (sec.)	Volume UL (Ko)	Volume DL (Ko)
Mobile Internet Access	MIMO Terminal	0,1		700	4 500
VoIP	Mobile Terminal	0,2	240		
Video Conferencing	MIMO Terminal	0,01	600		
High Speed Internet	MIMO Terminal	0,05		2 000	15 000
*					

OK Annuler Appliquer

Figure 3-40: Standard user

3.3.11.5 ENVIRONNEMENT

On a travaillé sur un type d'environnement Urbain.

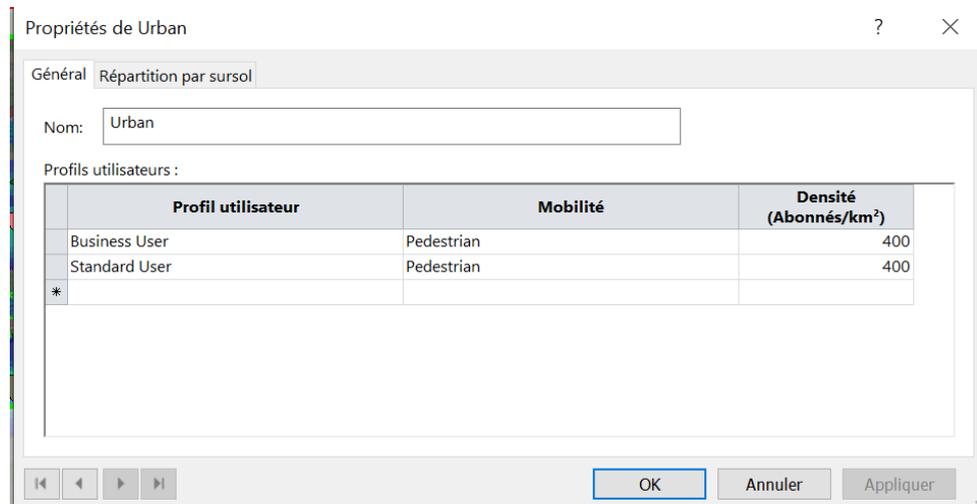


Figure 3-41: configuration d'environnements

3.3.12 PLANIFICATIONS DE CAPACITÉ

Il y a beaucoup de paramètres qui sont utilisés dans la planification de la capacité, et on n'a ajouter notre modèle de trafic, la figure (3.42) montre les services du modèle utiliser voici un aperçu des différentes fenêtres de chaque paramètre :

Nom	Type	Priorité (0 : plus faible)	Couches supportées	Facteur d'activité downlink	Facteur d'activité uplink	Plus petit service support (DL)	Meilleur service support (DL)	Plus petit service support (UL)	Meilleur service support (UL)	Demande de débit min DL (kbps)	Demande de débit min UL (kbps)	Demande de débit max (DL) (kbps)	Demande de débit max (UL) (kbps)	Débit moyen demandé en Downlink (kbps)	Débit moyen demandé en uplink (kbps)	Facteur d'échelle de débit (%)	Offset de débit (kbps)	Body Loss (dB)	Nombre min de blocs de fréquences (UL)	Carrier Aggregation supporté
High Speed Internet	Données	1	(Toutes)	1	1	1	15	1	15	0	0	10 000	2 000	256	32	95	0	0	1	0
Mobile Internet Access	Données	0	(Toutes)	1	1	4	15	4	15	64	32	128	64	64	32	95	0	0	1	1
Video Conferencing	Voix	2	(Toutes)	0,5	0,5	4	15	4	15	64	64	64	64	64	64	95	0	0	1	0
VoIP	Voix	2	(Toutes)	0,6	0,6	1	15	1	15	12,2	12,2	12,2	12,2	12,2	12,2	95	0	3	1	0

Figure 3-42: les services de model de trafic

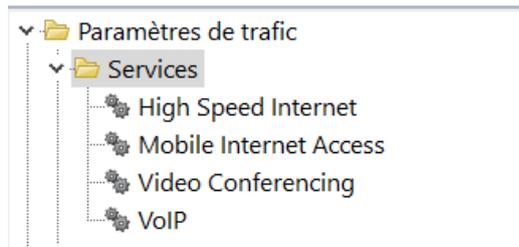


Figure 3-43: liste des paramètres de trafic

Voici un aperçu des différentes fenêtres de chaque paramètre

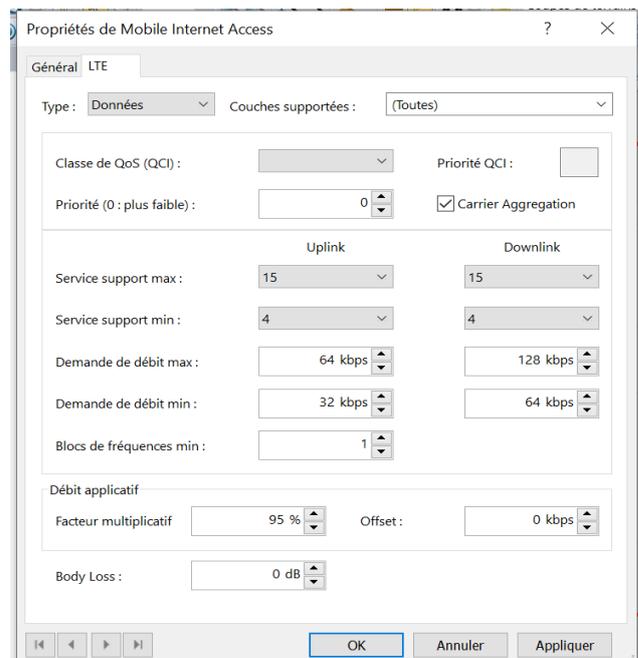
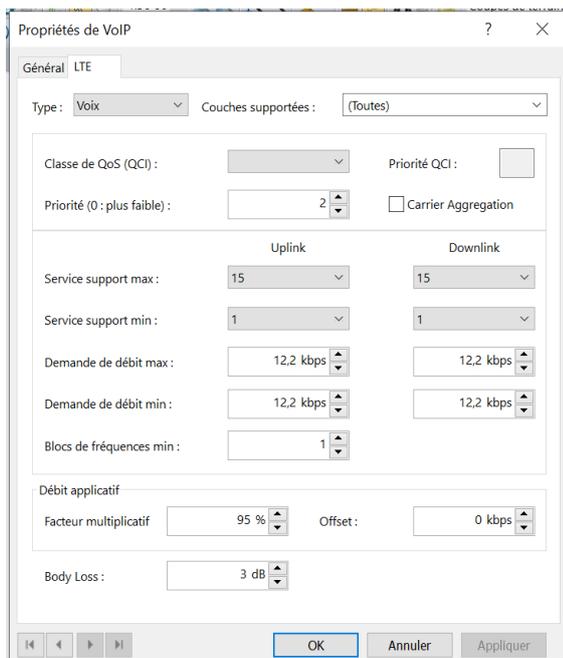
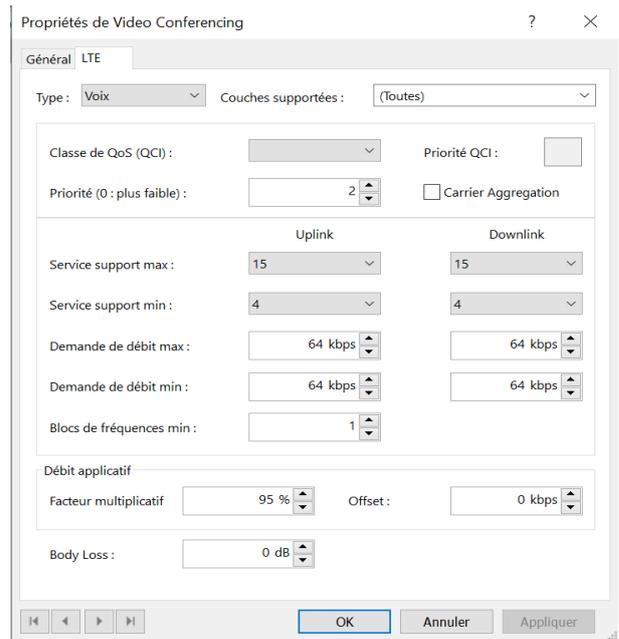
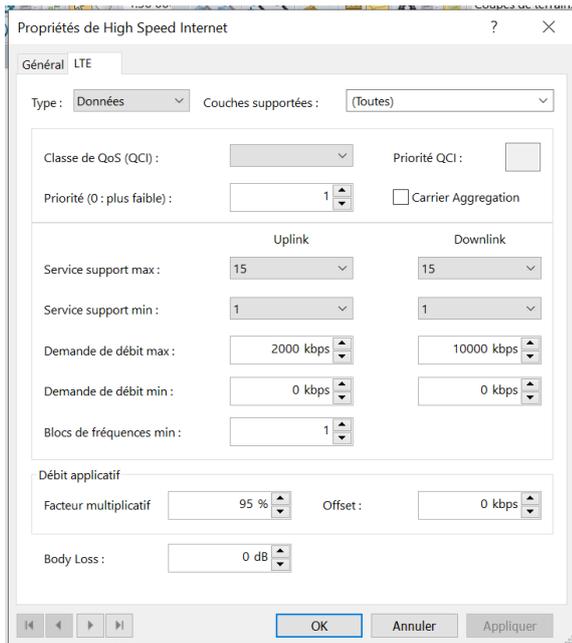


Figure 3-44: configuration des services

3.3.12.1 MONTE CARLO SIMULATIONS

Atoll nous permet de simuler le débit d'un abonné choisi de manière aléatoire à l'aide de méthodes de Monte Carlo. Les méthodes de Monte Carlo (ou expériences de Monte Carlo) constituent une vaste classe d'algorithmes de calcul reposant sur un échantillonnage aléatoire répété pour obtenir des résultats numériques.

La création de la carte de trafic se fait à l'aide de trois options: la première est basée sur le modèle d'encombrement qui est un modèle urbain dans la simulation, vous pouvez voir les types dans ce qui suit.

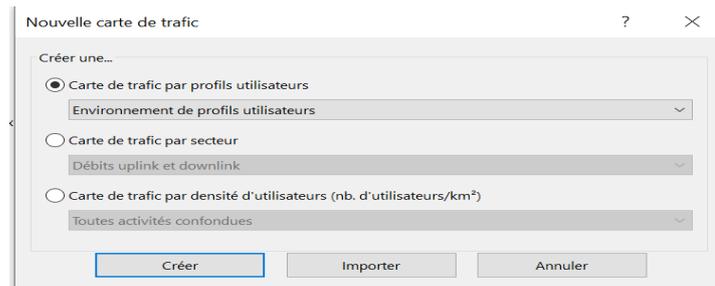


Figure 3-45: Création d'une carte de trafic

Après avoir cliqué sur créer, la figure suivante apparaît sur l'écran qui décrit la forme d'une carte de circulation dans une zone urbaine.

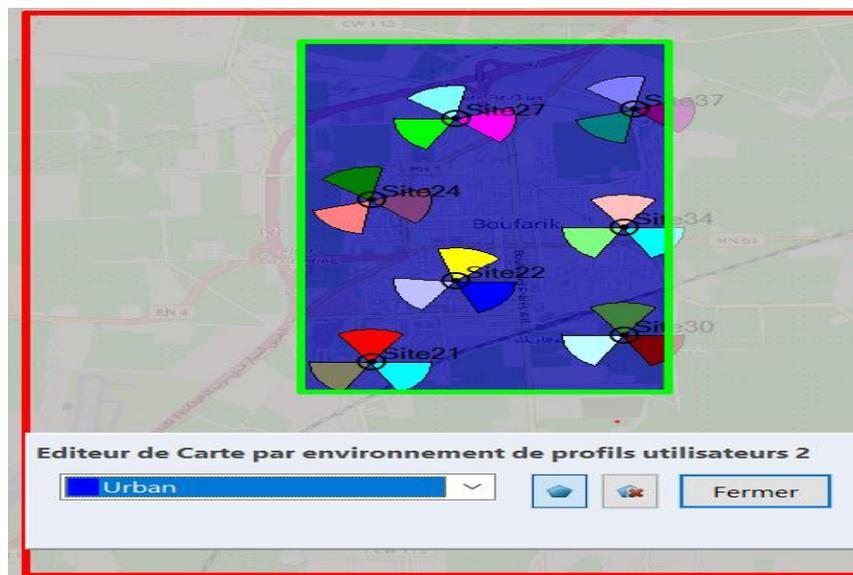


Figure 3-46: Carte de trafic

3.3.12.2 SIMULATION

Pour la création d'une simulation, la première étape consiste à définir la charge de cellule maximale pour le site qui est à 90% (car à 100% est le pire des cas). Après avoir cliqué sur calculer, vous pouvez le voir dans la figure suivante :

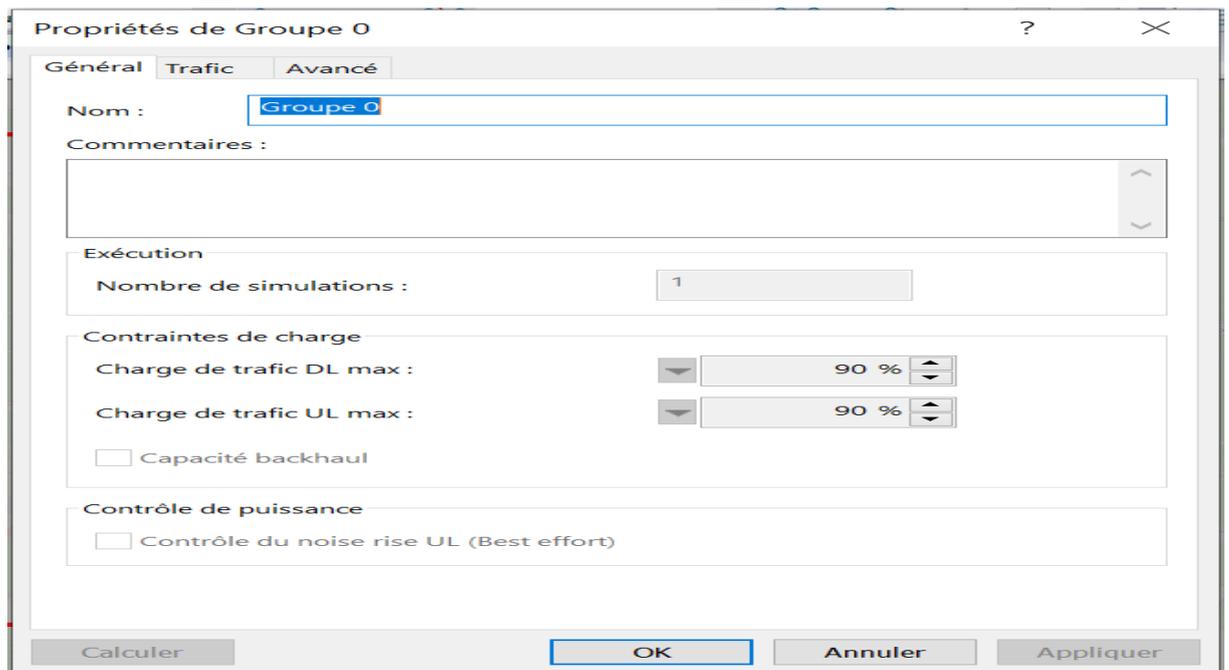


Figure 3-47: Simulation création

Atoll effectue ses calculs sur la base de la simulation Monte-Carlo ;

Les résultats de cette simulation se trouve dans les figures suivantes :

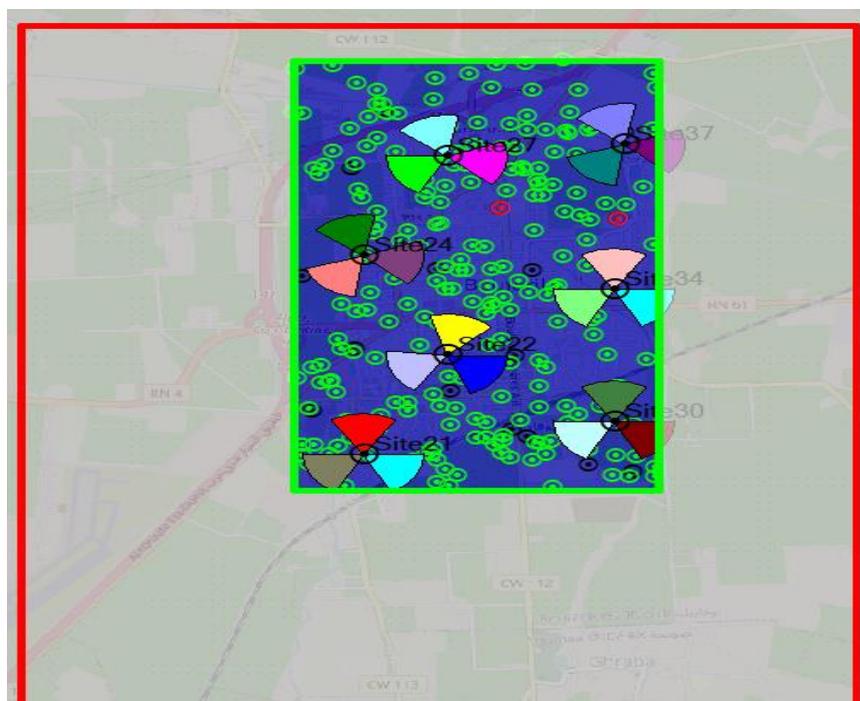


Figure 3-48: Signification des points

		Value	Legend
1	⊕	Connected DL+UL	Connected DL+UL
2	⊕	Connected DL	Connected DL
3	⊕	Connected UL	Connected UL
4	⊗	Inactive	Inactive
5	⊖	No Coverage	No Coverage
6	⊖	No Service	No Service
7	⊕	Scheduler Saturation	Scheduler Saturation
8	⊕	Resource Saturation	Resource Saturation
9	⊕	Backhaul Saturation	Backhaul Saturation

Figure 3-49: résultat de simulation

Les résultats des figures (3.49) et (3.48) sont obtenus en appliquant les paramètres de trafic, la plupart des utilisateurs sont en mode actif, ce qui signifie connecter

Si, en DL ou UL, celui-ci dépend du type de service (figure 3.35) et de l'utilisateur profil d'utilisateur (figures 3.39 et 3.40).

La Figure ci-dessous montre les demandes et les résultats obtenus pour 145 abonnés.

Demande:	
Nombre total d'utilisateurs tentant de se connecter	
Utilisateurs: 245	
Actifs: Downlink: 133 Uplink: 66 Downlink + Uplink: 31	
Inactifs: 15	
DL:	Demande de débit max (DL): 440,56 Mbps
	Demande de débit min (DL): 5,57 Mbps
UL:	Demande de débit max (UL): 64,36 Mbps
	Demande de débit min (UL): 1,53 Mbps

Résultats:	
Nombre d'itérations: 2	
Nombre total d'utilisateurs non connectés (rejetés) : 2 (0,8%)	
Pas de couverture:	0
Pas de service:	2
Saturation scheduler:	0
Saturation ressource:	0
Saturation backhaul:	0

Figure 3-50: nombre total d'utilisateur

Résultats:	
Nombre total d'utilisateurs connectés	
Utilisateurs: 243 (99,2%)	
Actifs: Downlink: 133 Uplink: 65 Downlink + Uplink: 30	
Inactifs: 15	
DL:	Débit RLC max cumulé (DL): 184,87 Mbps
	Débit RLC effectif cumulé (DL): 182,72 Mbps
	Débit applicatif cumulé (DL): 173,58 Mbps
UL:	Débit RLC max cumulé (UL): 61,16 Mbps
	Débit RLC effectif cumulé (UL): 60,68 Mbps
	Débit applicatif cumulé (UL): 57,65 Mbps

Figure 3-51: Résultats de débit pour 245 utilisateurs

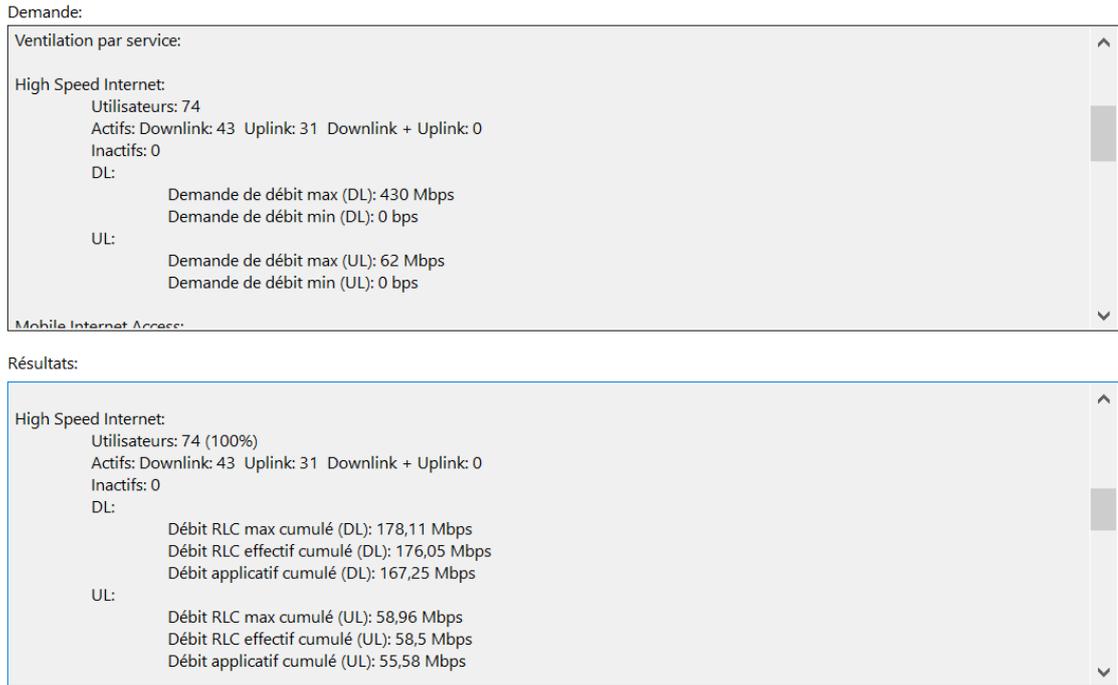


Figure 3-52: Demandes et résultats pour le service High Speed Internet

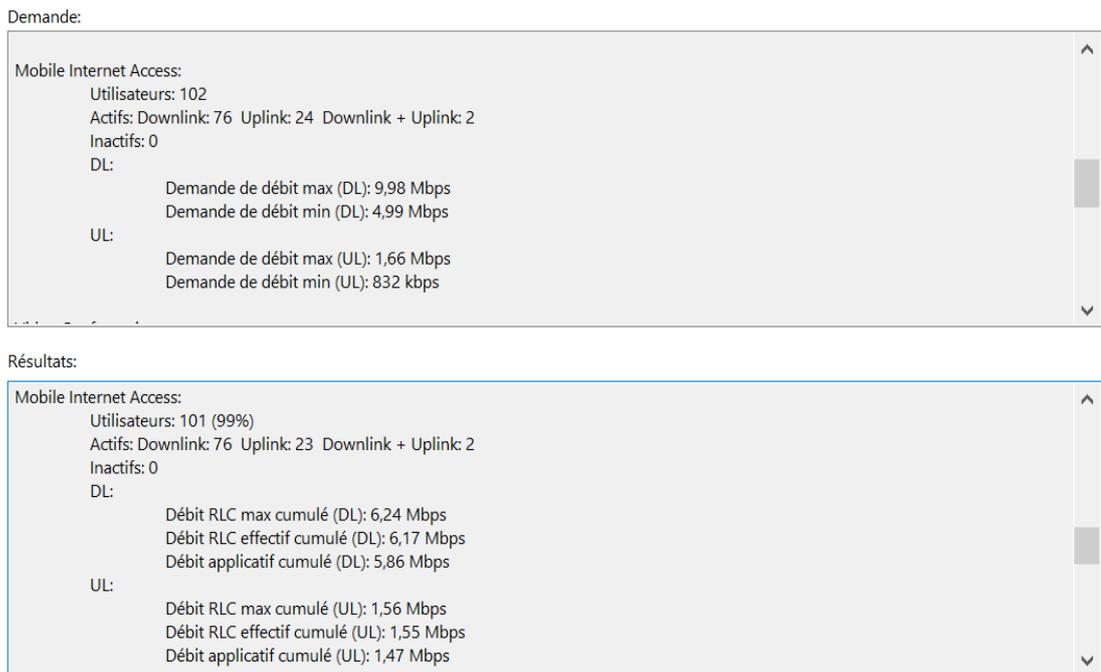


Figure 3-53: Demandes et résultats pour le service Mobile Internet Access



Figure 3-54: Demandes et résultats pour le service de vidéo conférence.

3.3.12.3 INTERPRETATION DES RESULTATS

La simulation ci-dessus comporte 245 utilisateurs, répartis en :

- 133 utilisateurs dans la liaison descendante (DL),
- 66 dans la liaison montante (UL),
- 31 dans les deux sens (DL +UL)
- 15 autres inactifs.
- -Le débit cible pour la liaison descendante(DL) était entre [5.57 ; 440.65] Mbps et entre [1.53 ; 64.36] Mbps pour la liaison montante.
- Et parmi ces 245 utilisateurs il y a eu 2 utilisateur sont hors service
- Le résultat obtenu satisfait le débit demandé par les abonnés en leur fournissant un débit d'application de 173.58 Mbps en sens descendant et de 57.65 Mbps en sens inverse.

3.3.13 PREDICTION DE LA COUVERTURE PAR DEBIT (DL)

Cette prédiction permet de calculer le débit offert maximal par le réseau 4G/LTE présenté selon les dégradations de couleur.

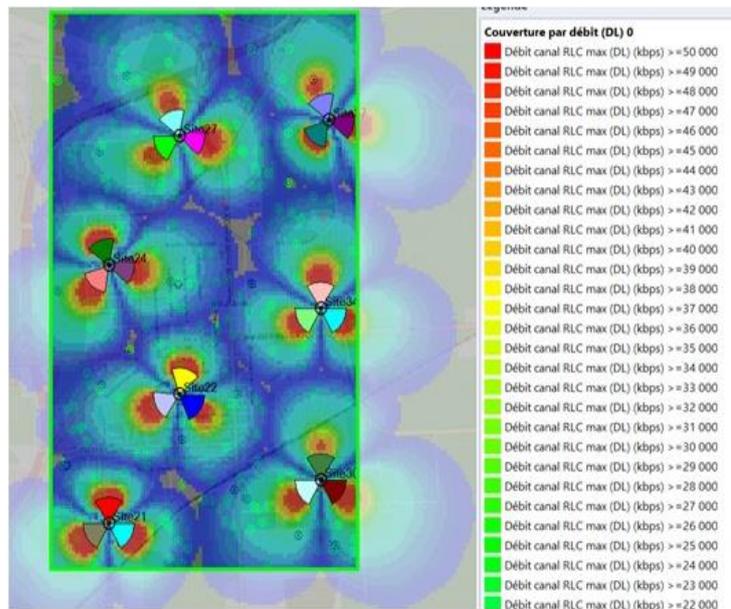


Figure 3-55: Prédiction de la couverture par débit (DL)

3.3.14 L'OPTIMISATION

L'outil de planification cellulaire automatique (ACP), est une matrice de calcul qui fonctionne à chaque fois pour changer la puissance d'émission et Changer l'inclinaison de l'antenne (Tilt), Sélection la meilleure antenne pour chaque émetteur.

Pour améliorer le réseau, on applique l'ACP sur les sites existants sur la carte pour optimiser divers paramètres (power, tilt ...).

Avant le lancement de l'ACP, on sélectionne des paramètres définis par secteur (Tilt, azimuth, hauteur d'antenne, la puissance totale) pour optimiser et augmenter la couverture

Tx Name	Antenna		Electrical Tilt (deg)				Azimuth (d)		
	Pattern	Physical Antenna	Use	Current	Min.	Max.	Use	Current	Variation
Site21_1	65deg 17dBi 6Tilt 1800MHz	65deg 17-18dBi	<input checked="" type="checkbox"/>	6	0	10	<input checked="" type="checkbox"/>	0	20
Site21_2	65deg 17dBi 6Tilt 1800MHz	65deg 17-18dBi	<input checked="" type="checkbox"/>	6	0	10	<input checked="" type="checkbox"/>	120	20
Site21_3	65deg 17dBi 6Tilt 1800MHz	65deg 17-18dBi	<input checked="" type="checkbox"/>	6	0	10	<input checked="" type="checkbox"/>	240	20
Site22_1	65deg 17dBi 6Tilt 1800MHz	65deg 17-18dBi	<input checked="" type="checkbox"/>	6	0	10	<input checked="" type="checkbox"/>	15	20
Site22_2	65deg 17dBi 6Tilt 1800MHz	65deg 17-18dBi	<input checked="" type="checkbox"/>	6	0	10	<input checked="" type="checkbox"/>	125	20
Site22_3	65deg 17dBi 6Tilt 1800MHz	65deg 17-18dBi	<input checked="" type="checkbox"/>	6	0	10	<input checked="" type="checkbox"/>	245	20
Site24_1	65deg 17dBi 6Tilt 1800MHz	65deg 17-18dBi	<input checked="" type="checkbox"/>	6	0	10	<input checked="" type="checkbox"/>	340	20
Site24_2	65deg 17dBi 6Tilt 1800MHz	65deg 17-18dBi	<input checked="" type="checkbox"/>	6	0	10	<input checked="" type="checkbox"/>	100	20
Site24_3	65deg 17dBi 6Tilt 1800MHz	65deg 17-18dBi	<input checked="" type="checkbox"/>	6	0	10	<input checked="" type="checkbox"/>	220	20
Site27_1	65deg 17dBi 6Tilt 1800MHz	65deg 17-18dBi	<input checked="" type="checkbox"/>	6	0	10	<input checked="" type="checkbox"/>	340	20
Site27_2	65deg 17dBi 6Tilt 1800MHz	65deg 17-18dBi	<input checked="" type="checkbox"/>	6	0	10	<input checked="" type="checkbox"/>	100	20
Site27_3	65deg 17dBi 6Tilt 1800MHz	65deg 17-18dBi	<input checked="" type="checkbox"/>	6	0	10	<input checked="" type="checkbox"/>	240	20
Site30_1	65deg 17dBi 6Tilt 1800MHz	65deg 17-18dBi	<input checked="" type="checkbox"/>	6	0	10	<input checked="" type="checkbox"/>	0	20
Site30_2	65deg 17dBi 6Tilt 1800MHz	65deg 17-18dBi	<input checked="" type="checkbox"/>	6	0	10	<input checked="" type="checkbox"/>	120	20
Site30_3	65deg 17dBi 6Tilt 1800MHz	65deg 17-18dBi	<input checked="" type="checkbox"/>	6	0	10	<input checked="" type="checkbox"/>	240	20
Site34_1	65deg 17dBi 6Tilt 1800MHz	65deg 17-18dBi	<input checked="" type="checkbox"/>	6	0	10	<input checked="" type="checkbox"/>	0	20
Site34_2	65deg 17dBi 6Tilt 1800MHz	65deg 17-18dBi	<input checked="" type="checkbox"/>	6	0	10	<input checked="" type="checkbox"/>	120	20
Site34_3	65deg 17dBi 6Tilt 1800MHz	65deg 17-18dBi	<input checked="" type="checkbox"/>	6	0	10	<input checked="" type="checkbox"/>	240	20
Site37_1	65deg 17dBi 6Tilt 1800MHz	65deg 17-18dBi	<input checked="" type="checkbox"/>	6	0	10	<input checked="" type="checkbox"/>	340	20
Site37_2	65deg 17dBi 6Tilt 1800MHz	65deg 17-18dBi	<input checked="" type="checkbox"/>	6	0	10	<input checked="" type="checkbox"/>	100	20

Site Name	Reconfiguration			LTE Site Selection				
	Disable	Inter Sector Lock		Use	Status	Sectors Removable	Site Removable	Group
		Azimuth	Height					
Site21	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Existing	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Site22	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Existing	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Site24	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Existing	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Site27	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Existing	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Site30	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Existing	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Site34	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Existing	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Site37	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Existing	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

Figure 3-56: Modification des paramètres de reconfiguration

Les résultats d'optimisation sont dans la figure suivante :

Detailed Zone Results

Objective: LTE RSRP

Zone	Initial	Final
Focus	90.83%	95.64%
Computation	31.42%	48.17%

Objective: LTE RSRQ

Zone	Initial	Final
Focus	75.62%	74.40%
Computation	42.19%	76.93%

Site Selection and Reconfiguration Statistics

Site	Added	Tech. added/removed	Removed	Initial	Final
	0	0	0	7	7

Sector Removed
0

Reconfiguration	Antenna	Elec. Tilt	Azimuth	Mech. Tilt	Antenna Height	Power
	0	8	12	8	0	11

Figure 3-57: Statistiques des modifications effectuées par l'ACP

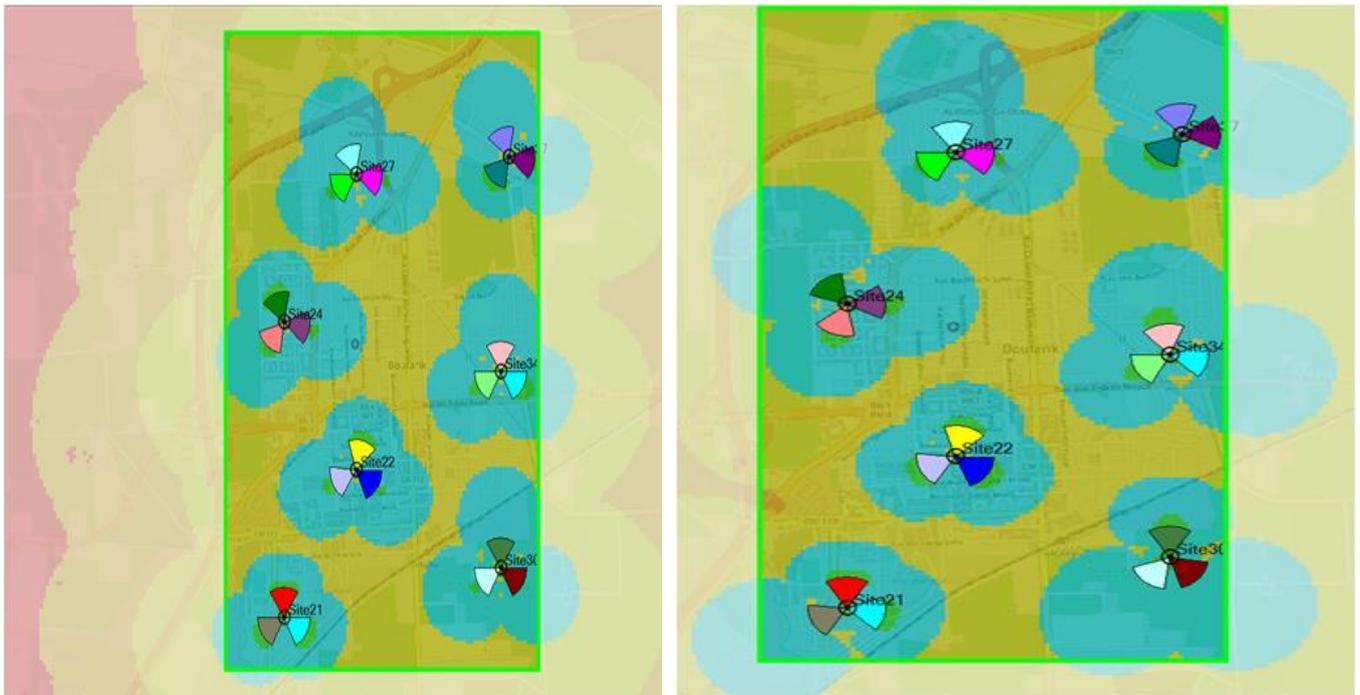
La figure suivante représente les modifications fournées par l'ACP sur les sites :

Cell/Tx Name	Use						Total Power (dBm)		Antenna Pattern		Azimuth		Mechanical	
	Po	Ant	Azi	MTilt	Heigh	Sele	Initial	Final	Initial	Final	Initial	Final	Initial	Final
Site21_1(0)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	46.00	46.00	65deg 17dBi 6Tilt	65deg 17dBi 6Tilt	0	0	5	5
Site21_2(0)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	46.00	46.00	65deg 17dBi 6Tilt	65deg 17dBi 6Tilt	120	100	3	3
Site21_3(0)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	46.00	49.00	65deg 17dBi 6Tilt	65deg 17dBi 0Tilt	240	245	1	1
Site22_1(0)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	46.00	46.00	65deg 17dBi 6Tilt	65deg 17dBi 6Tilt	15	15	4	4
Site22_2(0)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	46.00	46.00	65deg 17dBi 6Tilt	65deg 17dBi 6Tilt	125	125	0	2
Site22_3(0)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	46.00	46.00	65deg 17dBi 6Tilt	65deg 17dBi 6Tilt	245	245	0	2
Site24_1(0)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	46.00	49.00	65deg 17dBi 6Tilt	65deg 17dBi 0Tilt	340	320	4	3
Site24_2(0)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	46.00	47.00	65deg 17dBi 6Tilt	65deg 17dBi 6Tilt	100	85	0	0
Site24_3(0)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	46.00	46.00	65deg 17dBi 6Tilt	65deg 17dBi 6Tilt	220	200	0	0
Site27_1(0)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	46.00	49.00	65deg 17dBi 6Tilt	65deg 17dBi 2Tilt	340	355	0	0
Site27_2(0)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	46.00	46.00	65deg 17dBi 6Tilt	65deg 17dBi 6Tilt	100	100	0	0
Site27_3(0)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	46.00	43.00	65deg 17dBi 6Tilt	65deg 17dBi 6Tilt	240	240	0	5
Site30_1(0)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	46.00	46.00	65deg 17dBi 6Tilt	65deg 17dBi 6Tilt	0	0	0	3
Site30_2(0)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	46.00	49.00	65deg 17dBi 6Tilt	65deg 17dBi 0Tilt	120	130	0	2
Site30_3(0)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	46.00	49.00	65deg 17dBi 6Tilt	65deg 17dBi 2Tilt	240	220	0	0
Site34_1(0)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	46.00	48.00	65deg 17dBi 6Tilt	65deg 17dBi 6Tilt	0	350	1	1
Site34_2(0)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	46.00	49.00	65deg 17dBi 6Tilt	65deg 17dBi 0Tilt	120	100	1	2
Site34_3(0)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	46.00	46.00	65deg 17dBi 6Tilt	65deg 17dBi 6Tilt	240	240	1	1
Site37_1(0)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	46.00	49.00	65deg 17dBi 6Tilt	65deg 17dBi 2Tilt	340	350	0	0
Site37_2(0)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	46.00	49.00	65deg 17dBi 6Tilt	65deg 17dBi 0Tilt	100	85	0	2
Site37_3(0)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	46.00	46.00	65deg 17dBi 6Tilt	65deg 17dBi 6Tilt	220	220	4	4

Figure 3-58: Les corrections automatiques de l'optimisation des sites existant

3.3.14.1 RESULTATS D'OPTIMISATION DES SITES

1 Comparaison avant et après l'amélioration de niveau de champ en DL (indoor) :

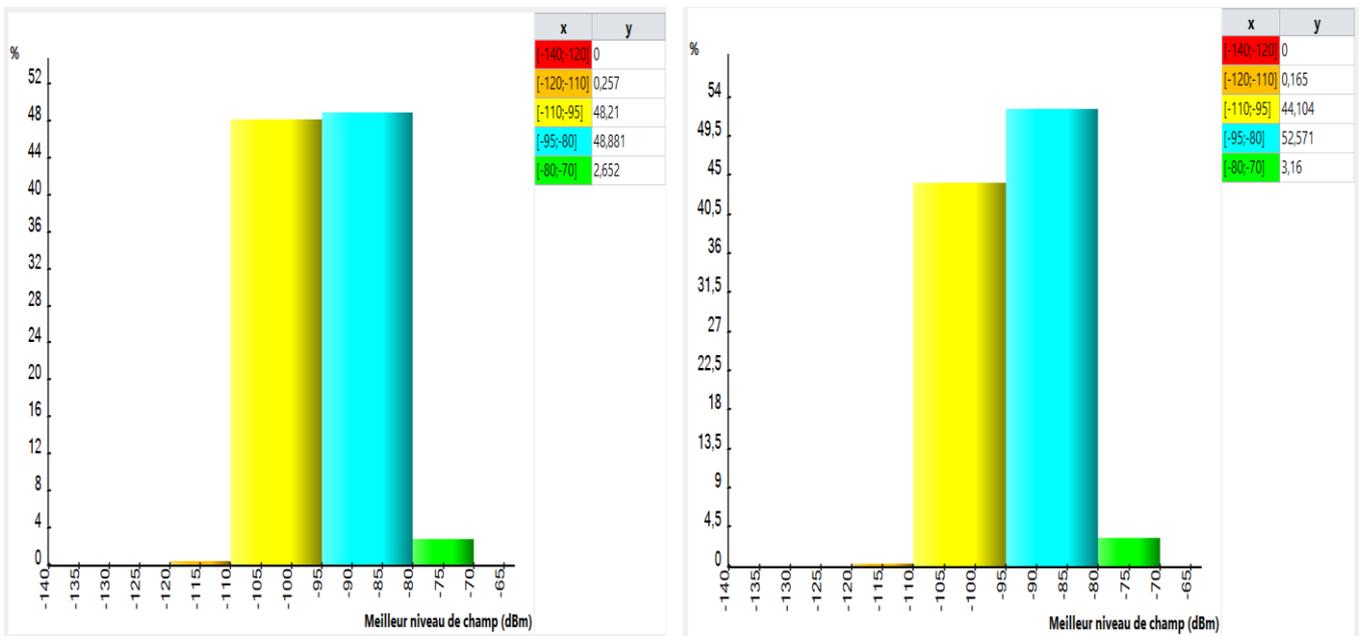


avant optimisation

après optimisation

Figure 3-59: Niveau de champ avant et après l'optimisation (indoor)

Les résultats sont représentés sur un diagramme des statistiques donné par le tableau suivant :



avant optimisation

après optimisation

Figure 3-60: Statistique de l'optimisation de la couverture par niveau de champ (indoor)

- On remarque une amélioration important de 3,6% pour un niveau de champ entre -80 à -95 dBm qui est bon , donc nous avons gagné plus de couverture .

2 Comparaison avant et après l'amélioration de niveau de champ en DL (outdoor) :

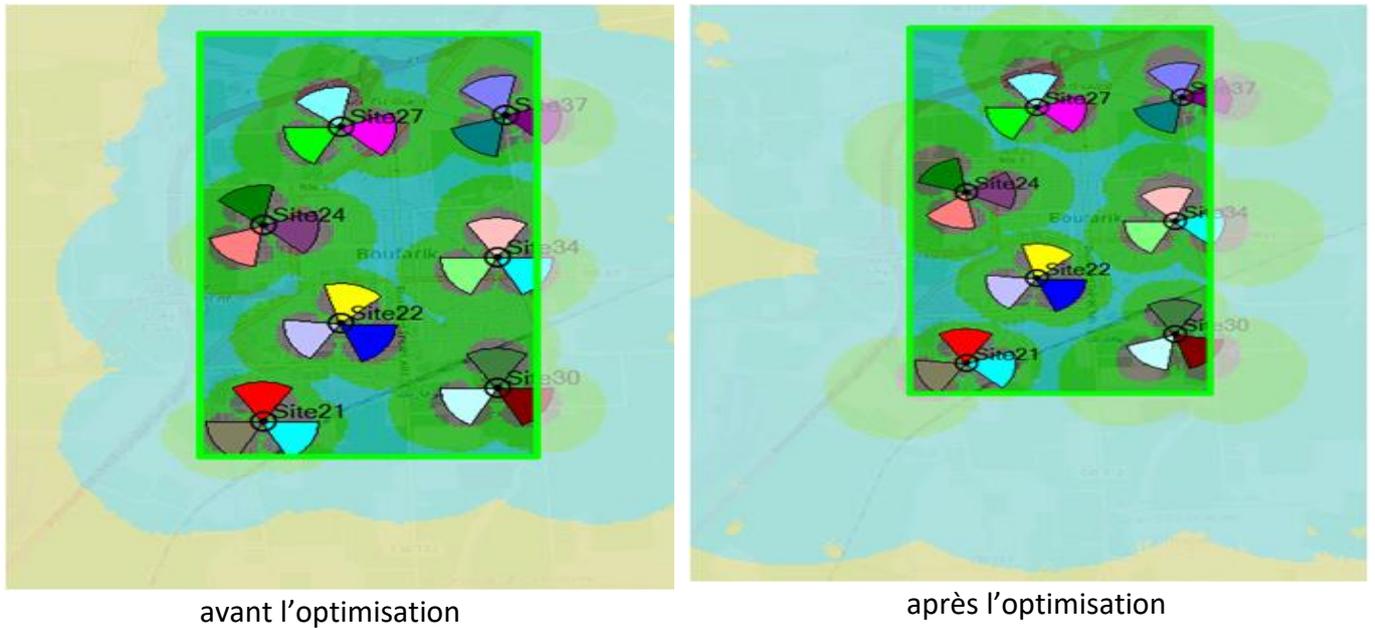


Figure 3-61: Niveau de champ avant et après l'optimisation (outdoor)

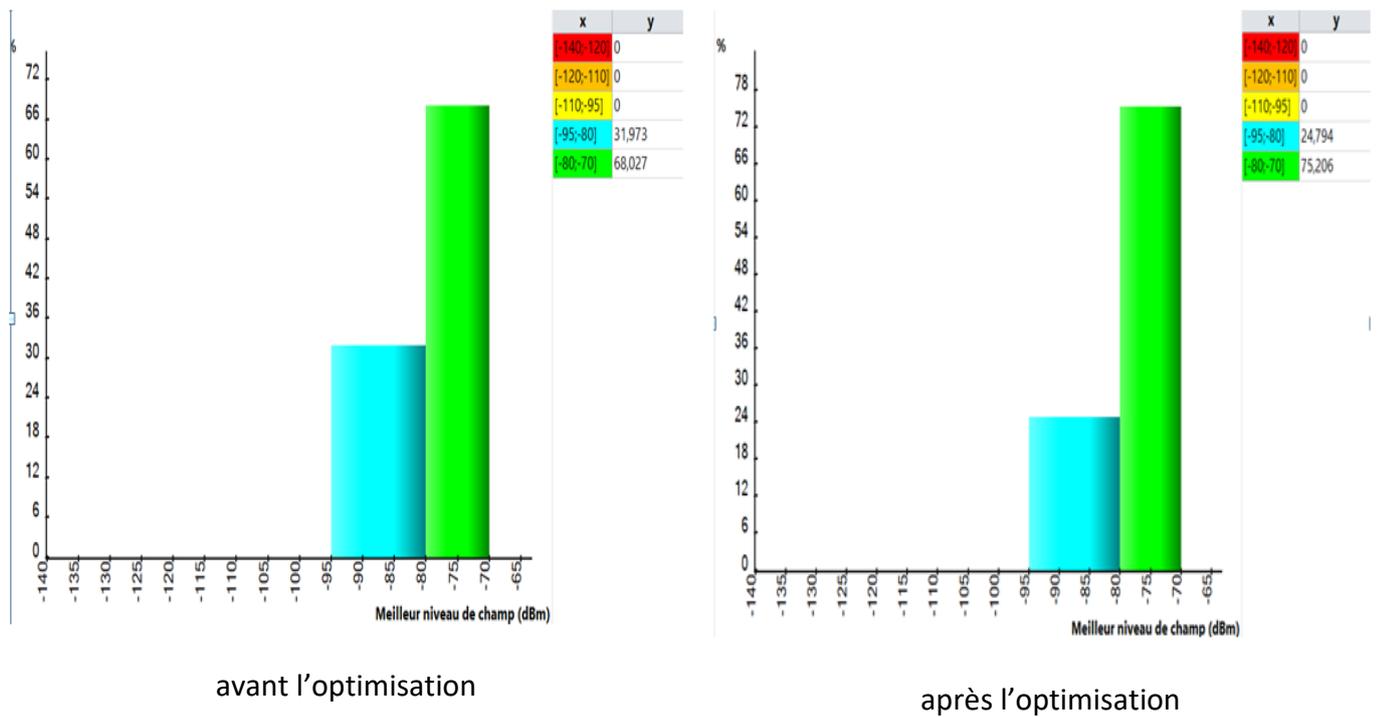
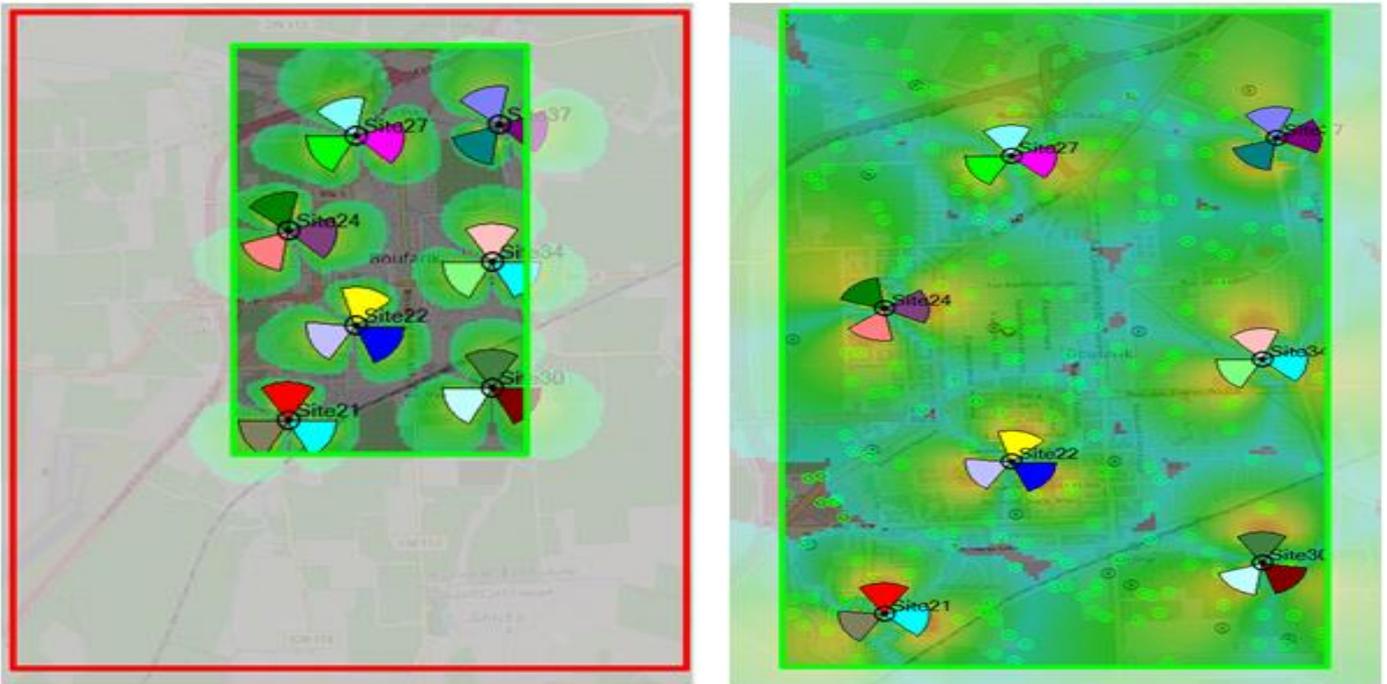


Figure 3-62: Statistique de l'optimisation de la couverture par niveau de champ (outdoor).

- Une amélioration de 7% pour un niveau de champ (DL) entre -70 à -80 dBm.

3 Comparaison avant et après l'amélioration de la couverture par niveau de C/I en DL :



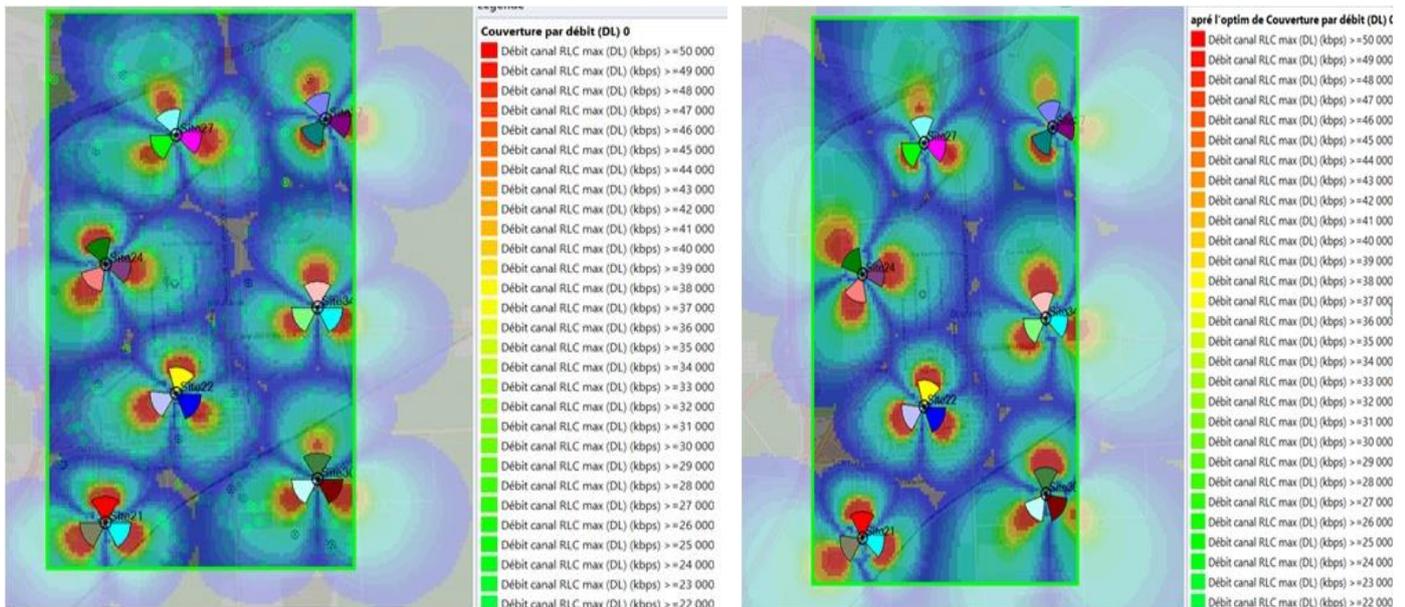
avant l'optimisation

après l'optimisation

Figure 3-63: Niveau de C/I avant et après l'optimisation

- On remarque une amélioration autour du site, car avant c'était vert et après l'optimisation il est devenu jaune (mieux que le premier).

4 Comparaison avant et après l'amélioration de débit en DL :



avant optimisation

après optimisation

Figure 3-64: Débit avant et après l'optimisation

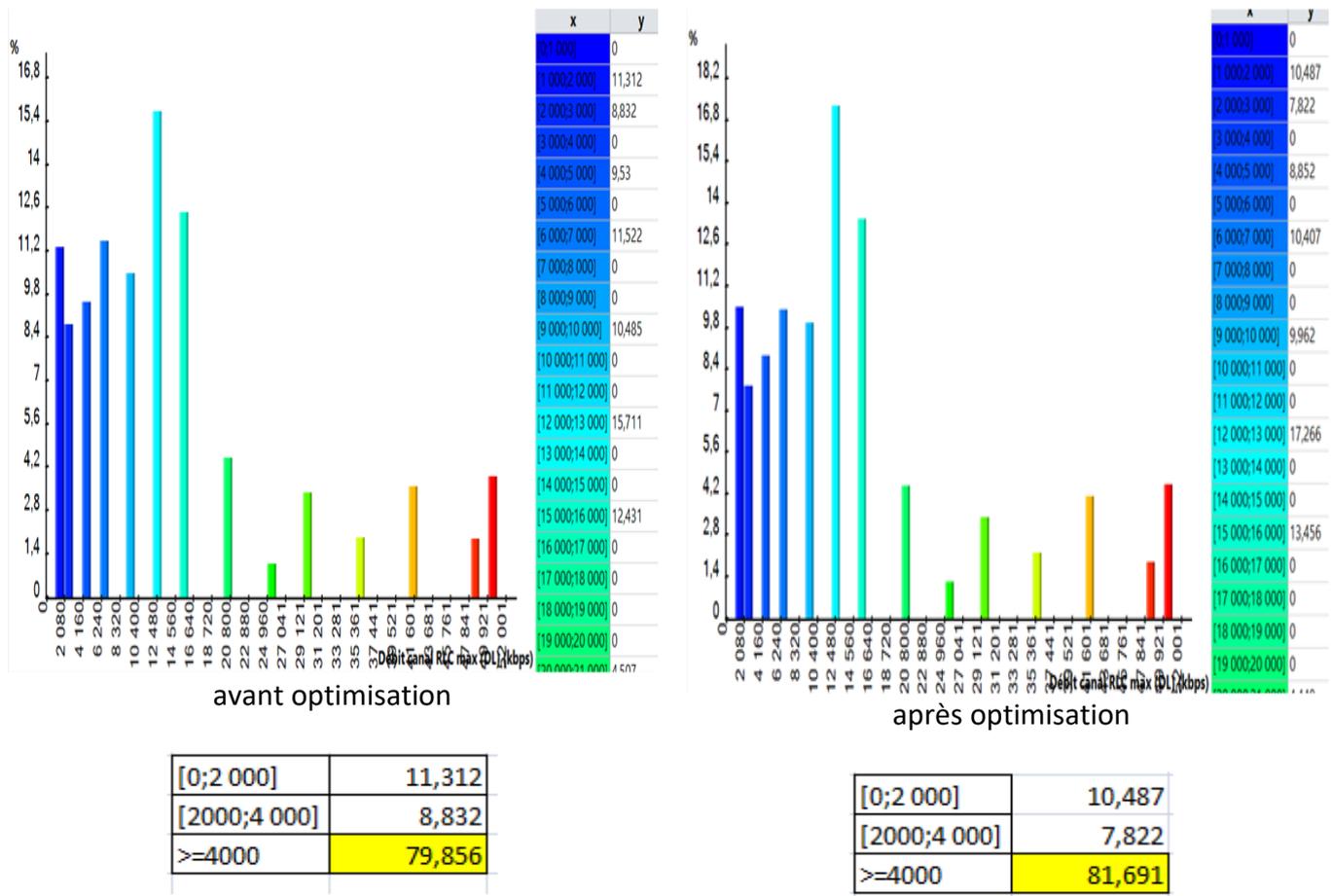


Figure 3-65: Statistique de l'optimisation de débit

Le débit en Downlink est amélioré de 1.83% pour un seuil > = 4 Mbps

En fin de compte nous concluons que la zone d'intérêt est bien couverte, on peut maintenant prendre les résultats finaux de la planification :

- ✓ Surface = 6.067 Km²
- ✓ ENodb = 7

3.4 COMPARISONS

Les résultats obtenus par l'outil développé et les résultats obtenus par la simulation sont presque identiques. Nous avons trouvé 8 sites pour couvrir une zone de 6.067 km² dans la partie théorique et 7 sites par la simulation. De ces résultats nous concluons que notre étude théorique est correcte.

3.5 CONCLUSION :

Au cours de ce chapitre, nous avons abordé toutes les étapes de la conception d'un outil de calcul simple de dimensionnement, et à la fin nous avons fait une partie de planification pour valider les résultats.

Conclusion générale

L'objectif principale de ce projet est de créer un outil de dimensionnement du réseau d'accès mobile LTE qui facilite par la suite la phase de planification.

Pour ce faire, nous avons commencé par une étude générale de la technologie Radio Mobile LTE, les innovations apportées par rapport aux technologies précédentes, les Caractéristiques de l'architecture LTE ainsi que ses interfaces, aussi bien les canaux radio, les exigences LTE.

La deuxième partie a été consacrée pour une étude bibliographique bien approfondie sur le dimensionnement orienté capacité et couverture. Ce processus, qui est caractérisé par sa complexité, est suivi pour enfin déterminer le nombre des sites optimisé, et fournir des statistiques qui paraissent très utiles à la phase de planification.

Dans la troisième partie on a présenté l'outil développé, qui consiste à créer des calculs mathématiques sur Excel et obtenir le résultat final pour l'interpréter par la suite dans la partie suivante dans le cadre de validation de notre solution.

Notre propre outil de dimensionnement qui a été développé sur Excel, destiné à calculer L'affaiblissement max du parcours MAPL, rayon de la cellule, surface de site, puissance isotrope rayonnée équivalente (EIRP), la capacité de la cellule, nombre d'abonné, trafic offre par abonné, trafic total, nombre de site par couverture, nombre de site par capacité pour la ville de Boufarik.

A la fin, nous comparons les résultats obtenus par une simulation sur Atoll pour comparer entre les solutions théoriques et pratiques.

Nous avons constaté que huit sites suffisent pour couvrir la zone sélectionnée par l'outil que nous avons développé et sept sites dans la partie de simulation, d'après ces résultats nous concluons que notre étude théorique est correcte.

Annexes

Techniques de modulations et de codage (MCS index) pour DL et UL

MCS INDEX	Downlink			Uplink		
	Modulation	Coding Rate	SNR, dB	Modulation	Coding Rate	SNR, dB
0	QPSK	0.1172	-6.475	QPSK	0.1000	-7.231
1	QPSK	0.1533	-5.182	QPSK	0.1250	-6.164
2	QPSK	0.1885	-4.131	QPSK	0.1550	-5.113
3	QPSK	0.2452	-2.774	QPSK	0.2050	-3.701
4	QPSK	0.3008	-1.649	QPSK	0.2500	-2.658
5	QPSK	0.3701	-0.469	QPSK	0.3100	-1.480
6	QPSK	0.4385	0.561	QPSK	0.3650	-0.544
7	QPSK	0.5137	1.564	QPSK	0.4300	0.440
8	QPSK	0.5879	2.479	QPSK	0.4900	1.263
9	QPSK	0.6631	3.335	QPSK	0.5550	2.085
10	16QAM	0.3320	3.335	QPSK	0.6150	2.794
11	16QAM	0.3691	4.140	16QAM	0.3075	2.794
12	16QAM	0.4238	5.243	16QAM	0.3525	3.789
13	16QAM	0.4785	6.285	16QAM	0.4000	4.771
14	16QAM	0.5400	7.403	16QAM	0.4500	5.748
15	16QAM	0.6016	8.478	16QAM	0.5025	6.727
16	16QAM	0.6426	9.168	16QAM	0.5350	7.313
17	64QAM	0.4277	9.168	16QAM	0.5700	7.931
18	64QAM	0.4551	9.846	16QAM	0.6300	8.963
19	64QAM	0.5049	11.060	16QAM	0.6925	10.010
20	64QAM	0.5537	12.250	16QAM	0.7525	10.994
21	64QAM	0.6016	13.398	64QAM	0.5017	10.994
22	64QAM	0.6504	14.534	64QAM	0.5417	11.961
23	64QAM	0.7021	15.738	64QAM	0.5850	12.995
24	64QAM	0.7539	16.934	64QAM	0.6283	14.017
25	64QAM	0.8027	18.067	64QAM	0.6700	14.991
26	64QAM	0.8525	19.196	64QAM	0.7100	15.920
27	64QAM	0.8887	20.032	64QAM	0.7417	16.652
28	64QAM	0.9258	20.866	64QAM	0.7717	17.343

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] Yekhlef Mohammed, "Etude des méthodes d'accès dans les réseaux mobiles", Thèse de Magister, Université de Batna. Année 2008
- [3] DJEDDI FATMA et OUTALEB FAIZA, "Planification et optimisation d'un réseau 4G LTE", Mémoire de Fin d'Etudes De MASTER ACADEMIQUE, Université MOULOUD MAMMERI de TIZI-OUZOU. Année 2017.
- [4] DidaceetIskill KETA-WAPOUTOU et MOUSSE, "3GPP LTE interface radio long term evolution: single carrier FDMA", Telecom paris. Année 2007.
- [5] DJEDDI FATMA et OUTALEB FAIZA, "Planification et optimisation d'un réseau 4G LTE", Mémoire de Fin d'Etudes De MASTER ACADEMIQUE, Université MOULOUD MAMMERI de TIZI-OUZOU. Année 2017.
- [6] Yannick Bouguen,ÉricHardouin,François-Xavier Wolff, "LTE et les réseaux4G." Edition EYROLLES. 2012
- [7] DJEDDI FATMA et OUTALEB FAIZA, "Planification et optimisation d'un réseau 4G LTE", Mémoire de Fin d'Etudes De MASTER ACADEMIQUE, Université MOULOUD MAMMERI de TIZI-OUZOU. Année 2017.
- [8] [LTE Channels: Physical Logical Transport » Electronics Notes \(electronics-notes.com\)](http://electronics-notes.com)
LTE Physical, Logical and Transport Channels.
- [9] E. Jammazi, « *Optimisation d'un réseau pilote 4G pour Tunisie Télécom* », Mémoire de fin d'études, Ecole Nationale d'Ingénieurs de Gabes, 2013
- [10] A. Laoussed, « *Outil de planification et de dimensionnement dans l'E-UTRAN LTE-Advanced* », Rapport de projet de fin d'étude, Ecole Supérieure des Communications de Tunis, 2012
- [11] T. Novosad, L. Serna, C. Johnson, « *LTE Radio Network Planning Guidelines* », Documentation technique Nokia Siemens Networks, 2011
- [12] Huawei Technologies « *LTE Radio Planning Introduction* » Revue 2011